



## Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению

Салехард, Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО), Россия  
25-29 июня 2012 г.

ДЕСЯТАЯ  
МЕЖДУНАРОДНАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЮ  
ТІСОР



ТОМ 5  
РАСШИРЕННЫЕ  
ТЕЗИСЫ  
НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

## Организаторы



## Генеральный спонсор



## Компании партнеры





# **Десятая Международная конференция по мерзлотоведению**

## **TICOP**

**Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире**

**Расширенные тезисы**

Proceedings of the Tenth International Conference on Permafrost  
Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Russia  
June 25–29, 2012



# **Tenth International Conference on Permafrost TICOP**

**Resources and Risks of Permafrost Areas in a Changing World**

**Volume 5**

**(Extended Abstracts in Russian)**

**«Pechatnik»  
Tyumen, 2012**

Труды Десятой Международной конференции по мерзотоведению  
Салехард, Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО), Россия  
25-29 июня 2012 г.



# **Десятая Международная конференция по мерзотоведению TICOR**

**Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире**

**Том 5**

**(расширенные тезисы на русском языке)**

**ООО «Печатник»  
Тюмень, 2012 г.**

Десятая Международная конференция по мерзлотоведению  
Том 5 (расширенные тезисы на русском языке)

© 2012 Тюменский Государственный нефтегазовый университет  
Тюмень, Россия  
ООО «Печатник»  
All rights reserved.

Отпечатано в России

Международная конференция по мерзлотоведению (10-я : 2012 :  
Салехард, Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО), Россия)  
Десятая Международная конференция по мерзлотоведению (ТICOP) :  
Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире /  
под ред. К.М. Хинкеля [том 1] и В.П.Мельникова [том 2 и 3].  
Салехард: Северное Издательство; Тюмень: Печатник, Россия, 2012,  
5 т. : илл., карты.  
Включает библиографические ссылки и именные указатели.  
25-29 июня 2012.  
Содержание: Том 1. Статьи на английском языке. Том 2. Английский перевод русскоязычных статей.  
Том 3. Статьи на русском языке. Том 4. Расширенные тезисы на английском языке.  
Том 5. Расширенные тезисы на русском языке.  
Дизайн обложки : Северное Издательство

УДК 551.34; 502.3; 624.139

ББК 26.3

Д 37

ISBN 978-5-9961-0510-6



ISBN 978-5-905911-01-9 (Т.1)

ISBN 978-5-905911-02-6 (Т.2)

ISBN 978-5-9961-0510-6 (Т.3, 4, 5)

*Выпускающий редактор: Д.С.Дроздов (Тюмень, Россия)*

Десятая Международная конференция по мерзлотоведению (ТICOP): *Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире*. Том 5: *Расширенные тезисы на русском языке*. – Тюмень, Россия: Печатник, 2012. – 384 с.

## Организаторы конференции

Международная ассоциация по мерзлотоведению



Правительство Ямало-Ненецкого автономного округа



Правительство Тюменской области



Тюменский государственный нефтегазовый университет



Сибирское отделение РАН



Институт криосферы Земли СО РАН



Научный совет по криологии Земли РАН



Ассоциация Мерзлотоведов США



## Спонсоры конференции

### Генеральный спонсор

ОАО «Нефтяная компания «Роснефть»



### Спонсоры

British Petroleum



ОАО «Газпромбанк»



Нефтегазовая компания ТНК-ВР



ОАО «Акционерная компания по транспорту нефти «Транснефть»



Arctic Foundations, Inc.

# Содержание

Организаторы конференции .....	v
Спонсоры конференции .....	vi
Оценка и прогноз изменения инженерно-геологических условий с целью обеспечения устойчивости зданий и сооружений в г. Надыме <i>И.В. Абатурова, И.А. Емельянова</i> .....	1
Подземные воды криолитозоны <i>А.Н. Агафонцева</i> .....	3
Теплофизические свойства напочвенных покровов <i>Д.М. Алексутина, Р.Г. Мотенко</i> .....	5
Палеокриогенез и современное почвообразование <i>В.М. Алифанов</i> .....	7
Строительство в северных регионах <i>А.О. Андреев</i> .....	9
Геокриологические компоненты на инженерно-геологической карте территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000 <i>В.Н. Андрианов, С.Н. Чекрыгина</i> .....	10
Моделирование работы системы охлаждения резервуара с нефтью на Ванкорском месторождении <i>Г.В. Аникин, К.А. Спасенникова</i> .....	12
Динамика субаквальной мерзлоты и эмиссия метана на шельфе морей Восточной Арктики: оценка влияния на глобальный климат <i>О.А. Анисимов, С.А. Лавров</i> .....	13
Оценка устойчивости опоры моста через реку Норильская в сложных геокриологических условиях <i>В.В. Антонов, А.А. Маслаков</i> .....	15
Геоморфологический атлас Антарктиды – блестящий пример достижений российской географической науки <i>Ю.М. Артемьев</i> .....	17
Характеристика термокарстовых котловин в районе мостового перехода ж. д. Обская-Бованенково через р. Юрибей <i>А.И. Баженов, А.А. Ермак, А.Н. Курчатова, Е.А. Слагода</i> .....	19
Исследование влияния некоторых штаммов бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород на иммунофизиологические показатели беспородных белых мышей <i>А.С. Бажин, А.М. Субботин, Л.Ф. Калёнова</i> .....	21
Очистка грунтов и восстановление нарушенного почвенно-растительного покрова биотехнологическими способами в условиях криолитозоны <i>И.В. Балакирев, А.С. Никишова</i> .....	23
Влияние новейших тектонических движений на криогенные процессы на территории Российской Арктики <i>А.В. Баранская</i> .....	24
Основные этапы изучения мерзлых толщ севера Западной Сибири <i>В.В. Баулин, А.И. Юдкевич, Э.Ю. Несынова</i> .....	26
Пластовые льды на юго-западном побережье Карского моря <i>Н.Г. Белова</i> .....	27
Данные наблюдений Колымской водно-балансовой станции: перспективы использования в научных и прикладных задачах и необходимость восстановления специальных наблюдений <i>И.Н. Бельдиман, О.М. Семенова, Л.С. Лебедева</i> .....	29
Криолитология бугров в северной тайге Западной Сибири <i>Н.М. Бердников, А.Г. Гравис</i> .....	31

Исследование динамики ландшафтов Крайнего Севера с применением современных методов дистанционного зондирования земли <i>А.А. Берюляев</i> .....	33
Источники негативного воздействия на геологическую среду в ЯНАО <i>Ю.В. Беспалова, Т.П. Резанова</i> .....	34
Гидрогеологические и геокриологические условия севера Западной Сибири (в пределах ЯНАО) <i>В.А.Бешенцев, В.М.Матусевич, Т.В.Семенова</i> .....	36
Продукция углекислого газа и лабильное органическое вещество криогенных почв северотаежных экосистем Западной Сибири <i>А.А. Бобрик, О.Ю. Гончарова</i> .....	38
Закономерности формирования температуры пород в западной части котловины озера Лама <i>А.В. Борцов, О.М. Лисицына</i> .....	40
Фитоиндикаторы химического загрязнения экосистем в районах криолитозоны Западной Сибири <i>Е.В. Булдакова</i> .....	42
Изменение теплопроводности газонасыщенных пород в процессе гидратонакопления при отрицательных и положительных температурах <i>Б.А. Буханов, Е.М. Чувиллин</i> .....	44
Исследование термоэрозионных процессов и оврагообразования в природно-технических системах газовых месторождений криолитозоны <i>А.В.Быкова, М.С.Лебедев, С.А.Лобастова</i> .....	46
Геофизические исследования криолитозоны <i>А.П. Быкова</i> .....	48
Бугры пучения <i>А.И. Быковский, И.В. Вершинин</i> .....	50
Палеокриоморфные почвы центра Восточно-Европейской равнины как архив палеоэкологических природных событий <i>И.М. Ваганов, А.Ю. Овчинников, В.М. Алифанов</i> .....	52
Контроль деградации мерзлоты средствами автоматизированного температурного мониторинга <i>С.А.Великин, А.В. Малышев, В.В. Неклюдов</i> .....	54
Проблемы реконструкции криолитозоны Северной Евразии в максимум похолодания плейстоцена: методы и результаты <i>А.А. Величко, В.П. Нечаев, Н.В. Лаврентьев</i> .....	55
Строительство и эксплуатация транспортных систем в холодных регионах <i>А.М. Вениаминова</i> .....	56
Диссоциация газовых гидратов на переохлажденную воду и газ по данным метода ЯМР <i>В.А. Власов, А.Г. Заводовский, М.Ш. Мадыгулов</i> .....	58
Оценка мерзлотно-экологической обстановки при строительстве и эксплуатации объектов на Севере <i>Г.О.Гаврилов, А.Д. Чижов</i> .....	60
Картографирование опасных гидрометеорологических явлений холодного периода для дифференциации критериев их оценки <i>С.А. Гаврилова</i> .....	62
Особенности механизма суффозионных процессов в области развития многолетнемерзлых пород (на примере Центральной Якутии) <i>Л.А. Гагарин</i> .....	63
Исследование сезонного травматизма на нефтегазовых предприятиях севера <i>А.Ф. Галкин, Р.Г. Хусаинова</i> .....	65
Прогнозирование гидратообразования в стволе добывающей газовой скважины <i>О.С. Гашева, С.С. Гашева</i> .....	66
Сценарная оценка изменений водных ресурсов в бассейне р. Лены в первой трети XXI века <i>А.Г. Георгиади, Н.И. Коронкевич, И.П. Милюкова, Е.А. Барабанова</i> .....	68

Изучение пространственного распределения мерзлотных показателей и ландшафтной структуры Центрального Ямала на примере стационара «Васькины дачи» <i>А.Г. Герасимов, Ю.А. Дворников</i> .....	70
Влияние межгодовой изменчивости и трендовых изменений строения и свойств снежного покрова на термический режим подстилающей поверхности <i>В.Н. Голубев, С.А. Сократов, Д.М. Фролов</i> .....	72
Новые технологии рекультивации нарушенных земель в условиях Крайнего Севера <i>Е.В. Голубев, О.Н. Вепренцев, Н.А. Вепренцева</i> .....	73
Ландшафтно-мерзлотные условия и криогенные процессы на V Салехардской морской террасе <i>А.Ю. Горбатюк, В.В. Рогов</i> .....	75
Криогенные полигоны гор Центральной Азии. Географическое обозрение <i>А.П. Горбунов</i> .....	77
Многолетнемерзлые породы как среда для жизнедеятельности микроорганизмов <i>Т.В. Гордеева</i> .....	78
Основы методики определения теплофизических свойств дисперсных грунтов <i>Д.Н. Горобцов</i> .....	79
Экспериментальное изучение влияния влагонасыщения на криогенное давление в засоленных грунтах <i>Э.С. Гречищева, С.Е. Гречищев, А.В. Павлов</i> .....	81
Геокриологические условия Юрубчено-Тохомского месторождения. Геотехнический мониторинг площадки УПН <i>Ю.В. Григорьева, Е.А. Новик</i> .....	83
Палеокриогенез в позднеплейстоценовой истории педогенеза в центре Восточно-Европейской равнины <i>Л.А. Гугалинская</i> .....	85
Возобновление термических наблюдений за температурным режимом мерзлых грунтов на Северо-Востоке России <i>С.А. Гулый, В.А. Басистый, М.Н. Железняк</i> .....	87
Температурный режим мерзлотных почв Северной Якутии <i>С.П. Давыдов, А.И. Давыдова, Д.Г. Федоров-Давыдов, В.Е. Остроумов, А.Л. Холодов, В.А. Сороковиков</i> .....	89
Изменение засоленности озер под воздействием техногенных факторов и криогенных процессов на примере озера Круглое (город Якутск) <i>М.В. Данзанова</i> .....	91
Исследование динамики развития криогенных оползней на Центральном Ямале с помощью повторной топографической съемки <i>Ю.А. Дворников</i> .....	93
Проблемы обеспечения геотехнической безопасности малых поселений в арктических районах России на примере г. Игарки <i>М.В. Дебольский</i> .....	94
Использование данных дистанционного зондирования земли при проведении геокриологического мониторинга <i>Е.В. Денисевич</i> .....	96
Льдогрунтовая противифильтрационная завеса грунтовых плотин в суровых природно-климатических условиях <i>С.П. Дмитриева, Н.Б. Кутвицкая, Е.Д. Мороз, Ю.А. Власова</i> .....	98
Выработка предложений по конструктивным решениям прокладки горячего нефтепровода на многолетнемерзлых грунтах <i>А.Н. Дмитриевский, Н.Н. Хренов</i> .....	100
Криолитозона арктического шельфа Восточной Сибири <i>Я.Н. Добытин</i> .....	102
К вопросу проведения гидравлического разрыва пласта в газовых скважинах при наличии в разрезе многолетнемерзлых пород <i>В.А. Долгушин, А.А. Земляной, Г.П. Зозуля, А.В. Кряжев</i> .....	103
Пространственное распределение «химических маркеров» морского влияния в водотоках Печорской дельты <i>Е.А. Домбровская, Н.Г. Украинцева</i> .....	105

Моделирование процессов тепло-влажнопереноса в грунтах методом тепловых и гидравлических сопротивлений с учетом вентиляции подполья сооружений <i>Л.А. Дугинов, М.Х. Розовский, Н.Б. Кутвицкая, А.В. Рязанов</i> .....	107
Земляное полотно железнодорожного пути на вечной мерзлоте <i>П.И. Дыдышко</i> .....	109
О необходимости создания геоинформационной геокриологической системы. <i>М.Н. Железняк</i> .....	112
Этапы оледенений в формировании геоморфологических форм рельефа Южного Верхоянья <i>В.И. Жижин, С.И. Сериков, И.Е. Мисайлов</i> .....	114
Повышение защитно-коррозионной стойкости нефтепромыслового оборудования в условиях Севера с помощью электролитических покрытий Zn-Ni <i>И.Г. Жихарева, А.А. Ракашов, В.В. Шмидт</i> .....	116
Время жизни переохлажденной воды в водонасыщенном монтмориллоните <i>А.Г. Заводовский, М.Ш. Мадыгулов</i> .....	117
О перспективах совершенствования колтюбинговой техники и технологий для условий Крайнего Севера <i>А.А. Земляной, Г.П. Зозуля, В.А. Долгушин, В.В. Дмитрук, В.В. Журавлев</i> .....	119
Сравнение развития повторно-жильных льдов и ледников в условиях резко континентального климата (на примере хребта Кодар и Чарской котловины) <i>Е.Н. Иванов</i> .....	121
Перспективный материал для термостабилизации грунтов <i>К.С. Иванов</i> .....	123
Криогенные процессы и явления на Полярном Урале <i>М.Н. Иванов</i> .....	124
Реконструкция палеоклимата по групповым палиноспектрам <i>С.Н. Иванов, А.А. Коновалов</i> .....	126
К вопросу определения состояния и характеристик прочности и сжимаемости многолетнемерзлых грунтов по данным статического зондирования <i>О.Н. Исеев</i> .....	128
О силах криогенного пучения грунтов <i>О.А. Казанский</i> .....	131
О связи параметров фазового равновесия вода-лед с долговечностью мерзлого грунта <i>Х.Т. Казбакова, А.А. Коновалов</i> .....	133
Заболачивание и многолетнее промерзание территории, сложенной крупнообломочными грунтами <i>В.Д. Каргаполов</i> .....	135
Проект геопортала МГУ «Геоинформационная система участка побережья Югорского полуострова» <i>А.И. Кизяков, М.В. Зимин, А.В. Хомутов, К.А. Ермохина, М.О. Лейбман</i> .....	137
Оценка угнетения растительности в результате влияния геокриологических процессов на основе данных дистанционного зондирования <i>К.Е. Киселевская</i> .....	139
Различия бугров пучения в песчаных отсыпках <i>О.Г. Кистанов</i> .....	141
Радарная дифференциальная интерферометрия для анализа динамики геокриологических процессов <i>Л.Ю. Кожина, В.А. Черкасов, М.С. Горяйнов</i> .....	143
Построение оптимальной климатической проекции для оценки последствий изменений климата в криолитозоне России <i>В.А. Кокорев, Е.Л. Жильцова</i> .....	144
Связь температуры переохлаждения с прочностью мерзлого грунта <i>А.А. Коновалов</i> .....	146
Физические свойства оттаявших грунтов и существующие методы их улучшения <i>Е.А. Кононова</i> .....	148

Влияние строительства магистрального газопровода на динамику берегов Западного Ямала <i>Н.В. Кона-Овдиенко, А.С. Цвезинский, Д.Е. Кузнецов, С.А. Огородов</i> .....	150
Изучение мерзлотных процессов в пределах глядово-мочажинных болот территории ПП «Сибирские Увалы» <i>С.Е. Коркин, Е.К. Кайль, О.И. Ивашкевич</i> .....	152
Крупномасштабное районирование Харасавэйского месторождения по благоприятности для сооружения подземных хранилищ <i>Т.А. Коробова</i> .....	154
О новой редакции «Геокриологической карты Российской Федерации» <i>Ю.В. Коростелёв, Д.С. Дроздов, М.О. Лейбман, А.А. Абрамов, А.Г. Гравис</i> .....	156
Внедрение новой технологии термостабилизации грунтов оснований на объектах Заполярного нефтегазового месторождения <i>Р.В. Корытников, Д.А. Яхонтов, Н.Б. Кутвицкая, М.А. Минкин, А.В. Рязанов</i> .....	158
Статистический анализ индикаторов генезиса позднекайнозойских отложений северо-востока Якутии <i>Г.Н. Краев, Д.Г. Шмелёв, И.М. Вагина, Е.М. Ривкина, Д.А. Гиличинский</i> .....	160
Микробные сообщества метанобразующих торфяных горизонтов болот криолитозоны Сибири <i>К.В. Кривушин, С. Хангер, Х. Дрейк, О. Коцюрбенко, М. Глаголев, А. Сабреков</i> .....	162
Тепловое взаимодействие подземного газопровода с многолетнемерзлыми породами на участке трассы Бованенково-Ухта <i>А.В. Крюков, Г.П. Пустовойт, В.З. Хилимонюк, С.И. Гребенкин</i> .....	163
Техногенное выветривание на рудных месторождениях <i>В.И. Кузькин</i> .....	164
Экономическая оценка перспектив освоения углеводородных ресурсов Российской Арктики в контексте направлений развития нефтегазового сектора страны <i>В.В. Кулешов, В.А. Крюков, В.Д. Маршак</i> .....	165
Особенности микростроения синкриогенных отложений <i>А.Н. Курчатова, Е.А. Слагода, В.В. Рогов</i> .....	168
Инженерная защита трубопроводов от опасных инженерно-геологических процессов в условиях северных регионов <i>Н.Б. Кутвицкая, А.В. Рязанов, А.Е. Скапинец, А.В. Икан</i> .....	170
Криогенные структуры конца плейстоцена на юго-западе Западносибирской равнины <i>С.И. Ларин, С.А. Лаухин, В.Л. Гусельников</i> .....	172
О кафедре Криосферы Земли в Российском государственном геологоразведочном университете <i>С.А. Лаухин, Д.С. Дроздов, В.В. Пендин</i> .....	173
Последствия отсутствия достроительного и строительного этапов в системе геотехнического мониторинга на газопромысловых объектах Севера <i>Н.В. Лашина, В.В. Лашин</i> .....	175
Предпостроечное оттаивание мерзлых грунтов низковольтными омическими электронагревателями на объектах обустройства Юрубчено-Тохомского месторождения <i>Д.В. Литихин, П.К. Ким</i> .....	177
Геокриологические условия пород «ледового комплекса» и их воздействие на ж/д АЯМ «Беркакит-Томмот-Якутск» <i>А.В. Литовко</i> .....	179
Экологический Менеджмент Процессов Термоэрозии и Оврагообразования в Криолитозоне <i>С.А. Лобастова, И.Л. Хабибуллин</i> .....	181
Геокриологические процессы и явления на инженерных объектах Заполярного НГКМ <i>Д.В. Лукин, О.Г. Кистанов</i> .....	183
Почвы Антарктиды в районах расположения российских научных станций: эффекты антропогенного воздействия и возможности ремедиации <i>А.В. Лупачев, П.И. Калинин, А.А. Ветрова, А.А. Овчинникова</i> .....	185
Газогидратообразование в мерзлых и оттаивающих газонасыщенных породах <i>М.В. Лупачик, Е.М. Чувилин</i> .....	187

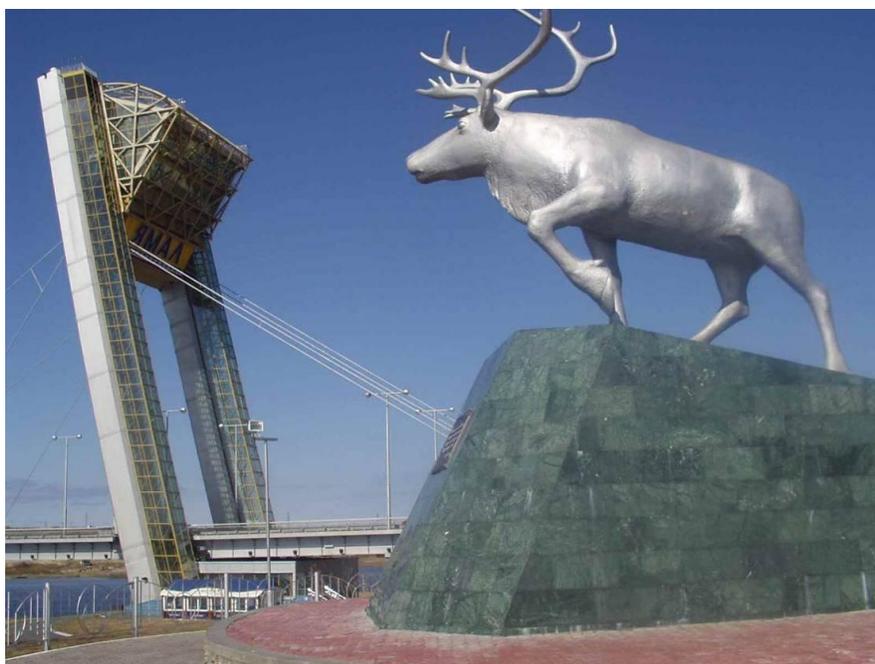
Прогнозная оценка геоэкологической ситуации в зоне деятельности ООО "Газпром добыча Ямбург" <i>Е.О. Луценкова, А.К. Арабский, Д.С. Николаев, О.В. Маклюк, В.Н. Баикин</i> .....	189
Образование газовых гидратов в режиме термоциклирования на основе эмульсии вода/масло <i>М.Ш. Мадыгулов, В.А. Власов, А.Г. Заводовский, В.П. Щипанов</i> .....	190
Аэровизуальные обследования как источник геокриологической информации <i>Е.М. Макарычева, Ю.В. Станиловская, Д.О. Сергеев, Г.З. Перльштейн, А.Н. Хименков, А.Н. Угаров</i> .....	192
Возможности гляциохимического, диатомового и палинологического анализа ледниковых толщ <i>Н.С. Малыгина, Е.Ю. Митрофанова, Т.С. Папина</i> .....	194
PR-технологии в пропаганде мерзлотных исследований и профильного высшего образования <i>О.И. Мальшикина</i> .....	196
Строение плейстоцен-голоценовых отложений IV Казанцевской озерно-аллювиальной террасы, Надым-Пуровское междуречье <i>Д.С. Манджиев, А.Г. Матюхин</i> .....	198
Полигон для испытания свай в сезонно-мерзлых грунтах <i>К.П. Мандровский, Н.К. Тагиева, И.К. Растегаев</i> .....	200
Использование имитационного моделирования процесса расхода топлива при движении автомобиля в условиях низких температур <i>С.А. Маняшин, А.В. Маняшин</i> .....	201
Влияние техногенных факторов на гидрогеологическое поле севера Западной Сибири <i>В.М. Матусевич, Т.В. Семенова</i> .....	203
Тенденции изменения состояния земляного полотна на основе результатов мониторинга железнодорожной линии Обская – Бованенково <i>И.Г.Мацкепладзе, Г.И.Нак</i> .....	205
Полевые исследования криогенных процессов в Норильском регионе <i>П.Э. Мельник, А.А. Маслаков</i> .....	206
О необходимости разработки критериев учета интенсивности выветривания грунтов во времени при строительстве линейных сооружений (на примере Амуро-Якутской железнодорожной магистрали) <i>А.Е. Мельников, С.С. Павлов</i> .....	208
Обеспечение надежности оснований и фундаментов объектов добычи и транспорта газа на севере Западной Сибири в условиях потепления климата и деградации многолетнемерзлых грунтов <i>С.Н. Меньшиков, А.Б. Осокин, И.С. Морозов</i> .....	210
Прогноз изменения геокриологических условий участка проектируемой плотины (Западный Ямал) <i>Т.Е. Миронова, С.Ю. Пармузин</i> .....	212
Геокриологические условия северо-восточной части Западно-Сибирской плиты <i>И.Е.Мисайлов, М.Н.Железняк, О.А.Казанский, Ф.Н.Зепалов</i> .....	214
Динамика береговой криолитозоны <i>М.М. Михайлова</i> .....	217
Гидрометеорологические условия периодов массового селеобразования на острове Сахалин <i>П.В.Михайловский</i> .....	219
Исследования прочностных свойств оттаивающих грунтов <i>Ю.В.Молчанова</i> .....	221
Качество воды и основные антропогенные процессы в озерах Русской Арктики <i>Т.И. Моисеенко, А.В. Соромотин</i> .....	223
Построение 3D моделей ММП на основе комплекса сейсмических и скважинных данных с целью прогноза геокриологических опасностей при освоении месторождений полуострова Ямал <i>Б.В.Монастырев, Л.В. Шишканова, А.Г.Кощеев, С.Б.Монастырев, Ю.Б.Баранов, Е.В.Перлова</i> .....	226
Обеспечение стабильности оснований, как условие устойчивого развития городской среды в условиях вечной мерзлоты Северо-Востока России <i>С.С.Морозов</i> .....	227

Газогидраты в криолитозоне <i>Л.Морозова</i> .....	229
Геотехнические проблемы эксплуатации подземного нефтепровода в криолитозоне севера Западной Сибири <i>Д.Р.Мулламуров, В.В.Самсонова</i> .....	230
Психобиологическая характеристика качества жизни у жителей северных городов <i>А.Г. Наймушина, С.В. Соловьева</i> .....	232
Результаты развития инновационной инфраструктуры криологических исследований Тюменского государственного нефтегазового университета <i>В.В.Новоселов</i> .....	234
Позднеплейстоценовый криолитообразование и почвы центра Восточно-Европейской равнины <i>А.Ю. Овчинников, Л.А. Гугалинская, И.М. Ваганов</i> .....	236
Каменные глетчеры Алтая и их современное состояние <i>О.В. Останин</i> .....	238
Результаты натурных исследований влияния ландшафтных условий на динамику сезонно-талого слоя в Игарском регионе <i>Е.А. Остроумова</i> .....	240
Оценка эффективности дренажных систем для решения гидрогеоэкологических проблем города Якутска <i>Н.А. Павлова, М.В. Данзанова, В.С. Ефремов, Ф.Е. Попенко</i> .....	242
Определение плотности мерзлых грунтов в лабораторных условиях <i>О.О. Паньков, С.В. Якушкин</i> .....	244
Физическая суть нового подхода к технологии термолюминесцентного датирования при определении абсолютного возраста многолетнемерзлых пород <i>Д.А. Панюков, В.С. Шейнкман, А.Д. Писарев</i> .....	246
Использование минеральных сорбентов при рекультивации Шламовых Амбаров на Крайнем Севере <i>В.Н. Пермяков, В.Г. Парфенов, Г.Л. Петров, С.В. Александров</i> .....	248
К вопросу о датировании мерзлых толщ: разработка новых подходов, методики и аппаратуры при проведении термолюминесцентного датирования <i>А.Д. Писарев, В.С. Шейнкман, Д.А. Панюков</i> .....	250
Анализ временной структуры состояний на территории Уренгойского месторождения, на примере южной лесотундры <i>К.А. Попов, П.Т. Орехов, Н.Г. Украинцева</i> .....	252
Физико - механические свойства многолетнемерзлых грунтов на территории Чаяндинского НГКМ <i>В.В.Протодьяконов, С.П.Дмитреева, А.Н.Цеева</i> .....	254
Формирование температурного режима грунтов оснований и оценка устойчивости инженерных сооружений заполярного месторождения при современных колебаниях климата <i>Е.А. Пульников</i> .....	255
Роль составляющих теплообмена в динамике мерзлотных условий Сытыканского гидроузла <i>А.В. Радостева, С.А. Великин</i> .....	257
Тепловое взаимодействие системы «Вертикальная факельная установка – многолетнемерзлые грунты основания» с учетом процессов излучения и парообразования <i>А.И. Ракова, Н.Б. Кутвицкая, М.А.Магомедгаджиева</i> .....	259
Эффективность применения арктических тампонажных систем в интервалах залегания мерзлых пород <i>Д.А. Речанов, А.С. Коростелев, В.Г.Кузнецов</i> .....	261
Геотехнические карты в структуре информационного сопровождения инженерных изысканий <i>Ф.М.Ривкин, И.Л.Кузнецова, Н.В.Иванова, И.В.Чехина, И.Пармузин</i> .....	262
Исследование термического режима верхней части многолетнемерзлых пород с целью обеспечения геоэкологической устойчивости нефтедобывающих комплексов (на примере Ардалинского нефтепромысла) <i>А.Н.Рогач</i> .....	264
Криосфера как среда обитания и сохранения биоразнообразия микроорганизмов <i>О.В. Рузова, В.В. Самсонова, В.О. Доманский, О. Е. Дручина</i> .....	265

Криогенные процессы в почвах Южной Тундры <i>Г.В. Русанова, О.В. Шахтарова</i> .....	267
Принципы картирования оснований объектов обустройства нефтегазового комплекса в сложных геокриологических условиях <i>А.В. Рязанов, А.И. Шигапов, В.Д. Кауркин</i> .....	269
Основные мерзлотно-экологические проблемы при освоении газовых промыслов на севере Западной Сибири <i>С.Д. Савельева, Е.Е. Корнеева</i> .....	271
Изучение геокриологических условий острова Кашин в дельте Печоры с помощью сейсмических методов <i>М.Р. Садуртдинов, А.Г. Скворцов, А.М. Царев, Г.В. Малкова</i> .....	273
Опыт строительства и эксплуатации зданий и инженерных сооружений в криолитозоне на примере г. Мирный (Якутия) <i>В.В. Самсонова, О.О. Паньков</i> .....	275
Вынос органического углерода из зазрушающихся берегов и его распределение на подводном береговом склоне (п-ов Буор-Хая, море Лаптевых) <i>А.В. Сандаков, М.Н. Григорьев, Ф. Гюнтер, П. Овердуин</i> .....	277
Реакция криолитозоны Северного Тянь-Шаня на климатические изменения <i>Э.В. Северский</i> .....	279
Геотемпературное поле и криолитозона Вилуйской синеклизы <i>В.П. Семёнов, М.Н. Железняк</i> .....	281
Изучение распространения межмерзлотных водоносных таликов в Центральной Якутии и геотермического состояния перекрывающих их мерзлых пород <i>А.А. Семерня</i> .....	283
Мониторинг глубины сезонного протаивания в нижнем течении реки Енисей на площадке CALM R-40, г. Игарка <i>Я.Е. Сергиевская, С.В. Познаркова, Н.И. Тананаев</i> .....	285
Мониторинговые наблюдения за динамикой температурного режима горных пород в Восточной Сибири <i>С.И. Сериков, М.Н. Железняк, С.А. Гулый, Ю.Б. Скачков, В.Т. Рузанов, В.Е. Романовский, А.А. Холодов</i> .....	287
Результаты сейсмических исследований на геокриологическом стационаре Марре-Сале (Ямал) <i>А.Г. Скворцов, В.А. Дубровин, М.Р. Садуртдинов, А.М. Царев</i> .....	289
Мониторинг поземных вод ЯНАО <i>М.Г. Скрыпникова, Ю.В. Беспалова</i> .....	291
Изучение обнажений сегрегационного и пластового льда на Вальковской террасе <i>А.М. Смирнов, Т.В. Васильева, В.И. Гребенец</i> .....	293
Сообщество молодых мерзловедов России (задачи и перспективы) <i>Ю.В. Станиловская, А.В. Баранская, Н.Г. Белова, П.А. Горбачев, Г.Н. Краев, А.А. Урбан, А.В. Хомутов, Д.Г. Шмелев</i> ....	295
Способ разделения материалов сверхзвуковой струей криоагента <i>А.И. Стариков, И.В. Соловьев, Н.Н. Сапронова</i> .....	297
Приводы шаровых кранов для суровых условий эксплуатации <i>В.Н. Сызранцев</i> .....	298
Проблемы проектирования теплоизоляции оснований вертикальных стальных цилиндрических резервуаров, возводимых в криолитозоне <i>А.А. Тарасенко, П.Ф. Сильницкий, Д.А. Тарасенко</i> .....	300
Четвертичные отложения возвышенности Джелон-Сисэ (Яно-Индибирская низменность) <i>В.Е. Тумской, Е.А. Жукова, Х. Мейер</i> .....	302
Оценка опасности водноэрозионных процессов при освоении месторождений углеводородов полуострова Ямал <i>К.Л. Унанян</i> .....	304
Влияние многолетнемерзлых пород на особенности почвенного покрова Северо-Сибирской низменности <i>Усачева А.А., Горбунова И.А., Голубева Е.И.</i> .....	305
Газоопасность криолитозоны Ямальского региона (полуостров Ямал и шельф Карского моря) <i>Ю.А. Ухова</i> .....	307
Динамика мощности деятельного слоя в ландшафтах Северо-Восточной Якутии на рубеже XX-XXI веков <i>Д.Г. Федоров-Давыдов, Д.А. Гиличинский, С.П. Давыдов, В.Е. Остроумов, В.А. Сорокинов, А.Л. Холодов</i> .....	309

Квазижидкие плёнки в гляциальных и мерзлых системах <i>В.И. Федосеева, Н.Ф. Федосеев</i> .....	311
Комплексирование методов при инженерных изысканиях в зоне многолетней мерзлоты <i>В.С. Фролов</i> .....	313
Межгоддовая изменчивость строения и теплопроводящих свойств снежного покрова <i>Д.М. Фролов</i> .....	315
Моделирование протаивания многолетнемерзлых пород при наличии теплоизоляционного слоя <i>И.Л. Хабибуллин, Г.В. Лобастов</i> .....	316
Натурные исследования на трассе Бованенково – Байдарацкая Губа для обеспечения исследований по надежной эксплуатации газопроводов на Ямале. <i>А.П. Хольнов, Н.Н. Хренов</i> .....	318
Исследование рациона питания работников на Севере в различный период года <i>Р.Г. Хусаинова</i> .....	321
Исследования прочностных свойств оттаивающих грунтов <i>М.Н.Царапов</i> .....	322
Методика выбора оптимального размещения трассы нефтепровода на местности на основе использования стоимостных инженерно-геокриологических карт ( на примере надземного участка нефтепровода Ванкор-Пурпе) <i>М.Ю. Чербунина, Л.Н. Хрусталева</i> .....	324
Опыт применения методов скважинной геофизики для исследования растепления многолетнемерзлых пород вблизи добычных нефтяных скважин на кустовых площадках месторождений Западной Сибири <i>А.О. Черепанов</i> .....	326
Оценка ущерба от криогенных процессов и проблема страхования их последствий для территории РФ <i>И.В. Чеснокова</i> .....	328
Влияние низких температур воздуха на расход топлива автомобилей, эксплуатирующихся на компримированном природном газе и бензине <i>Е.М. Чикишев</i> .....	330
Создание и ведение пространственной базы данных при проведении геотехнического мониторинга трубопроводного транспорта <i>В.А. Чихарев</i> .....	332
Определение зависимостей физических характеристик мерзлых грунтов вблизи п. Мыс Каменный <i>Е.С. Чубарева</i> .....	334
Изменение параметров многолетней мерзлоты в конце 20-го – начале 21-го веков <i>Е.В. Шалина, Л.С. Лебедева, Л.П. Бобылев, К.Э. Земесзиркс</i> .....	335
Техногенные изменения геокриологических условий железнодорожной линии Обская-Бованенково (полуостров Ямал) по результатам инженерно-геокриологического мониторинга <i>И.И. Шаманова, С.Н.Тутков, А.В. Максимов</i> .....	337
Расчет динамики ореола оттаивания от горизонтальной факельной установки <i>Д.В. Шевелева</i> .....	339
Картографирование динамики мерзлотных ландшафтов и оценка их устойчивости (на примере Приленского плато) <i>А.А. Шестакова</i> .....	341
Криолитозона, климат, риски чрезвычайных ситуаций <i>Д.М. Шестернев</i> .....	343
Вековое изменение температуры морского дна Баренцева и Карского морей <i>Р.С. Широков, А.А.Васильев</i> .....	345
Методы определения оптимальной влажности снежной массы для строительства снеголедовых дорог <i>В.П. Шитый, Ш.М. Мерданов, А.В. Шаруха, М.Ю. Спиричев</i> .....	347
Амебодные протисты в мерзлотных почвах Колымской низменности <i>Л.А. Шмакова</i> .....	348
Мониторинг деятельного слоя на севере Средней Сибири <i>С.М.Шпунтов, В.И.Гребенец, Д.Г.Шмелёв</i> .....	350

Термоэрозия и оврагообразование на Тазовском полуострове <i>А.М. Шпунтова, Е.Е. Корнеева, А.В. Быкова, В.Б. Павлушин</i> .....	352
Экологические проблемы территории нефтегазовой промышленности в криолитозоне Среднего Приобья <i>Н.К. Шумская, Т.М. Потапова</i> .....	354
Сопоставление длительного эквивалентного сцепления суглинка по двум прогнозным уравнениям <i>Юань Фэй</i> .....	355
Карты геокриологического районирования Арктических регионов криолитозоны <i>Н.В.Ястреба, Л.Н.Крицук, В.А.Дубровин</i> .....	357
Моделирование состояния вечной мерзлоты в контрастных климатических условиях <i>П.А.Морозова</i> .....	359
Тема изменений климата в новом «Докладе о социально-экономическом развитии Арктики (2014 год)» <i>А.Н.Пилясов, В.И.Сморчкова</i> .....	360
Погребенные почвы Колымской низменности: их место и роль в ландшафтах Палеарктики <i>Л.А.Фоминых, Б.Н.Золотарева, Д.Л.Пинский</i> .....	361
Именной указатель .....	364



## Оценка и прогноз изменения инженерно-геологических условий с целью обеспечения устойчивости зданий и сооружений в г. Надыме

И.В. Абатурова, И.А. Емельянова

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия

Геологическая среда городской инфраструктуры в криогенной зоне является чрезвычайно чувствительной и неустойчивой к техногенным воздействиям и за всю историю развития претерпевает серьезные нарушения, которые выражаются в уничтожении древесной и кустарниковой растительности, подрезке склонов, подсыпке песчаным грунтом строительных площадок и проезжих частей улиц, снегозаносимости территории и т.д. Все это приводит к существенному изменению температурно-влажностных условий, глубин сезонного промерзания и оттаивания, увеличению глубины залегания кровли многолетнемерзлых пород, формированию новообразований мерзлоты.

Наиболее показательным в этом отношении является г. Надым, строительство которого началось в 1972 г., в связи с освоением крупнейшего месторождения газа «Медвежье». Здания возводились по II принципу строительства на ленточных фундаментах [Емельянова 2011], в конструкциях предусмотрено наличие подвальных помещений и вентиляционных отверстий, которые впоследствии ликвидировались ввиду снегозаносимости и затопления подвальных помещений поверхностными стоками. По мере промышленного освоения района стали осваиваться краевые участки, где строительство велось на свайных основаниях по I принципу, с сохранением мерзлого состояния грунтов. Уже в первые годы (3-5 лет) эксплуатации зданий стали проявляться деформации в виде трещин в штукатурке, в стенах и др. Со временем виды и характер деформаций значительно увеличиваются вплоть до потери сооружениями эксплуатационной надежности и устойчивости.

В связи с этим возникла необходимость объективной оценки и прогноза изменения инженерно-геологических условий (ИГУ), базирующихся на установлении основных природных компонентов и закономерностей их пространственной изменчивости, выполнении специального инженерно-геологического районирования, с целью обеспечения оптимального функционирования зданий.

Оценка и прогноз состояний литотехнической системы (ЛТС) городских территорий в сложных инженерно-геологических условиях не могут быть выполнены с помощью традиционных методов инженерной геологии, они требуют принципиально новых методов, основанных на анализе и синтезе различных взаимодействий компонентов ИГУ и комплекса сооружений города, рассматриваемых в качестве единой целой ЛТС, которые причинно-следственно взаимосвязаны и взаимообусловлены.

Нами предлагается методика прогноза изменения ИГУ на базе интегральной оценки природных компонентов, основные положения которой разработаны

Г.К. Бондариком и В.В. Пендиным. Процедура интегральной оценки представлена следующим алгоритмом: формирование набора компонентов ИГУ и их количественное выражение, построение моделей полей геологических параметров, выбор целевого предиката, построение и анализ корреляционной матрицы, определение весовых коэффициентов, нормирование характеристик, расчет и построение модели поля интегрального показателя, которая в свою очередь станет основой при составлении карты специального инженерно-геологического районирования территории города по степени устойчивости, с выделением участков благоприятных для строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

С целью установления закономерностей пространственной изменчивости компонентов ИГУ необходимо полученную информацию перевести из качественной формы в количественную. Для решения данной задачи были предложены геологические параметры оценки компонентов ИГУ, к которым относятся: показатель дисперсности ( $C_d$ ), мощность торфа ( $m_t$ ), глубина залегания подошвы торфа ( $h_t$ ), мощность мерзлых перелетков ( $m_{пер.}$ ), глубина залегания кровли многолетнемерзлых пород ( $K_{ММП}$ ), плотность мерзлого грунта ( $\rho_{мерз.}$ ), плотность сухого грунта ( $\rho_d$ ), суммарная влажность ( $W_c$ ), влажность за счет незамерзшей воды ( $W_n$ ), суммарная льдистость ( $L_c$ ), глубина сезонного промерзания ( $h_{СП}$ ), глубина сезонного оттаивания ( $h_{СО}$ ).

Построение моделей полей геологических параметров выполнено методами математического моделирования с применением компьютерных технологий с использованием программного обеспечения ArcGis на основе результатов инженерно-геологических исследований. Полученные модели позволили установить общие и локальные закономерности изменения природных компонентов, которые являются основой интегральной оценки и прогноза ИГУ [Абатурова, Емельянова, Савинцев 2010].

Далее для целей оценки и прогноза изменения ИГУ города с помощью интегрального показателя, в качестве целевого предиката (зависимой переменной) принят износ зданий (по данным БТИ, оценка физического износа всех конструктивных элементов здания, %).

Методами корреляционно-регрессионного анализа установлены статистически значимые связи между износом зданий и геологическими параметрами компонентов ИГУ. В результате получено множественное уравнение регрессии, имеющее следующий вид:

$$I_{\Phi} = 37,73 + 8,74 \cdot C_d + 1,03 \cdot m_t + 2,12 \cdot h_t + 0,96 \cdot m_{пер.} - 0,23 \cdot K_{ММП} - 2,18 \cdot \rho_{мерз.} - 43,89 \cdot \rho_d + 2,66 \cdot W_c + 0,01 \cdot W_n - 1,47 \cdot L_c - 2,48 \cdot h_{СП} - 2,36 \cdot h_{СО}$$

где  $C_d$  – показатель дисперсности, д.ед.;  $m_t$  – мощность торфа, м;  $h_t$  – глубина залегания подошвы торфа, м;  $m_{пер.}$  – мощность мерзлых перелетков, м;  $K_{ММП}$  – глубина залегания кровли многолетнемерзлых грунтов, м;  $\rho_{мерз.}$  – плотность мерзлого грунта, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_d$  – плотность сухого грунта, г/см<sup>3</sup>;  $W_c$  – суммарная влажность, д.ед.;  $W_n$  – влажность за счет незамерзшей воды, д.ед.;  $L_c$  – суммарная льдистость, д.ед.;  $h_{СП}$  – глубина сезонного промерзания, м;  $h_{СО}$  – глубина сезонного оттаивания, м.

Значение множественного коэффициента корреляции (0,92), свидетельствует о наличии тесной связи между износом зданий и компонентами ИГУ, т.е. подтверждает правильность построения содержательной концептуальной модели.

На основе средних значений нормированных оценок геологических параметров для каждого из 1310 квадратов сетки были рассчитаны значения интегрального показателя сложности ИГУ, который представляет собой линейную, аддитивную функцию взвешенных по вкладу в оценку нормированных значений компонентов ИГУ:

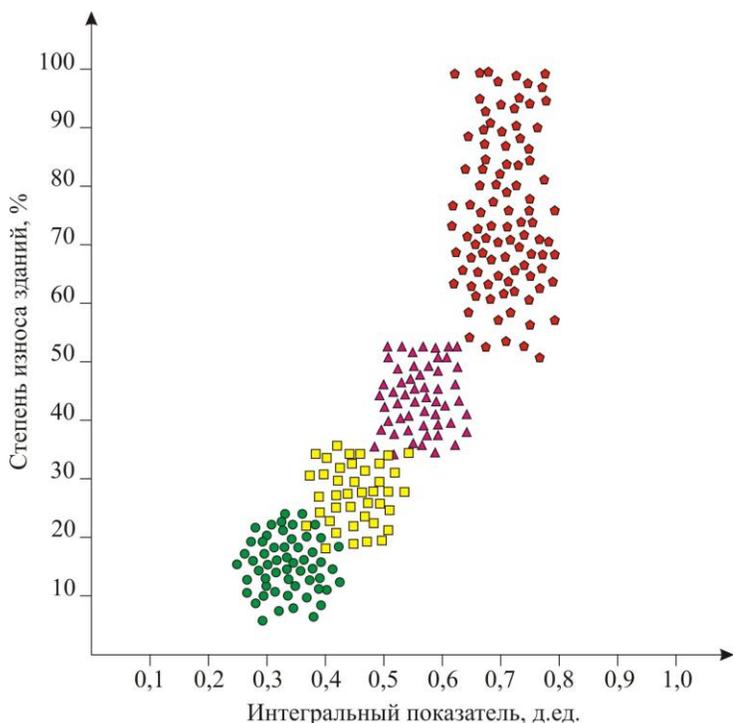


Рис.1. Зависимость износа зданий от интегрального показателя

$$J_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n g_i \cdot R_i^n,$$

где  $g_i$  – весовой коэффициент;

$R_i^n$  – нормированная оценка  $i$ -го параметра ИГУ;

$n$  – число значащих параметров ИГУ.

Для установления граничных значений интегрального показателя был построен график зависимости износа зданий от интегрального показателя (рис.1).

На основе совмещения модели поля интегрального показателя и графика зависимости износа зданий от интегрального показателя выполнено специальное (прогнозное) инженерно-геологическое районирование территории г.Надыма с выделением четырех классов устойчивости, отвечающих разной сложности ИГУ: I класс – относительно устойчивые,  $J=0,32-0,4$  д.ед.; II класс – средней устойчивости,  $J=0,4-0,5$  д.ед.; III класс – низкой устойчивости,  $J=0,5-0,6$  д.ед.; IV класс – неустойчивые,  $J=0,6-0,76$  д.ед.

Полученные оценки воздействия геологических процессов в целом согласуются с распространением в их пределах деформаций зданий промышленно-гражданского назначения, а также с данными об ИГУ строительства на отдельных участках.

Представленная картографическая модель может являться основой при проектировании зданий и сооружений, разработке и организации мониторинга ЛТС в г. Надыме.

## Литература

- Абатурова И.В., Емельянова И.А., Савинцев И.А.. Основные принципы инженерно-геологического районирования // Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии. Труды Международной научной конференции (Москва, геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 25-26 мая 2010 г.). – М.: Издательство Московского университета, 2010. с. 210-211.
- Емельянова И.А. Основные причины деформаций зданий и сооружений городов криолитозоны. Литосфера. 2011, №3. с. 144-149.

## Подземные воды криолитозоны

А.Н. Агафонцева

*Институт геологии и нефтегазодобычи, ТГНГУ, Тюмень, Россия*

### Аннотация

В настоящее время изучение вечной мерзлоты является актуальной темой, так как около 65% территории России занято многолетнемерзлыми породами (ММП). Все они разные по своему строению и характеру распространения. В России ММП сплошного распространения занимают 53%, прерывистой – 15%, массивно-островной 19% и островной 13% от общей площади криолитозоны.

**Ключевые Слова:** криолитозона; многолетнемерзлые породы; мерзлота; подземные воды; талики.

### Понятие криолитозоны

Территория на которой распространены многолетнемерзлые породы, носит название криолитозоны (греч. “криос” - холод, “литос” -камень, порода).

Криолитозона состоит из мерзлых, морозных и охлажденных пород. Под мерзлыми понимают такие породы, которые содержат в своем составе лед и характеризуются отрицательными температурами. Морозные породы отличаются от мерзлых тем, что в них отсутствует вода и лед. Такие породы чаще всего представлены магматическими и метаморфическими их разновидностями, а также сухими песками и галечниками. Охлажденные породы также имеют температуру ниже 0°C и насыщены минерализованными солеными водами - криопэгами (греч. “криос” -холод, “пэги” соленые воды).

#### *Распределение криолитозоны*

Криолитозона широким кольцом охватывает пространство вокруг Северного Ледовитого океана и занимает в целом около 25% площади всей суши и 65% территории России. Многолетнемерзлые породы есть в виде “островов” и в привершинных участках высокогорных хребтов в Альпах, на Кавказе, на Тянь-Шане и Памире, в Гималаях и других местах, занимая, в общей сложности 3 млн. км<sup>2</sup>.

Распространение криолитозоны таково, что в южных районах она располагается отдельными островами среди талых пород. Мерзлые породы имеют мощность 10-25 м и залегают в виде линз. Севернее располагается зона не сплошных мерзлых пород мощностью до 100 м, в которой много таликов - участков непромерзших пород. Севернее, обычно, криолитозона занимает все пространство, а ее мощность увеличивается до 1000-1500 м.

Мощность “вечной мерзлоты” изменяется в очень широких пределах от первых метров по южной окраине ее распространения, до 1000 м и даже 1500 м.

#### *Происхождение криолитозоны*

Области сплошной «вечной мерзлоты» начали возникать еще в позднем плейстоцене – 2 млн. лет назад, но сплошная криолитозона, уже не исчезающая впоследствии, образовалась около 650 000 лет назад, т.е. в раннем плейстоцене в пределах севера Сибирской платформы. В равнинных участках материков распространение

криолитозоны связано с широтной зональностью, т.к. количество солнечной радиации становится меньше к северу, понижаются среднегодовые температуры, увеличивается альbedo – отражательная способность поверхности Земли вследствие длительного сохранения снежного покрова. Снежное поле отражает до 90% солнечной радиации, тогда как вспаханное поле только 7-8%. В горных районах наблюдается высотная геокриологическая зональность. Возможно, что в горах Памира и Гималаях мощность криолитозоны возрастает и до 3000 м.

Мощность криолитозоны зависит от очень многих факторов: широты местности, ландшафта, рельефа, геологического строения, структуры и теплового потока.

#### *Строение криолитозоны*

В пределах распространения криолитозоны кровля многолетнемерзлых пород всегда залегает на некоторой глубине, которая определяется мощностью слоя, оттаивающего летом. Этот слой называется сезонноталым, он полностью промерзает. В криолитозоне и на таликах зимой образуется сезонномерзлый слой, который подстилается немерзлыми или тальными породами. Летом этот слой полностью оттаивает.

Глубина промерзания или протаивания имеет важное значение и зависит от количества солнечной радиации, поступающей в данный район летом и зимой.

В различных геологических районах строение криолитозоны может отличаться. Местами развиты только мерзлые породы. В других районах, например, на древних платформах, где осадочный чехол перекрывает метаморфический фундамент, первый представлен мерзлыми, а второй морозными породами.

На бережьях морей Ледовитого океана под мерзлыми породами залегают охлажденные породы с криопэгами и переход между ними постепенный. Верхняя толща мерзлых пород имеет более молодой возраст, чем более нижняя.

### Подземные воды криолитозоны

Образование многолетнемерзлых пород, являющихся водоупорами, сильно изменили условия водообмена атмосферных и подземных вод в криолитозоне. Большая часть пресных подземных вод в криолитозоне приурочена к таликам. Таликами или тальными зонами называются

толщи талых горных пород, которые развиты с поверхности земли или под водоемами и реками и которые непрерывно существуют более десятка лет. Если талики снизу подстилаются мерзлыми породами, то они называются надмерзлотными или несквозными, а если талики только обрамляются по бокам мерзлыми породами, как стенками, то они носят название сквозных. Талики также могут быть межмерзлотными и внутримерзлотными в виде линз «тоннелей», «трубы», ограниченными со всех сторон мерзлыми породами. Подземные воды криолитозоны по отношению к мерзлым породам (криогенным водоупорам) подразделяются на:

- 1) надмерзлотные;
- 2) межмерзлотные;
- 3) внутримерзлотные;
- 4) подмерзлотные воды.

Надмерзлотные подземные воды подразделяются на временные воды деятельного слоя и постоянные воды несквозных таликов. Временные воды существуют только летом, и глубина их залегания не превышает кровли мерзлых пород. Воды имеют важное значение для процессов солифлюкции, образования курумов, оплывин, пучения пород.

Постоянные воды связаны с несквозными таликами над кровлей мерзлых пород и они отвечают за образование гидролакколитов, бугров пучения, наледей.

Межмерзлотные воды обычно располагаются между двумя слоями мерзлых пород, например, между голоценовым верхним и реликтовым, позднемиоценовым, нижним. Эти воды чаще всего динамически неактивны.

Внутримерзлотные воды, о чем говорит их название существуют внутри толщи мерзлых пород и находятся в замкнутых объемах, будучи приуроченными к таликам в карстующихся известняках.

Подмерзлотные воды циркулируют вблизи подошвы мерзлой толщи, обладают положительными температурами, иногда слабо или сильно минерализованы и могут быть напорными и ненапорными, а также контактирующими с мерзлой породой или неконтактирующими, т.е. отделенными слоем талых пород от мерзлых.

### Литература

- Джон Б., Дербишир Э., Янг Г. Зимы нашей планеты. – М., 1982; 253 с.
- Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение (геокриология). – М.: Изд-во МГУ, 1978. 464 с.
- Павлов А.В. Закономерности формирования криолитозоны при современных изменениях климата // Известия РАН, серия геогр., 1997, N 4, с. 61-73.
- Палмер. Геология. – М., 1984; 485 с.

## Теплофизические свойства напочвенных покровов

Д.М. Алексютина, Р.Г. Мотенко

Кафедра геокриологии, геологический факультет, Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

### Введение

Исследования проводились в Верхне-Чарской впадине, которая расположена между хребтами Кодар и Удокан на севере **Забайкальского края**. Территория Верхне-Чарской относится к области сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Среднегодовые температуры воздуха около  $-7,2^{\circ}\text{C}$ . Глубина оттаивания в районе приречных равнин изменяется от 0,5 до 0,8 м.

Под напочвенными покровами понимаются мохово-торфяные подушки, лишайниковые покровы, лесные подстилки и др., которые играют важную роль в теплообмене горных пород с атмосферой. Специфической особенностью этих покровов является динамичность свойств [Гаврильев 2004]. При прогнозе температурного режима и глубины сезонного оттаивания (промерзания) пород необходимо учитывать процессы промерзания – протаивания самих напочвенных покровов, а также их влияние в талом и мерзлом состояниях на тепловой режим подстилающего грунта [Фельдман 1988].

Данные по теплопроводности напочвенных покровов нашли отражения в работах различных авторов [Заболотник 1966, Чернядьев и Пакулин 1989, Шендера 1986, Фельдман и др.1988, Фикии и др. 2008], однако их сложно обобщить из-за отсутствия конкретной информации по влажности и плотности изучаемых объектов.

### Методики и объект исследований

Напочвенные покровы, встречающиеся на изучаемой территории, представлены дерном, мхом, лишайником и травянистой растительностью. Влажность отобранных в полевых условиях образцов изменяется от 250 до 375%, плотность от 100 до 1000  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Определение теплофизических характеристик исследуемых образцов проводилось в лабораторных условиях методом регулярного режима первого рода, [Методы геокриологических исследований 2004], а также с помощью автоматизированного измерителя теплофизических свойств «ИТС- $\lambda\text{c}$ -10».

### Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Получены значения коэффициентов теплопроводности ( $\lambda$ ) и температуропроводности ( $a$ ) для напочвенных покровов при положительных и отрицательных температурах. Влажность и плотность покровов изменяются в большом диапазоне, поэтому все данные были обобщены в зависимости от объемной влажности ( $W_n$ ):

$$\text{для талых грунтов } W_n = W \cdot \rho_d / \rho_i \quad (1)$$

$$\text{для мерзлых грунтов } W_n = W \cdot \rho_d / \rho_i \quad (2)$$

где  $W$  – весовая влажность (%),  $\rho_d$  – плотность скелета ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ),  $\rho_i$  – плотность льда.

На рисунке 1 показаны зависимости коэффициентов теплопроводности (А) и температуропроводности (Б) напочвенных покровов от объемной влажности при положительных (1) и отрицательных (2) температурах.

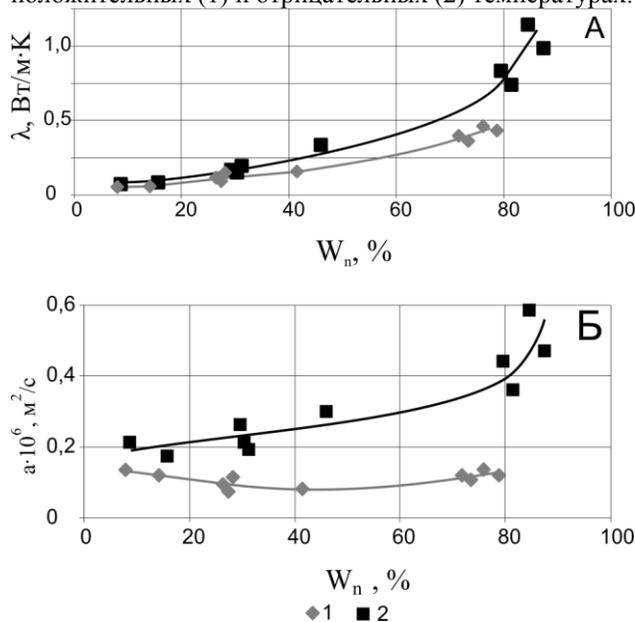


Рис 1. Зависимости коэффициентов: А – теплопроводности и Б – температуропроводности напочвенных покровов от объемной влажности. 1 – при положительных; 2 – при отрицательных температурах

Наибольшие значения коэффициентов тепло- и температуропроводности в талом и мерзлом состоянии характерны для дернового покрова (на рисунке 1 точки при объемной влажности больше 70%).

Коэффициент теплопроводности покровов имеет более низкие значения, чем у торфа (рис.2), потому что они менее плотные и содержат больше низкопроводного воздуха.

Результаты лабораторных исследований теплопроводных свойств покровов были сопоставлены с результатами, полученными ранее другими авторами, и обобщены в зависимости от  $W_n$  (Рис 3).

Полученные нами экспериментальные данные по теплопроводности и литературные оказались близки, и могут быть обобщены одной зависимостью от  $W_n$ .

Сопоставление результатов исследования температуропроводности представлено на рисунке 4.

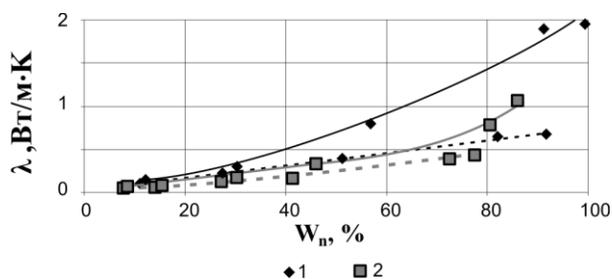


Рис 2. Зависимости коэффициента теплопроводности торфа и напочвенного покрова от объемной влажности (пунктиром показаны значения при положительной температуре, сплошной – при отрицательной): 1 – торф; 2 – напочвенный покров

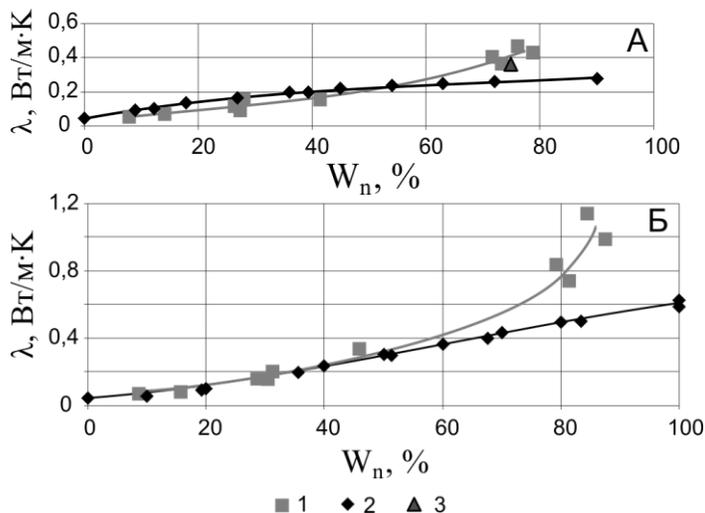


Рис 3. Зависимость коэффициента теплопроводности напочвенного покрова при положительных (А) и отрицательных (Б) температурах от объемной влажности: 1 – наши данные; 2 – по Р.И. Гаврильеву [2004], 3 – по С.И.Заболотнику [1966]

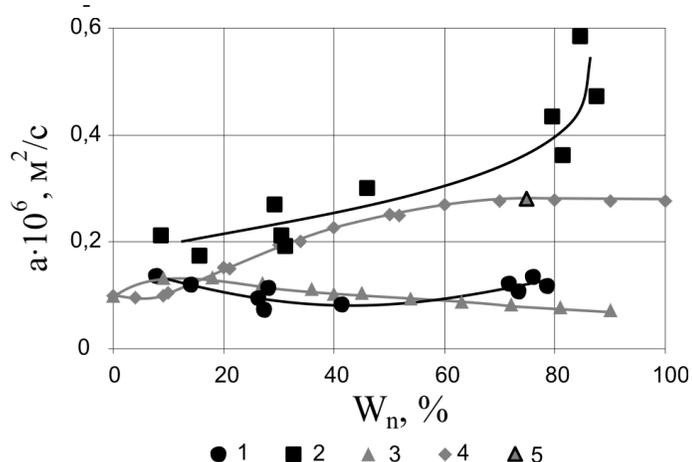


Рис 4. Зависимость коэффициента температуропроводности напочвенных покровов от объемной влажности: 1, 2 – данные авторов; 3, 4 – по Р.И. Гаврильеву [2004]; 5 – по С.И.Заболотнику [1966]. 1, 3, 5 – при положительной температуре; 2, 4 – при отрицательной температуре

Различия значений коэффициентов тепло- и температуропроводности связаны, по-видимому, с природным разнообразием напочвенных покровов.

### Выводы

В результате экспериментальных исследований были выявлены:

- диапазоны изменения теплофизических свойств напочвенных покровов различных видов и проведено обобщение полученных результатов от объемной влажности;
- проведено сравнение коэффициентов теплопроводности торфов и напочвенных покровов;
- проведено обобщение теплофизических характеристик напочвенных покровов по полученным и литературным данным.

Таким образом, получены новые результаты по теплопроводным свойствам напочвенных покровов, которые необходимы при моделировании температурного режима и расчетах глубины сезонного оттаивания пород.

### Литература

Гаврильев Р.И. 2004. Теплофизические свойства компонентов природной среды в криолитозоне: Справочное пособие. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 146с.

Заболотник С.И. 1966. Многолетнемерзлые горные породы Верхне-Каларской котловины, Геокриологические условия Забайкальского Севера. – М.: Наука. С. 68 - 82.

Методы геокриологических исследований. 2004. – М.: Изд-во МГУ, 512с

Фельдман Г.М. 1983. Методическое пособие по прогнозу температурного режима вечномерзлых грунтов (на примере севера Западной Сибири). – Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 41с.

Фельдман Г.М., Тетельбаум А.С., Шендер Н.И., Гаврильев Р.И. 1988. Пособие по прогнозу температурного режима грунтов Якутии. – Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 240с.

Чернядьевым В.П., Пакулин В.А. 1989. Рекомендации по прогнозу теплового состояния мерзлых грунтов. Стройиздат, 72 с.

Шендер Н.И. Рекомендации по прогнозу температурного режима грунтов (на примере центрального и восточного участков зоны БАМа). – Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1986. 58с.

Fukui K., Sone T., Yamagata K., Otsuki Yo., Sawada Yu., Vetrova V. and Vyatkina M. Relationships between Permafrost Distribution and Surface Organic Layers near Ezzo, Central Kamchatka, Russian Far East.// Permafrost and Periglacial. Processes.19. 2008: P 85–92.

## Палеокриогенез и современное почвообразование

В.М. Алифанов

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пуцинский государственный естественно-научный институт, г. Пуцино Московской области, Россия*

В современном учении о почве и почвенном покрове как части биосферы Земли историко-генетические проблемы почвообразования, приобретают все большую актуальность. Наименее изученными остаются самые ранние этапы формирования почв, в период перехода от плейстоцена к голоцену, когда процессы почвообразования начали испытывать сильное влияние палеокриогенеза.

Поздний плейстоцен - время разномасштабных, непрерывно меняющихся геологических и палеоэкологических процессов, следствия которых непосредственно влияют на современное почвообразование.

Для науки о почвах достижения смежных дисциплин имеют большое значение, так как современные почвы и почвенный покров имеют сложную и длительную историю развития, начало которой мы относим к позднему плейстоцену. Направленное похолодание в плейстоцене, о котором писал Марков [1986], привело к господству антициклональных условий и становлению сурового, наиболее континентального за всю историю плейстоцена и кайнозоя в целом климата. На вторую половину валдайской эпохи приходится в Европе главная фаза развития мерзлотных процессов [Марков 1986, Величко 1973, Палеоклиматы и палеоландшафты... 2009]. Главный пик похолодания (примерно от 20 до 18 тысяч лет назад) привел к «подлинному расцвету криолитозоны» и возникновению общепланетарного пояса многолетней мерзлоты, южная граница которой на Восточно-Европейской равнине достигала 48° с.ш. В европейском секторе позднеплейстоценовой криогенной области палеогеографами выделяются три главных криогенных горизонта. Нижний из них – смоленский имеет возраст около 100-110 (фаза а) и 85-90 (фаза б) тысяч лет назад. Второй, владимирский, нарушает почвы брянского интерстадиала, и основная фаза его развития приходится на время около 25-23 тысяч лет назад. Самый молодой ярославский криогенный горизонт формировался во время максимума похолодания 20-18 тысяч лет назад. Он отражает наиболее низкотемпературные условия криолитоморфогенеза, когда развивались самые мощные системы ледяных и льдогрунтовых жил. Именно в это время позднеплейстоценовая криогенная область Северного полушария достигла своих максимальных размеров [Палеоклиматы и палеоландшафты... 2009]. В центре Восточно-Европейской равнины формировались ледяные, льдогрунтовые и грунтовые жилы мощностью по вертикали до 3-4 м и размером полигонов 15-20 м [Величко 1973, Алифанов 1995, Алифанов и др. 2010]. Такие условия соответствуют фазе «а» ярославского криогенного горизонта. С фазой «б» ярославского криогенного горизонта (поздний дриас) связано активное проявление других криогенных процессов – преимущественно

мелкополигонального морозобойного растрескивания. Во время этого похолодания многолетняя мерзлота сдвинулась к югу на 700-800 км.

Во время ярославского криогенного этапа был сформирован полигонально-блочный микрорельеф, который к началу голоцена оказался погребенным новым суглинистым наносом, на котором развивались современные почвы. Но даже оказавшись на глубине 1-2 м этот реликтовый криогенный микрорельеф оказывает влияние на формирование современного почвенного покрова через организацию современной дневной поверхности. Реликтовые межблочные понижения спроецировались на современную дневную поверхность, создав на ней регулярную систему микропонижений, в результате чего сформировался микрорельеф, состоящий из разных элементов (см. рис.1).

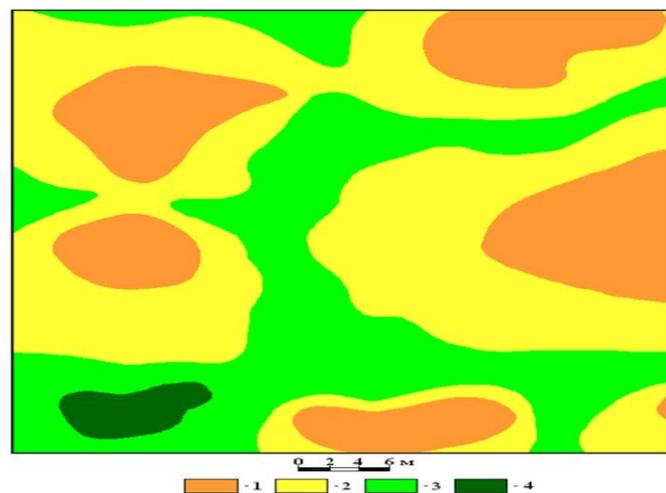


Рис.1. Карта элементов палеокриогенного полигонально-блочного микрорельефа. Серые лесные почвы. Юг Московской обл. 1 – блок-повышение, 2 – склон блока, 3 – межблочное понижение, 4 – межблочная западина.

Современный почвенный покров формируется в виде комплексов почв, в которые входят почвы повышений (блоков) и почвы понижений (межблочий). О том, что эти понижения имеют именно палеокриогенное происхождение свидетельствует наличие в них погребенных крупных грунтовых структур высотой до 3 м (см. рис.2) в дерново-подзолистых и серых лесных почвах и сгущений языков-клиньев высотой около 1 м в черноземах.

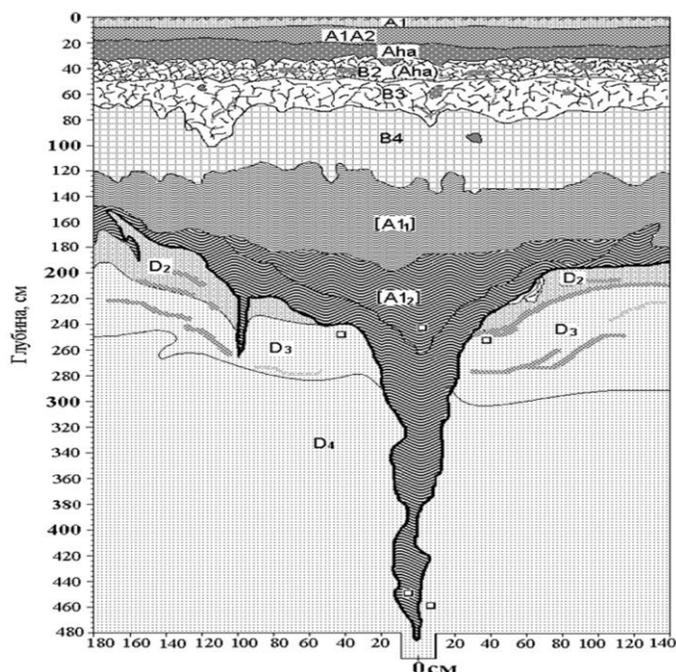


Рис.2. Морфология серой лесной почвы и клиновидной грунтовой структуры. Межблочное понижение. Юг Московской обл. A1, Aha, B4, [A1], D2, D3 и др. – генетические горизонты.

Выявленный нами погребенный палеокриогенный полигонально-блочный микрорельеф существенно влияет на гидрологический режим почв, на формирование морфологических и физико-химических характеристик исследованных черноземов, серых лесных и дерново-подзолистых почв, определяя тем самым разнообразие почвенного покрова.

Влияние на исследованные почвы процессов палеокриогенеза проявляется на разных уровнях структурной организации почв: а) на уровне почвенного покрова, выражающееся в формировании разных типов и подтипов почв на разных элементах палеокриогенного полигонально-блочного микрорельефа; б) на уровне почвенного профиля, выражающееся в разном строении профилей и разных физико-химических характеристиках генетических горизонтов, в разнопорядковой полигональности трещинных образований, отражающих разную напряженность процессов палеокриогенного литогенеза в разные стадии формирования почвообразующих пород.

Таким образом, современное развитие дерново-подзолистых, серых лесных почв и черноземов, наложенное на палеокриогенный микрорельеф, имеет результатом разное строение почвенных профилей в каждой из двух зон палеокриогенного комплекса – блочном повышении и межблочном понижении. Совокупность всех рассмотренных показателей (морфологических, физико-химических) показывает, что разница в строении профилей почв выражается на уровне типа и подтипа почв. Процессы, обусловленные нахождением почвы в палеокриогенном микропонижении, переводят данную почву в другое классификационное положение (см. рис.3). Почвенный покров центра Восточно-Европейской равнины имеет

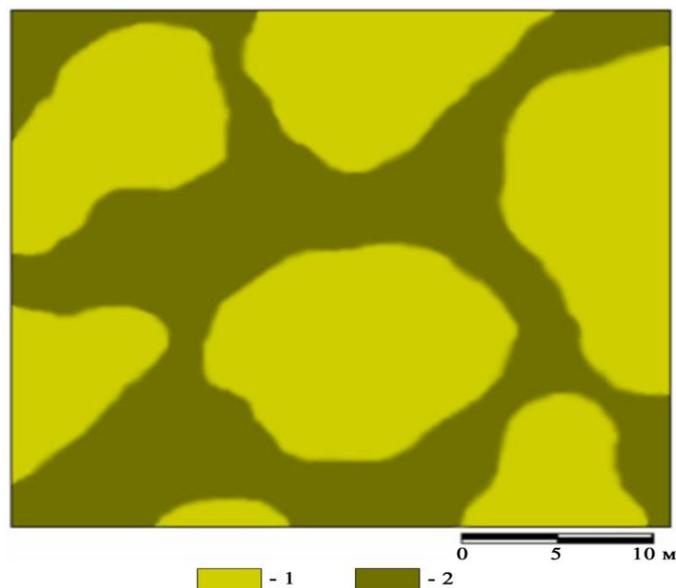


Рис.3. Почвенная карта. Черноземы. Заказник «Каменная степь». Воронежская обл. 1 – черноземы обыкновенные, 2 – черноземы типичные.

комплексную структуру в виде кольцеобразных, ритмически повторяющихся элементарных почвенных ареалов. Результаты, полученные при изучении влияния палеокриогенеза на голоценовое почвообразование, основаны на факторно-экологических показателях и, следовательно, способствуют систематизации почв на высоком уровне – уровне почвенного покрова. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 11-04-00354), Программы Президиума РАН.

## Литература

- Алифанов, В.М. 1995. *Палеокриогенез и современное почвообразование*. – Пушино: Издательство ОНТИ Пушинского научного центра Российской академии наук, 318 стр. (на русском языке)
- Алифанов, В.М., Гугалинская, Л.А., Овчинников, А.Ю. 2010. *Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины*. – М.: Издательство ГЕОС, 160 стр., + вкл. (на русском языке)
- Величко, А.А. 1973. *Природный процесс в плейстоцене*. – М.: Издательство Наука, 256 стр. (на русском языке)
- Марков, К.К. 1986. *Избранные труды. Палеогеография и новейшие отложения*. Москва: Издательство Наука, 280 стр. (на русском языке)
- Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен. Атлас-монография. 2009. – М.: Изд-во ГЕОС, 120 стр. (на русском языке)

## Строительство в северных регионах

А.О.Андреев

*Тюменски государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия*

### Введение

Более 60% территории России находится в зоне, где царствует многолетняя мерзлота, и которую кратко называют Севером. Несмотря на суровые для жизни условия, северные регионы остаются неизменно привлекательными как источники крупнейших природных месторождений нефти, золота и алмазов. В первой половине двадцатого века, когда началось активное промышленное освоение северных территорий, были построены не только индустриальные здания, но и административные, и жилищные, которые со временем превратились в довольно крупные города.

Сегодня трудно переоценить экономическое значение Севера как огромного резервного запаса природного сырья, поэтому неоднократно поднимаются вопросы о проблемах градостроительства и сохранности урбанизированных территорий в северных регионах. Строительство сооружений и зданий в условиях вечной мерзлоты требует соблюдения особых технологий, тщательного изучения грунта и контроля над сооружениями. Любое нарушение технологии строительства или несоответствие архитектурного плана суровым климатическим условиям способны привести к деформации и проседанию здания. Кроме того, ситуация усугубляется прогнозируемым глобальным потеплением, лед – прочная основа как фундамент дома, но до тех пор, пока он не начнет таять.

### Решение проблемы

Успешное строительство в северных регионах возможно только с учетом комплексного подхода, начиная от тщательных геолого-почвенных исследований и заканчивая строгим энергоаудитом. Грамотное проектирование и соблюдение всех строительных норм при возведении здания не являются окончательными работами в условиях постоянного холода. После этапа строительства необходимо тщательное техническое обследование зданий, позволяющее выявить имеющиеся

дефекты, оценить пригодность и работоспособность всех конструкций и спрогнозировать эксплуатационные характеристики здания в будущем. Хорошим методом, помогающим выявить даже скрытые и не видимые на первый взгляд дефектные участки, является тепловизионная съемка. Суть этого метода заключается в получении видеоизображения в невидимом для человеческого глаза тепловом диапазоне, который дает полную информацию о распределении температуры по поверхности объекта и позволяет выявить места протечек воздуха, проектный и строительный брак, нарушение уплотнителя и т.д.

Следующей проблемой, с которой сталкиваются застройщики северных регионов, является проблема энергосбережения. Эффективность потребления тепла зависит от очень многих факторов, среди которых планировочные решения (правильное остекление, теплозащита) и бесперебойная работа систем отопления. Энергетическая диагностика сооружения помогает определить реальные цифры сопротивляемости теплопередаче не только целого здания, но и его отдельных стен. Осуществление обследования помогает выявить недостатки и добиться снижения энергопотребления на 30-40%, а также повысить качество всей системы отопления в целом. Документом, подтверждающим проверку здания, является энергетический паспорт объекта, в котором отражены характеристики, помогающие в дальнейшем вести работы по созданию общего энергетического баланса.

### Заключение

Такие перспективные меры как внедрение новых строительных технологий и грамотная диагностика зданий поможет с успехом противостоят суровой северной природе и со временем решить острую проблему градостроительства в северных регионах России.

## Геокриологические компоненты на инженерно-геологической карте территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000

В.Н. Андрианов, С.Н. Чекрыгина

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО), Россия*

### Аннотация

Инженерно-геологическая карта территории Российской Федерации, составлена в 2011. На карте отображены компоненты инженерно-геологических условий территории Российской Федерации» масштаба 1:2 500 000. Объектами картографирования геокриологического компонента ИГУ являются: распространение и свойства ММП.

**Ключевые Слова:** Инженерно-геологическая карта России, геокриологические компоненты, объекты картографирования.

В 2011 году во ВСЕГИНГЕО была завершена работа по составлению «Инженерно-геологической карты территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000» (ИГК-2500).

Составленная карта – синтетическая карта условий, общая по назначению. На карте отображены главные природные факторы, определяющие инженерно-

геологическую обстановку приповерхностной части земной коры влияющие на условия строительства инженерных сооружений.

Объектами картографирования ИГК-2500 являются компоненты инженерно-геологических условий и их характеристики (рис.1).



Рис.1. Информационная структура объектов картографирования (система объектов первого уровня)

Одной из отличительных особенностей современной ИГК-2500 по сравнению с предыдущей Инженерно-геологической картой (ред. М.В. Чуринов, 1972) является более детальное отображение на ней геокриологических

условий, как одного из компонентов (факторов) инженерно-геологических условий (рис.2).



Рис.2. Информационная структура объектов картографирования второго уровня. Геокриологические (мерзлотные) факторы (см.рис.1)

Объекты картографирования геокриологического (мерзлотного) фактора:

- территории развития многолетнемерзлых пород (ММП), залегающих с дневной поверхности (сливающаяся мерзлота) разделяются на (ММП сплошного распространения; ММП сплошного распространения с участками талых пород; ММП прерывистого и островного распространения; частое чередование по площади талых и многолетнемерзлых пород);
- территории распространения ММП, залегающих ниже глубины сезонного промерзания (не сливающаяся мерзлота);
- территории установленного и предполагаемого развития криопэгов (криопэги);
- территории распространения второго слоя ММП (с опущенной кровлей мерзлоты);
- территории частого чередования по площади талых и многолетнемерзлых пород (чередование мерзлых и талых пород);
- территории различной сплошности ММП (сплошность ММП);
- ММП различной температуры (интервалы температур ММП). Выделены градации: ниже  $-5^{\circ}\text{C}$ ;  $-3\dots-5^{\circ}\text{C}$ ;  $-1\dots-3^{\circ}\text{C}$ ;  $0\dots-1^{\circ}\text{C}$ , а льдистость ММП в градациях: сильно льдистые, слабо льдистые; сильно льдистые и льдистые на слабо льдистых;
- участки развития полигонально-жильных льдов (полигонально-жильные льды);
- выходы пластовых льдов (пластовые льды);

- величины максимальных значений мощности ММП (мощность ММП).

Характер сплошности распространения и температуры многолетнемерзлых пород отображаются с помощью наклонной штриховки лилового цвета разного шага (расстояние между параллельными линиями штриховки); льдистость – стилем линии штриховки (толщиной и характером сплошности). Смежные характеристики сплошности и температуры ММП, для лучшего восприятия на листе карты имеют различный наклон штриховки.

Остальные характеристики геокриологического (мерзлотного) фактора:

- площади распространения не сливающейся мерзлоты;
- частое чередование по площади талых и многолетнемерзлых пород со среднегодовыми температурами близкими к  $0^{\circ}\text{C}$  отображаются на карте разным видом крапа;
- участки выходов пластовых льдов;
- развития полигонально-жильных льдов;
- величины максимальной мощности ММП в соответствии с легендой различными внесмасштабными знаками.

## Моделирование работы системы охлаждения резервуара с нефтью на Ванкорском месторождении

Г.В. Аникин, К.А. Спасенникова  
Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия

В данной работе приведены результаты, полученные в ходе компьютерного моделирования системы охлаждения резервуара с нефтью объемом 20 000 м<sup>3</sup>, установленного на Ванкорском месторождении. В работе показывается, что результативность работы сезонных охлаждающих устройств зависит не только от усредненных по определенному периоду температуры атмосферы и скорости ветра, но также и от стохастических флуктуаций этих величин.

*Компьютерное моделирование, грунт, система охлаждения, термосифон*

Методика расчета и разностная схема представлены в работе [Спасенникова 2011].

Расчеты проводились на суперкомпьютере НКС-30Т СО РАН с использованием MPI технологии параллельного программирования [Корнеев 2002].

Результаты расчета приведены в таблице №1. Из таблицы видно, что охлаждающая система работает в

течение зимнего сезона не всегда. Так из 729 дней с отрицательной температурой за трехлетний период, 258 день система не работала, данный эффект связан с разной скоростью изменения температуры в атмосфере и грунте, так если в некоторый момент времени температура в атмосфере поднимется, оставаясь при этом отрицательной, и станет больше, чем

температура в грунте, охлаждающая система выключается, и включается только после того, как температура атмосферы снова станет меньше, чем температура грунта. Из расчетов видно, что продолжительность времени, когда система не работает составляет 35% от общей продолжительности зимнего сезона.

Вывод: в результате расчетов было установлено, что охлаждающие системы значительную часть зимнего периода не работают, что является следствием флуктуаций температуры атмосферы

Таблица 1. Результаты компьютерного моделирования работы сезонных охлаждающих устройств (период усреднения метеорологических характеристик равен месяцу).

	Температура атмосферы (°C)	Температура испарителей (°C) (средняя)	Температура конденсаторов (°C)	Температура под пеноплексом (°C)	Количество суток в рассматриваемом периоде	Количество суток когда температура отрицательна, а СОУ не работает	Количество суток, когда температура отрицательна	Мощность всей системы охлаждения (кВт)
Конец февраля 2010	-37.9	-28.81	-29.89	-20.49	181	0	151	62.65
Конец августа 2010	9.3	не работает	не работает	0.37	365	74	243	не работает
Конец февраля 2011	-37.9	-30.6	-31.7	-23.1	546	74	394	48.4
Конец августа 2011	9.3	не работает	не работает	0.13	730	166	486	не работает
Конец февраля 2012	-16.3	не работает	не работает	-23.94	912	167	638	не работает
Конец августа 2012	9.3	не работает	не работает	-0.25	1096	258	729	не работает

### Литература

- Корнеев В.Г. Параллельное программирование в MPI. Новосибирск. ИВМиМГ СО РАН, 2002, 215стр.  
Спасенникова К.А. Компьютерное моделирование системы охлаждения грунта под резервуаром с нефтью. Материалы международной научно-практической конференции по инженерному мерзлотоведению,

посвященной XX-летию ООО НПО «Фундаментстройаркос», Тюмень 7-10 ноября 2011: 43-45.

## Динамика субаквальной мерзлоты и эмиссия метана на шельфе морей Восточной Арктики: оценка влияния на глобальный климат

О.А. Анисимов, С.А. Лавров

Государственный гидрологический институт, С.Петербург, Россия

Данные измерений указывают на повышенную по сравнению со среднеширотным значением концентрацию метана в воздухе и в воде на шельфе морей Восточной Арктики (МВА). По одной из гипотез это является следствием усилившегося таяния субаквальной мерзлоты с образованием сквозных таликов, в результате чего увеличилась ее проницаемость для газов, высвобождающихся из шельфовых гидратов [Shakhova et al., 2010]. Высказываются опасения о том, что этот процесс может привести к «метановой катастрофе», под которой понимают значительное изменение глобального климата из-за сильного парникового эффекта. Альтернативная точка зрения состоит в том, что повышенная эмиссия метана не связана с современными изменениями, а является следствием затопления шельфа МВА приблизительно 6000-9000 лет назад и последующей медленной деградации многолетнемерзлых отложений [Dmitrenko et al., 2011]. Нами с помощью моделирования исследуется вопрос о том, в какой степени изменение климата за прошедшие несколько десятилетий могло повлиять на современную повышенную эмиссию метана на шельфе МВА, и каковы перспективы на последующие столетия.

### Моделирование субаквальной мерзлоты

В работе была использована физически полная модель гидротермического режима суб-аквальных многолетнемерзлых отложений, полное описание которой дано в [Лавров & Анисимов, 2011]. В расчетах были использованы следующие значения параметров толщи осадков на шельфе МВА: коэффициент теплопроводности  $\lambda=2.2 \text{ Вт м}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , объемная теплоемкость  $C = 1.2 \times 10^6 \text{ Дж м}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , пористость  $\eta = 0.2$ . Основными расчетными характеристиками были вертикальный профиль температуры  $T(z)$ ; глубина от уровня дна до верхней и нижней границ слоя многолетнемерзлых осадков  $Z_{\text{МВ}}(t)$ ,  $Z_{\text{МН}}(t)$  и до границ зоны устойчивого состояния гидратов  $Z_{\text{ГВ}}(t)$ ,  $Z_{\text{ГН}}(t)$  в различные моменты времени  $t$ .

Были проведены расчеты от начального момента времени 25000 лет назад ( $t_0 = -25000$ ) до настоящего времени и далее до конца второго тысячелетия. Предполагалось, что во время затопления при  $t_3 = -9000 \dots -6000$  среднегодовая температура шельфа увеличилась на  $11.5^\circ\text{C}$ , с  $-13^\circ\text{C}$ , когда он был обнажен и имел температуру, близкую температуре воздуха, до  $-1.5^\circ\text{C}$  (температура придонной воды), после чего она оставалась постоянной до 1985 г. Далее до 2100 г. задавался рост температуры придонной воды со скоростью  $0.09^\circ\text{C}/\text{год}$ , равной тренду, наблюдаемому в период 1985-2009 г., после чего температура фиксировалась и расчет продолжался до 3000 года.

В модели учитывалась диффузия соли в донные осадки и ее тепляющий эффект, при этом соленость придонной

воды задавалась равной 20.9 psu летом и 26.6 psu зимой, в соответствии с данными измерений [Dmitrenko et al., 2011]. Расчеты с такими установками иллюстрирует рисунок 1, на котором показаны изменения во времени температуры донных отложений ( $T_0$  у поверхности дна и  $T_{200}$ ,  $T_{1000}$  на глубинах 200 м и 1000 м под ней) и положения границ мерзлоты и зоны устойчивого состояния гидратов.

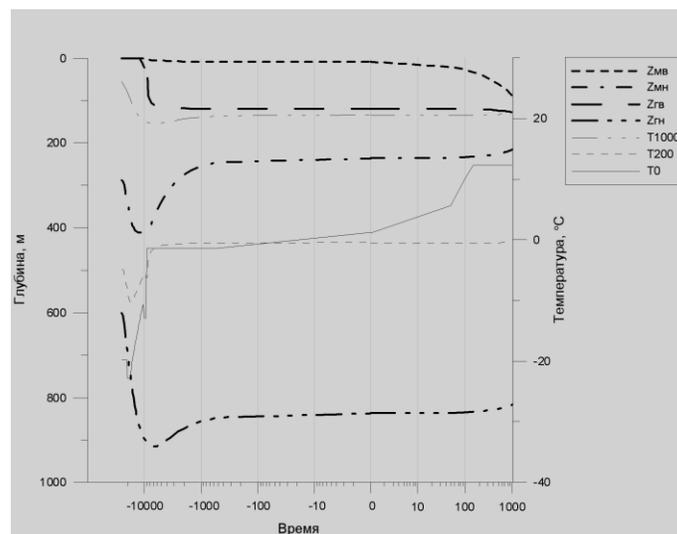


Рис.1. Изменения во времени температуры донных отложений, положения границ мерзлоты и зоны устойчивого состояния гидратов.

Результаты показали, что за период с начала затопления 9,000 – 6,000 лет назад и до середины 1980-х годов донные осадки оттаяли чуть менее чем на 10 метров притом, что среднегодовая температура придонных вод оставалась слабо отрицательной. Это было обусловлено диффузией соли в поровом пространстве, в результате которой лед был трансформирован в незамерзающий солевой раствор и слой стал проницаемым для газов. Исходя из результатов расчета, говорить о точном расположении фронта таяния затруднительно, поскольку он размазан на несколько метров. Существует прослойка засоленных мёрзлых грунтов с различными степенями льдистости и солёности. Мы считали талым слой с отрицательной температурой и солёностью порового раствора не менее 0.02 psu.

За прошедшие после начала потепления 25 лет температура придонных вод увеличилась в летний период примерно на  $2.1^\circ\text{C}$ , в результате чего донные отложения могли оттаять еще на 6-8 м, углубившись на 16-18 м от поверхности дна. Очевидно, этот результат не подтверждает высказанную в [Shakhova et al., 2010] гипотезу об обусловленности высокой эмиссии метана увеличением газовой проницаемости слоя донных осадков за счет появления в последние десятилетия зон сквозного протаивания (таликов). В последующем к 2050, 2100 и

3000 году расчеты с заданными установками указывают, что верхняя граница многолетнемерзлых осадков  $Z_{\text{МВ}}$  может переместиться на глубину около 20м, 28м и 90м от уровня дна, соответственно. Положение нижней границы за период 1985 по 3000 г. изменилось незначительно, она поднялась всего на 20 метров, с 235 до 215 м. При этом расчёты показывают, что на глубине ниже 150 м температура за этот период практически не изменилась. Таким образом, даже при экстремальном и крайне нереалистичном климатическом сценарии, максимально благоприятствующем ускоренному оттаиванию осадков, в текущем тысячелетии оно не сможет достичь современного уровня верхней границы зоны устойчивого состояния гидратов.

### Выводы

Главный вывод, который можно сделать, заключается в том, что при всех рассмотренных нами температурных режимах не только на протяжении 21 века, но с большой вероятностью и до конца текущего тысячелетия верхняя граница мерзлоты будет находиться выше зоны устойчивого состояния гидратов метана. Даже для нереалистичного климатического сценария, завышающего возможный диапазон увеличения температуры придонных вод, к концу третьего тысячелетия мощность верхнего оттаявшего слоя донных отложений будет порядка 90 м. Верхняя же граница зоны распространения гидратов по нашим и другим имеющимся оценкам на шельфе при глубине моря 10 – 50 м находится на уровне 140-100 м под поверхностью дна. Таким образом, эта зона будет изолирована слоем многолетнемерзлых отложений, газовая проницаемость которого близка к нулю.

Оценивая влияние неопределенности влияющих модельных параметров следует принимать во внимание, что, согласно проведенным расчетам, динамика оттаивания мерзлоты более чувствительна к будущим изменениям температуры, чем к точности реконструкции температурного режима в прошлом. Заметное влияние на модельные расчёты оказывают физические свойства грунта. Влияние засоленности морской воды на состояние мерзлоты проявляется в том, что после затопления суши и вплоть до 1985 года верхняя граница мерзлоты опустилась примерно на 9 м, притом, что температура на поверхности дна оставалась отрицательной. Это оттаивание обусловлено не термическим воздействием, а диффузией соли, за счет которого многолетнемерзлые осадки трансформируются в отложения, содержащие переохлажденный солевой раствор в поровом пространстве.

Наибольший интерес представляет вопрос о том, как влияет современная повышенная эмиссия метана на шельфе МВА на глобальное потепление. Прежде всего, для этого нужно определить, какой вклад в глобальную атмосферную концентрацию метана дает этот поток, оцениваемый авторами [Shakhova et al., 2010] в 7.9 Тг С в год. Рассчитать его можно, приняв во внимание, что среднее время жизни молекулы метана в атмосфере составляет около 12 лет. Таким образом, в равновесном состоянии этот источник увеличит концентрацию метана в атмосфере приблизительно на 95-100 Тг, или же на 40

ppbv. При том, что чувствительность глобально осредненной среднегодовой температуры воздуха к увеличению атмосферного содержания метана на 1000 ppbv составляет около 0.3°C [Семенов & Попов, 2011], с эмиссией метана на шельфе МВА связано повышение температуры примерно на 0.01°C. Это не дает оснований говорить о возможности сколько-нибудь заметного влияния на глобальный климат. Даже при десятикратном увеличении современной повышенной эмиссии на шельфе МВА обусловленное этим увеличение глобальной температуры воздуха не превысит 0.1°C, что заметно ниже неопределенности климатических проекций, связанной с недостаточной изученностью других климатообразующих факторов.

Полученные результаты не поддерживают гипотезу о возможной «климатической катастрофе» в связи с эмиссией метана из осадков шельфа МВА. Помимо представленных в статье результатов, эту гипотезу опровергают также и палеоклиматические данные. После гляциального максимума позднего плейстоцена уже был более теплый, чем в настоящее время, продолжительный период в оптимум голоцена, и никакие сведения не подтверждают наличие изменений, которые можно было бы назвать катастрофическими притом, что процессы на шельфе должны были быть во многом идентичны современным.

### Благодарности

Данное исследование проводится при поддержке РФФИ, проект 11-05-12011-офи-м.

### Литература

- Лавров, С.А. & Анисимов, О.А. 2011. Моделирование гидротермического режима грунтов: описание физически полной динамической модели и сравнение расчетов с наблюдениями. Проблемы экологического моделирования и мониторинга экосистем. Ю.А. Израэль (ред.). – М.: "Планета".
- Семенов, С.М. & Попов, И.О. 2011. Сравнительные оценки влияния изменения концентраций диоксида углерода, метана, закиси азота и водяного пара на радиационно-равновесную температуру земной поверхности. // Метеорология и гидрология 8: 34-43.
- Dmitrenko, I.A., Kirillov, S.A., Tremblay, B., Kassens, H., Anisimov, O.A., Lavrov, S.A., Razumov, S.O. & Grigoriev, M.N. 2011. Recent changes in shelf hydrography in the Siberian Arctic: Potential for subsea permafrost instability.- Journal of Geophysical Research, doi:10.1029/2011JC007218, № 116, C10027.
- Shakhova, N., Semiletov, I., Salyuk, A., Yusupov, V., Kosmach, D. & Gustafsson, O. 2010. Extensive methane venting to the atmosphere from sediments of the East Siberian Arctic Shelf.- Science, 327: 1246-1250.

## Оценка устойчивости опоры моста через реку Норильская в сложных геокриологических условиях

В.В. Антонов, А.А. Маслаков

*Кафедра криолитологии и гляциологии, Географической факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

### Введение

Рассмотрены проблемы сооружения гидротехнических сооружений в криолитозоне на примере моста через реку Норильская, Норильский промышленный район. Одна из особенностей этого объекта – сложные геокриологические условия – наличие крупных залежей подземных льдов. Предложены основные решения, обеспечивающие безопасную эксплуатацию подобных сооружений.

Серьёзную проблему в сложных мерзлотно-грунтовых условиях Крайнего Севера представляет устройство крупных транспортных развязок, особенно, при наличии в их основаниях мощных подземных льдов или природной высокой температуры вечной мерзлоты. Большие статические и динамические нагрузки требуют обеспечения высокой несущей способности опор. Нарушения условий теплообмена в системе «наружный воздух – сезонноталый слой – вечномёрзлая толща» особенно опасны для береговых устоев мостов. Под наиболее крупными реками и озёрами, как правило, многолетнемерзлые породы (ММП) отсутствуют, в то время как берега сложены вечномёрзлыми грунтами. Хрупкое термодинамическое равновесие, существующее в природе, нарушается при возведении объекта, граница между талой (под рекой) и мёрзлой зонами смещается в грунты, слагающие берега, непрогнозируемое постепенно протаивание и отепление мерзлоты приводит к нестабильности грунтов оснований [Арэ 1985]. Возведённые объекты транспортной инфраструктуры подвергаются существенным деформациям. Положение существенно усугубляется, если при изысканиях не были выявлены опасные процессы и явления [Гребенец 2007].

### Район исследования

Климат исследуемого района – Норильск – может быть отнесен к субарктическому. Среднегодовая температура воздуха за период наблюдений составляет  $-9,8^{\circ}\text{C}$ , количество осадков невелико и составляет примерно 300-400 мм [СНУП 23.01.99 1999]. Площадка находится на Вальковской озерно-аллювиальной террасе, на водораздельной поверхности. Территория расположена в зоне лесотундр, но в пределах площадки отмечены и тундровые участки [Шевелева, Хомичевская 1967].

В 1935 г. началось строительство Норильского комбината, в 1938 г. уже построена узкоколейка до Дудинки. До этого основными объектами инфраструктуры района были порт Валёк летом и зимники зимой. С возрастанием роли Дудинки как транспортного узла, порт Валёк становился всё менее популярным. После строительства г. Талнаха в 1960 г. было принято решение

возвести мост через р. Норильскую. Мост был построен в 1962-64 гг. на свайных наклонных опорах (диаметр 45 см.) с анкерными расширениями, они заглублены на 20 - 25 м с опиранием на ленточные вальковские глины [Гребенец 2007].

### Результаты и дискуссия

Практически сразу же после возведения моста через р. Норильскую, рис.1, начались весьма опасные деформации и смещения левого устоя.



Рис.1. Деформированный автожелезнодорожный мост через р. Норильская. По контуру левой опоры моста устроены парожидкостные установки термоустановки глубокого заложения (Фото А. Маслакова, июль, 2010 г).

Мост длиной около 1 километра в левой части устоем опирается на мёрзлый берег. В основании устоя прослеживаются следующие грунтовые горизонты: насыпной крупнообломочный материал (мощность от 2-4 до 18-20 м), ниже – суглинок с содержанием льда 0,2-0,4 (мощность 1-5 м), который подстилается глиной с содержанием льда до 0,2 (мощность 12-20 м). В интервале глубин 18-28 м расположена линза льда, фактически не выявленная при проведении инженерно-геологических изысканий [Гребенец, Керимов, Анишин 1999]. В связи со строительством опоры было нарушено природное равновесие геокриологических условий, началось таяние подземных льдов. Устой за 20 лет испытал сложные деформации: вниз (1800 мм) и по течению реки (до 650 мм). Недопустимые деформации приводили к разрушению железной дороги и автомобильного шоссе, к авариям транспорта. Четыре раза с помощью мощных домкратов (5000 кН) осуществлялся подъём и выравнивание устоя. В 1978 г. по мосту провели линию пульпопровода, что добавило ещё 40 т нагрузки. В 1983-84 гг. вокруг левого

устоя были выполнены 123 парожидкостные термоустановки для его вмораживания в берег. Замораживающие устройства были установлены на глубину 20-40 м. В течение первых 4-5 лет осадки и перемещения стабилизировались, а затем прекратились [Гребенец 2007].

Правый устой опирался на талые грунты, но в 1980 г. произошли просадки. Была устроена серия буронабивных свай для стабилизации устоя. К сожалению, ситуация на сегодняшний день нами не была выяснена.

### Выводы

Инженерно-геокриологические исследования в обязательном порядке должны сопровождаться прогнозами развития возможных изменений природных условий, прежде всего, геокриологической ситуации при климатических колебаниях, а также с учетом длительности и интенсивности техногенных воздействий. Необходимо провести натурные исследования геотермического режима гидротехнических сооружений с искусственным промораживанием грунтов оснований в Норильском промышленном районе, разработать геокриологический прогноз состояния оснований и рекомендации по повышению их устойчивости с целью обеспечения надёжности противofильтрационных завес, сокращения трудозатрат и стоимости искусственного замораживания.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Ведущие научные школы РФ», НШ – 32.71.2010.5 и компании «КонакоФиллипс Россия Инк».

### Литература

- Арэ Ф.Э. Основы прогноза термоабразии берегов. - Москва, Наука, 1985. - С. 88-101.
- Гребенец В. И., Керимов А.Г., Анишин В.М. Обеспечение надёжности транспортных систем в изменяющихся геозекологических и геокриологических условиях / В журн. Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности № 8 (20), изд-во СПб. – С. 13-16.
- Гребенец В.И. Деформации объектов в криолитозоне при непрогнозируемых изменениях сложных инженерно-геокриологических условий оснований // В журн. Инженерная геология, сентябрь 2007. – С. 16- 2.
- Шевелева Н.С., Хомичевская Л.С.. Геокриологические условия Енисейского Севера. – Москва, Издательство Наука, 1967 г – 126 с.
- СНиП 23-01-99. Строительная климатология. 1999.

## Геоморфологический атлас Антарктиды – блестящий пример достижений российской географической науки

Ю.М. Артемьев

*Санкт-Петербургский государственный университет, ЗАО «Карта», Санкт-Петербург, Россия*

Ученые-геоморфологи и географы Санкт-Петербургского государственного университета добились выдающихся результатов. Вышел в свет «Геоморфологический атлас Антарктиды». Это первое и единственное сегодня комплексное картографическое произведение этой тематики. Аналогов в России и в мире нет. Атлас открывает новый тип специальных картографических произведений и подводит итог полувековых исследований полярников в области изучения рельефа континента. «Геоморфологический атлас Антарктиды» устанавливает приоритет российской науки в области изучения подлёдно-подводного рельефа Антарктиды. В этом заключается важное государственное значение события. Для учёных разных стран и разных специальностей, интересующихся вопросами изучения полярных регионов и шельфов арктических и антарктических морей, может быть полезна методика представления результата в виде картографического продукта. В этом смысле «Геоморфологический атлас Антарктиды» является редким примером показа результатов разнонаправленных географических исследований на картах.

Сегодня в области изучения полярных стран самыми главными направлениями исследований являются геологические, геоморфологические и геофизические. Геоморфология как наука, ответственная за процесс познания форм и рельефа земной поверхности, в изучении Антарктики выступает пионером среди других наук. И результаты её исследований служат началом для целого ряда геологических и иных географических дисциплин. Отечественная наука накопила за последние 50 лет огромный массив данных, который был тщательно изучен и обобщен. В отличие от всех ранее изданных атласов южного континента, настоящий Атлас является первым тематическим комплексом картографических материалов. Карты атласа отражают подлёдно-подводный рельеф, позволяют анализировать и истолковывать его для описания геолого-геоморфологических процессов и образований. Новизна данных и технология их интерпретации определяют структуру атласа, последовательность изложения материала, что обеспечивает многоцелевую направленность комплексных геоморфологических исследований.

При создании атласа реализованы три важные цели:

1) Региональная – заключалась в отражении на картах наиболее полных и достоверных сведений о подлёдно-подводном рельефе Антарктики и вместе с тем о связанных с ним гео-, лито- и гляциодинамических процессах и структурах. В атласе изложены результаты методических исследований подлёдно-подводного рельефа Антарктиды в разных масштабах и районах.

2) Теоретическая и методическая. Для создания атласа потребовалась разработка соответственного

теоретического обоснования, принципов и новых методов картографирования и исследований рельефообразующих процессов.

3) Практическая. Она состоит в апробации впервые опубликованных методов и приёмов решения различных прикладных задач в Антарктике.

Комплекс проведённых исследований представлен в атласе общим картографированием, структурно-морфометрическим анализом и специальным геоморфологическим картографированием. Общее картографирование отражается в показе меронов трёх уровней: элементов, геоморфосистем и геоморфологических районов на соответствующих картах. Структурно-морфометрический анализ выполнен по вертикали, в плане, одновременно в двух ракурсах и сбоку при рассмотрении рельефа. Специальное картографирование охватывает морфотектоническое картографирование и районирование, количественную оценку геодинамических процессов балансовым методом, картографирование рельефа дневной, подлёдно-подводной и промежуточных поверхностей с гляциоморфодинамическим истолкованием и фиксацию на картах морфоэлементов и форм подлёдно-подводной поверхности, отражающих литодинамические процессы в доледниковую и допокровную эпохи развития Антарктиды. Важное значение исследований в Антарктике, проводимых на основе морфодинамической концепции, заключается в том, что они направлены на познание практически важных явлений, которые другими методами и науками изучены быть не могут. К ним относится новейшая тектоника, гляциодинамика базальных горизонтов и целый ряд других. Результаты исследований имеют практическую значимость. Представленные данные позволяют делать прогнозы более уверенными, особенно при добыче полезных ископаемых, более точными могут стать геотермические исследования, а также исследования результатов колебаний ледникового покрова, уровня Мирового океана, климатических условий на планете.

Создание атласа – заслуга не только авторов, но и огромного коллектива исследователей в сложных условиях Антарктики проводящих полевые исследования и камеральную обработку результатов. Это – сотрудники российских антарктических экспедиций, Научно-исследовательского института Арктики и Антарктики, Полярной морской геологоразведочной экспедиции, Института географии РАН, Всероссийского научно-исследовательского института геологии и минерального сырья Мирового океана и других организаций. Идеология атласа разработана на кафедре геоморфологии Санкт-Петербургского государственного университета почётным профессором СПбГУ, доктором геолого-минералогических наук Ласточкиным А.Н. Картографические работы и

подготовка к изданию выполнены ЗАО «Карта» - Первым частным картографическим издательством России.

При разработке атласа впервые в отечественном научном книгоиздании были применены приёмы и методы комплексного художественного проектирования изделия. Эти художественные методы сделали атлас более строгим, логичным по форме и содержанию, расставили акценты, позволили согласовать карты, легенды, таблицы, графики, установили их иерархию, сделали атлас более удобным в пользовании и просто красивым. Все эти факторы вывели изделие в разряд лучших книг России. Атлас отпечатан форматом 25х35 см, содержит 256 полос, разделённых на 8 разделов. В составе атласа 105 карт, многие публикуются впервые. Атлас подобного содержания издан в России и в мире впервые.

Как это часто бывает, современникам понадобится время для осмысления содержания, важности и уникальности всего комплекса изложенного в атласе материала. Предполагается, что заложенные в Атласе идеи заставят сверять с ними результаты будущих исследований учёных разных стран на протяжении не менее 50 лет. Сегодня несомненно одно: «Геоморфологический атлас Антарктиды» – выдающееся достижение отечественной географической науки - открывает новые перспективы России в исследовании Антарктиды и может быть полезен всем исследователям разных стран и разных специальностей, изучающим полярные регионы Земного шара.

## Характеристика термокарстовых котловин в районе мостового перехода ж. д. Обская-Бованенково через р. Юрибей

А.И.Баженов, А.А.Ермак, А.Н.Курчатова, Е.А.Слагода  
Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия

### Аннотация

В 2011 г проведены ландшафтные и геоэкологические исследования термокарстовых котловин морских равнин в среднем течении р. Юрибей. Получена характеристика растительности, ландшафтов, почв и отложений водораздельных равнин и днищ, склонов осушенных термокарстовых котловин. Выявлен комплекс криогенных образований, обусловленных процессами термоденудации, термокарста и морозобойного растрескивания, участвовавшими в формировании современного рельефа и ландшафтов.

**Ключевые Слова:** термокарстовые котловины, хасыреи, ландшафты, геоэкологические условия

Район исследований расположен в центральной части полуострова Ямал в долине среднего течения [Атлас тюменской области 1971] р. Юрибей (рис 1, А). Климат района отличается суровостью:  $t_{\max} = 25...28^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{\min} = -50...-52^{\circ}\text{C}$ . Годовое количество осадков  $\approx 300$  мм, минимум в феврале, марте; продолжительность снежного периода 8-9 месяцев; высота снежного покрова 16-17 см [Климатическая характеристика 1982].

В районе выделяются следующие геоморфологические элементы: верхнеплейстоценовая равнина, первая речная терраса, пойма, котловины спущенных озер [Мощность и строение... 1984]. Верхняя часть разреза верхнеплейстоценовых равнин с высотой 20-25 м, сложена суглинисто-супесчаными отложениями, местами перекрыты песчаной пачкой. На первой речной террасе и в пойме распространены супесчаные и песчаные отложения. В котловинах хасыреев распространены супесчаные осадки с органическими остатками, торф [Полуостров Ямал 1975].

По ландшафтным условиям район относится к зоне южных тундр [Атлас Тюменской области 1971].

Распространение многолетнемерзлых пород - сплошное, под мелкими озерами и реками несквозные талики. Криогенная толща в районах морской равнины 275-300 метров. Среднегодовые температуры: от  $-1^{\circ}\text{C}$  до  $-8^{\circ}\text{C}$ . Верхняя часть разреза толщи (до 5-10 м) сложена сингенетически промерзшими отложениями неоплейстоцена, ниже эпигенетически промерзшими породами [Геоэкология СССР 1989].

В 2011 г проведены исследования на останках морской аккумулятивной равнины с хасыреями на двух участках в долине р. Юрибей (см. рис.1, Б). Получена характеристика ландшафтов, под которыми, вслед за Козыным В.В. и Петровским В.А., понимаю: участок земной поверхности любой размерностью, в пределах которого компоненты природы находятся в сложном и непрерывном взаимодействии, образуя целостную систему [Геоэкология и природопользование 2005].

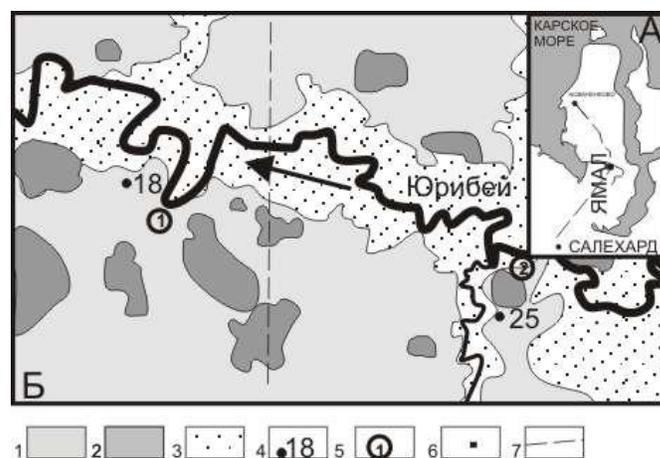


Рис.1. Район исследования.

Условные обозначения: 1 - морская равнина; 2 - хасырейный комплекс; 3 - пойма с участками первой террасы; 4 - абсолютные отметки; 5 - участки детальных исследований; 6 - район исследований; 7 - железная дорога.

Участок 2 (см. рис 1, Б) расположен в долине р. Юрибей в районе впадения р. Хутыяха. На правом берегу выделен фрагмент поймы с абс. отм. 5 м. На левом берегу сохранился фрагмент равнины с абс. отм. до 26 м, и хасырей с остаточным озером (абс. отм. 5 м), периодически заливаемым рекой. На равнине выделены ландшафты локальной размерности по микрорельефу, увлажненности, растительности и почвам (рис.2). Эти ландшафты объединяются в три генетические группы по морфологии поверхности и геоэкологическому строению толщи (рис.3).

Приозерная группа ландшафтов (①, ② на рис.2; абс. отм. 5-10 м.) сложена оторфованными песчано-супесчаными сингенетически промерзшими породами озерно-речного генезиса, является самой молодой. В этой группе не выявлено полигональной структуры поверхности, бугров пучения, характерен маломощный почвенный покров и азональная растительность. В сезонно-талом слое отмечено максимальное увлажнение; глубина протаивания – 1,3-2,3 м.

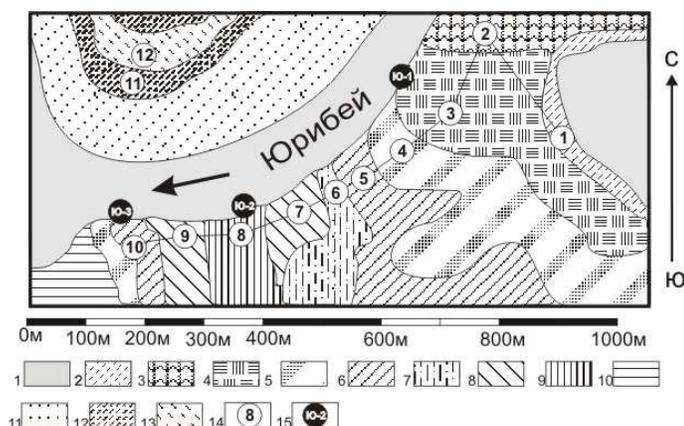


Рис.2. Схема дифференциации территории по ландшафтно-геокриологическим условиям на участке I долины р. Юрибей. Условные обозначения: 1-8 – ландшафты (природной среды, природно-территориальные комплексы) выделенные по ландшафтно-геокриологическим характеристикам: 1 – плоское приозерное понижение 2 – высокая пойма; 3 – пологий мелкобугристый склон 4 – дренированный пологоувалистый склон; 5 – высокая пологоволнистая дренированная равнина; 6 – кочковатое понижение в поверхности равнины; 7 – полигональная высокая слабодренированная равнина; 8 – полигональное слабоувлажненное понижение в поверхности равнины; 9 – водная поверхность; 10 – овраг; 11 – прирусловая пойма; 12 – плоская местами кочковатая низкая пойма; 13 – плоская с небольшими возвышенностями пойма; 14 – номер точки наблюдения на профиле; 15 – отборы проб льда и органики.

Склоновая группа ландшафтов (③, ④ на рис.2; абс. отм. 10-25 м.) сложена торфяными и песчано-супесчаными сингенетически промерзшими породами озерно-речного генезиса голоценового и современного возраста, являются самой динамично развивающейся частью. Для них характерны полигонально-жильные структуры, единичные бугры пучения, азональная растительность. Сезонно-талый слой неравномерно увлажнен, глубиной – 0,5-1,2 м.

Равнинная группа ландшафтов (⑤-⑧ на рис.2; абс. отм. 20-26 м.) выделена на верхнеплейстоценовых супесчано-суглинистых породах с прослоями автохтонного и аллохтонного торфа, и с признаками присутствия ледогрунтов в интервале абс. отм. 6-14 м. Для них характерны выпуклая полигонально-жильная сеть, маломощные почвы и зонально-азональную растительность. Глубина протаивания – 0,7-1,5 м

Ландшафты поймы с однородным песчаным составом на правом берегу отличаются по высоте, типу растительности и глубине протаивания. Это объясняется небольшим различием участков по высоте и увеличением мощности снежного покрова в плоских понижениях.

На участке I расположенном в 5 км вниз по течению р. Юрибей от мостового перехода ж.д. Обская-Бованенково (см. рис 1, Б) изучено строение ландшафтов на останце равнины и в борту хасырея. Выделены три генетические группы ландшафтов: приозерная, склоновая и равнинная аналогичные вышеописанным.

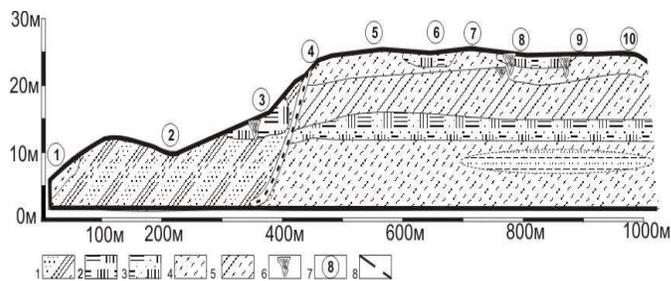


Рис.3. Геокриологический профиль 1-10.

Условные обозначения: 1 – песчано-супесчаные толщи; 2 – торфяные толщи; 3 – супесчано-торфяные толщи; 4 – супесчаные толщи; 5 – супесчано-суглинистые толщи; 6 – ледяные тела; 7 – точки исследований; 8 – предполагаемые границы слоёв.

Полученные характеристики ландшафтов и геокриологические характеристики верхней части разреза свидетельствуют о сокращении площади озер и осушении котловин (приозерная группа ландшафтов, для которой характерен концентрический рисунок).

В заполнении котловин участвуют склоновые процессы. В нижней части склоновых торфяников сформировались полигонально-жильные системы со следами протаивания (склоновая группа ландшафтов).

На высоких останцах равнины развиваются термоденудационные и термоэрозионные процессы, в понижениях сформировались полигонально-жильные структуры, вероятно голоценового возраста.

Выделенные ландшафтные характеристики планируется использовать при картировании ландшафтно-геокриологических условий среднего течения р. Юрибей.

## Литература

- Атлас тюменской области. Выпуск 1./редакционная коллегия под председательством Огородного Е.А.- Москва-Тюмень: ГУ геодезии и картографии, 1971.
- Трофимов В.Т., Баду Ю.Б., Васильчук Ю.К. и др. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты. – М.:Наука, 1987. – 222с.
- Геокриология СССР. Западная Сибирь./Под ред. Э. Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 454 с.
- Геозкология и природопользование. Понятийно-терминологический словарь/Авторы соавители – Козин В.В., Петровский В.А. – Смоленск: Ойкумена, 2005. -576с.
- Карта «Мощность и строение ММП ЗСП». Масштаб 1:1 000 000 / Ю.Б.Баду, В.В.Баулин, Ю.К.Васильчук, Б.Р. Галактионов, А.В.Грузадов, А.Б.Гусев, П.И.Кашперюг, В.Г.Кудряшов, Ю.В.Новиков, В.Т.Трофимов, Н.Г.Фирсов. – М.:Наука, 1984.
- Климатическая характеристика зоны освоения нефти и газа тюменского севера./Под ред. К. К. Казачковой. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1982. – 200 с.
- Полуостров Ямал (инженерно-геологический очерк)/Под ред. В. Т. Трофимова. – М.: Из-во МГУ, 1975. – 278 с.

## Исследование влияния некоторых штаммов бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород на иммунофизиологические показатели беспородных белых мышей

А.С. Бажин, А.М. Субботин, Л.Ф. Калёнова  
Учреждение Российской Академии Наук Тюм НЦ СО РАН, Тюмень, Россия

Пристальное внимание специалистов привлекают микроорганизмы, выделенные из грунтов, льдов, мерзлых пород имеющих возраст десятков тысяч и даже нескольких миллионов лет. Возраст некоторых из них исчисляется, по-видимому, миллионами лет. Микроорганизмы, продолжающие функционировать в обедненных, метаболических замедленных условиях, могут явиться уникальным источником биологически активных молекул, способных оказывать выраженные биологические эффекты на многоклеточные микроорганизмы. Их влияние на физиологические параметры современных организмов практически не изучено. В связи с этим целью данной работы явилось изучение воздействия некоторых штаммов бактерий, выделенных из многолетне мерзлых пород (ММП) на иммунофизиологические показатели беспородных белых мышей.

В работе было изучено влияние микроорганизмов, выделенных из многолетнемерзлых пород (ММП), полученных при бурении скважин в районе Тарко-Сале (штаммы 8/75-1, 4/25, 2/03) и из ММП Мамонтовой горы (Якутия) – штамм F2. Данные штаммы методом сиквенса рибосомальной ДНК идентифицированы: 4/25 - *Acinetobacter spp*, 2/03 – *Enterobacter spp*, 8/75-1 – *Bacillus megaterium*, F2 – *Alcaligenaceae bacterium*. Полученные штаммы культивировали при температуре +26° С на среде ГРМ. Через 2 суток культивирования микроорганизмы смывали с поверхности плотной питательной среды стерильным физиологическим раствором. Плотность культур в смывах довели до  $1 \times 10^6$  м.к./мл. Полученные взвеси бактериальных штаммов вводили внутривентриально мышам в дозе 50 тысяч микробных тел. В эксперименте использовали 60 белых мышей, разбитых на 5 групп, по 12 мышей на группу. Через 2 недели после введения мышам бактериальных культур у них исследовали иммунофизиологические параметры: активность системного гуморального иммунитета (АОК и ГЗТ (по 6 животных из каждой экспериментальной группы)), индексы внутренних органов, показатели крови.

Исследование индексов внутренних органов мышей после введения исследуемых штаммов бактерий показало, что при введении штаммов F2 и 4/25 наблюдается достоверное увеличение селезёнки. Все исследуемые штаммы бактерий стимулировали увеличение массы тимуса, в котором, как известно, происходит созревание и

дифференциация Т лимфоцитов. Достоверного влияния на изменение массы печени введение данных штаммов бактерий не установлено. Увеличение индекса тимуса свидетельствует об активации Th1-зависимого типа иммунного ответа.

Одной из основных регуляторных систем организма, принимающей участие в реализации программ биологической адаптации к стрессовым факторам является иммунная система. Для оценки её состояния исследовались характеристики гуморального иммунитета, в частности АОК (рис.1). Под влиянием штаммов бактерий, достоверного изменения количества лимфоцитов в селезёнке не отмечается. Под влиянием штаммов 8/75-1, 4/25 и 2/03 наблюдается достоверное увеличение показателей АОК/млн.ЛФ и АОК в селезенке, которые характеризуют функциональную клеточную активность и активность органа в целом. Полученные результаты свидетельствуют о значительном повышении гуморального иммунитета у мышей под действием малых доз бактерий штаммов 8/75-1, 4/25.

Известно, что оптимальный иммунный ответ реализуется только при взаимодействии гуморального и клеточного звеньев иммунитета. Состояние клеточного иммунитета оценивали по реакции ГЗТ.

Из данных на Рис.1 видно, что штамм бактерий 4/25 подавляет развитие клеточного иммунитета, что свидетельствует об активации Th1, и снижению провоспалительной активности организма в целом.

При введении мышам штаммов бактерий F2, 8/75-1 и 2/03 отмечается тенденция к незначительному увеличению данного показателя и как следствие, увеличению воспалительной активности.

Физиологические показатели периферической крови отражают долю клеточных элементов, участвующих в иммунном ответе и адаптационном отклике на введение чужеродного агента.

В ходе эксперимента показано снижение количества моноцитов, гранулоцитов и моноцитов при воздействии на мышей штаммов бактерий 8/75-1 и 4/25. В то же время отмечается увеличение содержания лимфоцитов при воздействии штаммов 8/75-1, 4/25, 2/03, т.е. увеличению воспалительной активности.

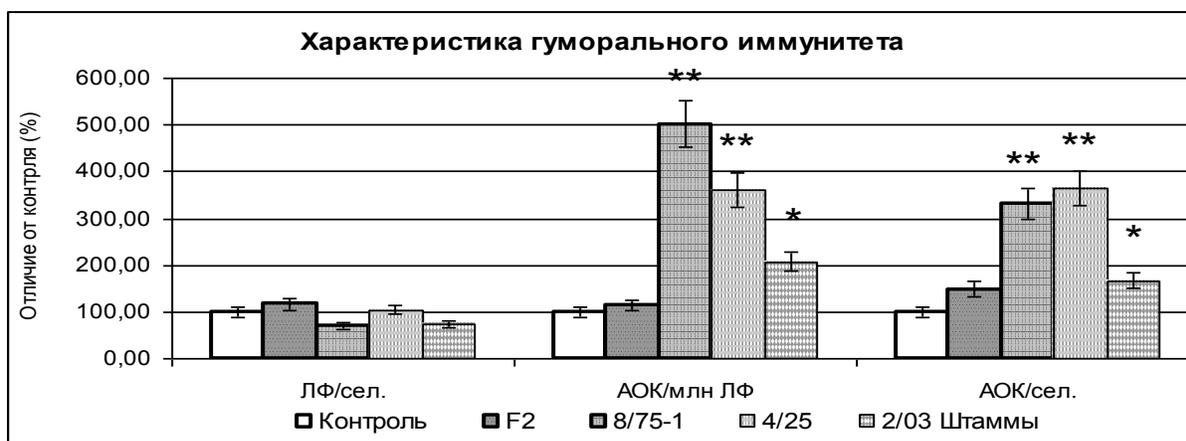


Рис.1. Характеристика гуморального иммунитета у мышей на 14 сутки после введения штаммов микроорганизмов  
\* - статистически достоверные различия ( $P < 0,05$ ) с контролем

Полученные экспериментальные данные показали, что под влиянием штаммов бактерий, выделенных из ММП, у животных в большинстве случаев изменяются иммунофизиологические показатели организма. Следует отметить, что наименьшее влияние на исследуемые параметры оказал штамм F2. Остальные штаммы бактерий в значительной мере стимулировали гуморальный иммунитет и в меньшей степени оказали влияние на клеточный иммунитет. В целом можно заключить, что под влиянием малых доз исследуемых штаммов бактерий, выделенных из ММП, происходит активация Т-хелперов обоих типов – Th1 и Th2 с превалированием Th2 зависимого типа иммунного ответа с преимущественно

противовоспалительной активностью и стимулированием гуморального иммунного ответа.

### Литература

- Гиличинский Д.А. Криобиосфера: мерзлые породы и льды как среда обитания // Ритмы природных процессов в криосфере Земли (тезисы докладов), Пушино, 2000, С.39.
- Katayama T., Fukuda M., Moriizumi J., Nakamura T., Brouchkov A., Asano K., Tanaka M., Beget J., Tomita F.. A Late Quaternary ice wedge from the Fox Permafrost Tunnel in central Alaska is a time capsule for gas and bacteria. Society for Industrial Microbiology News Feb/March/April issue in press.(2006).

## Очистка грунтов и восстановление нарушенного почвенно-растительного покрова биотехнологическими способами в условиях криолитозоны

И.В. Балакирев, А.С. Никишова  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

**Ключевые слова:** биопрепарат, углеводороды, почва, полуостров Ямал, Бованенковское месторождение, разложение.

Экспансия нефтегазодобычи в регионы, характеризующиеся сложными природными и климатическими условиями, определяет новые требования ко всем сопутствующим технологиям. Несмотря на применение современных технологий в области добычи, транспортировки и переработки углеводородов уровень загрязнения объектов окружающей среды этим сырьем или его продуктами остается очень высоким. Аварии, на примере разлива миллионов тонн нефти в Мексиканском заливе, показали, что подобные явления могут носить не только локальный, но и межконтинентальный характер.

Экосистема Крайнего Севера характеризуется высокой чувствительностью к антропогенным воздействиям. Освоение месторождений неизбежно ведет к возрастанию техногенной нагрузки на экосистему северных регионов, что отрицательно сказывается на экологической безопасности и ставит вопрос о разработке новых подходов к решению задач охраны окружающей среды.

Одним из главных условий сохранения природной среды Крайнего Севера является предотвращение деградации почвенно-растительного покрова, являющегося основным структурообразующим и наиболее уязвимым элементом природных ландшафтов. Устойчивость и целостность почвенно-растительного покрова обеспечивает не только безопасность окружающей природной среды, но и технических сооружений. Развитие опасных эрозионных и геокриологических процессов, вызванное нарушением почвенного покрова, может стать причиной повреждения или разрушения объектов обустройства месторождений.

Загрязнение почвенно-растительного покрова жидкими углеводородами, как то: газовым конденсатом, нефтью и продуктами их переработки, ведет к его сильной деградации, а зачастую и к полному разрушению. Самоочищение и восстановление загрязненных территорий в условиях Крайнего Севера происходит крайне медленно, и длится не одно десятилетие.

Ряд авторов указывает, что исчезновение растительного покрова, в том числе и в результате нефтяного загрязнения, приводит к развитию процесса многолетнего оттаивания мерзлых пород.

Начиная с 2009 года специалисты ООО «Газпром ВНИИГАЗ» провели большую исследовательскую работу по изучению применения современных методов очистки и восстановления нарушенных и загрязненных земель на территории полуострова Ямал.

В работе представлены результаты применения биотехнологических методы очистки (биоремедиация) нефтезагрязненных почв, а также технологий восстановления почвенно-растительного покрова.

Исследование по очистке почвы от углеводородного загрязнения проводилось с применением биопрепарата «Биорос» на основе культур углеводородокисляющих микроорганизмов. Поставлена серия экспериментов с применением методов «ex-situ» – с очисткой почвы в твердофазном ферментере (с изъятием почвы) и «in-situ» – на месте локализации загрязнения. Результаты экспериментов показали, что очистка в твердофазном ферментере эффективнее, чем на открытом грунте. За 14 дней исследования была достигнута 87% степень очистки загрязненной почвы.

Исследования по восстановлению почвенно-растительного покрова проводили на техногенных участках, лишенных растительности. Применен биопрепарат *Pseudomonas putida*. Он представляет собой культуральную жидкость почвенных микроорганизмов, где сама культура и продукты её жизнедеятельности способствуют оптимизации почвенной среды и повышают устойчивость растений к внешним неблагоприятным факторам. Это ускоряет рост и развитие растений, сокращает сроки восстановления травостоя.

Результаты проведенных исследований показали высокую эффективность биотехнологических методов и определили их перспективность для использования при очистке и восстановлении техногенно-нарушенных земель в районах Крайнего Севера.

### Литература

- Баранов А.В. Полуостров Ямал: экологические проблемы и пути их решения: обзорная информация. – М.: ИРЦ «Газпром», 2006;
- Пыстина Н.Б., Листов Е.Л. и др. Исследование эффективности очистки почвы от углеводородных загрязнений методом фиторемедиации. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе 4/2011;
- Кузнецов А.Е., Градова Н.Б. и др. Прикладная биотехнология. Т. 1. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010.

## Влияние новейших тектонических движений на криогенные процессы на территории Российской Арктики

А.В.Баранская

Санкт-Петербургский государственный университет, Факультет географии и геоэкологии., Санкт-Петербург, Россия

До настоящего времени влияние новейших тектонических движений на особенности строения толщи многолетнемерзлых пород и криогенных процессов рассматривалось относительно мало. Тем не менее, тектоническая структура и новейшие движения в значительной степени влияют как на распространение ММП, так и на экзогенные процессы, связанные с ними, что рассматривалось, например, в работах М.А. Великоцкого [1972], посвященных влиянию новейших тектонических процессов на развитие термокарста.

В настоящей работе на примере двух ключевых участков побережий Российской Арктики: побережья губы Буор-Хая в районе Тикси и острова Преображения в Хатангском заливе рассматривается связь мерзлотных процессов с тектоническим строением и новейшими вертикальными движениями территории с помощью морфоструктурного анализа.

Остров Преображения в тектоническом отношении расположен в пределах Хатангского грабена и представляет собой аномально перекошенный блок. Он чрезвычайно сильно поднят и резко асимметричен, западная часть более пологая, глубина нарастает постепенно. С востока остров обрывается крутым уступом, вероятно, имеющим тектоническое происхождение. Уступ местами имеет контруклон, сложен меловыми и юрскими песчаниками, алевролитами и аргиллитами. [Романенко, 1996]. Интересно, что остров Преображения имеет очень большие высотные отметки даже по сравнению с располагающимися в том же районе блоками суши Таймыра и острова Большой Бегичев. Самая высокая точка превышает 80 м. При этом остров окружен относительно пологим поднятым блоком дна с постепенным нарастанием глубин и небольшими уклонами.

Скорее всего, восточная обрывистая граница острова приводит по молодому активному разлому. Об этом свидетельствует ее конфигурация в плане, скальные стенки, резко спускающиеся к морю отвесным обрывом высотой до 80 м. Разрывное нарушение оперяется более мелкими разломами и участками повышенной трещиноватости пород. Западная граница может также представлять собой разрывное нарушение, в меньшей степени выраженное в рельефе. Интересно отметить, что субмеридиональные разломы, ограничивающие остров, не имеют явно выраженного в рельефе продолжения как к северу, так и к югу. Возможно, там они перекрыты осадками (рис.1).

Можно предположить, что структура представляет собой блок земной коры, в основании которого находится один из широко распространенных в Хатангском заливе соляных диапиров, он и вызвал столь интенсивное поднятие. Однако, возможно, здесь сыграли роль именно новейшие тектонические движения, берущие свое начало в

мантии или астеносфере. Эти два фактора могли действовать одновременно, усиливая действие друг друга. Вероятно, перекос блока произошел из-за того, что соляной диапир располагался не точно под его центром, а был несколько смещен, что и привело к неравномерности движений западной и восточной части острова на фоне общего поднятия.

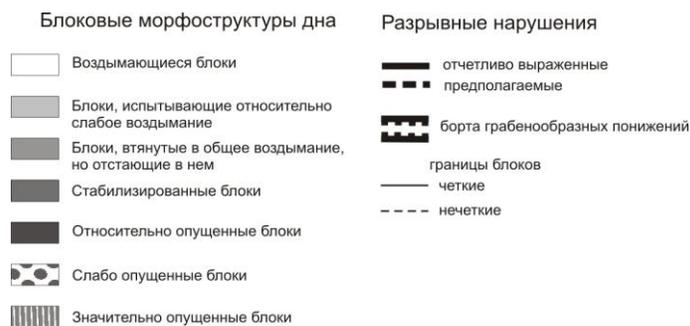


Рис. 1. Морфоструктурная схема Хатангского залива в районе о. Преображения

Благодаря высоким темпам поднятия острова в сочетании с повышенной антропогенной нагрузкой (на острове располагается полярная станция), темпы термоэрозии и склоновых процессов на острове достигли катастрофических масштабов. Густота расчленения острова достигает 1,6 км/км<sup>2</sup>. За один ливень продолжительностью около 2 ч углубление тальвега одного из оврагов составило 20-30 см [Романенко, 1996]. На отвесном восточном обрыве площадь острова уменьшается за счет интенсивных обвально-осыпных процессов и термоабразии, сопровождающейся появлением термоцирков.

Таким образом, благодаря интенсивному тектоническому поднятию криогенные процессы на

острове Преображения достигли чрезвычайно высокой интенсивности.

Иная картина наблюдается на острове Муостах, находящемся в пределах губы Буор-Хая в море Лаптевых. Здесь наблюдается также высокая скорость разрушения берега благодаря термоабразии, «съедающей» высокольдистые породы ледового комплекса, слагающего остров. Тем не менее, высокие скорости термоабразии вызваны, напротив, общим погружением острова. Площадь острова уменьшается каждый год за счет отступления берега, скорость которого составляет от 13 до 6 м в год. Дополнительным доказательством тенденций к опусканию может служить то, что ледовый комплекс здесь составляет всю видимую часть разреза рыхлых отложений и уходит ниже уровня моря [Григорьев, 1993].

Западный берег губы Буор-Хая в районе Тикси, несмотря на близость к о. Муостах, испытывает значительное поднятие. Однако здесь территория сложена преимущественно скальными породами, а рыхлые отложения залегают лишь на равнинных участках и в замкнутых понижениях. Преимущественно это торфяные отложения. Образование мерзлотных полигонов и ледяных жил в них зачастую подчинено тектонической трещиноватости: наибольшее растрескивание мерзлых пород происходит по ослабленным зонам, соответствующим трещинам в подстилающем ложе коренных пород. При сопоставлении ориентировки полигонов с розами-диаграммами трещиноватости и

направлением преобладающих линеаментов наблюдается четкая их корреляция. Линейные цепочки озер также вытянуты вдоль ослабленных зон. Это объясняется тем, что в областях повышенной трещиноватости увеличивается интенсивность циркуляции вод, повышается общая температура мерзлой толщи, что приводит к локализации озер именно на таких участках.

Таким образом, криогенные процессы и рельеф территории в большинстве случаев тесно связаны с новейшими движениями земной коры и тектоническим строением территории.

### Литература

- Великоцкий М.А. Связь термокарстовых процессов с неоструктурами и интенсивностью новейших тектонических движений на территории Яно-Омолойского междуречья // Проблемы криолитологии, Вып. 2. Под ред. А.И. Попова. – М., Изд-во Московского университета, 1972. С 55-63.
- Григорьев М.Н. Криоморфогенез устьевой области р. Лены. – Якутск, 1993. 176 с.
- Романенко Ф.А. Рельеф и четвертичные отложения острова Преображения. // Геоморфология. 1996, № 1, с. 81-86.

## Основные этапы изучения мерзлых толщ севера Западной Сибири

В.В.Баулин

*ПНИИИС-изыскания, Москва, Россия*

А.И.Юдкевич, Э.Ю.Несынова

*Гидропроект, Москва, Россия*

Постоянно меняющаяся общественно-политическая и экономическая обстановка в стране вызывает необходимость остановиться на основных этапах изучения геокриологических условиях Западной Сибири, которые в целом характерны для крупных регионов России.

Первый этап (до 40х-50х годов XX века) – экспедиционные маршрутные исследования природных условий, которые достаточно полно освещены в энциклопедии "Ямал". Результаты этих работ дали ценные сведения об инженерно-геологических (в том числе геокриологических) процессах на территории региона.

Второй этап (50е-90е годы XX века) – целенаправленное изучение геокриологических условий для строительного усвоения и геологической съемки Западной Сибири. Впервые дана региональная характеристика геокриологических условий равнины (геологические управления, НИИГА, ВСЕГЕИ, ВНИГРИ, стройки 50-53х годов, институт мерзлотоведения АН СССР, Гидропроект, МГУ и др.). Геокриологические материалы этапа позволили обосновать существование второго слоя мерзлых толщ южнее 66-67 параллели, и связать это явление с палеоклиматом и основными событиями в истории многолетнего промерзания пород.

Следует отметить исследования ММП для проекта строительства Нижне-Обской ГЭС в районе г. Салехарда (к сожалению, в энциклопедии "Ямал" эти работы почти не отражены). Впервые Гидропроект совместно с кафедрой

мерзлотоведения МГУ в 1953-1958 гг. провели 3-4-х летние круглогодичные непрерывные наблюдения за динамикой мерзлотных условий в районе строительства ГЭС. Эти работы до настоящего времени остаются уникальными. Изыскания велись четырем возможным створом проектируемым ГЭС. На площади около 400 кв. км было пробурено около 500 скважин, многие бурились специально для мерзлотной съемки. Подобные работы столь большом объеме проводились впервые. Был построен крупномасштабный инженерно-геологический разрез через долину реки Обь в районе Салехарда. Для построения мерзлотных карт использовались все существовавшие методы исследования состояния и свойств грунтов (физико-механические испытания, геоботаника, геофизика, термометрия и т.д.). Многолетние температурные измерения пород позволили получить их истинную температуру. Впервые температурными измерениями подтверждено существование двух слоев мерзлых толщ.

Третий этап (начинается с 90х годов XX века) характеризуется отсутствием в стране единого плана ММП. Новые данные оставались в отчетах отдельных ведомств, почти не обобщались. Это обстоятельство усугублялось почти полным прекращением геологических работ по разведке новых месторождений полезных ископаемых.

## Пластовые льды на юго-западном побережье Карского моря

Н.Г. Белова

Географический факультет, МГУ имени М.В.Ломоносова

### Введение

Пластовые льды (ПЛ) широко распространены на материковом побережье Карского моря. С самого начала изучения ПЛ ведётся дискуссия об их генезисе; исследователей можно разделить на сторонников внутригрунтового или погребённого происхождения ПЛ. И сегодня, после полувека изучения вопроса, единого мнения нет. Не достигнуто согласия даже по таким известным и наиболее изученным участкам залегания ПЛ, как район полярной станции Марре-Сале, территория Бованенковского ГКМ на Ямале в долине р. Сеяха, или урочище Шпиндлер на побережье Югорского п-ова. В 2005-2008 году были изучены ПЛ двух ключевых участков – на западном побережье Байдарацкой губы в районе устья р. Оюяха [Belova et al., 2008] и на п-ове Ямал в районе пос. Харасавэй [Belova et al., 2010]. Установлено, что ПЛ юго-западного побережья Карского моря залегают в отложениях разного возраста и генезиса, различаются по времени и механизмам формирования.

### Пластовые льды западного побережья Байдарацкой губы

В районе устья р. Оюяха к берегу выходит увалистая равнина высотой 25-45 м. В прибрежной полосе она снижена до 15-20 м многочисленными термокарстовыми котловинами (хасыреями). В основании многих разрезов лежит глинистая толща с обломочным материалом, которую Ф.А. Романенко с соавторами [2007] соотносят с «карским диамиктоном» В.Н. Гатауллиной [Forman et al., 2002]. Её неровная кровля, часто уходящая под урез моря, со стратиграфическим несогласием перекрывается сложно построенной песчаной толщей мощностью до 28 м, вмещающей ПЛ. Большая часть толщи сложена мелкозернистыми и пылеватыми песками, обогащёнными растительным детритом или оторфованными. Слоистость песков косая, наклонная и волнистая; часты прослой супесей и суглинков, окатанного каменного угля галечной размерности. Толща включает обломки и створки раковин морских моллюсков, кости и бивни мамонтов. Песчаная толща характеризуется континентальным типом засоления, датирована радиоуглеродным методом от 22,5 (1 дата) до 44,9-49,6 (3 даты) тыс.  $^{14}\text{C}$  л.н., т.е. на пределе работы метода [Романенко и др., 2007]. Это позволяет предположить, что толща начала формироваться ранее, еще 60-50 тыс. л.н. (MIS 4-3) на фазе отступления ледникового щита шельфа Карского моря.

ПЛ залегают в песчаной толще в двух ярусах. Льды верхнего ( $h_{\text{abs.}} = 9-15$  м) и нижнего ярусов ( $h_{\text{abs.}} = 0-9$  м) различаются по мощности, строению и составу. ПЛ верхнего яруса мощностью 3-6 м имеют эрозионный верхний контакт, изотопный состав  $\delta^{18}\text{O} = -21,8... -15,0\text{‰}$  (табл. 1), по строению схожи с базальным ледниковым льдом. Между величинами  $\delta^{18}\text{O}$  ( $\delta\text{D}$ ) и дейтериевого

эксцесса ( $d$ ) нет заметной связи, что свидетельствует против формирования ПЛ в результате замерзания жидкой воды. Льды нижнего яруса мощностью до 3 м залегают согласно вмещающим отложениям, имеют более легкий изотопный состав по сравнению с ПЛ верхнего яруса (легче на 3,2‰ по  $\delta^{18}\text{O}$ ). Химический состав ПЛ обоих ярусов ультрапресный.

Таблица 1. Изотопный состав ПЛ двух ключевых участков по сборам 2006-2008 гг. (в ‰ относительно SMOW)

Место отбора	$\delta^{18}\text{O}$			N*
	средн.	мин.	макс.	
Устье р. Оюяха				
ПЛ верхнего яруса	18,4	-21,8	-15,0	44
ПЛ нижнего яруса	-21,6	-25,2	-16,2	15
пос. Харасавэй: ПЛ	-21,9	-26,3	-18,6	23
линзы льда над ПЛ	-18,4	-20,9	-17,0	6
Место отбора	$\delta\text{D}$			N*
	средн.	мин.	макс.	
Устье р. Оюяха				
ПЛ верхнего яруса	-140	-164	-121	43
ПЛ нижнего яруса	-163	-192	-121	14
пос. Харасавэй: ПЛ	-166	-197	-143	23
линзы льда над ПЛ	-141	-159	-13	6

\* N – число образцов

Состав пыльцы и спор в ПЛ верхнего яруса определен в конце 2011 года А.К. Васильчук. Экзотическая дальнезаносная пыльца термофильных пород, характерная для льда полярных ледников, в них отсутствует. Лёд содержит споры зеленых мхов, отсутствующие в атмосферном ледниковом льду. Подобный состав палиноспектров, по мнению А.К. Васильчук, свидетельствует о внутригрунтовом механизме формирования льда [Vasil'chuk & Vasil'chuk, 2010]. Однако мы полагаем, что ПЛ верхнего яруса представляют собой базальный ледниковый лёд, значительно отличающийся от атмосферного ледникового по механизмам формирования и составу. Такие компоненты палиноспектров, как споры зеленых мхов, могли включиться в базальный ледниковый лёд вместе с отложениями ложа. В этом случае лёд будет сильно загрязненным и дислоцированным [Vasil'chuk & Vasil'chuk, 2010], что соответствует характеристике ПЛ верхнего яруса.

О погребенном генезисе ПЛ верхнего яруса говорит прежде всего эрозионный верхний контакт ПЛ, с угловым несогласием срезающий слоистость во льду (в перекрывающих отложениях нет следов вторичного протаивания). ПЛ верхнего яруса можно отнести к ледниковому льду на основании: 1) сложного строения ПЛ с лежащими складками и сдвиговыми деформациями; 2) сходства фаций льда ПЛ с фациями базального ледникового льда современных ледников; 3) отсутствия связи между  $\delta^{18}\text{O}$  ( $\delta\text{D}$ ) и  $d$ , значительных колебаний изотопного состава (5-6‰ по  $\delta^{18}\text{O}$ ).

Можно предположить, что ПЛ формировались 60-50 тыс. л.н. в ермаковское (ранневислинское) время ( $Q_{ш}^2$ , MIS 4-3) на стадии деградации ледникового щита шельфа Карского моря. В песчаной толще флювиогляциальных, прибрежно-морских и озёрно-аллювиальных отложений сформировались ПЛ нижнего яруса: помимо захоронения многолетних снежников и озерных льдов, в отложениях формировались небольшие ледяные и ледогрунтовые пласты, линзы и жилы. ПЛ верхнего яруса сформировались позднее, после непродолжительной регенерации ледникового щита, в результате погребения базального льда его краевых частей.

### Пластовые льды в районе пос. Харасавэй

ПЛ в отложениях северо-западного побережья п-ова Ямал в районе пос. Харасавэй приурочены к поднятиям кровли песчаных прибрежно-морских отложений, согласно перекрываемых суглинистой толщей морских осадков, слагающих террасу высотой 10 м. Все переходы между пачками вмещающих ПЛ отложений постепенные.

ПЛ залегают согласно слоистости вмещающих отложений и повторяют крутые изгибы кровли вмещающих песков. На расстоянии до 2 м над верхней границей ПЛ в перекрывающих отложениях отмечена серия линз льда мощностью 2-20 см, повторяющих контуры кровли залежи. Мощность изученного ледяного тела 1 м. ПЛ представлен отдельными ледяными прослоями мощностью 5-35 см, разделенными горизонтами грунта (1-10 см). Пески под ПЛ сильнольдистые, с наклонными ледяными шлирами, образующими сетчато-линзовидную криогенную текстуру.

ПЛ имеют ультрапресную минерализацию и преимущественно хлоридно-натриевый тип засоления. Изотопный состав (табл. 1) закономерно облегчается от линз льда над ПЛ к верхней части залежи, причем значения  $d$  растут пропорционально уменьшению содержания изотопов  $^{18}O$  и  $D$ , что свидетельствует о направлении промерзания сверху вниз. Единого тренда изменения содержания  $^{18}O$  и  $D$  в ПЛ нет, однако сохраняется обратная связь между величинами  $\delta^{18}O$  ( $\delta D$ ) и  $d$ . Вероятно, отдельные прослои ПЛ формировались за несколько этапов промерзания.

Первые данные по составу пыльцы и спор в описанной залежи получены в январе 2012 г. А.К. Васильчук. Во льду много переотложенных палиноморф, палиноспектры схожи с изученными А.К. Васильчук спектрами в отложениях в районе пос. Харасавэй [Vasil'chuk, 2006]. Признаков атмосферного происхождения ПЛ [Vasil'chuk & Vasil'chuk, 2010] в залежи не найдено.

На внутригрунтовый механизм образования ПЛ в районе пос. Харасавэй указывают: 1) залегание согласно вмещающим отложениям; линзовидное строение льда ПЛ, кровля которого повторяет изгибы слоистости вмещающих отложений; 2) химический состав ПЛ, совпадающий с таковым шлирового льда и схожий с химическим составом водной вытяжки из вмещающих отложений; 3) наличие обратной связи между изменениями значений  $\delta^{18}O$  ( $\delta D$ ) и  $d$ ; значения изотопного состава, закономерно облегчающиеся от линз льда над ПЛ до верхней части

залежи; 4) состав палиноспектров во льду схож со спектрами во вмещающих отложениях.

### Выводы

1. ПЛ западного побережья Байдарацкой губы образуют два яруса, различающихся по мощности пластов, строению и составу льда. Верхний ярус образовался при погребении ледникового льда отложениями озёрно-аллювиальной перигляциальной равнины. ПЛ нижнего яруса частично сформировались при погребении различных первичноповерхностных ледяных тел, частично внутригрунтовые.

2. ПЛ северо-западного побережья п-ова Ямал в районе пос. Харасавэй приурочены к поднятиям кровли песчаных прибрежно-морских отложений, согласно перекрытых суглинистой толщей морских осадков. ПЛ залегают согласно вмещающим отложениям, по составу схожи с текстурообразующими льдами, сформировались при эпигенетическом промерзании вмещающих отложений.

### Благодарности

Автор благодарит Dr. H. Meyer, доктора В.И. Николаева и доктора Б.Г. Покровского за проведение изотопного анализа образцов из ПЛ; доктора А.К. Васильчук за предоставление первых результатов палинологического анализа; проф. В.И. Соломатина и доктора Ф.А. Романенко за помощь в получении и интерпретации материалов работы.

### Литература

- Belova, N.G., Solomatin, V.I. & Romanenko, F.A. 2008. Massive ground ice on the Ural coast of the Baydaratskaya Bay, Kara Sea, Russia. Proceedings of the NICOP, Fairbanks, Alaska, US, vol.1, pp. 107-112.
- Belova, N.G., Solomatin, V.I., Meyer, H. 2010. Isotopic composition of massive ground ice exposure at the Kharasavey coast, West Yamal. Abstracts of the Third Europ. Conf. on Permafrost, Univ. Centre in Svalbard, p. 284.
- Vasil'chuk, A.C. 2006. Палиностратиграфия и условия накопления отложений // Криосфера Харасавэйского газоконденсатного месторождения. Тюмень; СПб., Недра, с. 56-70 (in Russian).
- Vasil'chuk, A.C. & Vasil'chuk, Yu.K. 2010. Local pollen spectra as a new criterion for nonglacial origin of massive ice. Doklady Earth Sciences, 2010, Vol. 433, Part 1: 985-990.
- Forman S.L., Ingolfsson O., Gataullin V., Manley W.F., Lokrantz H. 2002. Late Quaternary stratigraphy, glacial limits, and paleoenvironments of the Marresale Area, Western Yamal Peninsula, Russia // Quaternary Research 57: 355-370.
- Romanenko, F.A., Belova, N.G., Nikolaev, V.I., Olunina, O.S. 2007. Особенности строения рыхлых отложений Югорского побережья Байдарацкой губы Карского моря. Матер. V Всеросс. совещания по изучению четвертичного периода. М.: ГЕОС, 348-351 (in Russian).

## Данные наблюдений Колымской водно-балансовой станции: перспективы использования в научных и прикладных задачах и необходимость восстановления специальных наблюдений

И.Н. Бельдиман

"Хотугу Орустэр" (Реки Севера), Якутск, Россия

О.М. Семенова

Государственный Гидрологический Институт, Санкт-Петербург, Россия

Л.С. Лебедева

Санкт-Петербургский Государственный Университет, Россия

### Ведение

В бывшем СССР функционировала сеть водно-балансовых станций, на которых по единой программе велись детальные наблюдения за элементами водного баланса. Станции располагались во всех основных природных регионах страны. Данные водно-балансовых станций являлись основой комплексных исследований закономерностей формирования стока в различных физико-географических регионах, а также служили базой для разработок методик расчета стока.

### Природные условия

Колымская Водно-Балансовая станция (КВБС) располагается в верховьях р. Колымы, в горной местности, в зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты. Климатические условия на станции суровые - среднегодовое температура воздуха составляет около  $-12^{\circ}\text{C}$ , осадков выпадает от 250 до 440 мм в год. Большая часть территории покрыта каменными осыпями, зарослями кедрового стланика и лиственничным редколесьем. Мощность многолетнемерзлых пород достигает 400 м, глубина летнего протаивания составляет от 20 см в заболоченных низинах до 3 м и более на южных каменистых склонах.

В мире не существует других экспериментальных водосборов, характеризующихся подобными природными условиями. Как показано в работе [Насыбулин, 1976], условия формирования и характеристики стока на станции являются репрезентативными для обширной территории Верхней Колымы и прилегающих к ней районов Северо-Востока России.

### История станции

КВБС организовывалась в тяжелые послевоенные годы. В течение 1947 г. были проведены обширные исследования ряда районов верховья р. Колымы. Водосбор ручья Контактный, характеризующийся широким разнообразием растительного покрова и почвогрунтов, был признан наиболее подходящим для организации наблюдений. Станция была заложена 15 октября 1947 г. Уже в мае 1948 г. начались первые наблюдения за стоком воды на ручьях Контактный и Встреча. В течение 8 лет с 1949 по 1957 гг. на водосборе ручья Встреча стала функционировать сеть дождемерных пунктов. В это же время начались многочисленные специальные наблюдения на стоковых, воднобалансовых и водонепроницаемых площадках, а также за испарением с поверхности почвы,

воды и снега, промерзанием и протаиванием грунтов в различных условиях. Программа наблюдений с каждым годом расширялась, охватывая самые удаленные и труднодоступные уголки станции (рис.1). В 1968 начаты измерения стока на уникальном объекте, в бассейне ручья Морозова, который лишен растительного покрова и полностью сложен каменными осыпями. До 1978 г. сток воды наблюдался на девяти водосборах площадью от 0.27 км<sup>2</sup> до 21.6 км<sup>2</sup>. Глубина летнего протаивания фиксировалась на 20 мерзлотомерах, расположенных в различных условиях. Проводились и сугубо экспериментальные исследования, например, по изучению роли внутригрунтовой конденсации на сток воды с использованием оригинальных приборов и установок [Бояринцев и др., 1991]. Коллектив станции составлял около 30 человек с профессиональным высшим или средним образованием.

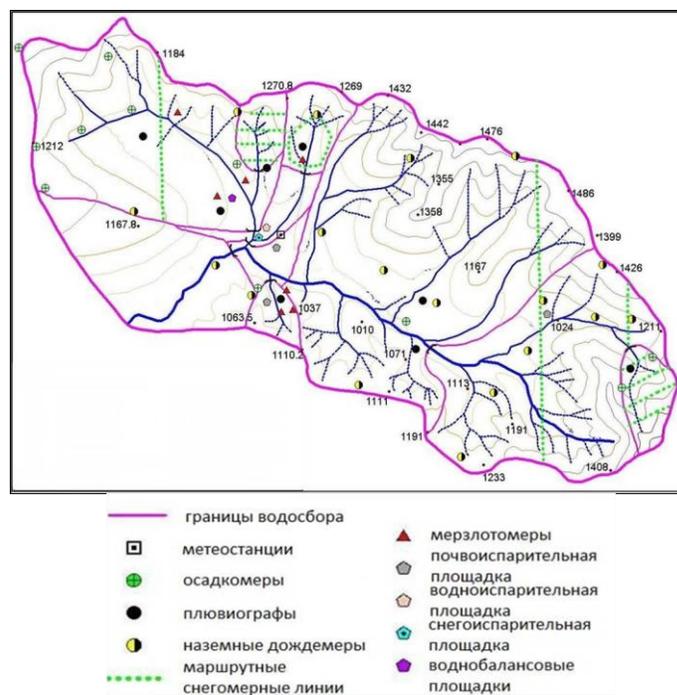


Рис. 1 Схема Колымской Водно-Балансовой станции

С 1997 года воднобалансовые наблюдения на КВБС законсервированы, и на сегодняшний день там ведутся только наблюдения на метеорологической станции и за стоком на нескольких ручьях без участия специалистов-гидрологов. По некоторым сведениям, дом, где жили работники станции, и располагался архив многолетних

данных, сторел вместе с неопубликованными материалами наблюдений.

За 40 лет работы на КВБС накоплен огромный материал гидрометеорологических наблюдений. К 1989 г. они были опубликованы в 30 выпусках, первый из которых охватывает период с 1948 по 1957 гг. Последующие выпуски публиковались ежегодно [Материалы наблюдений КВБС, 1948-1987].

Результаты наблюдений нашли отражение в многочисленных публикациях (их насчитывается более 100), посвященных различным аспектам формирования стока в зоне сплошного распространения мерзлоты, динамике деятельного слоя, структуре подстилающей поверхности и ее влиянию на гидрологические процессы.

В 1976 станции посетила делегация американских ученых (рис.2). Они высоко оценили профессиональные и личностные качества работников станции, их преданность делу, которые являлись основой для масштабных полевых и теоретических работ, несмотря на простоту имевшегося оборудования и суровый климат. Также в отчете американских коллег отмечалось бережное отношение к природе со стороны советских ученых. По мнению Slaughter и Billelo [1977], материалы, полученные на КВБС, не имеют аналогов в мировой практике. По итогам встречи было выдвинуто совместное предложение о регулярном обмене данными наблюдений, приборами, результатами исследований в виде статей и методических указаний и прнч. между американскими и советскими учеными. Эта инициатива, к сожалению, так и не была реализована.

водоотдача из снега, поверхностный сток, протаивание грунта и др. позволяют детально исследовать взаимодействия частных процессов гидрологического цикла между собой и компонентами ландшафта. На основании анализа результатов работы КВБС можно выявить закономерности процессов формирования стока в неизученных бассейнах зоны многолетней мерзлоты России.

Собранные материалы являются неоценимыми при построении и тестировании различных моделей: формирования стока, климатических, экологических, динамики растительности [Кучмент и др., 2000; Лебедева и др., 2012]

Данные КВБС могли бы стать ценным индикатором изменений климата и основой для изучения их влияния на состояние мерзлоты и гидрологический режим рек, позволяя заглянуть в механизмы происходящих процессов. В рамках этого научного вопроса особенно не хватает данных на период после 1990 г., когда, как считается, и начали происходить наиболее значительные изменения. По этой причине возобновление наблюдений именно сейчас является как нельзя более актуальной задачей.

Ввиду повышенного интереса к природным процессам Арктики и возможностью освоения богатых природных ресурсов Восточной Сибири существует насущная необходимость возобновления экспериментальных исследований на Колымской станции.

В СССР действовали 29 водно-балансовых станций по территории страны, сейчас в России функционирует четыре. На всех действующих ныне станциях значительно сокращена программа наблюдений, вплоть до стандартных измерений стока и метеорологических, так что в настоящее время статус водно-балансовых они носят лишь условно.

### Литература

Бояринцев Е.Л., Гопченко Е.Д., Сербов Н.Г., Легостаев Г.П. 1991 К вопросу о конденсации паров воздуха в деятельном слое многолетнемерзлых пород. Деп. ИЦ ВНИИГМИЦД, № 1046, ГМ-91 от 16.01.91 г., 17 с. (на русском языке)

Кучмент Л.С., Гельфан А.Н., Демидов А.И. 2000. Модель формирования стока на водосборах зоны многолетней мерзлоты (на примере верхней Колымы). Водные ресурсы, том 27, №4: 435-444 (на русском языке)

Лебедева Л.С., Семенова О.М. 2012. Совместное моделирование динамики деятельного слоя и процессов формирования стока на примере малых водосборов колымской водно-балансовой станции. Сборник трудов 10-й международной конференции по мерзлотоведению, стр. ??? (на русском языке)

Насыбулин П.С. 1976 Репрезентативность характеристик стока Колымской водно-балансовой станции для территории верхней Колымы // Природные ресурсы Северо-Востока СССР. Владивосток, АН ДВИС ИБПС, с. 32-41.(на русском языке)

Slaughter C.W., Billelo M.A. 1977 Kolyma Water Balance Station, Magadan oblast, Northeast U.S.S.R.: United Station - Soviet Scientific Exchange Visit, Special Report 77-155, Army Gold Regions Research and Engineering Laboratory. Hanover. 66 p.



Рис. 2. Статья в газете Магаданская Правда от 8 августа 1976 г., выпуск 4.

### Перспективы использования данных КВБС в научных и прикладных задачах

На станции собраны материалы специальных наблюдений редкой продолжительности (40-50 лет), характеризующие такие природные условия, которые, с одной стороны, практически не освещены данными, с другой стороны, репрезентативны для обширной территории Северо-Востока России. Наблюдения за осадками и расходами вкупе с такими редко измеряемыми величинами, как испарение,

## Криолитология бугров в северной тайге Западной Сибири

Н.М. Бердников, А.Г. Гравис  
Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия

### Аннотация

На основании новых данных по бурению и анализа фондовых материалов рассматриваются вопросы происхождения бугров в северной тайге Западной Сибири. Для исследованного участка произведен анализ зависимости высоты бугров от суммарной мощности ледяных включений, глубины залегания кровли тонкодисперсных отложений.

**Ключевые Слова:** Бугор пучения; генетические критерии бугров; термоостанец.

Район исследования находится в северной тайге Западной Сибири в пределах III озерно-аллювиальной равнины с абсолютными отметками поверхности 20-40 м. Среднегодовая температура воздуха  $-5,6^{\circ}\text{C}$ . С поверхности развиты торфяные отложения мощностью до 1,5 (реже до 5 м). Под ними залегают озерно-аллювиальные отложения, в которых сложным образом чередуются и замещаются супеси, суглинки и пески. Последние образуют водонасыщенный горизонт. Кроме того, близко к поверхности залегает кровля более древних (предположительно Салехардских) потенциально пучинистых суглинистых отложений (от первых метров до 10-15 м). Объектом исследований является плоская и пологоволнистая часто заболоченная поверхность III озерно-аллювиальной равнины. Здесь более 70 % площади занимают бугры и бугристые торфяники. При прочих равных условиях бугры имеют большую высоту, если суглинок залегал близко к поверхности и подвергался криогенному пучению, попадая в горизонт действия максимальных температурных градиентов. Плоские торфяники образовались при минимальном участии миграционного льдонакопления или его отсутствии.

Большинство авторов связывают образование бугров вдоль южной границы криолитозоны с криогенным пучением. Согласно этой точке зрения бугры образуются вследствие миграции влаги к наиболее охлажденным участкам торфяников. Традиционно считается, что высота бугра пучения определяется суммарной мощностью шлиров сегрегационного льда до глубины 8-13 м. Именно в этом диапазоне глубин условия для миграционного льдонакопления оптимальны.

Однако некоторые исследователи отмечают термоостанцовый генезис некоторых бугров. Под термоостанцами понимаются останцовые бугры, представляющие собой холмы термокарстового происхождения, возвышающуюся над окружающей поверхностью, сниженной в результате вытаивания подземных льдов [Тимофеев и Втюрина 1983]. По мнению Н.Я. Пьявченко, крупнобугристый торфяник образуется благодаря эрозионно-термокарстовому расчленению полигональных торфяников. Для северной тайги Западной Сибири термоостанцовые бугры отмечены А.П. Тыртиковым [Тыртиков 1979].

Нами проведены исследования на двух нескольких отличающихся по морфологии участках. На первом участке высота бугров достигает 6,6 м, на втором 2 м.

Буграм на первом участке свойственен большой диаметр основания. Были выявлены отдельные признаки, которые могут свидетельствовать о термоостанцовом происхождении некоторых бугров, расположенных на первом участке. Это следует из противоречивого характера их морфологии. Куполообразность бугров, свидетельствующая о пучении, местами сменяется сравнительно плосковерхими поверхностями, довольно резко переходящими в склоны, что может говорить о термоостанцовом происхождении.

Специальный разведочный профиль был пройден через бугор, генезис которого по морфологии однозначно определить невозможно. Скважины на склоне бугра и расположенном поблизости плоском торфянике вскрыли разрезы, почти полностью представленные песком (рис.1). Лишь скважина на вершине бугра вскрыла льдистый суглинок. Очевидно, что его близкое залегание к поверхности при промерзании привело к существенному миграционному льдонакоплению и проявилось в рельефе в виде бугра. Соответственно миграционные прослои льда получили наиболее широкое развитие благодаря суглинку. Объемная льдистость за счет ледяных включений во вскрытой части суглинка составляет 35 %. Верхняя часть суглинистого горизонта, вскрытая скважиной в осевой части бугра, характеризуется суммарной мощностью ледяных включений 110 см. В то время как высота бугра составляет 6,6 м. Согласно классической точке зрения (когда высота бугра определяется суммарной мощностью шлиров сегрегационного льда до глубины 8-13 м), изученный бугор нельзя отнести к буграм пучения. Однако по данным Ю.К. Васильчука, в целом ряде бугров глубина залегания ледяного ядра превышает 12-15 м [Васильчук 1983]. Таким образом, льдистое ядро, расположенное на глубине большей, чем 10 м может сказываться на высоте бугра.

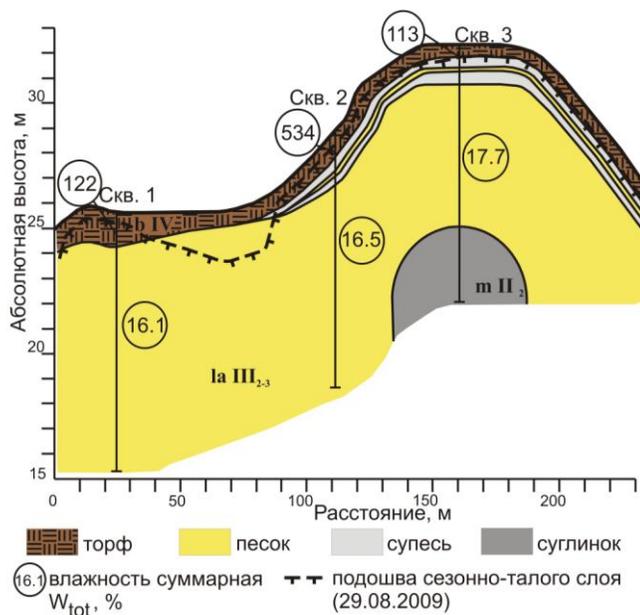
Если предположить, что объемная льдистость 35% в суглинке неизменна по глубине, то подошва льдистого горизонта, обеспечивающего высоту бугра 6,6 м должна быть примерно на глубине 25 м. Такая глубина находится в пределах горизонта многолетнего изменения мерзлых пород (до 20-30 м). Миграция влаги, происходившая в этом горизонте, может проявляться в рельефе поверхности. Поэтому, наиболее вероятно, что изученная форма рельефа является бугром пучения. Если же предположить, что горизонт с максимальной льдистостью суглинка при бурении не был вскрыт, то реальная мощность

распученной толщи может оказаться существенно меньше чем 25 м – то есть не более 18-21 м. Кроме того, часть льда выкрашивается при извлечении керна, и подсчитанная суммарная мощность ледяных включений занижается.

Ю.К. Васильчук отмечает, что наиболее часто встречаются бугры, высота которых преобладает (в отдельных случаях разница до 4-6 м) над суммарной мощностью ледяных шлиров. Помимо методологической причины (неглубокое бурение) такое несоответствие исследователь объясняет рядом объективных факторов [Васильчук 1983].

Полученные фактические данные (во вскрытой части суглинка, скв. 3) по суммарной мощности ледяных включений не противоречат тому, что изученная форма рельефа создана криогенным пучением, но и не позволяют полностью исключить, что изученная форма представляет собой термоостанец.

В пользу пучинистого генезиса говорит факт согласно с поверхностью залегания горизонтов супесей и песка, расположенных непосредственно под торфом в верхней части разреза (рис.1).



На расстоянии 1 км от профиля было проведено бурение другого плоского торфяника. В нем кровля суглинистого горизонта, расположенного под песком, была обнаружена на глубине 6,7 м. Однако, суммарная мощность ледяных включений в диапазоне глубин 6,7-10,2 м составила 40 см. Объемная льдистость за счет ледяных включений – 12 %. В данном случае, несмотря на сравнительно близкое к поверхности залегание суглинистых отложений, существенного распучивания грунта не произошло (по-видимому, из-за недостаточной

влагообеспеченности грунта). По близости от плоского торфяника расположен бугор высотой до 2 м. Согласно фоновым данным, суммарная мощность ледяных включений во вскрытой части суглинистого горизонта (3,75-10,5 м) составляет около 120 см. Объемная льдистость за счет ледяных включений – около 17 %.

Результаты бурения показывают, что близость к поверхности кровли пучинистых суглинистых отложений создает условия для большей высоты бугров. Однако такая закономерность прослеживается в пределах небольших участков, сходных по влагообеспеченности грунтов. Высокие бугры с наиболее льдистыми грунтами могут иметь более глубокое залегание распученного суглинка.

Строгого соответствия между суммарной мощностью шлиров сегрегационного льда и высотой бугров (и бугристых торфяников) не выявлено. Однако связь между объемной льдистостью за счет ледяных включений и высотой обнаруживается для всех изученных бугров и бугристых торфяников. Неоднозначные морфологические признаки некоторых бугров делают необходимым определение их генезиса с помощью подсчета суммарной мощности шлиров сегрегационного льда. Для достоверного определения происхождения бугров требуется бурение более глубокое, чем до 10 м. Тем не менее, данные неглубокого бурения позволяют экстраполировать полученные значения льдистости на большую глубину в пределах горизонта многолетнего изменения мерзлых пород (до 20-30 м) и примерно оценить неучтенную суммарную мощность шлиров сегрегационного льда, которая могла проявиться в рельефе поверхности.

## Благодарности

Авторы благодарят д. г.-м. н. Дроздова Д.С. за помощь и методическое сопровождение работы. Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант НШ-5582.2012.5).

## Литература

- Васильчук Ю.К. 1983. Об особенностях формирования бугров пучения на севере Западной Сибири в голоцене. В: Природные условия Западной Сибири. – М.: Изд-во Моск. ун-та. – с. 88-103. (на русском языке)
- Тимофеев Д.А. и Втюрина Е.А. 1983. Терминология перигляциальной геоморфологии. – М.: Наука, 232 с. (на русском языке)
- Тыртиков А.П. 1979. Динамика растительного покрова и развитие мерзлотных форм рельефа. – М.: Москва, Наука, 116 с. (на русском языке)

## Исследование динамики ландшафтов Крайнего Севера с применением современных методов дистанционного зондирования земли

А. А. Берюляев

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Москва, Россия

В районах Крайнего Севера России сосредоточены огромные запасы углеводородного сырья, но его добыча сопряжена с исключительно сложными природными условиями данного региона. Наибольшие запасы углеводородов сосредоточены в Ямало-Ненецком Автономном округе (ЯНАО), в ландшафтах которого многие элементы имеют криогенный генезис. Ландшафты ЯНАО отличаются относительной стабильностью, однако в связи с активным промышленным освоением данных территорий в последние годы, возникает проблема их мониторинга с целью обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазового комплекса.

Среди индикаторов криогенных явлений, проявляющихся в ландшафтах, наибольшее значение имеют геоморфологические индикаторы, основными из которых на территории вечной мерзлоты являются термокарст, полигональный рельеф, пучение. Изменение состояния вечной мерзлоты в первую очередь сказывается на процессах термокарста (распространении термокарстовых озер), соответственно их можно рассматривать как основной индикатор протаивания мерзлого грунта и соответственно как основной индикатор изменения ландшафта.

Активизация или наоборот затухание геокриологических процессов связано в первую очередь с показателем интенсивности теплообмена (энергообмена) над кровлей мерзлой толщи и в ее верхних горизонтах (до глубин 10 – 20 м). Как правило, антропогенное воздействие усиливает теплообмен и выводит многолетнемерзлые грунты из состояния динамического равновесия. Как следствие происходит активизация геокриологических процессов и их новообразование. Степень активизации в основном зависит от характера антропогенного воздействия и состояния многолетнемерзлых толщ.

Изменение интенсивности теплообмена можно выявить, исследуя тепловой канал космических изображений. При сравнении разновременных снимков, выделяются температурные аномалии, проводится анализ их происхождения, делаются выводы о возможной динамике температуры.

Для выявления термокарстовых просадок целесообразно использовать метод радарной дифференциальной интерферометрии. С его помощью можно выявлять просадки и вздымания земной поверхности с точностью около 1 см.

Использование материалов аэро- и космической съемки целесообразно для получения не только оперативной и объективной информации о состоянии природных и антропогенных объектов, но для организации мониторинга изменчивости ландшафтов северных территорий. Так как термокарстовые озера хорошо отображаются на космических снимках и методы их дешифрирования

детально изучены, наиболее целесообразным методом мониторинга их динамики (а следовательно и динамики ландшафтов) является аэрокосмический топографический мониторинг.

Топографический мониторинг это совокупность приемов периодических и непрерывных наблюдений за изменениями природных или антропогенных объектов, расположенных на участках земной поверхности, имеющих определенные и неопределенные границы, отображение содержания информации об изменениях объектов на космических снимках или топографической основе, а также классификация изменений и создание базы данных об изменениях объектов. Однако применение одного только визуального дешифрирования является неполным и для более точной оценки изменчивости природных и антропогенных объектов (следовательно, и ландшафтов) необходимо применение дополнительных методов обработки данных дистанционного зондирования. Такими методами и являются описанные выше анализ температурных аномалий территории, метод радарной дифференциальной интерферометрии и др. Комплексирование всех методов дает полную картину ситуации и позволяет проводить детальный анализ динамики ландшафтов и прогнозирование дальнейшей ситуации. Комплексирование методов целесообразно осуществлять посредством геоинформационной системы (ГИС), которая будет включать в себя: проведенные измерения, картографические материалы, космические и аэро- снимки и другую сопутствующую информацию. Итогом работы является карта прогноза динамики ландшафтов Крайнего Севера на исследуемой территории и ГИС.

### Литература

- Денисевич Е.В., Кулапов С.М., Филатов Д.М. и др., 2008, Аэрокосмический мониторинг промышленной безопасности месторождений углеводородов Западно-сибирской мегапровинции, Перспективы развития минерально-сырьевой базы газовой промышленности России: 265 – 276.
- Кравцова В.И., Быстрова А.Г., 2009, Изменение размеров термокарстовых озер в различных районах России за последние 30 лет, Криосфера Земли, т. XIII, №2: 16 – 26.
- Малинников В.А., Миртова И.А., Берюляев А.А., 2009, Аэрокосмический мониторинг взаимодействия природных процессов и инженерных сооружений на территории Ямала при эксплуатации газовых месторождений, Сборник статей по итогам международной конференции, посвященной 230-летию основания МИИГАиК, часть 1: 58 – 60

## Источники негативного воздействия на геологическую среду в ЯНАО

Ю.В. Беспалова, Т.П. Резанова

*ТюмГНГУ, ассистенты каф. ГМНУГ, г.Тюмень, Россия*

### Аннотация

В результате интенсивного и широкомасштабного недропользования территория ЯНАО подвергается высокой степени техногенной нагрузке. Основными источниками негативного воздействия на геологическую среду в нефтегазодобывающих районах округа являются масштабные работы по бурению скважин, а также по транспортировке и первичной переработке углеводородного сырья. В результате происходит загрязнение поверхности земли, поверхностных и подземных вод, изменение природного ландшафта (деградация растительности, активизация экзогенных геокриологических процессов и др).

**Ключевые Слова:** Техногенная нагрузка; геологическая среда; мерзлотно-геологические условия; пресные подземные воды; гидрогеохимия подземных вод; мониторинг криолитозоны

В результате интенсивного и широкомасштабного недропользования территория ЯНАО подвергается высокой степени техногенной нагрузке.

Основными источниками воздействия на геологическую среду в нефтегазодобывающих районах округа являются масштабные работы по бурению скважин, а также по транспортировке и первичной переработке углеводородного сырья. В результате происходит загрязнение поверхности земли, поверхностных и подземных вод, изменение природного ландшафта (деградация растительности, активизация экзогенных геокриологических процессов и др).

С конца 80-х годов Ямало-Ненецкий округ является одним из основных газодобывающих регионов в мире. На его долю приходится более 90% добываемого газа, 12% нефти и конденсата в России. Основная техногенная нагрузка приходится на Пуровский административный район, являющийся самым промышленно развитым и обеспеченным сырьевыми ресурсами. В горной части округа-на Полярном Урале-наращивается добыча хромитов, ведется разведка месторождений марганца, полиметаллов, золота и платины, камнесамоцветного сырья. Повсеместно разрабатываются месторождения песка и щебня для отсыпки дорог и производства строительных материалов. На территории округа построены современные города и поселки городского типа: Надым, Новый Уренгой, Ноябрьск, Муравленко, Губкинский, Тарко-Сале, Вынгапуровский, Пурпе, Ямбург и др. Проложено более 1000 км железных дорог, 4000 км автомобильных дорог, протянуты тысячи километров газо- и нефтепроводов и ЛЭП. Увеличивается объем добычи подземных вод и использования поверхностных вод.

Города, являются вторым по значимости источником негативного воздействия на подземные воды эоцено-олигоцен-четвертичного гидрогеологического комплекса, после нефтегазодобычи и транспортировки углеводородов.

Ежегодно на территории округа в природные водные объекты сбрасывается около 60 млн м<sup>3</sup> сточных вод, из них 90% стоков в поверхностные водоемы и 10% в подземные горизонты. От всех загрязненных сточных вод на долю

промышленности приходится 50%, ЖКХ - 47 % и прочие отрасли - 3%

Наибольшую техногенную нагрузку испытывают реки бассейна р. Пур. В 2002 г. в бассейн р. Пур было отведено 47,2 млн м стоков, из них в поверхностные водные объекты 37,9 млн м<sup>3</sup> (80% отводимых стоков), на водосборную территорию (накопители, карьеры и т.д.) 9,2 млн м<sup>3</sup> (соответственно-20%).

По произведенным расчетам ФГУП РосНИИИВХ на водосборную площадь бассейна р. Пур было сброшено (т) нефтепродуктов 34,2, взвешенных веществ 586, сухого остатка 2430, СПАВ 11,2, сульфатов 0,26, хлоридов 0,32, аммонийного азота 69, фосфора 0,18, диэтиленгликоля 343, метанола 2880. Сбрасываемые на рельеф без очистки сточные воды смываются в весенний период тальми водами и тем самым загрязняют как поверхностные водные объекты, так и подземные водоносные горизонты.

Ежегодные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу превысили величину 0,8 млн т. Основная часть выбросов от стационарных источников приходится на предприятия нефтегазового комплекса. В валовых выбросах преобладают выбросы оксида углерода- 54%, углеводороды - 39,0%, оксида азота (в пересчете на $>Ю_2$ ) - 7%.

Непоправимый ущерб окружающей среде наносит ежегодное сжигание колоссального объема газа на факельных установках. Объем сожженного газа за 2004 г. составил 4,2 млрд м . Количество факелов в регионе более 1500.

ООО «Газпром добыча Надым» ведет освоение месторождений Медвежье, Юбилейное и Ямсовейское, расположенных в центральной части Надым-Пуровского междуречья. Самое северное из них м-ие Медвежье, вытянутое на 120 км в меридиональном направлении, пересекает две ландшафтно-климатических зоны: северную лесотундру и тундру. Для его территории характерно сплошное распространение мерзлых толщ. Другие два месторождения находятся в зоне прерывистого распространения мерзлых пород голоценового возраста, нередко разновозрастные мерзлые толщи разделены

талыми породами. Температура мерзлых отложений изменяется от 0 до  $-3^{\circ}\text{C}$ .

В связи с освоением территории произошло изменение ее мерзлотно-геологических условий (Надымгазпром, 2001). Наиболее распространенным явлением стало увеличение глубины сезонного оттаивания грунтов на 40-70% вследствие удаления напочвенных покровов, изменения условий снегонакопления и состава грунтов на антропогенных площадках. Основными причинами, вызывающими деформации фундаментов сооружений, являются осадки, связанные с повышением температуры и протаиванием ММП, и пучение, обусловленное понижением температуры грунтов и повышением амплитуды ее колебаний, а также повышением влажности грунтов. Ситуация усугубляется в связи с сильным обводнением грунтов ряда промышленных площадок.

Основными мерами, принимаемыми на предприятии по сохранению несущей способности грунтов оснований, являются понижение их температуры с помощью различных охлаждающих систем, а также внедрение строительства на свайных фундаментах.

Специалистами Надымгазпрома ведутся широкомасштабные термометрические наблюдения в десятках специально оборудованных скважин на объектах промысла. В 2004 г. в этом районе начал работать Субарктический научно-учебный полигон (СНУП) ТюмГНГУ, на котором кроме проведения учебной практики студентов решаются и научные задачи. В состав полигона на территории месторождения Юбилейное входят три термические скважины глубиной по 30 м, которые пробурены в естественных ландшафтных условиях. Две из них находятся вблизи песчаных отсыпок, на которых располагаются кусты газодобывающих скважин, а третья - на значительном удалении, на открытом участке безлесной тундры. Термометрические скважины оборудованы автоматической системой записи температурных измерений, которые выполняются 4 раза в сутки.

Самая низкая температура - минус  $2,3^{\circ}\text{C}$  по всей глубине на ненарушенном участке тундры. В других скважинах среднегодовая температура пород на глубине нулевых годовых теплооборотов близка  $0^{\circ}\text{C}$ , а сами породы преимущественно талые. В верхней части разреза примерно на подошве деятельного слоя, температура грунта достигает  $2^{\circ}\text{C}$ , а по скв.2 находится в области отрицательных значений. Чем это обусловлено? Здесь можно выделить два момента: 1) в пределах площади песчаной подсыпки в весенне-летний период происходит инфильтрация талых снеговых и дождевых вод, что обуславливает рост уровня подземных вод и повышенный тепловой сток на участках их транзита, а, значит, и более высокие значения температуры пород; 2) различное местоположение скважин по отношению к насыпи. Устье скв.1 находится ниже уровня площадки, и там накапливается большой мощности снежный покров, предохраняющий грунты от выхолаживания в холодный период года.

Таким образом, наибольшее негативное воздействие испытывает подземная гидросфера и прежде всего наиболее ценные пресные подземные воды эоцен-четвертичного гидрогеологического комплекса, которые являются основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения не только округа, но и всего Тюменского региона. Под воздействием техногенеза происходит изменение гидрогеологических условий, трансформация подземных вод и формирование техногенных гидрогеологических систем.

Для предотвращения дальнейшего развития различных видов загрязнений необходимо регулярно проводить мониторинг состояния геологической среды. В состав мониторинговых наблюдений, как на городских, так и на одиночных водозаборах входят, как правило, систематические наблюдения за водоотбором, положением динамического уровня, химическим составом подземных вод, техническим состоянием скважин и зон санитарной охраны. Не учитывается один из важнейших факторов, влияющих на качество и состав подземных вод территории севера Западной Сибири, - это динамика состояния многолетнемерзлых пород, особенно их деградация в связи с потеплением климата. Водозаборные сооружения в зоне распространения многолетнемерзлых пород находятся в особых условиях, когда одним из факторов защищенности подземных вод является состояние мерзлых пород, представляющими собой ионообменные экраны-фильтры. В программу ведения мониторинга в условиях криолитозоны рассматриваемого региона, кроме предусмотренных наблюдений за гидрогеодинамическим и гидрогеохимическим режимами подземных вод, должны быть включены методические указания по систематическому наблюдению за температурными условиями пород, воды на устье скважин и за балансовым режимом в пределах области формирования эксплуатационных запасов. Все это позволит установить зависимости мерзлотных и гидрогеологических параметров и прогнозировать изменение качества воды.

## Литература

- Бешенцев В.А. Подземные воды ЯНАО. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2006. 149 с.
- Бойцов А.В. Геокриология и подземные воды криолитозоны: Учебное пособие/А.В. Бойцов.- Тюмень: ТюмГНГУ, 2011.-178с.
- Земскова И.М., Смоленцев Ю.К. и др. (1991) Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / Под ред. Е.В. Пиннекера. М: Недра, 1991.
- Матусевич В.М., Ковяткина Л.А. (1997) Техногенные гидрогеологические системы нефтегазоносных районов Западной Сибири // Нефть и газ. №1.
- Шантарин В.Д., И.В. Лазарева (2007) Мониторинг поверхностных и подземных водных объектов Ямало-Ненецкого автономного округа. Салехард: Медведь, 2007.

## Гидрогеологические и геокриологические условия севера Западной Сибири (в пределах ЯНАО)

В.А.Бешенцев, В.М.Матусевич, Т.В.Семенова

Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия

Ямало-Ненецкий автономный округ расположен в арктической зоне Западно-Сибирской равнины, причем более половины его расположено за Полярным кругом. Округ является одним из главных нефтегазоносных регионов России. Он обеспечивает до 15 % от всех запасов нефти и 91 % всей добычи газа России [Бешенцев 2006].

В гидрогеологическом отношении территория округа относится к северной оконечности Западно-Сибирского мегабассейна, который состоит из трех самостоятельных сложных наложенных гидрогеологических бассейнов: кайнозойского, мезозойского и палеозойского [Матусевич 1986]. В различной степени промороженным является кайнозойский бассейн, а точнее его первый гидрогеологический комплекс, представленный кайнозойско-меловой системой бассейнов стока [Матусевич, Смоленцев 1998].

По особенностям распространения и строения многолетнемерзлых пород (ММП) и модулю подземного стока здесь выделены 5 гидрогеологических районов (рис.1).



Рисунок 1. Районирование территории Ямало-Ненецкого автономного округа по особенностям распространения ММП и модулю подземного стока  
1,2,3,4,5 – номера гидрогеологических районов

Для первого района характерно наличие ММП от 10 до 30 %, при модуле подземного стока 3,5 л/с км<sup>2</sup>. Во втором данные характеристики составляют от 30 до 70% и 2,5 л/с км<sup>2</sup> соответственно. В третьем – процент ММП увеличивается до 90 % при уменьшении модуля стока до 1,5 л/с км<sup>2</sup>. В четвертом районе, ММП составляет 90-100% при модуле стока около 0,5 л/с км<sup>2</sup>. На крайнем севере распространена зона 100% содержанием монолитной мерзлоты при практически отсутствующем подземном стоке (<0,05 л/с км<sup>2</sup>) [Иванов, Бешенцев 2005]. ММП Западной Сибири характеризуется широтной зональностью. Она проявляется в распределении мощности и температуры ММП, строении мёрзлой толщи и её льдистости, мерзлотном рельефе земной поверхности. В результате совместного воздействия палеогидрогеологических и современных факторов на территории Западно-Сибирской равнины с севера на юг сформировались три главных зоны многолетней мерзлоты [Бешенцев, Иванов, Бешенцева, 2005].

1) зона слитного залегания мощных современных и древних многолетнемерзлых пород – занимает северную половину равнинной части региона (примерно севернее 66°), а также Полярный Урал и Приуралье;

2) зона разобщенного залегания современных и древних многолетнемерзлых пород -располагается в южной части исследуемой территории;

3) зона глубокого залегания древних многолетнемерзлых пород - развита на ограниченной площади в долине р. Оби от южной границы округа (пос. Казым-Мыс) до слияния Большой и Малой Оби, а также в верховьях р. Куноват.

Наличие мощной и сложно построенной толщи многолетнемерзлых пород исключило из водообмена значительную часть геологического разреза севера Западной Сибири и наложило отпечаток на формирование и режим подмерзлотных, межмерзлотных и надмерзлотных вод, который, на исследуемой территории почти полностью определяется геокриологическими условиями. Здесь формируются сезонно-талые, надмерзлотные, подмерзлотные воды и воды сквозных таликов.

Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации дождевых, снеговых, речных подземных вод. Разгрузка происходит в ближайшие водотоки. Приток подземных вод из отдаленных областей на большей территории исключен вследствие разобщенности подземных водоносных систем отдельных речных бассейнов.

Характерной особенностью пресных подземных вод ЯНАО, приуроченных к песчаным и глинистым рыхлым осадкам эоцен-четвертичного возраста, является региональное распространение маломинерализованных (70-150 мг/дм<sup>3</sup>), ультрапресных вод. Основными

составляющими общей минерализации подземных вод являются соли, приносимые атмосферными осадками, выщелачиваемые водой из водовмещающих пород и почвенного слоя и синтезируемые из воды и углекислого газа ионы. Подземные воды характеризуются низкими концентрациями таких основных солеобразующих компонентов как кальций (от 3 до 50 мг/дм<sup>3</sup>) и магний (от 2 до 40 мг/дм<sup>3</sup>). На фоне пониженных значений этих ионов резко выделяется высокое содержание ионов железа (от 1,4 до 6,5 мг/дм<sup>3</sup>), марганца (от 0,01 до 2,2 мг/дм<sup>3</sup>) и кремнекислоты (от 2,4 до 35 мг/дм<sup>3</sup>).

Как по общей минерализации, так и по другим гидрохимическим показателям подземные воды эоцен-четвертичных отложений своим химическим составом, условиями залегания и гидрогеологическими параметрами отражают историю развития ландшафта, палеогидрогеологическую историю и подчинены закономерной широтно-концентрической зональности. Углубленное изучение влияния мерзлотно-гидрогеологических и палеогеографических факторов на условия формирования и размещения пресных подземных вод криолитозоны позволит более целенаправленно подходить к поискам и разведке месторождений подземных вод, а также прогнозировать изменение состава подземных вод на действующих водозаборах.

Рассматривая геологическую историю развития бассейнов стока, можно сделать вывод, что основным фактором формирования низкой минерализации и широтно-концентрической зональности подземных вод от пресной до ультрапресной, являются процессы криогенной метаморфизации подземных вод вследствие многократного промерзания и протаивания отложений эоцен-олигоцен-четвертичного гидрогеологического комплекса [Бешенцев, Иванов, Бешенцева, 2005].

При практически окончательно сформировавшейся системе стока северных рек и соответственно подземного стока данного региона в конце плейстоцена – начале голоцена, подземные воды неоднократно промораживались в течении раннезырянского – позднезырянского ледниковых периодов и промывались талово-паводковыми водами в межгляциальные периоды.

В процессе формирования химического состава подземных вод на описываемой территории, происходили неоднократные процессы метаморфизации химического состава замерзающих и талых вод, в том числе [Иванов, Бешенцев, 2005].

а) криогенное концентрирование (последовательный рост величины минерализации замерзающей воды); б) направленное изменение химического состава льдов и вод, испытавших хотя бы один цикл замерзания-таяния; в) сезонное перераспределение и уменьшение ионного (химического) стока рек в результате хемогенного осаждения криогенных осадков (минералов в виде солей, гидроксидов, органокомплексных соединений); г) опреснение льдов при их таянии; д) формирование гидрохимической стратификации в континентальных и морских водоемах при таянии их ледяного покрова; е) аккумуляция CaCO<sub>3</sub> и растворимых соединений в морских, наледных, ледниковых и подземных льдах; ж) колебания

солености вод Мирового океана в тысячелетнем цикле как результат изменчивости состояния оледенения.

В итоге, на общем фоне низкой минерализации (70-150 мг/дм<sup>3</sup>) для подземных вод ЯНАО прослеживается четко выраженная гидрохимическая зональность.

В направлении с юга на север увеличивается количество мерзлых пород, проницаемость пород понижается, что в условиях более затрудненного водообмена увеличивает время взаимодействия воды с породами и приводит к более интенсивному выщелачиванию катионов. Дополнительно на данный фактор накладывается и влияние более низких температур, что, как известно, приводит к осаждению карбонатов кальция и накоплению в растворе карбонатов магния (Иванов, Бешенцев, 2005).

В северном направлении отмечается и рост содержания сульфатов и хлора, которые, как определено исследованиями (Бешенцев, Иванов, Бешенцева, 2005), являются индикаторами процессов прямого криогенеза. Следы прямого криогенного вымораживания в вертикальном разрезе можно видеть и в повышении содержания солей в нижней части верхнемелового-четвертичного водоносного этажа. Здесь, в относительно водоносном верхнепалеоценовом горизонте (тибейсалинская свита), минерализация подземных вод в ряде случаев повышается до 0,7-1,5 г/дм<sup>3</sup>. Следовательно, увеличение относительного содержания ионов натрия и магния и уменьшение минерализации подземных вод с уменьшением интенсивности водообмена убедительно показывают на роль процессов криогенеза на формирование гидрохимических условий криолитозоны севера Западно-Сибирского мегабассейна.

## Литература

- Бешенцев В.А. 2006. Подземные воды Ямало-Ненецкого автономного округа. Екатеринбург. Институт геологии и геохимии УрО РАН, 149 с.
- Матусевич В.М. 1984. Гидрогеологические бассейны Западно-Сибирской равнины. Материалы Международного геологического конгресса (27 сессия).- М., С. 373-374.
- Матусевич В.М., Смоленцев Ю.К. 1989. Гидрогеологические структуры Западно-Сибирской плиты. Межвузовский сборник «Пресные и маломинерализованные подземные воды Западной Сибири». - Тюмень, Издательство ТюмГНГУ, С.4-17.
- Иванов Ю.К., Бешенцев В.А. Палеогеографические аспекты формирования химического состава пресных подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа. Литосфера №4 Екатеринбург, 2005, - С. 188-196.
- Бешенцев В.А., Иванов Ю.К., Бешенцева О.Г. Экология подземных вод Ямало-Ненецкого автономного округа. Екатеринбург. Институт геологии и геохимии УрО РАН. 2005, - 165 с.

## Продукция углекислого газа и лабильное органическое вещество криогенных почв северотаежных экосистем Западной Сибири

А.А. Бобрик, О.Ю. Гончарова

*Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Факультет Почвоведения, Москва, Россия*

**Ключевые Слова:** эмиссия углекислого газа, лабильное органическое вещество, почвенное дыхание, запасы углерода в мерзлотных почвах.

### Введение

По существующим мировым оценкам планетарный максимум среднегодовых концентраций углекислого газа лежит не над тропическими лесами и не между 20<sup>0</sup> и 60<sup>0</sup> с.ш., где сжигается 95% добываемого ископаемого топлива, а на 70<sup>0</sup> с.ш. – над тундрой и северными лесами. Именно северные экосистемы являются основным источником углекислого газа, и именно они обеспечивают его планетарный максимум в атмосфере.

Большинством авторов было показано, что наибольшее влияние на величину эмиссии парниковых газов из мерзлотных почв оказывает содержание органического углерода. Но при этом не был рассмотрен качественный состав почвенного органического вещества. Хотя несомненен тот факт, что именно от него зависит доступность органического вещества микроорганизмам и скорость мобилизации. Дополнительная эмиссия углерода в атмосферу в виде парниковых газов в дальнейшем усилит “парниковый эффект” по принципу обратной связи и может стать соизмеримой с ежегодным техногенным приростом в атмосфере этих газов.

На сегодняшний день недостаточно изученным является вопрос непосредственного влияния криогенеза как на качественный состав органического вещества почвы с точки зрения его доступности микроорганизмам, так и на поведение газов в почвенном профиле.

#### Район исследования

Район исследования расположен на севере Западной Сибири (Надымский район, Тюменская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, РФ) в пределах северной границы распространения северной тайги, в краевой части 3-ей озерно-аллювиальной равнины реки Надым.

Согласно почвенно-географическому районированию (Добровольский, Урусевская 2004) этот район относится к Нижнеобской провинции фации холодных длительно промерзающих почв подзоны глееподзолистых почв и подзолов северной тайги Европейско-Западно-Сибирской таежно-лесной области бореального пояса.

Район исследования расположен в зоне островного распространения многолетнемерзлых пород. Они имеют прерывистое распространение, отсутствуя с поверхности под островами лесных урочищ и болотами, и приурочены к торфяникам, буграм и грядам пучения. К настоящему моменту на территории широко распространены разновозрастные ландшафты, характеризующиеся различной степенью проявления криогенеза.

### Объекты и методы

Исследование проводилось на трех участках: лесной участок, плоскобугристый торфяник, деградирующий торфяник.

Лесной участок представляет кочковато-западный сосняк лишайниковый. Мерзлота в почвенном покрове не выявлена. Почва, формирующаяся в условиях глубокого залегания вечномерзлых пород, была классифицирована как подзол иллювиально-железистый мелкоосветленный супесчаный.

Плоскобугристый торфяник представляет плоские и слабо наклонные крупнокочковатые основные поверхности торфяников с морошково-багульниково-сфагново-лишайниковым покровом. В данном случае деятельная толща представлена торфянистым горизонтом, который подстилается минеральной толщей. Мерзлота в среднем с 55 см. Выявлена почва – торфяно-криозем потечно-гумусовый мелкоторфянистый супесчано-легкосуглинистый.

Деградирующий торфяник представляет мелкобугорковатые поверхности гряд из приподнятых над уровнем болота бугров. Для него характерны местами голые пятна торфа, разреженная растительность, мерзлота в среднем на 60 см в слое торфа. Деградирующие торфяники являются реликтовыми образованиями. Почва классифицирована как торфяная олиготрофная деструктивная мерзлотная.

В полевых условиях были проведены: режимные наблюдения за эмиссией углекислого газа с поверхности почвы камерным методом (Смагин 2005); режимные наблюдения за концентрацией углекислого газа в горизонтах почв “методом трубок”. Для выполнения этой задачи в почву на глубины 20, 40, 60 см были помещены герметично закрытые трубки диаметром 1 см с выводом на поверхность. Измерения концентрации в обоих методах осуществлялось на портативном газоанализаторе GAS ANALYZER DX6210. Также были проведены режимные температурные наблюдения с помощью Thermochron iButton™.

Все измерения проводились в многократной повторности ежедневно на протяжении месяца, в пик вегетационного периода, в течение трех полевых сезонов 2009-2011.

В лабораторных условиях было проведено определение содержания общего углерода на экспресс-анализаторе АН-7529 и углерода лабильного (водорастворимого) органического вещества почвы (ЛОВ).

## Результаты и обсуждения

На основе полученных усредненных данных (таб. 1) можно заключить, что величины эмиссии углекислого газа в данном регионе низкие, что свидетельствует о низкой биологической активности всех изученных почв. Максимальными величинами эмиссии характеризуются почвы лесных экосистем, что связано как с отсутствием кровли вечной мерзлоты в почвенном профиле, так и с микроклиматическими особенностями – как показали наблюдения, приход тепла на поверхность лесных почв выше. Наименьшие величины эмиссии характерны для почв деградирующего торфяника, что связано с близким залеганием вечномерзлых пород, а также с качеством субстрата – это древний, практически полностью переработанный торф.

Установлена четкая суточная динамика эмиссии газа, связанная с суточной динамикой температуры воздуха.

Среди объектов исследования максимальными усредненными величинами концентрации углекислого газа в почвенных горизонтах характеризуются лесной участок и плоскобугристый торфяник. Общая тенденция изменения концентрации углекислого газа по объектам, так же как и эмиссии, сохраняется, так как зависит от близости залегания многолетнемерзлых пород.

Установлено, что изученные почвы функционируют в различных температурных режимах, обусловленных наличием или отсутствием многолетнемерзлых пород в профиле. “Холодными” можно назвать криоземы плоскобугристого торфяника, наиболее “теплые” – подзолы лесных экосистем, где вечная мерзлота в почвенном профиле отсутствует.

Таблица 1. Продукция углекислого газа почвами

Почва	Эмиссия, мгСО <sub>2</sub> /м <sup>2</sup> час	Концентрация СО <sub>2</sub> ,%		
		20см	40см	60см
Торфяно-криозем	116	0,30	0,29	0,3
Торфяная олиготрофная деструктивная мерзлотная	42	0,10	0,16	н.д.
Подзол иллювиально-железистый	205	0,15	0,31	0,23

На основе полученных данных (таб. 2) установлено, что для торфяно-криозема плоскобугристого торфяника характерно высокое содержание общего углерода в торфяном горизонте, резкое снижение в минеральных с последующим увеличением в надмерзлотном горизонте, что подтверждает теорию ретинизации гумуса.

Почвы деградирующего торфяника характеризуются наибольшим среди всех исследуемых почв содержанием

общего углерода по всему профилю при наименьших показателях биологической активности, что связано, по нашему мнению, с низким содержанием лабильного органического вещества.

Наибольшее содержание водорастворимого органического вещества выявлено в органогенном горизонте подзола на лесном участке и торфяно-криозема плоскобугристого торфяника. Для почв лесных экосистем характерны наибольшие показатели биологической активности, что свидетельствует о благоприятных по сравнению с другими объектами условиях трансформации органического вещества.

Таблица 2. Содержание общего и водорастворимого углерода

почва	Горизонт (мощность см)	С общ,%	С водораств, % от почвы	С водораств, % от С общ
Торфяно-криозем	О (0-6)	36,77	0,670	1,822
	Т (6-12)	42,85	0,789	1,841
	B1 (12-16)	1,26	0,039	3,105
	Bh (16-24)	1,33	0,027	2,037
	B3 (24-35)	0,93	0,025	2,678
	BC (35-43)	5,06	0,024	0,474
Торфяная олиготрофная деструктивная мерзлотная	T1 (0-17)	50,10	0,232	0,463
	T2 (17-33)	49,73	0,236	0,474
	T3 (33-48)	50,19	0,274	0,546
Подзол иллювиально-железистый	OT (0-11)	42,43	1,093	2,576
	E (11-16)	1,16	0,051	4,394
	B (16-35)	0,58	0,019	3,254
	BC (35-61)	0,23	0,012	5,221

Выявлена взаимосвязь содержания водорастворимого органического вещества в верхнем органогенном горизонте почв и величин эмиссии углекислого газа.

Таким образом, величина эмиссии углекислого газа для исследованных почв определяется как гидротермическими и геокриологическими условиями, так и составом органического вещества, в частности - содержанием лабильных фракций.

## Литература

- Добровольский Г.В., Урусевская И.С. 2004. География почв. М.: Изд-во Моск.Ун-та, 460 стр.  
Смагин А.В. 2005. Газовая фаза почв. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 301 стр.

## Закономерности формирования температуры пород в западной части котловины озера Лама

А.В. Борцов, О.М. Лисицына

*МГУ имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва, Россия*

### Введение

Район оз. Лама уникален по природным условиям и является зоной отдыха жителей Норильского района. Геокриологические условия данной территории ранее практически не были изучены. Геокриологические исследования, в которых участвовали авторы, проводились экспедицией каф. геокриологии МГУ (1991-1993 г.г.), российско-германской экспедицией (1997 г.). Среднегодовая температура пород является основной характеристикой геокриологических условий любой территории и анализ частных и общих закономерностей ее формирования имеет первостепенное значение.

### Характеристика района

Котловина оз. Лама расположена в подножье западной части плато Путорана. Район находится за Полярным кругом, климат повышенно-континентальный со среднегодовой температурой воздуха  $-9,3^{\circ}\text{C}$ . Среднегодовое количество осадков составляет 429 мм, из них 236 мм выпадает в виде снега. Территория относится к подзоне северной тайги и, в основном, покрыта лесом из ели, лиственницы и березы и редколесьями. Район исследования охватывает равнинную территорию северного и южного берегов оз. Лама (абс. высоты 45-175 м), которая включает озерные террасы, террасы р. Микчангды и самый высокий уровень - ледникового генезиса. Распространение многолетнемерзлых пород по данным геофизических исследований прерывистое и островное.

### Методы исследования

Для оценки влияния природных факторов на формирование температуры пород выполнено специальное ландшафтное микрорайонирование территории и составлена соответствующая карта. Признаками районирования выбраны рельеф и микрорельеф поверхности, состав пород верхней части разреза и характер растительности, которые являются основными факторами. В каждом выделенном микрорайоне в нескольких точках описаны поверхностные условия, измерена глубина сезонного оттаивания, изучен разрез отложений и произведен отбор проб мерзлых и сезонноталых пород для определения влажности и объемной массы скелета грунта. Во время полевых работ в 1991 г. были пробурены 2 термометрические скважины на торфяниках. Среднегодовая температура пород определена в диапазоне от  $-1,5^{\circ}\text{C}$  до  $-2^{\circ}\text{C}$ .

Так как данные непосредственных термометрических наблюдений ограничены, для установления закономерностей формирования среднегодовой температуры пород проведена количественная оценка

влияния различных природных факторов на температуру пород и мощность сезонноталого (СТС) или сезонномерзлого (СМС) слоя по методу С.Н. Булдовича (2001). Данная методика основана на анализе связи между температурным режимом пород и уровнем годового теплообмена в них. Расчет ведется через величину годовых теплооборотов, которые определяются целым рядом факторов ландшафтно-климатических и геологических факторов, среднегодовой температурой пород и мощностью СТС (СМС). Для каждого микрорайона, помимо среднегодовой температуры пород на подошве слоя сезонного оттаивания или промерзания ( $t_{\xi}$ ), было оценено влияние составляющих радиационно-теплогового баланса, снежного и напочвенного растительного покровов и вычислена температурная сдвигка за счет разности коэффициентов теплопроводности пород в там и мерзлом состоянии. По результатам расчетов была составлена температурная карта западной части котловины оз. Лама.

### Результаты исследования

#### *Влияние радиационно-теплогового баланса*

Среднегодовая температура дневной поверхности отличается от среднегодовой температуры воздуха на величину радиационной поправки ( $\Delta t_R$ ). Для открытых незалесенных участков изучаемой территории  $\Delta t_R$  составляет в среднем  $1,0^{\circ}\text{C}$ , для залесенных поверхностей (под пологом леса) -  $-0,2^{\circ}\text{C}$ .

#### *Влияние снежного покрова*

Снежный покров является одним из важнейших температуроформирующих факторов. Влияние снега ( $\Delta t_{\text{сн}}$ ) определяется не только его термическим сопротивлением, но и во многом зависит от величины теплооборотов, проходящих через поверхность почвы. Следует подчеркнуть неравномерное распределение снежного покрова по высоте и плотности на исследуемой территории, которое ведет к различиям в  $\Delta t_{\text{сн}}$ . В лесах с подлеском и густым кустарником накапливается мощный снежный покров до 0,8-1,1 м, иногда достигая 1,5 м. Также большие мощности снега (до 2 м) наблюдаются в межрядовых понижениях, характерных для расчлененных ледниковых поверхностей. На открытых незалесенных участках мощность снега изменяется от 0,2 до 0,6 м. Значения  $\Delta t_{\text{сн}}$  в разных микрорайонах находятся в диапазоне от 5,0 до  $8,5^{\circ}\text{C}$ . С увеличением мощности снежного покрова закономерно увеличивается его отепляющее влияние. Наибольшее  $\Delta t_{\text{сн}}$  (от 8.1 до  $8,5^{\circ}\text{C}$ ) – в микрорайонах, поросших лесом или густым кустарником, а также в межрядовых понижениях. Наименьшее значение  $\Delta t_{\text{сн}}$  отмечается на лишенных растительности островах в дельте р. Микчангды с маломощным снежным покровом (0,3 м).

### *Влияние напочвенного растительного покрова*

Влияние древесно-кустарникового покрова проявляется, как показано выше, через изменение составляющих радиационно-теплового баланса поверхности и через перераспределение снежного покрова. Напочвенные мохово-лишайниковые и зеленомошные растительные покровы, являясь теплоизоляторами, препятствуют легкому прогреву почвы и вместе с тем уменьшают теплоотдачу с ее поверхности зимой. По результатам расчетов выяснено, что напочвенные покровы оказывают охлаждающее влияние ( $\Delta t_p$  от  $-0,1$  до  $-0,7^\circ\text{C}$ ) на  $t_\xi$ . Чем больше толщина мохового покрова, тем большее влияние он оказывает на  $t_\xi$ . Самое большое охлаждающее влияние (от  $-0,6$  до  $-0,7^\circ\text{C}$ ) оказывают мощные зеленомошные покровы на низкой озерной террасе. Чем больше влажность напочвенного покрова, тем больше его охлаждающее влияние летом и меньше обогревающее влияние зимой, и для влажных мхов охлаждающая величина  $\Delta t_p$  почти вдвое больше, чем у маловлажных.

Влияние факторов, определяющих  $t_\xi$  взаимосвязано. При уменьшении снежного покрова возрастает амплитуда колебаний среднемесячных температур на поверхности растительного покрова. Это приводит к увеличению величины теплооборотов и увеличению охлаждающего влияния растительности. С увеличением мощности снежного покрова сокращается величина теплооборотов и уменьшается влияние напочвенных растительных покровов. Так, на низкой террасе оз. Лама, на участке, сложенном суглинками, при увеличении мощности снежного покрова на  $0,1$  м  $\Delta t_p$  уменьшилось на  $0,1^\circ\text{C}$ . Однако количественный вклад обогревающего влияния снега при одних и тех же климатических характеристиках значительно превышает охлаждающее влияние напочвенных растительных покровов.

### *Влияние состава и свойств пород*

Состав пород СТС (СМС) отличается большим разнообразием - от галечно-валунных отложений с песчаным и супесчаным заполнителем до суглинков и торфа. Температурная сдвигка ( $\Delta t_\lambda$ ), обусловленная различием коэффициентов теплопроводности пород в мерзлом и талом состоянии, увеличивается с ростом различия коэффициентов теплопроводности и зависит от льдистости пород. В результате расчетов были получены величины  $\Delta t_\lambda$  от  $-0,1$  до  $-2,1^\circ\text{C}$ . Наибольших значений  $\Delta t_\lambda$  достигает в торфах, для суглинков  $\Delta t_\lambda$  варьируют от  $-0,4$  до  $-1,4^\circ\text{C}$ , а для песков и гравийно-галечных отложений - от  $-0,1$  до  $-0,4^\circ\text{C}$ .

### *Формирование температуры пород под влиянием комплекса факторов*

Формирование  $t_\xi$  происходит под влиянием комплекса природных факторов, причем изменение влияния одного

фактора приводит к изменению влияния всех других, так как изменяется теплооборот. Сложное сочетание факторов в разных микрорайонах приводит к разнообразию  $t_\xi$  территории. Самые низкотемпературные микрорайоны ( $t_\xi$  до  $-2,1^\circ\text{C}$ ) относятся к торфяникам, имеющим самую большую  $\Delta t_\lambda$ . На ледниковых отложениях формируются  $t_\xi$  от  $-0,3$  до  $-1,3^\circ\text{C}$ , самая низкая температура получена для межрядовых понижений, сложенных пылеватой супесью и перекрытой слоем торфа. Близкие  $t_\xi$  (от  $-0,3$  до  $-1,7^\circ\text{C}$ ) наблюдаются на озерных террасах, где самые высокие температуры характерны для маловлажных песчаных пород с мощным снежным покровом, в то время как  $t_\xi = -1,7^\circ\text{C}$  получена для открытых малоснежных участков, сложенных супесями и суглинками. Положительные  $t_\xi$  могут формироваться на водно-ледниковых песчано-галечных отложениях в местах повышенного снегонакопления. Сложные температурные условия формируются на пойменных островах в дельте р. Микчангды, сложенных супесью и пылеватым песком. Здесь на участках без растительности  $t_\xi$  около  $-3^\circ\text{C}$ , что связано, главным образом, с маленькой мощностью снежного покрова и его большей плотностью вследствие сильных ветровых нагрузок. На островах, поросших густым кустарником, задерживающим рыхлый снег, формируются положительные  $t_\xi$  ( $0,4^\circ\text{C}$ ).

## **Выводы**

На исследуемой территории сформировались аномальные для высокой широты температурные условия. Здесь развиты талые и высокотемпературные многолетнемерзлые породы. Величины  $t_\xi$  изменяются в пределах от  $+0,4$  до  $-3,3^\circ\text{C}$ . Наиболее сильное влияние на формирование  $t_\xi$  оказывает снежный покров, мощность и плотность которого в пределах изучаемой территории очень изменчивы. Влияние кустарниковой и древесной растительности проявляется через условия накопления снега. В лесу температура на дневной поверхности ниже по сравнению с безлесными пространствами. Напочвенные покровы оказывают небольшое охлаждающее влияние и в ряде случаев мощные моховые покровы понижают обогревающее влияние снега. Температурная сдвигка отрицательная и на особенно на торфяниках сильно понижает  $t_\xi$ .

## **Литература**

- Булдович С.Н. 2001. Экспресс-метод оценки и прогнозирования температурного режима многолетнемерзлых пород. *Материалы Второй конференции геокриологов России, МГУ им. М.В. Ломоносова, 6 – 8 июня 2001 г.* 2: 61-70

## Фитоиндикаторы химического загрязнения экосистем в районах криолитозоны Западной Сибири

Е.В. Булдакова

*Институт Геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), Москва, Россия*

### Аннотация

В настоящее время остро стоит задача поиска новых эффективных методов оценки загрязнения среды и состояния биоты на всех уровнях ее организации. Необходим анализ состояния экосистем для обеспечения экологической безопасности регионов перспективных нефтяных месторождений, строительства трубопроводов и территорий других крупных сопутствующих инженерных сооружений, где создается существенное техногенное воздействие на природную среду. Особую тревогу вызывают районы распространения вечномёрзлых грунтов, где нефтяное загрязнение может вызвать серьезную трансформацию физико-химических условий почв, водоемов и атмосферы, что в свою очередь может привести к деградации растительного покрова. В результате происходит изменение состояния вечной мерзлоты. Использование метода фитоиндикации позволяет выявить виды, способные произрастать на нефтезагрязненных землях, выступать в роли фитомелиорантов, которые можно применять при рекультивации нефтезагрязненных почв, а также использоваться при диагностике биологической активности почв и мониторинге их загрязнения.

Углеводородное загрязнение окружающей среды северных регионов России в связи с развитием сети магистральных трубопроводов становится серьезной экологической проблемой. Особый интерес и беспокойство вызывают районы распространения мерзлых пород, обусловленные особенностями углеводородного загрязнения криолитозоны. Нефтяное загрязнение оказывает негативное воздействие не только на почвы и породы криолитозоны, но и на растительный покров, воздействие на который еще очень слабо изучено, что обусловлено сложностью её трансформации в биосфере и разнообразием путей воздействия на растения. Поэтому оценка современного состояния растительного покрова в районах добычи и транспортировки нефти, установление ответных реакций растительности с учетом доз (хроническое или импульсное) и форм воздействия, выявление основных индикаторов интегрального химического загрязнения является необходимой задачей при решении ряда экологических и хозяйственно-производственных задач.

Особенности географического положения нефтяных месторождений Западной Сибири, обилие обширных болот обусловили необычность размещения промысловых объектов и своеобразие организации труда по их обслуживанию. Как правило, максимальное воздействие техногенных факторов на окружающую среду наблюдается в промышленных зонах сосредоточения пунктов сбора и перекачки нефти, где природные ландшафты оказываются полностью нарушенными. В то время как в районах линейных сооружений, часто происходит загрязнение природных экосистем, в результате изменяется видовой состав растительных сообществ, снижается транспирация и замедляется поверхностный сток, что усиливает процессы заболачивания территории, кроме того изменяется альbedo территории, что приводит к изменениям состояния мерзлых пород.

Учитывая, что растительность является легко нарушаемым компонентом геосистем при внешнем воздействии, а кроме того отличается способностью к самовосстановлению, по ее состоянию можно определить дозу, силу и продолжительность этого воздействия. Однако химическое воздействие нефтепромыслов на растительный покров остается еще слабо изученным, что обусловлено многокомпонентным составом токсикантов, сложностью их трансформации в биосфере и разнообразием путей воздействия на растения. Поэтому современные фитоиндикационные исследования направлены преимущественно на поиски неспецифических индикаторов суммарного химического воздействия на растения, как из воздуха, так и через почву.

В работе был проведен анализ современного состояния растительных комплексов в районе одного из крупнейших месторождений Западной Сибири – «Самотлор» с целью выявления фитоиндикаторов химического загрязнения. Самотлорское нефтяное месторождение находится в южной части подзоны средней тайги. Для неё типичны елово-кедровые с пихтой, местами кедрово-еловые, мелкотравно-бруснично-зеленомошные леса, занимающие относительно хорошо дренированные местоположения. Почвы под ними подзолистые элювиально-глееватые на средних и легких суглинках или элювиально-глееватые неоподзоленные длительно-сезонномерзлотные на тяжелосуглинистых отложениях. Однако лесная растительность значительно уступает по площади незональным болотным сообществам (заболоченность месторождения порядка 90%), заозеренность территории составляет 12%. Учитывая эти особенности анализ видовой разнообразия и классификация растительности была проведена по методу Браун-Бланке, отдельно для лесных и болотных сообществ. Основное внимание обращалось на список видов подлеска, травяно-кустарничкового и мохового ярусов, учитывая неодинаковую чувствительность к загрязнению и скорость ее

трансформации для различных экологических и жизненных форм растений.

На территории месторождения встречаются многочисленные разливы нефти, в основном вдоль трубопроводов. Чаще всего ограничиваются очищенными от леса участками, но местами нефть скапливается в больших количествах в ложбинах вместе с поверхностными водами или внедряется в прилегающие болотные или лесные фитоценозы. Ответная реакция растений и фитоценозов зависит от местообитаний и загрязнителя. На территории Самотлорского месторождения можно выделить следующие тенденции реакции растительности для всех типов химического загрязнения. 1. При поверхностных разливах нефти гибнет практически вся растительность. Растениями пионерами, произрастающими на токсичных грунтах, в зависимости от степени увлажнения, являются: тростник (в местах с избыточным увлажнением), осока острая, пушица влагалищная, рогоз широколистный, ситники, горец, частуха подорожниковая, вейник лесной и лисохвост луговой. Преобладание этих видов в фитоценозах и в настоящее время свидетельствует о том, что восстановление растительности происходит крайне медленно. 2. Внешними признаками, указывающими на влияние нефти и продуктов её распада на растения, можно считать изменение анатомо-морфологических показателей растений, проявляющимися в районе месторождения в виде некроза и хлороза хвои. Сильнее эти явления выражены на сосне на болотах и на подросте сосны в хорошо дренируемых местообитаниях. В целом некрозу и хлорозу хвои подвержено 50% хвои и распространено это повсеместно. 3. От разливов нефти в первую очередь

страдают древесные растения, в центре разлива они погибают сразу. Анализ линейного прироста подроста показал, что наблюдается значительное снижение его по сравнению с максимально возможным для этой территории. Так для разных хвойных пород были отмечены значения показаний прироста встречающихся чаще всего: кедр – 2-3 см (при фоновом 10 см), ель – 3-5 см (при фоновом 12 см), пихта – 4-5 см, сосна 6-7 см.

Таким образом, легко наблюдаемыми индикаторами суммарного загрязнения является хлороз и некроз хвои, а хронического загрязнения – снижение прироста у подроста всех хвойных пород, особенно у кедр – главной лесообразующей породы. Полученные результаты дают возможность сделать прогноз о развитии растительности месторождения в будущем. С уверенностью можно сказать, что даже при полном снятии химической нагрузки снижение прироста у подроста основных лесообразующих пород будет продолжаться, а вместе с этим ухудшаться возобновление леса, так как в почве накопились токсичные вещества.

Процессы восстановления растительности в пределах токсичных местообитаний достаточно проблематичны, так как к химическому воздействию добавляется физическое (подтопление, затопление), в других случаях механическое уничтожение вблизи площадок, на самих площадках, по линии ЛЭП, вдоль трубопроводов. Выявленные виды – растения пионеры, способные произрастать на токсичных грунтах, могут выступать в роли фитомелиорантов, которые можно применять при рекультивации нефтезагрязненных почв.

## Изменение теплопроводности газонасыщенных пород в процессе гидратообразования при отрицательных и положительных температурах

Б.А. Буханов, Е.М. Чувиллин,  
МГУ имени М.В. Ломоносова, Геологический ф-т, Москва, Россия

### Введение

Первые аномально низкие значения теплопроводности для гидрата метана были обнаружены в 1979 году. В дальнейшем эти данные были подтверждены, уточнены и дополнены разными исследователями. И в целом, на сегодняшний день можно говорить, что теплопроводность чистых монокристаллических газогидратных образований изучена достаточно хорошо. Экспериментальные данные показывают, что теплопроводность газовых гидратов (~0,6 Вт/м\*К) и воды (~0,6 Вт/м\*К) очень похожи, и почти в 4 раз ниже теплопроводности льда (~2,23 Вт/м\*К) (Groisman, 1985; Wright et al, 2005; Bukhanov et al, 2008).

Теплопроводность гидратосодержащих пород в отличие от чистых газогидратных образований изучено слабо. Это обусловлено сложным компонентным и фазовым составом пород, содержащим газы гидраты, а также различным макро и микростроением гидратосодержащих пород.

В настоящее время в мире уделяется большое внимание поиску и разведке газогидратных образований в недрах земли, в том числе и в областях распространения многолетнемерзлых пород. При этом огромное внимание уделяется созданию и разработке технологий добычи газа из природных газогидратных скоплений. Однако, решение данных вопросов невозможно без детального изучения физических свойств гидратосодержащих пород, в частности тепловых. Эти параметры также очень важны и при разработке традиционных газовых месторождений в арктических районах и областях распространения многолетнемерзлых пород, где продуктивные газовые горизонты залегают неглубоко от подошвы многолетнемерзлых пород и зон стабильности газовых гидратов и характеризуются низкой пластовой температурой. Добыча газа из этих горизонтов может сопровождаться снижением температур в призабойной части скважин до температурных условий гидратообразования.

Исходя из этого, видно, что исследования изменений теплопроводности в газонасыщенных породах при гидратообразовании в области низких положительных и отрицательных температур представляется весьма актуальными.

### Методы

Теплофизические исследования проводились на специально созданной экспериментальной установке, позволяющей проводить изучение теплопроводности газонасыщенных влажных образцов дисперсных пород в барокамере при образовании газогидратов в поровом пространстве, как в области положительных, так и в области отрицательных температур.

Эта установка состояла из холодильного шкафа, при помощи которого задавалась необходимая температура, специальной барокамеры общим объемом 200 см<sup>3</sup>, газового баллона (объемом 300 см<sup>3</sup>), подводящих трубок и системы измерения теплопроводности исследуемого образца. Система измерения теплопроводности была смонтирована непосредственно в барокамере, что позволяло проводить замеры параметра в газонасыщенном образце под давлением. Погрешность измерений теплопроводности на данной установке не превышала 5%.

В качестве объекта исследования использовались грунтовые образцы различного состава: кварцевый песок мелкозернистый, пылеватая супесь, отобранная из области распространения ММП (район г. Воркуты) и песок пылеватый, отобранный на шельфе моря Лаптевых. Краткая характеристика грунтов использованных для приготовления образцов представлена в таблице 1.

Таблица 1. Краткая характеристика исследуемых грунтов.

Тип грунта	Распределение частиц по фракциям, %		
	1-0,05 мм	0,05-0,001 м	<0,001 мм
песок м/з	94,8	3,1	2,1
песок пыл.	89,4	10,6	---
супесь	41,8	53,7	4,5

В качестве газа - гидратообразователя при проведении экспериментов использовался метан (99,98%).

Методика ведения экспериментов по изучению теплопроводности газонасыщенных грунтов при гидратообразовании включала следующие действия: подготовку образца с заданной влажностью и его помещение в барокамеру, герметизацию и вакуумирование барокамеры с образцом, наполнение барокамеры гидратообразующим газом (CH<sub>4</sub>) и создание условий для гидратообразования в поровом пространстве грунтов. Следует отметить, что гидратонасыщение образцов протекало, как при низких положительных, так и при отрицательных температурах (Chuvilin & Kozlova, 2005; Chuvilin et al., 2011).

Измерение теплопроводности образца грунта, а также регистрация температуры и давления в установке осуществлялось на каждом этапе. Для каждого грунта проводилось несколько циклов гидратообразования. Помимо этого для сравнения образец грунта в барокамере подвергался замораживанию и оттаиванию, как при атмосферном давлении, так и при избыточном давлении (до 3-4 МПа). Данное давление создавалось газом азотом (N<sub>2</sub>), который в условиях эксперимента не образовывал гидратной формы.

По изменению термобарических условий в ходе экспериментов с использованием PVT метода

определялись следующие параметры образцов: гидратонасыщенность (Sh), объемное гидратосодержание (Hv), коэффициент гидратности (Kh) (доля влаги, перешедшей в гидрат) (Chuvilin & Kozlova, 2005; Chuvilin et al., 2011).

## Результаты

Экспериментальные исследования показали, что в процессе гидратонакопления при низких положительных температурах (+1...2 °С) теплопроводность исследуемых грунтов менялась незначительно (рис. 1а).

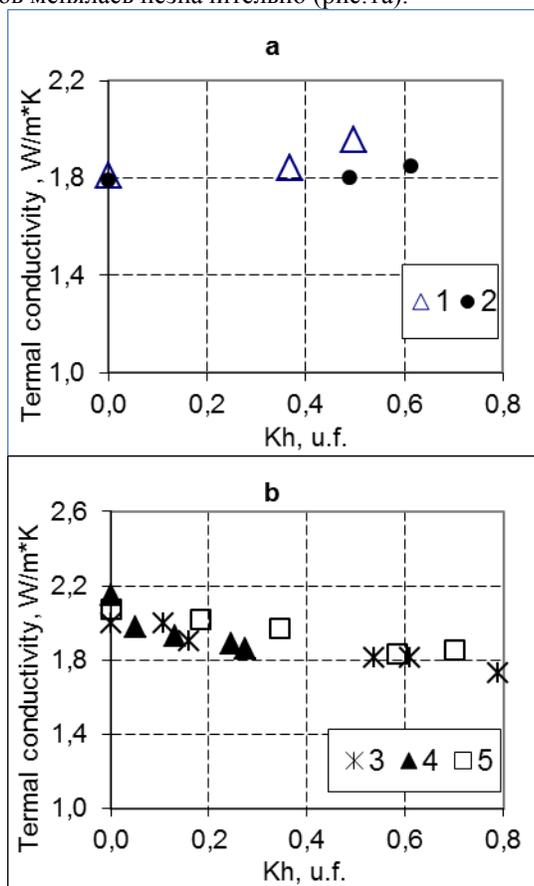


Рис. 1. Изменение теплопроводности пород в процессе гидратонасыщения при а)  $t = +1...2$  °С; б)  $t = -6...-4$  °С.

1- песок м/з, W=16%; 2- супесь, W=16%; 3- песок м/з, W=22%; 4- песок пыл., W=15%; 5- супесь, W=22%

Было установлено, что заметное изменение теплопроводности газонасыщенных грунтов наблюдалось при большом Kh (более 0,5). Так в образце песка м/з (W=16%) теплопроводность повысилась от 1,80 Вт/м²К до 1,96 Вт/м²К, что составило почти 10%.

Такое изменение теплопроводности исследуемых грунтов при большой доли перехода в гидрат поровой влаги (Kh более 0,5), по-видимому, связано с локальным

перераспределением влаги в поровом пространстве при гидратообразовании, что оказывать влияние на тепловые контакты в грунте.

Что касается изменения теплопроводности в процессе гидратонакопления при отрицательной температуре (рис. 1б), то было установлено, что увеличение гидратонакопления мерзлых грунтов приводило к снижению их теплопроводности.

Так в образце песке пылеватом (W=15%) при увеличении Kh до 0,25 его теплопроводность понизилась с 2,15 Вт/м²К до 1,89 Вт/м²К. При этом снижение составило 12%. Такая тенденция снижения теплопроводности мерзлых пород в процессе гидратонакопления связана с изменением соотношения поровой лед-поровый гидрат, т.е. увеличению доли гидратной компоненты, теплопроводность которой в 4 раза меньше.

Так образом при накоплении гидрата метана в поровом пространстве пород наблюдается изменение их теплопроводности, причем это изменение в зависимости от фазового состояния поровой влаги неоднозначно. При температурах ниже 0°С, когда поровая влага находится в основном в виде льда, происходит снижение теплопроводности, а при температурах выше 0°С фиксируется некоторое увеличение теплопроводности с увеличением гидратонасыщенности.

## Литература

- Bukhanov B.A., Chuvilin E.M., Guryeva O.M. & Kotov P.I. 2008. Experimental Study of the Thermal Conductivity of the Frozen Sediments containing Gas Hydrate. Proceedings of the 9 th International Conference on Permafrost. June 29-July 3 2009. Fairbanks, Alaska: 205-209.
- Chuvilin E.M. & Kozlova E.V. 2005. Experimental estimation of hydrate-containing sediments stability. Proceedings of the Fifth International Conference on Gas Hydrate. Thermodynamic Aspects. V.5. Trondheim, Norway: 1562-1567.
- Chuvilin E.M., Lupachik M.V. & Guryeva O.M. 2011. Kinetics research of ice transition into gas hydrate in porous media. In: Physics and Chemistry of Ice. Hokkaido University Press. p. 127-132.
- Groysman A.G. 1985. Thermophysical properties of gas hydrates. *Novosibirsk (in Russian)*.
- Wright J.F., Nixon S.R., Dallimore S.R., Hennings J. & Cote M.M. 2005. Thermal conductivity of sediments within the gas-hydrate-bearing interval at the JAPEX/JNOC/GSC et al. Mallik 5L-38 gas hydrate production research well. Scientific results from the Mallik 2002 gas hydrate production research well program, Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada, Bulletin 585.

## Исследование термоэрозийных процессов и оврагообразования в природно-технических системах газовых месторождений криолитозоны

А.В.Быкова, М.С.Лебедев  
 ООО Газпром добыча Ямбург, Новый Уренгой, РФ  
 С.А.Лобастова  
 Башкирский государственный университет, Уфа, РФ

**Ключевые Слова:** природно-техническая система; термоэрозия, гидрофизические и геофизические факторы техногенного оврагообразования.

### Введение

Интенсивное промышленное освоение территории криолитозоны при разработке и эксплуатации месторождений углеводородов в совокупности с возрастанием колебаний климатических характеристик Субарктики привело к активизации и развитию опасных геокриологических процессов в природно-технических системах (ПТС). Ведущими склоновыми процессами деструктивного техногенеза в ПТС являются термоэрозийные процессы. Развитие техногенного оврагообразования интегрирует результаты взаимодействия склоновых геокриологических процессов: термоэрозии, термокарста, солифлюкции, оползания и обрушения грунтов др. Актуальной проблемой является необходимость разработки методов геотехнического мониторинга склоновых процессов криолитозоны (ГМ СПК) в аспекте системы комплексного наблюдения, контроля, оценки опасности и прогноза термоэрозийных процессов и оврагообразования - ТЭПО - с целью управления состоянием ПТС

Стационарные исследования динамики и закономерностей развития ТЭПО в натуральных условиях проведены в 2008-2011гг. при выполнении проектной документации «Ликвидация оврагообразования в районе УКПГ-1В Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ЯНГКМ)» и последующего мониторинга объектов проектирования. Объектами исследований ТЭПО являются семь овражных систем, расположенные в зоне газового промысла ГП-1В ЯНГКМ.

### Методы и методики проведения наблюдений

*Измерения морфометрических параметров овражных систем и температуры водотока.*

Временной период наблюдений: линейные измерения овражных систем производятся в 1-2 декаде июля (фиксируются изменения, произошедшие с оврагами в период весеннего снеготаяния); в 3 декаде августа – 1 декаде сентября по методу разбива гидростворов (Лобастова С.А. 1990); для сравнения результатов использовались крупномасштабные топографические съемки. Опорные точки выбираются с шагом, величина которого зависит от размеров оврагообразования. Для выделенных поперечников оврага измерялись: длина по тальвегу, ширина, ширина дна, глубина оврага; мощность сезонно-талого слоя; температура водотока; положение фронтов размыва и протаивания; зафиксированы площади

и размеры трещинообразования вдоль бровок и привершинных участков.

Результаты полевых измерений представляются в базе данных в численном и графическом виде (рис.1).

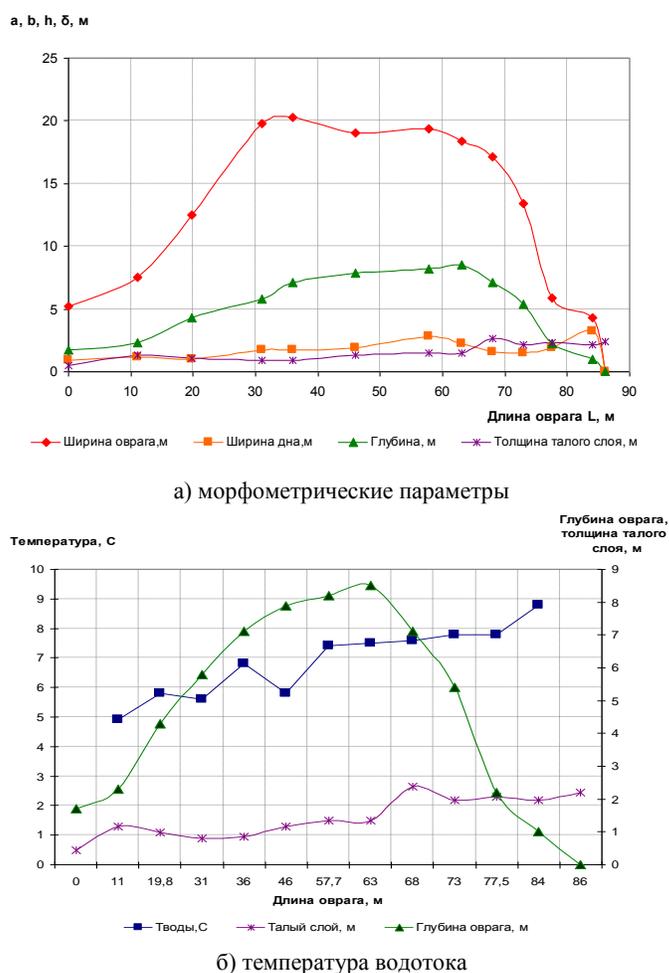


Рис.1. Полевые измерения: овраг № 1 к КГС 117В

Количественными характеристиками ТЭПО, получаемых по результатам измерений являются объем нарушенного грунта  $V=V(a,b,h,L)$  и коэффициент его годового прироста  $K=K(V,T)$ , интенсивность донного размыва  $J_h=J_h(h,L,T)$  и бокового размыва  $J_a=J_a(a,L,T)$ . (Лобастова С.А. 1990). *Гидротемпературные наблюдения на природных объектах ТЭПО* впервые проведены в августе 2011 года с целью выявления вклада тепловой и механической энергий водотока в процесс термоэрозии в период выпадения жидких осадков. Производилось

измерение температуры водотока по руслу овражных систем, с одновременной фиксацией толщины талой прослойки  $\delta$ . Расчетной количественной характеристикой является интенсивность протаивания  $J_\delta = J_\delta(\delta, L, T)$ .

*Снегомерные наблюдения и методика определения гидрофизических параметров стока.*

Снегомерные наблюдения для ТЭПО в ПТС проведены впервые в апреле 2009г. Высота  $h$  и плотность снежного покрова  $\rho$  измеряются в 1 декаде ноября и 3 декаде апреля согласно разработанной методике: по природной площади водосбора, площади водосбора, занятой техносферой, в овражной системе.

Распределение снежного покрова по телу овражных систем с различными типами накопления снега представляется в численном и графическом виде. По значениям средней высоты снега и его плотности рассчитывается запас воды в снеге  $S$  (см), слой стока воды  $H$  (см); объем стока воды  $W$  (м<sup>3</sup>).

Основной количественной гидрофизической характеристикой в динамике ТЭПО является расход воды в период снеготаяния в овраге  $Q=Q(W, V_{сн}, t)$ .

Слой стока  $H$  определяется по эмпирической формуле, которая вычислена путем натурных наблюдений центрального Ямала (Баранов 1999).

Объем стока  $W$  (см<sup>3</sup>) с площади водосбора:

$$W = (F_{np} \cdot H_{np}) + (F_{mex} \cdot H_{mex}), \quad (1)$$

где  $F_{np}$ ,  $F_{mex}$  – природная площадь водосбора и площадь техносферы, м<sup>2</sup>;

Объем воды в овраге рассчитаем следующим образом:

$$V_a = \frac{\rho_{сн}}{\rho_a} \cdot V_{сн} \quad (2)$$

$V_a$  - объем снега в овраге, см<sup>3</sup>,  $\rho_{сн}$  – плотность снега в овраге,  $\rho_a$  - плотность воды, г/см<sup>3</sup>.

Усредненный за период снеготаяния расход воды находим по формуле (4):

$$\bar{Q} = \frac{W + V_a}{t} \quad (3)$$

где  $W$ - объем стока с площади водосбора, см<sup>3</sup>,  $t$  - среднестатистический период снеготаяния, здесь в т.ч. включает время снеготаяния в овраге.

Основные гидрофизические характеристики рассчитаны для природного участка водосбора, техносферы и собственно оврага. В совокупности это позволяет оценить вклад соответствующих водотоков в динамику ТЭПО.

### Результаты исследований

Модель ТЭПО с учетом годовой цикличности гидрофизических и геофизических факторов разработана на основе многолетних исследований. Выделены следующие периоды внутри годового цикла по гидрофизическим и гидрологическим параметрам склоновых процессов: *I. Зона формирования факторов ТЭПО и II Зона развития ТЭПО.* Интенсивность протекания процессов определяется факторами термоэрозионной опасности, формирующимися в осенний и зимний периоды годового цикла. Активизация ТЭП и

оврагообразования в ПТС происходит в весенний, летний и осенний периоды за 42 % от общего годового времени в районе исследований.

Вклад термоэрозионных процессов в оврагообразование определяется механизмом концентрации водотока по тальвегу овражного русла. Запас воды в снеге и объем стока на элементах водосборной площади формируют основной источник водотока в период снеготаяния (рис.2).

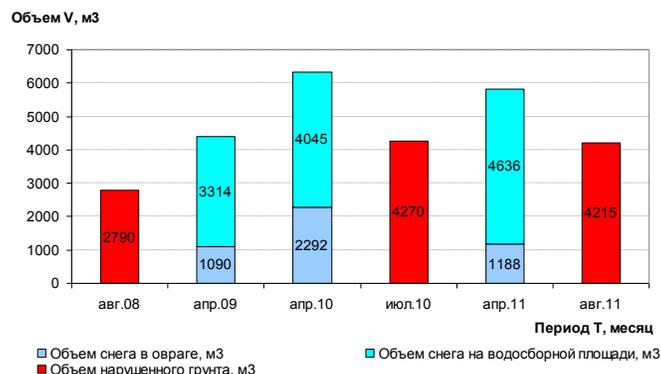


Рис.2. Динамика объема эрозионных нарушений и объема снегонакопления для оврага № 1 КГС 117В

Расчеты гидрофизических параметров по данным снегомерных наблюдений на примере семи объектов ТЭПО показали значительное превышение высоты снежного покрова по оврагу в сравнении с водосборной площадью,  $h_{ов} > h_g$ . Образуется  $\Delta h_{дон} = h_{ов} - h_g$  – *превышающая* высота снежного покрова, которая обеспечивает дополнительный запас воды по телу оврага  $\Delta S_{дон}$  и увеличивает период снеготаяния на время  $\Delta t_{дон}$ . При этом дополнительный слой стока идет по тальвегу оврага, площадь которого в десятки меньше площади оврага по бровке. Для овражных систем в активной стадии развития, вклад гидрофизических параметров собственно оврага в развитие термоэрозионных процессов превышает вклад водотока с площади водосбора в 100-150 раз.

Период основного снеготаяния для водосбора около 26 суток, из них снеготаяние на овраге происходит по окончанию схода снега с водосбора. Средний период *дополнительного снеготаяние*  $\Delta t_{дон}$  может составлять 20-30% к основному. По отношению площади тальвега оврага удельный запас воды в  $\Delta t_{дон}$  в 50 раз превысит удельный запас с водосбора.

Вследствие неравномерности накопления снежного покрова по телу оврага, в овражной системе образуются участки концентрации стока, которые характеризуются значительной толщиной СТС и высокими температурами грунтов основания. Эти участки и обеспечивают приrost овражной системы в летний период.

### Литература

Лобастова С.А., 1990. Методы защиты от оврагообразования на севере Западной Сибири: Дисс. на соискание ученой степени к.т.н. – Москва, 274 с.  
 А.Ю. Сидорчук, А.В. Баранов, 1999. Эрозионные процессы Центрального Ямала. – СПб, 349 с.

## Геофизические исследования криолитозоны

А.П. Быкова

*Институт геологии и нефтегазодобычи, ТГНГУ, Тюмень, Российская Федерация*

### Аннотация

Рациональным комплексом исследований криолитозоны при линейных изысканиях являются методы индуктивной электроразведки и сейсморазведки. В данной работе демонстрируется опыт исследования разреза криолитозоны комплексом методов аэроэлектроразведки и сейсморазведки.

**Ключевые Слова:** Криолитозона; разрез криолитозоны; мерзлота; мерзлые грунты; геофизические методы исследования; сейсморазведка.

### Проблемы применения геофизических методов для изучения мерзлоты

#### *Аномальность физических свойств мерзлых пород*

Не смотря на известную аномальность физических свойств мерзлых пород, криолитозона всегда была достаточно сложной средой для исследований геофизическими методами. Как это ни парадоксально, но именно аномальность физических свойств мерзлоты по сравнению с та-лыми аналогами является причиной неоднозначности геофизического расчленения разреза мерзлых грунтов. С одной стороны, более широкий диапазон изменения геофизических параметров должен определять более высокую эффективность применения геофизики. А с другой стороны, многообразие состояний криолитозоны ее сильная литологическая изменчивость и сложные условия реализации методов зачастую сводят преимущество «аномальности» на нет и, более того, повышают фактор неоднозначности геологической интерпретации выделенных границ.

#### *Методы индуктивной электроразведки и сейсморазведки*

Современный опыт инженерных изысканий показывает, что проблемы применения геофизических методов для изучения мерзлоты в целом решаются, но в зависимости от строения криолитозоны, как правило, требуется «индивидуальный» подход к технологиям, методам реализации и способам обработки и интерпретации полученных данных.

Проведение измерений в зимнее время на мерзлых грунтах создает определенную специфику в способах реализации сейсморазведки и электроразведки. Для сейсморазведки это проявляется в наличии в верхней части разреза высокоскоростного слоя, экранирующего сейсмические волны от нижних горизонтов. Для традиционных методов электроразведки возникают серьезные трудности в заземлении питающих и приемных электродов. Электроразведочные исследования следует проводить в вариантах с незаземленными линиями. При линейных изысканиях, как правило, возникает необходимость изучения определенной полосы вдоль створа линейного сооружения (обычно 100–150 м), что

позволяет маневрировать в выборе места укладки трассы в зависимости от реальных инженерно-геологических и топогеодезических условий. С учетом большой протяженности линейных сооружений проведение дополнительных площадных работ требует от геофизических технологий очень высокой производительности и низкой себестоимости. Необходимость комплексирования геофизических методов связана с неоднозначной зависимостью измеряемых геофизических параметров от мерзлотного состояния грунтов. Для методов электроразведки это выражается в том, что некоторые грунты (например, твердомерзлые суглинки и талые супеси) в талом и мерзлом состоянии могут иметь достаточно близкие удельные сопротивления. В сейсморазведке высокоскоростные сейсмические границы могут быть связаны не только с мерзлотой, но и с породами высокой плотности. Комплексирование методов значительно повышает достоверность геофизического прогноза. Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что рациональным комплексом исследований криолитозоны при линейных изысканиях представляются методы индуктивной электроразведки и сейсморазведки. Методы индуктивной электроразведки, не требующие заземления приемной и питающей линий, обладают очень высокой производительностью и, как отмечалось выше, наиболее высокой чувствительностью криогенному состоянию грунтов. Кроме того, в настоящее время разработаны и успешно используются технологии непрерывного электромагнитного зондирования (сканирования) разреза, как в наземном, так и в аэроварианте. Методы электромагнитного сканирования, обладая высокой производительностью (8–10 км/ч для наземных работ и 120 км/ч для аэроварианта), позволяют исследовать разрез криолитозоны на глубины до 150–180 м с дискретностью 0,2–0,5 м в наземном и 10–15 м в аэровариантах. Методы сейсморазведки в комплексе с электромагнитным сканированием необходимо использовать на отдельных участках с целью уточнения криогенных условий грунтов, корректировки данных электромагнитного сканирования, изучения динамических характеристик грунтов и повышения достоверности геофизического прогноза в целом.

*Аэроэлектроразведочные исследования*

Аэроэлектроразведочные исследования проводились в варианте непрерывного аэроэлектромагнитного сканирования разреза на основе грунтопроникающего диффузионного зондирования во временной области. Выбор аэроварианта метода становления поля связан с высокой производительностью и невысокой стоимостью работ (по сравнению с наземными аналогами), а также с высоким пространственным и глубинным разрешением разреза по параметру удельного сопротивления.

Впервые в практике инженерных изысканий РФ эта технология была применена ООО «Сибгеотех» в 2006 году на проектируемом нефтепроводе Харьяга — Индига в Ненецком автономном округе. В 2007 году аналогичные работы проводились на некоторых олимпийских объектах в Красной Поляне. Возможность проведения аэроэлектроразведочных исследований связана с новейшими научно-методическими и аппаратными разработками Сибирского НИИ геологии, геофизики и минерального (СНИИГГИМС, г. Новосибирск) и инженерной компании «Сибгеотех» (г. Новосибирск). Это

направление стало заметной тенденцией развития вертолетной аэрогеофизики, которая получила широкое распространение на Западе. По своим техническим характеристикам вертолетные платформы существенно превосходят самолетные системы благодаря новым техническим решениям в области специальных авианесущих конструкций, мощного электромагнитного канала и приближению геофизических сенсоров к объекту исследования.

**Литература**

- Ковин О.Н., Андерсон Н., Титимаков Т. 2-D многоканальный анализ поверхностных волн — эффективный метод изучения скоростей верхней части разреза // Горное эхо.
- Дмитриев Ю.Ю. Современные методы электроразведки при исследовании криолитозоны в инженерных изысканиях // Разведка и охрана недр. № 12. 2008..
- Лещиков Ф.Н. Мерзлые породы Приангарья и Прибайкалья. — Новосибирск: Наука, СО, 1978

## Бугры пучения

А.И. Быковский, И.В. Вершинин

МГУ имени М.В. Ломоносова, Географической факультет, Кафедра криолитологии и гляциологии, Москва, Россия

### Введение

Многолетние бугры пучения были обследованы в 40 км западнее Нового Уренгоя, на водораздельной V-й Салехардской равнине, в Надым-Пуровском междуречье, в июле 2009 г. Бугор пучения – это выпуклая форма криогенного рельефа с ледяным или ледогрунтовым ядром, образующаяся в области многолетнемерзлых и сезонномерзлых пород в результате неравномерного льдообразования в породах [Общее мерзлотоведение, 1978]. В зависимости от типа льдообразования выделяются 3 группы пучения: сегрегационные, инъекционные и инъекционно-сегрегационные [Попов, Розенбаум, Тумель, 1985]. Высота бугров – до нескольких десятков метров, диаметр основания – до нескольких сотен метров. По времени существования выделяют сезонные и многолетнемерзлые бугры пучения. Первые развиты, в основном, в южных и относительно континентальных районах области распространения ММП в условиях глубокого сезонного оттаивания. Ледяные скопления в таких буграх часто представляют собой промерзшую воду сезонно-талого слоя, сжатую между промерзающими породами и кровлей ММП [Общее мерзлотоведение, 1978]. Размеры сезонных бугров пучения невелики. Весной они или оседают, или взрываются с излиянием напорных вод на поверхность, но иногда сохраняются в течение нескольких лет. Многолетние бугры пучения широко развиты в арктических районах с их суровыми мерзлотно-климатическими условиями. Эти крупные формы рельефа, достигающие 90 м высоты и до 300 м в диаметре основания, резко возвышаются среди плоских равнин и служат хорошими ориентирами. Формирование многолетних бугров пучения связывают, в основном, с инъекционным льдообразованием, но есть также бугры пучения сегрегационного и инъекционно-сегрегационного генезиса. Часто бугры пучения (инъекционные и/или инъекционно-сегрегационные) приурочены к понижениям в рельефе, частично заполненным водой (например, хасырей).

### Методика исследования

Полевые наблюдения включали в себя маршрутные описания западинно-грядового рельефа, генетически связанного с вытаяванием подземных льдов (термокарстом), морфометрические измерения бугров пучения, зачистку обнажений, отбор проб для лабораторных исследований грунта и льда, измерения глубин сезонного талого слоя в зависимости от микроландшафтных условий на поверхности бугров.

### Результаты и дискуссия

В пределах изучаемого района (V морская Салехардская терраса) располагаются многолетние бугры пучения (инъекционно-сегрегационного происхождения). Отложения террасы сформировались в период трансгрессии холодного моря в конце среднего плейстоцена, в дальнейшем они подвергались переработке (субаэральные условия; эрозионные и криогенные процессы) [Попов, Розенбаум, Тумель, 1985]. Особое влияние на современный облик террасы оказало воздействие холода в Сартанское время и влияние отепления Голоценового оптимума (5-7 тысяч лет назад).

Формирование крупных бугров пучения связано с похолоданием в последние 6 тысяч лет после Голоценового оптимума, а также – в локальном плане – со спуском крупных термокарстовых озер. Также следует отметить, что сама V морская Салехардская терраса является самым высоким уровнем в исследованном районе (абсолютные отметки равны 70–90 м).

Весьма типичным является бугор пучения расположенный к западу от озера Наше-то, рис.1. Он расположен в центре обширного хасырея с небольшим смещением к югу. Поверхность хасырея заболочена и заозерена. Размеры озер, расположенных на поверхности хасырея, достигают 100-120 м, имеют неправильную форму и невысокие берега. На данной территории нами было выявлено 13 бугров пучения на площади около 60 км<sup>2</sup>. Изучаемый бугор был нами назван Вершинин-pingo. Он вытянут с севера-востока на юго-запад и его высота составляет 7,2 м.



Рис.1 Бугор пучения в пределах V морской Салехардской террасы в районе Нового Уренгоя

Сильная трещиноватость и активность склоновых процессов свидетельствуют, что бугор, возможно продолжает расти. Отмечена интенсивная солифлюкция, образование на солифлюкционных террасах пятен-медальонов, в связи с неравномерным пучением при промерзании СТС возникают линейно вытянутые борозды

и канавы. Происходит активная сортировка грунтового материала. Поверхность пятен медальонов покрыта гравийно-галечниковым материалом и даже встречаются отдельные маленькие валуны. Обломочный материал хорошо окатан и имеет ледово-морское происхождение. В вершине бугра пучения обширные грунтовые пятна (до 2,5 м) имеют вид, подобный песчано-глинистым раздувам. Вероятно, в их существовании играют роль и эоловые процессы (помимо криогенных и эрозионных). Поверхность бугра бугорковатая с большим количеством солифлюкционных оплывин, а также оторфованных бугорков, связанных с неравномерным пучением грунтов сезонно-талого слоя. Сильная дифференциация условий теплообмена через поверхность привела к очень большой разнице в глубине сезонного оттаивания грунта (15 июля 2009 г.): на бугорках 36, 39, 82 см, между бугорками 27, 29, 40 см, на грунтовых пятнах 115, 104 и 120 см. Различные условия дренированности, а также дифференциация в снегонакоплении привели к различиям в растительном покрове: понижения вокруг бугра заняты осоково-моховыми сообществами, в нижней части бугра - заросли ерника, на вершине холма - мохово-кустарничковые сообщества с отдельными лиственницами.

На этой территории также были выявлены и описаны сравнительно небольшие (до 2,2 – 2,5 м высотой, диаметром до 7 – 10 м) растущие сегрегационно-инъекционные бугры пучения, окруженные обводненными и заболоченными мохово-осоковыми участками тундры. Бурение одного из этих бугров, выполненное под руководством доцента Тюменского нефтегазового университета А.В. Бойцова, показало, что верхние 2,5 м сложены сильнольдистым тофом разной степени разложения, лишь с глубины 2 – 2,2 м в торф включается минеральный субстрат. Для территории в пределах хасыреев весьма характерными являются большие участки

с бугорковатым микрорельефом или с распученными торфяниками, с которых в зимнее время сдувается снег. Очевидно, что некоторые из этих образований, являющихся своеобразными «площадками холода» могут послужить основой для развития многолетних сегрегационных бугров пучения.

### **Выводы**

Многолетние бугры пучения являются типичной формой криогенного рельефа для относительно южных районов криолитозоны севера Западной Сибири: на Тазовском полуострове, в пределах Надым-Пуровского междуречья и др. Полевые наблюдения показали, что несмотря на региональные тренды к потеплению климата в настоящее время происходит рост бугров пучения в пределах заболоченных хасыреев на месте спущенных термокарстовых озер.

### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Ведущие научные школы РФ», НШ – 32.71.2010.5 и компании «КонакоФиллипс Россия Инк».

### **Литература**

- Попов А.И., Розенбаум Г.Э., Тумель Н.В. Криолитология. – М.: изд-во МГУ, 1985.  
Общее мерзлотоведение (геокриология). Учебник / Под ред. В.А. Кудрявцева. – М.: изд-во МГУ, 1978.

## Палеокриоморфные почвы центра Восточно-Европейской равнины как архив палеоэкологических природных событий

И.М. Вагапов, А.Ю. Овчинников, В.М. Алифанов

*Пуцинский государственный естественно-научный институт, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пуццо, Российская Федерация*

### Аннотация

В работе исследовалась пространственная вариабельность магнитной восприимчивости (МВ) в палеокриоморфных почвах центра Восточно-Европейской равнины. Установлено, что распределение МВ в современных почвах тесно связано с палеокриогенными структурами, расположенными на глубине 2 и более метров. Топоизоплеты МВ позволяют судить о формировании и существовании различных, в первую очередь сильномагнитных окислов железа и делать выводы об условиях почвообразования. Съёмка МВ позволила выявить ряд признаков, которые трудно обнаруживаются в поле.

**Ключевые Слова:** криоморфная погребенная почва; магнитная восприимчивость; вариабельность; палеокриогенные структуры

Известно [Алифанов, Гугалинская 1993, 2006; Величко и др. 1996], что почвенный покров центра Восточно-Европейской равнины несет следы криогенных деформаций, которые в свою очередь обуславливают значительную пространственную вариабельность почвенных свойств. Понимание закономерностей распределения почвенных свойств в пространстве представляет большой интерес, как для фундаментального почвоведения, так и для смежных наук. Для выявления закономерностей в распределении почвенных свойств мы использовали один из таких показателей, которые определяются без какой-либо предварительной обработки образцов (химической или физической), а именно объемную магнитную восприимчивость (МВ). МВ – физическая величина, характеризующая способность почвенных Fe-содержащих компонентов к намагничиванию. По величине МВ в разных генетических горизонтах судят об интенсивности протекания некоторых элементарных почвенных процессов, а также экологических условиях формирования профиля при палеогеографических реконструкциях.

Известно, что формы железа характеризуют важнейшие генетические особенности почв. Однако методы идентификации этих форм, основанные на различной растворимости соединений железа, недостаточно точны, так как существуют сложности с выделением одних форм железа, не затрагивая другие. Измерения МВ позволяют охарактеризовать различные, в первую очередь сильномагнитные кристаллические окислы железа даже при очень незначительном их содержании.

Исследования проводились в Тульской области, в типичных для Среднерусской возвышенности условиях, на черноземах глинисто-иллювиальных типичных и оподзоленных. Пространственная вариабельность МВ изучалась в разрезах-обнажениях протяженностью от 12 до 23 м и глубиной до 3 м.

В разрезах были вскрыты: современные черноземы, подстилаемые позднелейстоценовыми покровными лессовидными суглинками, горизонты криоморфных

погребенных почв (ПП) и морена. Из типов палеокриогенных структур выявлены: псевдоморфозы по повторно-жильным льдам, крупные клиновидные грунтовые структуры (ККГС), пятна-медальоны и солифлюкционные деформации.

В результате трехлетних исследований выявлены следующие факты: в гумусовых горизонтах современных почв, расположенных над системой ККГС, наблюдаются области с высокими значениями МВ, которые на топоизоплотах имеют еще и увеличенную мощность. Выявлена положительная связь ( $R^2=0,94$ ) между распределением величин МВ и профильным распределением С орг. Высокие значения МВ обусловлены присутствием педогенных высокомагнитных окислов Fe (типа магнетита), что свидетельствует о чередовании здесь процессов увлажнения-иссушения, соответствующих анаэробным и аэробным периодам, а также о переменном рН и участии в формировании этих окислов органического вещества (Вадюнина, Бабанин 1972; Водяницкий 2008).

На глубине 250 см (рис.1, нижний) резкое увеличение значений МВ (до значений, характерных гумусовым горизонтам современных почв) свидетельствует о наличии своеобразного геохимического (литологического?) барьера, соответствующего границе между подгоризонтами [A1] и [A1B] гумусового горизонта ПП (рис.1, верхний). Мы предполагаем, что подгоризонт [A1B] на самом деле является самостоятельной ПП, сформировавшейся в автоморфной позиции при относительно теплых климатических условиях, хорошей аэрации, сезонном иссушении и преобладании окислительных условий. Еще более аномально высокие значения МВ ( $1,44-3,03 \times 10^{-3}$  ед. СИ) обнаруживаются на контакте [A1B] и морены. Обычно это связывается с благоприятными для хемосинтеза сильномагнитных железистых минералов условиями. Наличие таких условий подтверждают многочисленные субгоризонтальные и субвертикальные охристые прослои шириной 0,5-1,0 см. Уклон поверхности морены и различия в ее гранулометрическом составе с перекрывающими

отложениями способствуют развитию внутрипочвенного латерального стока, обуславливая здесь контрастный водно-воздушный режим.

Высокие значения МВ в морене могут быть связаны с увеличением содержания железа в составе парамагнитных

глинистых минералов, а их длительное сохранение возможно связано с замедленной лимонитизацией, чему способствуют повышенные концентрации здесь поглощенных катионов.

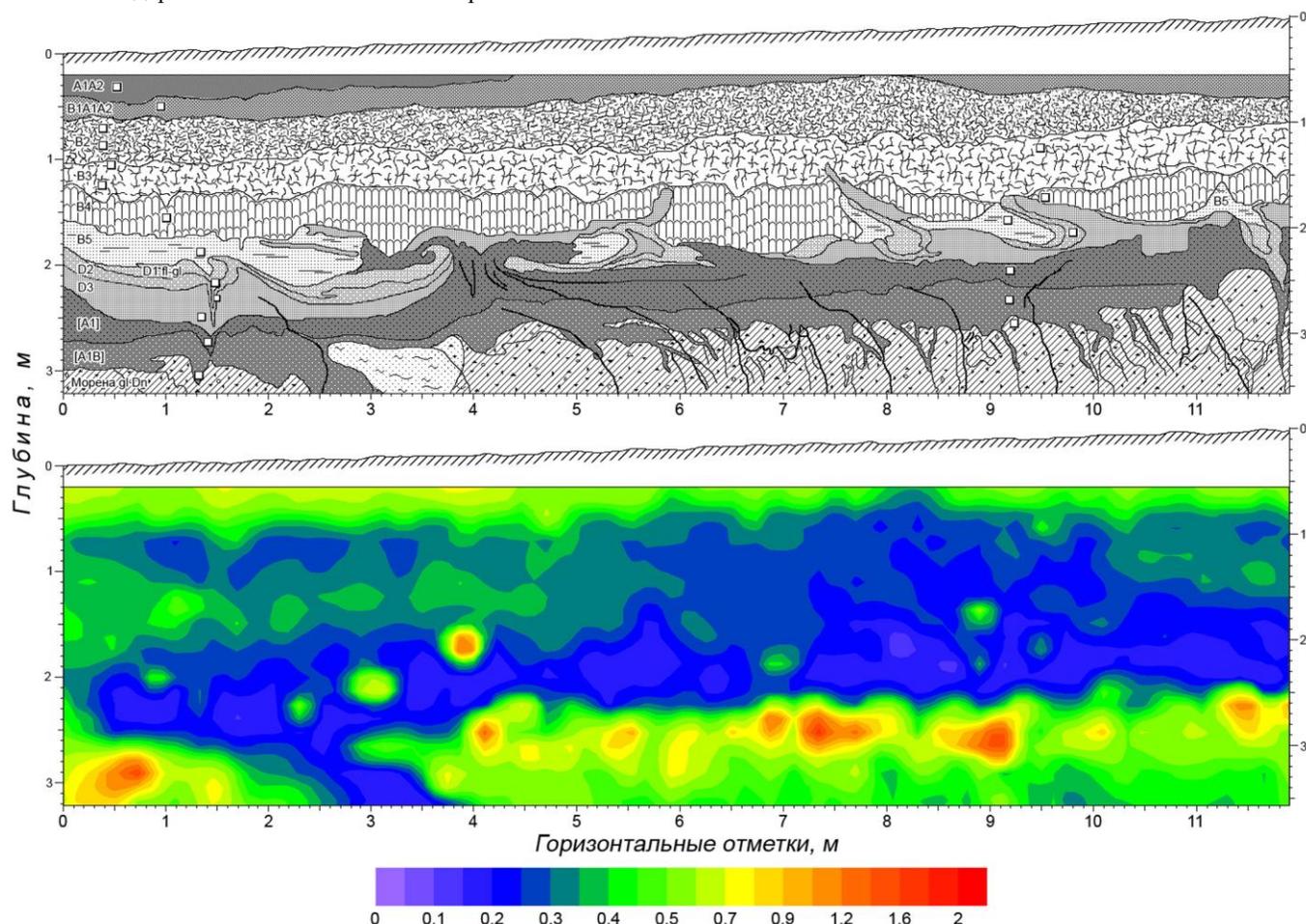


Рис.1. Схема профиля разреза 1-2010 (вверху) и топоизоплеты пространственного распределения величин МВ ( $\times 10^{-3}$  ед. СИ) (внизу). Тульская область, Веневский район

Таким образом, на основе МВ удалось инструментально обнаружить признаки, выявление которых морфологически было затруднено, а именно: идентифицировать в разрезах палеокриогенные блочное повышение и межблочное понижение, горизонты ПП, а также предположить направление преимущественных путей потоков влаги.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 11-04-00354).

### Литература

Алифанов, В.М., Гугалинская, Л.А. 1993. Палеокриогенез и структура почвенного покрова Русской равнины. *Почвоведение*. 7: 65-75. (на русском языке)

Алифанов, В.М., Гугалинская, Л.А. 2006. Палеокриогенез и современные черноземы. *Почвенные процессы и пространственно-временная организация почв*. Москва: Издательство Наука. 45-70. (на русском языке)

Вадюнина, А.Ф., Бабанин, В.Ф. 1972. Магнитная восприимчивость некоторых почв СССР *Почвоведение*. 10: 55-66. (на русском языке)

Величко, А.А., Морозова, Т.Д., Нечаев, В.П., Порожнякова, О.М. 1996. *Палеокриогенез, почвенный покров и земледелие*. Москва: Издательство Наука. 150 стр. (на русском языке)

Водяницкий, Ю.Н. 2008. Минералы железа как память почвенных процессов. *Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропоферных взаимодействий*. Москва: Издательство ЛКИ. 289-313. (на русском языке)

## Контроль деградации мерзлоты средствами автоматизированного температурного мониторинга

С.А.Великин, А.В. Малышев, В.В. Неклюдов

*Вилуйская научно-исследовательская мерзлотная станция Института мерзлотоведения им. П.И.Мельникова  
СО РАН (ВНИМС ИМЗ СО РАН), Мирный, Саха-Якутия, Россия*

В настоящее время в криолитозоне РФ действуют множество крупных инженерных сооружений, в частности рудники «Интернациональный», «Мир» и т.п. Общей их особенностью являются изначально многолетнемерзлые состояния грунтов оснований фундаментов, характеризующиеся естественным геокриологическим режимом. Возведение и эксплуатация сооружений в криолитозоне порождает ряд проблем, которые заключается в том, что развивающиеся негативные инженерно-геологические процессы протекают скрытно в латентной фазе, что не учитывается проектными организациями. Когда, по истечении ряда лет, такие процессы начинают фиксироваться системой КИА объекта, то последние находятся уже в зрелой фазе своего развития, имеют развитую сеть мигрирующих точечных «таликов», погасить которую весьма трудно или дорого. Складывается ситуация, что проектируемые в криолитозоне объекты обречены на аварийное состояние. Следует отметить, что любые оригинальные инженерные решения по укреплению мерзлого состояния фундамента вроде создания в фундаменте участков «стока теплоты» и т.п. основаны исключительно на данных температурных наблюдений. Таким образом, температурные наблюдения являются первичным звеном любой системы контроля мерзлотной обстановки инженерного объекта.

С учетом этих обстоятельств, выходом из такой ситуации является практика проектирования под ключ объектов в криолитозоне вместе с системой

автоматизированного температурного контроля. Такие системы имеют трехкомпонентную структуру, одной из которых и является система управления и мониторинга мерзлотной обстановки. Такая подсистема в температурном варианте была опробована в технологическом цикле управления замораживанием грунтов фундамента рудника «Мир» и «Интернациональный» в режиме выдачи рекомендаций.

Возможности предлагаемого комплекса температурного мониторинга грунтов фундамента рудников позволяют автоматически отслеживать момент превышения температуры каждой сваи рудника на любой глубине над предельной допустимой мерзлотной инспекцией. Автоматически определяются не только координаты растепленной сваи, но и координаты ближайшей замораживающей колонки для ее активации с целью компенсации растепления сваи. Тем самым исключается зарождение негативных инженерно-геокриологических ситуаций на любой стадии. Кроме этого предусмотрено построение трехмерных температурных изоповерхностей грунтов фундамента типа нулевой изоповерхности в пространстве. Технические подробности такой системы управления приводятся в предлагаемой статье. В заключение целесообразно отметить, что область применения такой системы в криолитозоне ничем не ограничена.

## Проблемы реконструкции крилитонозы Северной Евразии в максимум похолодания плейстоцена: методы и результаты

А.А. Величко, В.П. Нечаев, Н.В. Лаврентьев

*Институт географии РАН, Россия, Москва, Старомонетный, 29*

В Лаборатории эволюционной географии ИГ РАН проводятся многолетние и систематические исследования по созданию реконструкций многолетней криолитонозы Северной Евразии для различных хроносрезов плейстоцена и голоцена. Особое значение в этих работах имеют реконструкции для эпохи максимального похолодания климата в плейстоцене, когда экспансия многолетней криолитонозы в Евразии достигла максимальных значений для четвертичного периода (валдайская, сартанская эпоха).

Методы реконструкции криолитонозы прошлого. Для этого были использованы следующие данные: 1) палеокриогенные индикаторы; 2) палеоклиматические данные; 3) аэрофото- и космические снимки. Как известно, палеокриогенные индикаторы (псевдоморфозы по повторно-жильным льдам, грунтовые жилы, следы солифлюкции, инволюции и т.п.) для отложений определенных хроносрезов являются важнейшей информацией при реконструкции криолитонозы прошлого. Палеоклиматические данные (полученные с помощью других методов) позволяют определить многие параметры криолитонозы (температуры мерзлых грунтов, их мощность и т.п.). Аэрофото- и космоснимки являются основным источником для изучения реликтовой криогенной морфоскульптуры (реликтового криогенного микрорельефа).

Результаты реконструкций. Комплексный анализ данных по северу Евразии позволяет отразить специфику криолитонозы этого огромного региона в максимум похолодания климата в конце плейстоцена (примерно 20-15 т.л.н.). В это время произошло огромное расширение зоны сплошной многолетней криолитонозы к западу и югу по сравнению с современностью. Ее южная граница опускалась южнее 50°с.ш., а вместе с осушенными шельфами ширина достигала около 3,5-4,0 тыс. км. Южнее располагалась относительно узкая полоса несплошной многолетней криолитонозы (на востоке Азии примерно до 40°с.ш.).

Значительная часть самого юга современного умеренного пояса и прилегающая часть субтропического входили в зону глубокого сезонного промерзания.

Огромные территории в пределах Европы и Азии были заняты ландшафтами с мощными жилами подземного льда и полигонально-жильного рельефа, который в настоящее время развит только на севере Сибири. Подземное оледенение Евразии в этот период времени было важнейшим компонентом природной обстановки крупнейшего континента Земли.

## Строительство и эксплуатация транспортных систем в холодных регионах

А.М. Вениаминова

*Институт геологии и нефтегазодобычи, ТГНГУ, Тюмень, Российская Федерация*

### Аннотация

Актуальность темы исследования обусловлена тем, что транспорт и создающая условия его работы транспортная инфраструктура являются одной из системообразующих отраслей, обеспечивающей территориальную целостность государства и единство экономического пространства страны.

**Ключевые Слова:** Северный регион; инфраструктура; хладостойкость; термокарст.

### Проблемы применения строительства и эксплуатации транспортных систем

#### *Особенности инфраструктуры*

Многие проблемы транспортной инфраструктуры особенно резко проявляются в региональном аспекте. В развитых центральных регионах и крупных городах около 25% от общей протяженности дорог работают в режиме, превышающем оптимальный уровень загрузки, а в периферийных регионах, где проживает значительная часть населения, 28 тысяч населенных пунктов не имеют круглогодичного сообщения с основными транспортными коммуникациями страны. Возникающие проблемы развития транспортной системы в регионах обусловлены неупорядоченностью, а в ряде случаев отсутствием надлежащей институциональной среды, адекватной новым условиям, а также необходимых механизмов, обеспечивающих исполнение соответствующих законов, норм и правил.

#### *Методы и практические требования к транспортной инфраструктуре северных регионов*

В последние годы обострились вопросы не только транспортировки грузов российских отправителей и получателей, но и транзитного обслуживания. Россия использует свой транзитный потенциал крайне недостаточно. Практически не функционирует Северный морской путь. Слабо загружена Байкало-Амурская магистраль. Транссиб также загружен не на полную мощность. По-прежнему основной объем перевозок между Азией и Европой осуществляется окружным путем через Суэцкий канал. Северные же регионы, обладая спецификой, предъявляют особые требования к развитию транспортной инфраструктуры, что требует своего детального исследования. Транспортная система России имеет **сложную структуру**, она включает несколько подсистем (железнодорожную, автомобильную, морскую, речную, воздушную и трубопроводы), каждая из которых состоит из основных элементов: инфраструктуры, транспортных средств и управления. К транспортной системе относятся **транспортные узлы и коридоры, а также промышленный и общественный транспорт.**

#### *Северная специфика*

Основные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации зданий в северных регионах связаны с широким распространением многолетнемерзлых грунтов. Прежде всего, наличие мерзлоты сильно осложняет обеспечение проектного положения трубопроводов. Значительная - до двух метров и более - глубина слоя сезонного протаивания, низкая несущая способность талых грунтов и нестабильность мерзлоты, интенсивные мерзлотные процессы вынуждают практически все трубопроводы прокладывать над поверхностью грунта - на опорах или по эстакадам.

Трубопровод, проложенный над поверхностью грунта, подвергается гораздо более сильному колебанию температуры, чем при подземной прокладке. Особенно критичными при этом оказываются зимние холода, когда тепловые потери с поверхности труб возрастают до недопустимых значений, и угроза их замерзания становится более чем реальной. Это вынуждает теплоизолировать трубы, прокладывать водопроводы с теплоспутниками, строить промежуточные котельные на водоводах и т.п. Все эти меры, во-первых, требуют немалых затрат, во-вторых, не обеспечивают полной безаварийности сетей... Любая остановка подачи воды в зимний период может обернуться аварией с тяжелыми последствиями, связанной с размораживанием труб и выходом их из строя. Еще одна особенность эксплуатации водопроводов и теплотрасс в северных регионах связана с особенностями гидрохимического состава природных вод, характерными для заболоченных ландшафтов, в частности, с низкими значениями pH и высоким содержанием железа. Стальные трубы, транспортирующие такую воду, подвергаются интенсивному зарастанию и служат значительно меньше своего нормативного срока.

#### *Строительство в северных регионах*

Несмотря на суровые для жизни условия, северные регионы остаются неизменно привлекательными как источники крупнейших природных месторождений нефти, золота и алмазов. В первой половине двадцатого века, когда началось активное промышленное освоение северных территорий, были построены не только индустриальные здания, но и административные, и

жилищные, которые со временем превратились в довольно крупные города.

Сегодня трудно переоценить экономическое значение Севера как огромного резервного запаса природного сырья, поэтому неоднократно поднимаются вопросы о проблемах градостроительства и сохранности урбанизированных территорий в северных регионах. Строительство сооружений и зданий в условиях вечной мерзлоты требует соблюдения особых технологий, тщательного изучения грунта и контроля над сооружениями. Любое нарушение технологии строительства или несоответствие архитектурного плана суровым климатическим условиям способны привести к деформации и проседанию здания. Кроме того, ситуация усугубляется прогнозируемым глобальным потеплением, лед – прочная основа как фундамент дома, но до тех пор, пока он не начнет таять.

Успешное строительство в северных регионах возможно только с учетом комплексного подхода, начиная от тщательных геолого-почвенных исследований и заканчивая строгим энергоаудитом. Грамотное проектирование и соблюдение всех строительных норм при возведении здания не являются окончательными работами в условиях постоянного холода. После этапа строительства необходимо тщательное техническое обследование зданий, позволяющее выявить имеющиеся дефекты, оценить пригодность и работоспособность всех конструкций и спрогнозировать эксплуатационные характеристики здания в будущем. Хорошим методом, помогающим выявить даже скрытые и не видимые на первый взгляд дефектные участки, является тепловизионная съемка. Суть этого метода заключается в получении видеоизображения в невидимом для человеческого глаза тепловом диапазоне, который дает полную информацию о распределении температуры по поверхности объекта и позволяет выявить места протечек воздуха, проектный и строительный брак, нарушение уплотнителя и т.д.

Следующей проблемой, с которой сталкиваются застройщики северных регионов, является проблема энергосбережения. Эффективность потребления тепла зависит от очень многих факторов, среди которых планировочные решения (правильное остекление, теплозащита) и бесперебойная работа систем отопления. Энергетическая диагностика сооружения помогает определить реальные цифры сопротивляемости теплопередаче не только целого здания, но и его отдельных стен. Осуществление обследования помогает выявить недостатки и добиться снижения энергопотребления на 30-40%, а также повысить качество всей системы отопления в целом. Документом, подтверждающим проверку здания, является энергетический паспорт объекта, в котором отображены характеристики, помогающие в дальнейшем вести работы по созданию общего энергетического баланса.

Такие перспективные меры как внедрение новых строительных технологий и грамотная диагностика зданий поможет с успехом противостоять суровой северной природе и со временем решить остро стоящую на сегодняшний день проблему градостроительства в северных регионах России.

## Литература

- Варламов В.С. Проблемы транспортного освоения Западно-Сибирской низменности в связи с формированием на ее территории народно-хозяйственного комплекса // Известия АН СССР, серия географическая. – 1967. – № 3. – С. 48 – 59.
- География транспорта Западной Сибири // Никольский И.В. География транспорта СССР. – М.: Географгиз, 1960. – С. 336 – 344, С. 208 – 209.
- Паршков А.А. Новая магистраль Западной Сибири // Транспортное строительство. – 1976. – №4. – С. 6.

## Диссоциация газовых гидратов на переохлажденную воду и газ по данным метода ЯМР

В.А. Власов, А.Г. Заводовский, М.Ш. Мадыгулов  
Институт криосферы Земли СО РАН, г. Тюмень, Россия

### Аннотация

Импульсным методом ЯМР зафиксирована диссоциация объемного газового гидрата фреона-12 на переохлажденную воду и газ.

**Ключевые Слова:** газовые гидраты; переохлажденная вода; диссоциация; ЯМР

### Введение

Долгое время считалось, что в области температур  $T < 273$  К газовые гидраты могут диссоциировать только на лед и газ [Sloan, Koh 2008]. Однако на сегодняшний день имеется ряд работ [Melnikov и др. 2009, Melnikov и др. 2010, Melnikov и др. 2011], в которых сообщается о том, что была визуально зафиксирована диссоциация газовых гидратов на переохлажденную воду и газ. Данное явление, в силу его научной и практической важности, требует всестороннего изучения. Прежде всего, для расширения доказательной базы его наличия следует помимо визуального наблюдения использовать также и инструментальные методы. Одним из таких методов является импульсный метод ЯМР.

### Эксперимент

Принципиальные возможности импульсного метода ЯМР позволяют определять количественное содержание жидкой фазы воды в исследуемом образце, который помимо нее может также содержать газовый гидрат и лед [Чижик 2009]. Благодаря этому можно зафиксировать диссоциацию газового гидрата на переохлажденную воду и газ.

Для проведения планируемых исследований была создана экспериментальная установка. Основу этой установки составлял импульсный  $^1\text{H}$ -ЯМР релаксометр Minispec-mq фирмы Bruker с резонансной частотой 19.65 МГц, оснащенный системой изменения и поддержания температуры исследуемого образца (точность термостабилизации  $\pm 0.1$  К). Данный релаксометр был дополнен компрессионным блоком, который позволял создавать и поддерживать (с максимальной точностью  $\pm 0.1$  кПа) необходимое давление атмосферы фреона-12 ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ) над исследуемым образцом. Использование фреона-12 в качестве гидратообразующего газа связано с техническими возможностями экспериментальной установки, которые позволяли работать лишь с относительно низким давлением. Кроме того, молекулы данного газа не содержат атомов водорода, что упрощает  $^1\text{H}$ -ЯМР анализ.

В качестве исследуемых образцов выступали образцы объемного газового гидрата фреона-12, контактирующего с жидкой фазой воды. При этом массовая доля газового гидрата фреона-12 в образцах превышала 90%. Данные образцы готовили на основе мелкодисперсного льда с

характерным размером частиц от 100 мкм до 200 мкм в режиме термоциклирования [Власов и др. 2011].

Методика проведения экспериментов состояла в следующем: изначально исследуемый образец находился в области устойчивости газового гидрата фреона-12 при неизменных  $p, T$ -условиях (точка А на рис.1). При этих условиях в течение продолжительного времени (более 6 мин)

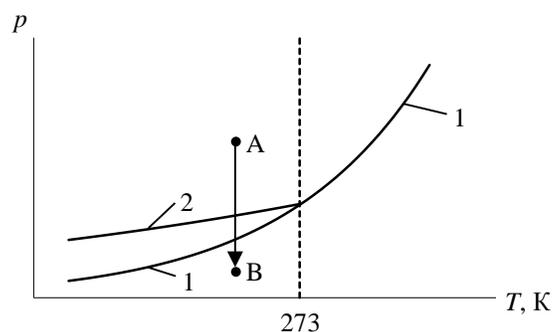


Рис.1. Методика проведения эксперимента. 1 – линия фазового равновесия “жидкая вода–гидрат–газ”; 2 – линия фазового равновесия “лед–гидрат–газ”.

проводились  $^1\text{H}$ -ЯМР измерения с целью определения количества жидкой фазы воды в образце. Затем давление скачком (максимум на 2.0 кПа) понижали, и измерения проводились вновь. Скачкообразные изменения давления и последующие  $^1\text{H}$ -ЯМР измерения проводили до тех пор, пока не фиксировали продолжительное увеличение массы жидкой фазы воды в образце, что являлось признаком перехода через линию равновесия “жидкая вода–гидрат–газ” (точка В на рис.1).

Следует отметить, что в конкретно взятом эксперименте  $^1\text{H}$ -ЯМР измерения проводили по методике 90°-го импульса или же по методике Карра–Парселла–Мейбума–Гилла [Ваишман, Пронин 1979].

### Результаты

Точки диссоциации газового гидрата фреона-12 на переохлажденную воду и газ, которые были получены с помощью вышеописанной методики, показаны на рис.2. Кроме того, на этом рисунке показаны линии фазового равновесия “лед–гидрат–газ” и “жидкая вода–гидрат–газ”, полученные в свободном режиме. Данный метод

построения фазовой диаграммы состоял в том, что образец с газовым гидратом фреона-12 при фиксированной температуре переводился по давлению в область нестабильности, т.е. ниже линии фазового равновесия “жидкая вода–гидрат–газ” при температуре  $T > 273$  К или линии фазового равновесия “лед–гидрат–газ” при температуре  $T < 273$  К. Затем, в процессе диссоциации это давление повышалось, и система переходила в то состояние, при котором оно не изменялось. Соответствующие неизменные термодинамические параметры  $p$  и  $T$  принимали за точку фазового равновесия. На основе полученной совокупности точек строилась фазовая диаграмма.

На рис.2 хорошо видно, что точки диссоциации, полу-

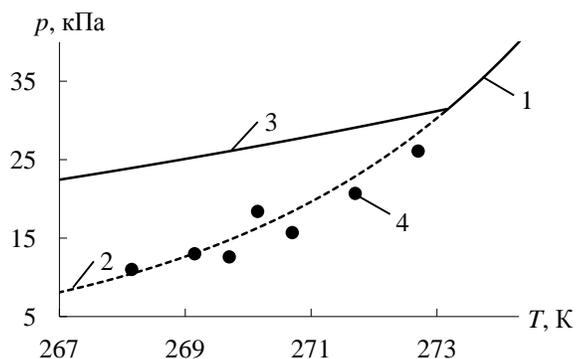


Рис.2. Фазовая  $p,T$ -диаграмма системы вода–газообразный фреон-12. 1 – линия фазового равновесия “жидкая вода–гидрат–газ”, полученная в свободном режиме; 2 – экстраполяция линии фазового равновесия “жидкая вода–гидрат–газ” в область температур  $T < 273$  К; 3 – линия фазового равновесия “лед–гидрат–газ”, полученная в свободном режиме; 4 – точки диссоциации “переохлажденная вода–гидрат–газ”, полученные с помощью импульсного метода  $^1\text{H}$ -ЯМР.

ченные с помощью импульсного метода  $^1\text{H}$ -ЯМР, практически ложатся на экстраполированную линию фазового равновесия “жидкая вода–гидрат–газ”, полученную при температуре  $T > 273$  К.

Очень важно отметить то, что в процессе перехода из точки А в точку В (см. рис.1) отсутствовала диссоциация газового гидрата фреона-12 на лед и газ (иначе не было бы последующей диссоциации на переохлажденную воду и газ). Данный факт позволяет выдвинуть предположение о механизме диссоциации газовых гидратов в области небольших переохлаждений воды. Данное предположение состоит в том, что в этой области диссоциация газового гидрата на лед и газ возможно лишь в случае, когда газовый гидрат непосредственно контактирует со льдом. В противном случае газовый гидрат диссоциирует на переохлажденную воду и газ.

## Заключение

Результаты данной работы убедительно свидетельствуют о том, что в области температур  $T < 273$  К газовые гидраты могут диссоциировать не только на лед и газ, но и на

переохлажденную воду и газ. Дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования данного явления должны помочь ответить на ряд вопросов, возникающих в связи с его наличием. В частности, требуется выявить необходимые условия, при которых газовые гидраты в одних случаях диссоциируют на переохлажденную воду и газ, а в других на лед и газ; следует установить термодинамическую область, в которой можно ожидать, что газовые гидраты будут диссоциировать на переохлажденную воду и газ и др. Немаловажную роль в этих исследованиях может сыграть импульсный метод ЯМР, который был успешно применен в данной работе.

## Благодарности

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 10-05-00270-а), программы фундаментальных исследований Президиума РАН (проект 13.7.4) и междисциплинарного проекта № 62 СО РАН.

## Литература

- Melnikov V.P., Nesterov A.N., Reshetnikov A.M., Zavadovsky A.G. 2009. Evidence of liquid water formation during methane hydrates dissociation below the ice point. *Chemical Engineering Science* 64: 1160–1166.
- Melnikov V.P., Nesterov A.N., Reshetnikov A.M., Istomin V.A., Kwon V.G. 2010. Stability and growth of gas hydrates below the ice–hydrate–gas equilibrium line on the  $P$ – $T$  phase diagram. *Chemical Engineering Science* 65: 906–914.
- Melnikov V.P., Nesterov A.N., Reshetnikov A.M., Istomin V.A. 2011. Metastable states during dissociation of carbon dioxide hydrates below 273 K. *Chemical Engineering Science* 66: 73–77.
- Sloan E.D., Koh C.A. 2008. *Clathrate Hydrates of Natural Gases*. Boca Raton: CRS Press/Taylor and Francis Group, 721 p.
- Вашман А.А., Пронин И.С. 1979. *Ядерная магнитная релаксация и ее применение в химической физике*. М.: Наука, 236 с.
- Власов В.А., Заводовский А.Г., Нестеров А.Н., Решетников А.М., Ширшова А.В., Пульдас Л.А., Данько М.Ю. 2011. Гидратообразование при термоциклировании образцов дисперсного льда по данным метода ядерного магнитного резонанса. *Вестник Тюменского государственного университета* 7: 73–81.
- Чижик В.И. (ред.) 2009. *Квантовая радиофизика: магнитный резонанс и его приложения*. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского государственного университета, 700 с.

## Оценка мерзлотно-экологической обстановки при строительстве и эксплуатации объектов на Севере

Г.О.Гаврилов, А.Д.Чижов

*Кафедра криолитологии и гляциологии, Географической факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

### Введение

65% территории России занимают районы с вечной мерзлотой [Общее мерзлотоведение, 1978]. Вечная мерзлота - это один из наиболее чувствительных и «капризных» компонентов природы Севера; она чутко реагирует на техногенные воздействия, которые вызывают изменения в экологической ситуации, что приводит к возникновению ряда негативных последствий. Урбанизация территории, возведение и эксплуатация на ней жилых, общественных и промышленных сооружений, прокладка автомобильных дорог и подземных коммуникаций коренным образом меняют температурный режим грунтов, главным образом, в сторону повышения среднеинтегральной температуры поверхности [Гребенец, Рогов, 2000].

### Методика исследования

Для оценки последствий воздействия антропогенных нагрузок на состояние мерзлоты проводились: анализ литературы по этой проблеме, натурные обследования на Севере Сибири. При освоении вечной мерзлоты антропогенное влияние на окружающую среду может быть губительным с позиций стабильности мерзлотно-экологической обстановки; при этом важно учесть различия в видах техногена: а) строительство и эксплуатация объектов на достаточно обширных площадях, т.е. урбанизированных ареалов; б) прокладка линейных сооружений.

### Результаты и дискуссия

Города в районах с вечномерзлыми грунтами — это очаги концентрированного техногенного воздействия на природную обстановку. На урбанизированных территориях формируются особые природно-техногенные геокриологические (мерзлотные) комплексы, в пределах которых динамика вечной мерзлоты отличается от естественных условий.

Самыми неблагоприятными являются техногенные пустоши-бедленды (шламо-, шлакоотвалы, золо- и хвостохранилища) и крупные отстойники очистных сооружений, где мерзлота разрушена, уничтожены природные ландшафты. Но даже в мало затронутых техногенезом участках тундры и лесотундры, попадающих в зону рассеивания загрязнителей, отмечается отчетливое увеличение глубины сезонного оттаивания. Здесь происходит повышение теплопроводности пород в связи с выпадением «кислотных» дождей и нарастанием

техногенной засоленности пород, это благоприятствует большему проникновению летнего тепла в грунты.

Основные факторы, влияющие на природные условия при строительстве и эксплуатации объектов на урбанизированных территориях криолитозоны [Greibenets, 2003]:

1) Изменения природных ландшафтов, подвергшихся еще до их освоения различным антропогенным нарушениям, ухудшение экологической обстановки.

2) Несовершенство существующих методов инженерной подготовки территорий, прежде всего, подсыпка мощных плохосортированных и хорошо фильтрующих техногенных подсыпок.

3) Привнос тепла в грунты при бурении скважин и установке свай;

4) Многочисленные нарушения в эксплуатации подполий и других охлаждающих геотехнических систем;

5) Механизированное перераспределение снежных отложений на застроенной территории;

6) Тепловое воздействие системы подземных коллекторов на вечномерзлые грунты;

7) Изменение теплопроводности грунтов при их техногенном подтоплении и засолении.

Техногенез вызывает термокарст, пльвинность песков, наледеобразование, оврагообразование, формирование криопэггов, солифлюкцию и т.д.

В отличие от плотной городской застройки прокладка линейных сооружений вызывает изменения в геокриологических условиях в зависимости от типа воздействия. Очевидно, что дороги, требующие устройства подсыпок, влияют на мерзлоту по-иному, чем наземные трубопроводы.

В системе «подземный газопровод – мерзлотные условия» возможны аварийные ситуации, рис.1, когда оттаивание грунтов вокруг подземного трубопровода сопровождается неравномерными осадками (при оттаивании) грунтов, имеющих разную льдистость, гранулометрический состав и т.п.

Подземная прокладка газопроводов оказывает максимальное негативное воздействие на мерзлотно-экологическую обстановку, зачастую при этом развиваются опасные криогенные процессы: термокарст, термоэрозия и возникновение оврагов. Особенно сложные мерзлотно-экологические условия формируются на участках переходов трубопроводов через реки и временные водотоки.



Рис.1. Термоэрозия на участке прокладки подземного газопровода на территории Ямсовейского месторождения, север Западной Сибири. Июль 2009 г. Фото В. Гребенец

### Выводы

Влияние антропогенной деятельности на мерзлотные комплексы создает особые природно-техногенные условия, при которых динамика вечной мерзлоты отличается от природных условий: глубина сезонного оттаивания увеличивается, возможна активизация термокарста, пльвунности песков, наледей, оврагов, формирование криопэгов, солифлюкции, подтопление территории, изменение растительности и т.д. На нежелательный эффект пагубно влияет и человеческий фактор: несовершенство существующих методов инженерной подготовки территорий и многочисленные нарушения в

эксплуатации подполий и других охлаждающих геотехнических систем усугубляют техногенное воздействие.

Для сохранения естественных мерзлотных условий или уменьшения нежелательного воздействия деятельности человека, необходимо выбирать наиболее удачную технологию для данной местности, например чтобы снизить риск подтопления территории при насыпи дороги, в некоторых её местах в насыпь кладутся открытые трубы диаметром около 80см, для пропуска воды через дорогу.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Ведущие научные школы РФ», НШ – 32.71.2010.5 и компании «КонакоФиллипс Россия Инк».

### Литература

- Гребенец В.И., Рогов В.В. Инженерное мерзлотоведение – М.:изд-во Московского Университета, 2000, 76 с.  
 Общее мерзлотоведение (геокриология). Учебник/ Под ред. В.А. Кудрявцева.- М.: изд-во МГУ, 1978.- 464с.  
 Grebenets V.I. Geocriological-geoecological problems occurring in urbanized territories in Northern Russia and methods for improvement and restoration of foundations”./Proc. Of the Eingth International Conference on Permafrost/Edited by Philips M., Springman S., Arenson L. Zurich, 2003. P.P. 3003-3009.

## Картографирование опасных гидрометеорологических явлений холодного периода для дифференциации критериев их оценки

С.А. Гаврилова

*НИИЛ снежных лавин и селей, географический факультет, МГУ имени М.В.Ломоносова. Москва, Россия*

В связи с активным освоением новых территорий и увеличение нагрузки на окружающую среду население и хозяйственная деятельность человека все больше подвергается проявлениям опасных природных процессов и явлений. Анализ развития природных катастрофических явлений на Земле показывает, что защищенность людей от природных опасностей не возрастает.

Территория России расположена в различных климатических зонах. В связи с разнообразием ландшафтных и климатических условий количество опасных природных явлений, возникающих на территории нашей страны очень велико.

Проблема переоценки критериев опасности гидрометеорологических явлений на основе анализ фактически произошедших за многолетний период природных чрезвычайных ситуаций стоит в настоящее время довольно остро. На территории России дифференциация критериев опасности природных явлений практически не произведена. На законодательном уровне разработан и внедрен типовой перечень опасных природных явлений и их критериев – большинство гидрометеостанций вводят именно его, не беря в расчет климатические особенности территории.

Отсутствие пространственной дифференциации критериев наглядно видно на разработанных картах. Исключения составляют температурные опасные природные явления – «очень сильная жара» и «очень

сильный мороз». В предлагаемом перечне Росгидромета нет типовых критериев для этих видов опасных природных явлений. Проведенный анализ показал, что далеко не все гидрометеостанции в принципе выделяют такое опасное природное явление, как сильный мороз. Так, например, в Якутии вместо понятия «сильный мороз» используется понятие «сильный продолжительный мороз», а в Сахалинской области в перечне опасных природных явлений оно отсутствует в принципе. Схожим по смыслу можно считать понятие «аномально холодная погода», однако они не являются идентичными.

Для предложения обоснованных нововведений необходима разработанная методика картографирования произошедших случаев («фактуры») природных чрезвычайных ситуаций, а также комплексно социально-экономическое, с одной стороны, и физико-географическое, с другой, районирование территории для выделения идентичных районов (для которых применимы одинаковые критерии опасности).

На основе составленной в Научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей МГУ базы данных о природных чрезвычайных ситуациях (ЧС) на территории России автором были разработаны различные методики картографирования природных ЧС в зависимости от задач и конечного потребителя картографической продукции.

## Особенности механизма суффозионных процессов в области развития многолетнемерзлых пород (на примере Центральной Якутии)

Л.А. Гагарин

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия*

### Введение

В 2005-2006 гг. в Центральной Якутии на участках развития надмерзлотных и межмерзлотных таликов наблюдалась интенсификация суффозии. Наиболее активно этот процесс проявлялся на правом берегу р. Лены вблизи области разгрузки подземных вод. Выявленные весьма высокие скорости и масштабы образования суффозионных депрессий представляют опасность для проходящей неподалеку федеральной автотрассы АЯМ. В связи с этим были проведены специальные исследования, целью которых являлось выявление причин формирования суффозии в области развития многолетнемерзлых пород, а также изучение ее динамики.

Разными исследователями суффозия понимается по-разному. Автором данной работы под суффозионными процессами понимается механическое разрушение и вынос мелкозернистого материала подземным водным потоком. В области развития многолетнемерзлых пород суффозия приобретает специфические черты.

### Участок исследования

Участок исследования находится в 50 км к югу по федеральной автотрассе АЯМ от п. Ниж. Бестях. Эта территория расположена на IV надпойменной (бестяхской) террасе р. Лены. На изучаемом участке поверхность террасы осложнена долиной ручья Улахан-Тарын, который врезан на глубину до 30 м. Ширина его долины в среднем составляет 200 м, и на отдельных участках достигает 1 км.

Бестяхская терраса сложена средне- мелкозернистыми песками с гравийно-галечниковыми отложениями в основании среднеплейстоценового возраста. Мощность аллювия в пределах изучаемой площади составляет 50-80 м. Рыхлые четвертичные отложения подстилаются среднекембрийскими известняками [Иванов, 1984].

Мощность многолетнемерзлых пород (ММП) в пределах исследуемого участка составляет 150-200 м [Иванов, 1984]. Глубина сезонного оттаивания достигает 3-4 м. Температура ММП изменяется от -0,1 до -0,5°C, а в долине руч. Улахан-Тарын понижается до -2,5°C. В пределах террасы локально развиты надмерзлотные и межмерзлотные талики. По первому типу таликов происходит инфильтрационное питание подземных вод атмосферными осадками, поверхностными и надмерзлотными водами, а по межмерзлотным таликам вода движется к местам разгрузки.

Таким образом, по условиям питания и движения подземные воды относятся к надмерзлотно-межмерзлотному типу. Разгрузка их происходит в долине ручья Улахан-Тарын. Источники подземных вод имеют

одноименное название, и условно разделены на группы А, В, С, D, и Е.

Суммарный дебит источников в среднем составляет 280 л/сек, и может изменяться в зависимости от количества летних атмосферных осадков. Подземный водный поток выносит большое количество песка, и в долине ручья формируются неясные конуса выноса. На поверхности террасы, над источниками подземных вод, развиты депрессии суффозионного происхождения. Отдельные суффозионные воронки достигают в диаметре 30 м, а в глубину 15 м. В зимний период года долина ручья Улахан-Тарын в области разгрузки подземных вод покрывается наледью мощностью, местами, до 3-4 м, и по классификации Б.С. Соколова относится к очень крупным.

### Методика исследований

Для изучения мерзлотно-гидрогеологических условий в области разгрузки подземных вод были выбраны ключевые участки, на которых был выполнен комплекс исследований, который включал: измерения температуры пород до глубины 15 м вблизи зоны разгрузки подземных вод и на удалении от нее; изучение гидродинамического режима подземных вод у бровки бестяхской террасы; наблюдения за наледообразованием в долине ручья Улахан-Тарын. Для изучения динамики суффозионных процессов была проведена тахеометрическая съемка с временным шагом в 1 год, результатом которой явилось построение ситуационных планов местности. С помощью компьютерного программного обеспечения удалось рассчитать объем суффозионных понижений поверхности исследуемого участка. В результате математического моделирования условий теплообмена талых и мерзлых пород в зоне разгрузки подземных вод выявлены причины развития суффозионных процессов.

### Результаты исследования

Для развития суффозионных процессов необходимо два условия: 1) наличие неоднородной зернистости водовмещающих рыхлых горных пород 2) Наличие области выноса материала [Хоменко, 2003, Аникеев, 2006]. Если градиент напора подземных вод достаточно большой, чтобы происходило разрушение водовмещающей породы можно ограничиться только вторым условием.

Согласно классификации В.П. Хоменко, суффозионный процесс можно разделить на частичное и полное фильтрационное разрушение, а также подземную эрозию [Хоменко, 2003]. Частичное фильтрационное разрушение происходит без нарушения структуры породы, когда подземными водами выносятся материал имеющий размер

меньший, чем размер порового пространства. При высоких градиентах напора подземных вод, под воздействием которого порода переходит в пльвунное состояние, происходит полное фильтрационное разрушение. Подземная эрозия формируется при наличии в горных породах сквозных подземных каналов, соединяющих источник поступления воды с каким-либо свободным пространством. В результате происходит разрушение дна канала и его стенок подземным водным потоком.

Суффозионный процесс на исследуемом участке приурочен к борту долины ручья Улахан-Тарын, и развивается вглубь террасы. Механизм его представляется следующим образом. За счет большего промерзания днища речной долины и ее склона, по сравнению с поверхностью прилегающей террасы, зона разгрузки подземных вод локализуется. Вблизи бровки террасы изменяются гидродинамические характеристики подземного водного потока (значительно увеличивается градиент напора). В результате начинается фильтрационное разрушение талой области, сначала частичное, а затем переходящее в полное. Основной преградой потоку подземных вод являются мерзлые породы в долине ручья Улахан-Тарын. На границе водовмещающей талой и преграждающей путь движению мерзлой зон подземный поток, помимо механического оказывает и тепловое воздействие. Последнее приводит к активизации процесса термоэрозии. Суффозионному воздействию здесь подвержена мерзлая кровля водоносного горизонта.

В зимний период года, по данным проведенных исследований, наиболее крупные очаги разгрузки подземных вод (максимальный диаметр водовыводящей зоны, наблюдаемый автором – 0,5 м) не перемерзают, и суффозионный вынос материала здесь происходит круглогодично. Небольшие выходы подземных вод перемерзают, и подземный водный поток «ищет» другую ослабленную зону для излива на поверхность. О миграции очагов разгрузки подземных вод указывали также предыдущие исследователи [Ефимов, 1952]. Наблюдения за уровнем межмерзлотных вод по скважине свидетельствуют об увеличении гидродинамического давления в зимний период года за счет увеличения криогенного напора. Следовательно, суффозионный процесс зимой не затухает и даже может интенсифицироваться.

В результате формирования в зоне разгрузки подземных вод высокого гидродинамического давления, в кровле водоносного горизонта формируются хорошо промытые полости. Величина их тем больше, чем выше градиенты напора подземного водного потока. По результатам исследований подобные «пещеры» могут

достигать в длину 5 и более м, в высоту и ширину до 3 м. Размеры сформировавшейся полости определяются прочностными характеристиками массива пород. При постепенном увеличении полости свод не выдерживает веса вышележащих пород, и происходит его обрушение. На поверхности террасы формируются поноры и воронкообразные депрессии. Подобные явления прослеживаются на расстоянии до 300 м от места разгрузки подземных вод. Размеры депрессий суффозионного происхождения могут изменяться в диаметре от 1-2 до 30 м, и в глубину достигать 15 м. Со временем воронкообразные понижения сливаются в единое целое, и формируется овраг. В результате проведенных автором специальных геодезических режимных работ на ключевых участках по изучению динамики суффозионных процессов получены данные о весьма высоких скоростях их развития [Гагарин, Семерня, 2011].

Таким образом, в криолитозоне суффозионные процессы имеют особенности. Помимо механического подземный водный поток оказывает тепловое воздействие на многолетнемерзлые породы. На исследуемом участке ММП являются необходимым условием активизации суффозии. Специфические формы проявления этого процесса и весьма высокая скорость их развития представляются опасными для инженерных сооружений при освоении территории.

## Литература

- Аникеев А.В. 2006. Суффозия. Механизм и кинематика свободной суффозии. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология, №6: 544-553
- Гагарин Л.А., Семерня А.А. 2011. Особенности проявления суффозионных процессов в области распространения многолетнемерзлых пород (на примере Центральной Якутии). // Материалы четвертой конференции геокриологов России, Том 2: 217-223
- Ефимов А.И. 1952. Незамерзающий пресный источник Улахан-Тарын в Центральной Якутии. // Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике, №3: 60-105
- Иванов М.С. 1984. Криогенное строение четвертичных отложений Ленно-Алданской впадины. – Новосибирск: Наука, 128 стр.
- Хоменко В.П. 2003. Закономерности и прогноз суффозионных процессов. – М.: ГЕОС, 216 стр.

## Исследование сезонного травматизма на нефтегазовых предприятиях севера

А.Ф. Галкин, Р.Г. Хусаинова

*Санкт-Петербургский Государственный Горный Университет, Санкт-Петербург, Россия*

**Ключевые Слова:** травматизм; энергетические затраты; тяжесть труда; температурный фактор; Север

Целью работы являлось установление закономерностей проявления травматизма в нефтегазовой отрасли в зависимости от климатических условий региона добычи полезного ископаемого, в частности, температурного фактора.

Задачей было подтвердить или опровергнуть ранее выдвинутую гипотезу о связи травматизма с сезонным изменением температуры, согласно которой общие энергетические затраты человека изменяются пропорционально температуре окружающей среды и влияют на тяжесть и напряженность труда [Галкин, 2000]. Предполагается также, что последние два фактора, во многом, определяют уровень производственного травматизма.

По результатам анализа несчастных случаев на одном из нефтегазовых предприятий Севера было установлено, что с понижением температуры воздуха учащаются случаи травматизма. Более половины всех рассматриваемых несчастных случаев (61%) соответствуют зимнему периоду года. Выявленная зависимость подтверждает ранее установленную закономерность для предприятий горной промышленности Севера, ведущих разработку месторождений открытым способом [Галкин, Заболоцкая, 2008].

Используя энергетический критерий оценки тяжести труда, было установлено, что существуют пороговые значения температуры, определяющие категорию труда при нормировании его тяжести. Таким образом, очевидно, что для рассматриваемых случаев установленная нормативная тяжесть и напряженность труда, согласно методике проведения аттестации рабочих мест, не соответствует действительности, что отражается, в том числе, и на уровне фактического травматизма [Галкин, Хусаинова, 2010].

Для наглядного представления картины изменения тяжести трудового процесса в зависимости от

температурного фактора, были построены карты аналогично картам климатического районирования.

Были определены суммарные годовые энергозатраты работников различных профессий. Вычисления проводились на основании значений энергетических затрат, используемых в градации труда по тяжести при аттестации рабочих мест. В результате расчетов были определены коэффициенты, показывающие степень превышения затрат энергии работников, выполняющих однотипные трудовые операции в различных температурных зонах, соответствующих ранее разработанной новой системе районирования горнопромышленных территорий. Полученные численные результаты свидетельствуют о целесообразности изменения нормативных категорий тяжести труда в основных нефтегазодобывающих районах Севера.

### Литература

- Галкин А.Ф., Заболоцкая Н. С. 2008. Энергетический критерий оценки травмоопасности рабочих профессий при разработке месторождений Севера: Горный информационно-аналитический бюллетень, ОВ «Безопасность» № 6. – М.: Изд-во МГГУ. С.36-45.
- Галкин А.Ф. 2000. Тепловой режим подземных сооружений. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН. 304 С.
- Галкин А.Ф., Хусаинова Р.Г. 2010. Энергетическая оценка травмоопасности труда на Севере: Материалы IX Всероссийского конгресса. Москва, 24-26 ноября 2010 г. – М.: изд. НИИ МТ РАМН. С. 117-118.

## Прогнозирование гидратообразования в стволе добывающей газовой скважины

О.С. Гашева

*Институт геологии и нефтегазодобычи, Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия*

С.С. Гашева

*Институт математики, естественных наук и информационных технологий, Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия*

### Аннотация

На сегодняшний день в мире разведаны огромные запасы природного газа, который является одним из основных видов топлива. Актуальной проблемой газовой промышленности в северных условиях является образование гидратных пробок в стволе добывающей скважины. В данной работе рассмотрена методика прогнозирования этого явления, основанная на расчёте распределения давлений и температур вдоль ствола скважины согласно основным уравнениям гидрогазодинамики и теплофизики. С помощью диаграмм условий существования гидрата в координатах давление-температура, зная термобарические условия в скважине и состав природного газа, прогнозируются участки, на которых возможно образование пробок. На этих участках возможно замедление потока добываемого газа или полная его остановка, что недопустимо в условиях разработки месторождений.

**Ключевые Слова:** газогидрат, гидрат, гидратообразование, гидратная пробка

### Введение

На сегодняшний день в мире разведаны огромные запасы природного газа, который является одним из основных видов топлива. Во многих странах ведётся активная разработка таких месторождений. В процессе добычи газа, при определённых термобарических условиях, может возникнуть проблема гидратообразования, вследствие чего образуется гидратная пробка, тормозящая или полностью останавливающая поток.

Тема борьбы с гидратообразованием и современные методы предупреждения этого явления очень актуальны для инженеров-бурильщиков и других научно-технических специалистов газовой промышленности. Для прогнозирования образования гидратных пробок необходимо определить распределение давлений и температур вдоль ствола скважины, а затем сопоставить полученные данные с графиками условий гидратообразования для исследуемого газа.

### Распределение давлений и температур в стволе добывающей скважины

Все известные газы при определённых термобарических условиях образуют гидраты, структура которых зависит от состава газа. Они могут существовать в широком диапазоне температур и давлений. Например, гидрат метана существует при давлениях от  $2 \cdot 10^{-8}$  до  $2 \cdot 10^3$  МПа и температурах от 70 до 350 К [Макогон, 2010]. Такие условия могут возникнуть в стволе скважины при добыче природного газа.

Рассмотрим схематически строение добывающей скважины (рис.1). Глубина залегания продуктивного пласта может варьировать от сотен метров, до нескольких километров. Внутри ствола скважины возникает неоднородное поле давлений и температур. В общем случае, при отсутствии фазовых переходов или внешних воздействий, градиент давлений и температур направлен

от устья скважины к её забою. Гидратообразование является фазовым переходом, что приводит к резкому скачку этих параметров.

Большинство газодобывающих скважин на территории России находится в зоне мёрзлых грунтов. При течении газа от забоя к устью происходит нагрев прилежащих пород, что приводит к образованию зоны оттаивания вокруг скважины. При этом сам поток охлаждается. Причём, газ остывает ровно на то же количество тепла, которое получает окружающая скважину среда.

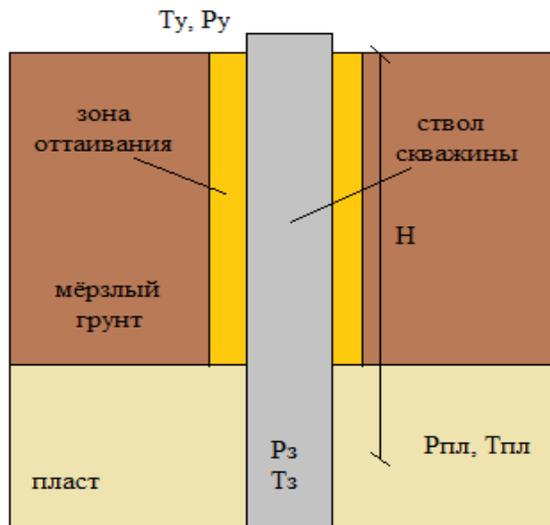


Рис.1. Схема добывающей скважины в мёрзлом грунте:

$H$  – глубина залегания пласта,  $P_z$  и  $T_z$  – давление и температура на забое,  $P_u$  и  $T_u$  – давление и температура на устье скважины

Для расчета распределения температур по длине ствола скважины необходимо использовать основную формулу теплопередачи:

$$Q = \alpha \cdot S \cdot \Delta T_{lm} \quad (1)$$

где  $Q$  – интенсивность теплопередачи,  $\alpha$  – общий коэффициент теплопередачи,  $S$  – площадь поверхности, доступной к теплообмену,  $\Delta T_{\text{lm}}$  – средняя логарифмическая температура.

Общий коэффициент теплопередачи представляет собой сумму четырёх членов уравнения [Кэрролл, 2007]: 1) конвективной теплопередачи вследствие движения флюида; 2) теплопроводности через материал трубопровода; 3) теплопроводности через материал изоляции; 4) сопротивление грунта теплопередаче.

Для нахождения распределения давлений вдоль ствола скважины воспользуемся обобщенным уравнением Бернулли [Лойцянский, 1988]:

$$P=P_3+\rho\{\alpha_k(V_3^2-V^2)/2+gh-I_{\text{тр}}\} \quad (2)$$

где  $P$ ,  $P_3$  – давления в текущем сечении и на забое,  $\rho$  – плотность газа,  $\alpha_k$  – коэффициент Кориолиса,  $V$ ,  $V_3$  – скорость потока в текущем сечении и на забое,  $g$  – ускорение свободного падения,  $h$  – расстояние от забоя до рассматриваемого сечения,  $I_{\text{тр}}$  – работа сил трения.

Для нахождения распределения давлений и температур вдоль ствола скважины необходимо решить систему уравнений (1), (2).

### Гидратообразование в стволе скважины

Решая полученную ранее систему уравнений, получим распределение температур и давлений вдоль ствола скважины. Используя полученные данные легко определить существуют ли при данных условиях зоны, в которых возможно гидратообразование. Для этого необходимо знать состав газа, так как от него кардинально зависит вид кривых фазового перехода [Кэрролл, 2007]. На рис.2 [Макогон, 2010] дан график условий существования гидрата метана в координатах давление-температура.

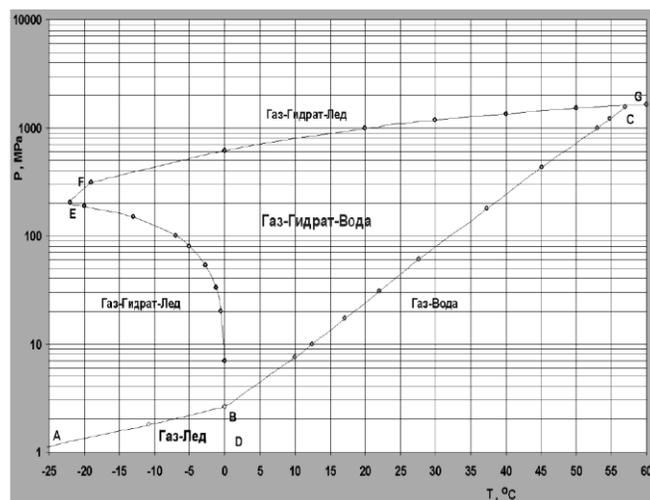


Рис.2. Существование системы  $\text{CH}_4$ -вода в условиях образования гидратов [Макогон, 2010]

Диаграммы существования гидратов для различного состава газа можно найти в литературе [Кэрролл, 2007].

Явление гидратообразования наблюдается не только в стволе добывающих скважин, но и в линейной части трубопровода. Кроме того, образование гидратных пробок происходит и в нефтепроводах на промысле, в тех случаях когда высока обводнённость. В процессе добычи нефти образуется эмульсия из пластовой воды, попутного газа и нефти, которая при определённых термобарических условиях может подвергнуться гидратации [Turner, 2005]. Рассмотренные ранее уравнения (1), (2) справедливы и для этих случаев, с учётом некоторых допущений.

### Заключение

В данной работе рассмотрена методика прогнозирования образования гидратных пробок, которые могут препятствовать движению потока добываемого газа.

Для нахождения распределения давлений и температур вдоль ствола скважины необходимо решить систему уравнений (1), (2). Аналитически эта задача решается довольно сложно, поэтому актуально применение компьютерных методов численного решения.

Для разных газов имеют место кардинально разные диапазоны давлений и температур, при которых наблюдается гидратообразование, поэтому важно знать химический состав добываемого газа.

### Литература

- Макогон, Ю.Ф. 2010. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения. Геология и полезные ископаемые Мирового океана, №2: 5-21.
- Кэрролл, Дж. Гидраты природного газа. - М.: «Премиум инжиниринг», 2007. – 289 с.
- Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Машиностроение, 1988. - 360 с.
- Turner, D. Clathrate hydrate formation in water-in-oil dispersions, Ph.D. thesis, Colorado School of Mines, Golden, CO. 2005.

## Сценарная оценка изменений водных ресурсов в бассейне р. Лены в первой трети XXI века

А.Г. Георгиади, Н.И. Коронкевич, И.П. Милукова, Е.А. Барабанова  
Институт географии РАН, Москва, Россия

### Введение

На протяжении ряда лет в Институте географии РАН разрабатывается методология долгосрочного сценарного прогнозирования изменений ресурсов стока, которая позволяет получить долгосрочный сценарный прогноз: (1) изменений ресурсов стока в крупных речных бассейнах в результате глобальных и региональных изменений климата; (2) трансформации водохозяйственного комплекса, вызванного социально-экономическими изменениями, происходящими в стране, и их воздействия на водные ресурсы.

### Методы сценарных оценок

Сценарии изменений речного стока в бассейнах крупных, трансграничных рек Европейской территории России и Сибири, обусловленные изменениями климата возможными на последовательных стадиях глобального потепления климата в XXI веке строятся на основе: 1) модели месячного водного баланса, адаптированной к условиям зоны распространения многолетнемерзлых грунтов [Георгиади, Коронкевич, Милукова и др., 2011]; 2) результатов моделирования изменений климата и методов их усвоения IPCC-2007; 3) результатов расчетов изменений характеристик многолетнемерзлых почвогрунтов; 4) метода сценарных оценок будущей трансформации водохозяйственного комплекса [Коронкевич, 1990; Коронкевич и др., 2008 и др.]; 5) географических информационных систем.

### Сценарные оценки изменений речного стока, выполненные на основе ансамблевых климатических сценариев

В качестве климатического сценария используется диапазон возможных климатических изменений, который рассчитывается по результатам численных расчетов отклонений климатических элементов от их современных значений, проведенных на ансамбле из 10 климатических моделей, исходящих из двух контрастных сценариев мирового социально-экономического развития (A2 и B1), включенных в программу последнего эксперимента 20C3M-20th Century Climate in Coupled Models [Meehl et al., 2007], проведенного в рамках программы межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), и отобранных на основе сравнения наблюдаемого и модельного современного климата для Восточно-Европейской равнины [Кислов и др., 2008].

### Климатические изменения

Согласно обоим сценариям (A2 и B1) в центральной равнинной части бассейна реки Лены в условиях первой трети века можно ожидать весьма сходного повышения среднегодовой температуры воздуха, находящегося в пределах 1.6-1.7°C. Сценарии изменения среднегодового атмосферного увлажнения предсказывают его увеличение в пределах 28-54 мм.

Особенность внутригодового распределения изменений атмосферного увлажнения в бассейне Лены состоит в том, что наибольший рост осадков может происходить в теплую часть года. В то же время, наибольший рост температуры воздуха характерен для холодной части года, тогда как в теплую часть года вероятно существенно меньшее и равномерное во времени ее повышение.

### Изменения речного стока

Расчеты, проведенные на модели месячного водного баланса Института географии РАН, показали (рис.1), что в центральной равнинной части бассейна Лены в случае реализации сценариев A2 и B1 в первой трети текущего столетия наиболее вероятно слабо заметное повышение годового стока, не превышающее 3-4%. Однако потепление климата может вызвать некоторую трансформацию внутригодового распределения речного стока, которая характеризуется компактным перераспределением стока в течение половодья, пик которого сместится на более ранние сроки. При этом согласно обоим сценариям произойдет незначительное снижение максимального месячного стока в период половодья.

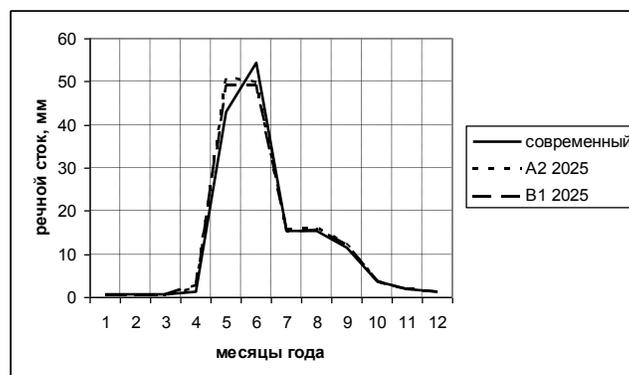


Рис 1. Современные и среднеансамблевые среднемесячные значения речного стока, осредненных по ячейкам регулярной сетки, покрывающей центральную равнинную часть бассейна р. Лены для условий потепления климата в период 2010-2039 гг.

## Сценарные изменения характеристик водопотребления в будущем

### Общий алгоритм разработки сценариев

Алгоритм разработки сценариев выглядит следующим образом. Прежде всего исследования ведутся на предпрогнозной стадии. Она должна предшествовать собственно разработке сценариев. Предпрогнозная стадия включает в себя:

- общую ориентацию разработки метода;
  - анализ природных условий и пространственно-временных закономерностей распределения водных ресурсов и их природного качества;
  - анализ хозяйственной деятельности и ее воздействия на водные системы;
  - анализ динамики состояния водных систем;
  - выбор операционных единиц.
- Собственно прогнозная стадия состоит из:

- учета ожидаемой природной гидроклиматической ситуации;
- учета прогнозной численности населения и развития экономики;
- оценки возможных изменений технологии использования воды;
- учета комплекса антропогенных и природноклиматических факторов;
- верификации сценариев по водохозяйственным балансам.

### Результаты сценарной оценки изменения водопотребления

Возможны несколько сценариев развития систем водопользования в бассейне Лены, исходящих как из разных вариантов демографического и экономического развития региона, так и разных технологий использования воды. В их числе варианты сохранения современного удельного водопотребления, его значительного снижения, полного прекращения загрязненных сточных вод в реки. В любом случае водозабор и безвозвратные изъятия не превысят 1% среднего годового стока Лены в 2015 г. и 1-2% на уровне

2025-2030 гг. Наиболее вероятный диапазон прогнозного изменения водозабора в 2015 г. 245-500 млн. м<sup>3</sup>/год, а безвозвратных потерь воды для водных объектов (с учетом потерь воды на испарение с акватории водохранилищ) – от 400 до 500 млн. м<sup>3</sup>/год. К 2025-2030 гг. безвозвратный расход может приблизиться к 1 км<sup>3</sup>. Для отдельных, наиболее обжитых районов, особенно в меженный период, могут возникнуть затруднения при решении водохозяйственных балансов, одним из наиболее реальных путей преодоления которых может стать гидротехническое регулирование стока. Еще более острой может стать в этих районах проблема предотвращения качественного истощения водных ресурсов из-за возможного увеличения водоотведения, в т.ч. загрязненных сточных вод. Изложенные выше количественные рекомендации по отдельным составляющим сценариев следует рассматривать как ориентировочные, нуждающиеся в корректировке по мере более конкретной разработки сценариев.

## Литература

- Георгиади, А.Г., Коронкевич, Н.И., Милукова, И.П. и др. 2011. Сценарная оценка вероятных изменений речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 1. Бассейн реки Лены. – М.: Макс Пресс, 179 с.
- Кислов, А.В., Евстигнеев, В.М., Малхазова, С.М. и др. 2008. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. – М.: Макс Пресс, 290 с.
- Коронкевич, Н. И. 1990. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. – М.: Наука, 205 с.
- Коронкевич, Н.И., Георгиади, А.Г., Милукова, И.П., Барабанова, Е.А. 2008. Разработка сценарных прогнозов состояния водных ресурсов на примере бассейна р. Лена. Стратегические проблемы водопользования России. Сборник научных трудов. М.: РАН: 351-360.
- Meehl, G.A., Covey, C., Delworth, T., Latif, M., McAvaney B., Mitchell, J.F.B., Stouffer, R.J. & Taylor, K.E. 2007. The WCRP CMIP3 multi-model dataset: A new era in climate change research. Bulletin of the American Meteorologic.

## Изучение пространственного распределения мерзлотных показателей и ландшафтной структуры Центрального Ямала на примере стационара «Васькины дачи»

А.Г. Герасимов, Ю.А. Дворников  
МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Москва, Россия

В ходе комплексных исследований в сентябре 2011 года была проведена топографическая съемка модельного участка в рамках научной экспедиции Института Криосферы Земли СО РАН (ИКЗ). Исследуемый участок располагается на территории стационара «Васькины Дачи» в Центральной части полуострова Ямал. На модельном участке проведена мерзлотная съемка территории, ландшафтное описание, измерения влажности в сезонноталом слое, нижняя часть которого на момент съемки находилась в мерзлом состоянии.

Целью предлагаемой работы является анализ особенностей пространственного распределения мерзлотных характеристик в зависимости от ландшафтной

структуры, положения в рельефе, растительного покрова и состава пород.

В ходе полевых работ была проложена транsekта протяженностью 1,5 км, пересекающая основные геоморфологические уровни исследуемого района и большинство ландшафтных фаций, представленных на водоразделах стационара.

В результате проведенных исследований было установлено, что на участке транsekты, проходящей по водораздельной части пятой морской равнины (V), наиболее высокой на рассматриваемой территории и имеющей абсолютную высоту более 46 м, сезонноталый слой сложен, в основном, супесями и суглинками.

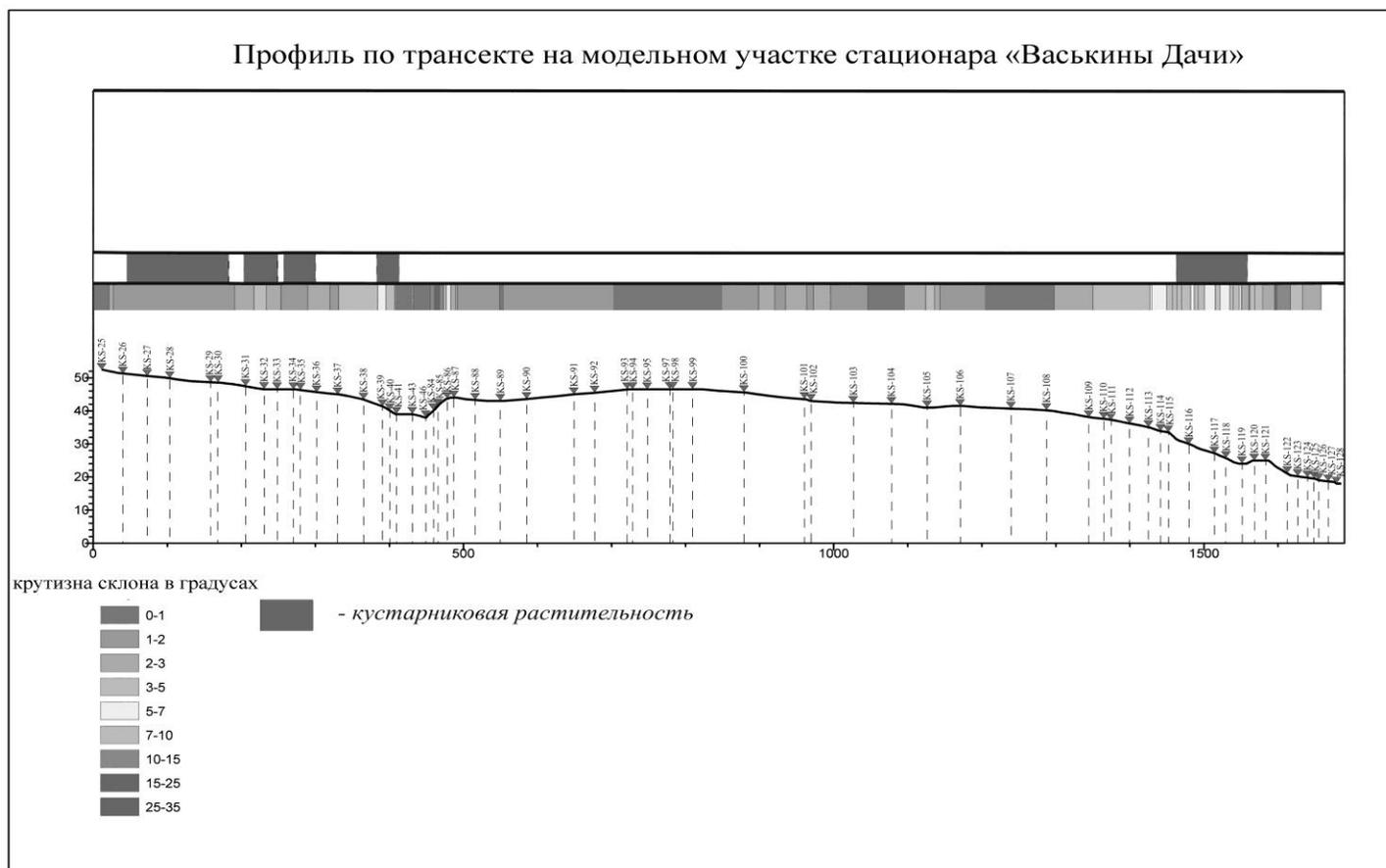


Рис.1. Профиль по транsekте на модельном участке стационара «Васькины Дачи»

На влажностных профилях построенных для точек, лежащих на пятой морской равнине, заметно равномерное

распределение влажности пород по глубине сезонноталого слоя (20-30%), тогда как в кровле мерзлых пород замечено увеличение влажности до 45-60. На водоразделах этого

геоморфологического уровня высота кустарника составляет в среднем 30-40 см, толщин мха - 7-10 см, и влажность в среднем 40%. Эти параметры определяют мощность сезонноталого слоя 46-60 см.

Водораздел прорезается термоэрозийным оврагом, в котором глубина протаивания составила более 160 см. Это связано с песчаным составом пород и их низкой влажностью (10-30%).

На участке четвертой прибрежно-морской равнины (IV) сезонноталый слой сложен, в основном, песчаным и супесчаным материалом. Средняя высота кустарников 20 см, местами достигая 70 см. На большом участке кустарники отсутствуют, моховой покров составляет 2-10 см, глубина сезонного протаивания составляет 80-100 см. Третья аллювиально-морская терраса (III) представлена отдельными останцами. На этой поверхности кустарничковый и моховой покровы маломощны, 3 и 1 см, соответственно. Сезонноталый слой сложен преимущественно песком, его глубина составляет до 101 см.

На склонах III террасы и IV равнины заметно увеличение высоты кустарничков от 28 см у бровки склона до 150 см у тылового шва долины р. Панзананаяха (основной дрены модельного участка), склон сложен песком, наблюдается постепенное увеличение значения СТС от 56 см у бровки склона до 128 см у тылового шва долины реки. Полученные данные говорят о том, что в зимний период здесь формируется мощный снежный покров до 150 см.

На основе полученных данных составлен ландшафтно-мерзлотный профиль, на котором отображены растительность, состав и влажность пород, а также глубина сезонноталого слоя (рис.1).

Анализ пространственных данных, проведенный на основе изучения профиля, позволяет сделать некоторые выводы. Наибольшая глубина протаивания наблюдается на участках с высокой растительностью, что обуславливается распределением снежного покрова (теплоизолирующий эффект) и на участках, сложенных песчаными породами (в связи с инфильтрацией влаги в нижние горизонты что способствует протаиванию). На участках, сложенных суглинистыми и супесчаными породами и с относительно невысоким кустарничковым и моховым покровом или его отсутствием, наблюдается относительно небольшая глубина протаивания. Определяющие факторы в пространственном распределении глубины протаивания - это распределение снежного покрова зимой, маркирующееся высотой кустарничков, а так же структура пород сезонноталого слоя.

### Литература

Лейбман М.О., Кизяков А.И., 2007, Криосферные оползни Ямала и Югорского полуострова. – М.: Институт криосферы Земли СО РАН. - 206 с.

## Влияние межгодовой изменчивости и трендовых изменений строения и свойств снежного покрова на термический режим подстилающей поверхности

В.Н. Голубев, С.А. Сократов, Д.М. Фролов

*МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия*

Вклад снежного покрова в термическое взаимодействие атмосферы и литосферы определяется его радиационными и теплофизическими свойствами, прежде всего теплопроводностью снега, которая, в свою очередь, зависит от его плотности, строения и термического режима. Толщина снежного покрова, его строение и свойства меняются как в пространстве (региональные и локальные изменения), так и во времени (трендовые и межгодовые изменения климатических условий, сезонные в процессе снегонакопления и метаморфизма). Такие изменения строения снежного покрова, его свойств и продолжительности залегания сказываются на условиях теплообмена и вызывают, соответствующие вариации глубины сезонного промерзания подстилающих грунтов и длительности их пребывания в мерзлом состоянии.

Многолетние изменения температуры, осадков зимнего периода и толщины снежного покрова сопровождаются их межгодовыми (квазидвухлетними) вариациями, которые превышают трендовые более чем на порядок. Во всех климатических зонах России соотношения модулей межгодовых вариаций зимних значений температуры воздуха, суммы осадков и толщины снежного покрова к соответствующим показателям трендовых изменений имеют один порядок величины. Это позволяет рассматривать, конечно, с определённой коррекцией, межгодовые аномалии характеристик сезонного снежного покрова, как некоторый прообраз его реакции на возможные многолетние климатические изменения.

Для региональной оценки тепло-массообмена подстилающей поверхности со снежным покровом и атмосферой необходимы сведения о свойствах и строении (стратиграфии) снежного покрова и об их возможных межгодовых и пространственных вариациях. Эти характеристики возможно оценить на основе показателей, определяющих водозапас и среднюю плотность снежной толщи, возможный сток талой воды, образующейся во время оттепелей, наличие слоёв и корок разного генезиса (суммарное количество твердых осадков, толщина снежного покрова, частота и продолжительность снегопадов, оттепелей, ветрового и радиационного воздействия). В свою очередь, эти показатели могут быть получены при анализе стандартной метеоинформации.

Построены карты климатических условий и толщины снежного покрова и их аномалий относительно средних многолетних значений, демонстрирующие особенности их изменений на территории России в зимние периоды конца

XX – начала XXI столетий. Установлены: 1) корреляция между изменениями температуры и суммы зимних осадков; 2) зависимость толщины и плотности снежного покрова от суммы осадков и температуры зимнего периода.

Моделирование регионального строения и средней плотности снежного покрова на территории РФ проведено на основе карт средней зимней температуры, суммы зимних осадков, частоты метеорологических явлений: снегопады, оттепели, ветер со скоростью более 10 м/с, резкие изменения (более 10°C) температуры воздуха в области отрицательных значений. При построении карт учитывались снегопады с интенсивностью выше 0,01 г/см<sup>2</sup> в сутки, оттепели с повышением температуры воздуха выше 0°C на срок более суток. Модельные разрезы учитывают лишь метеорологические события, имевшие место при формировании снежного покрова, не отражая хронологию явлений и возможные пространственные вариации накопления его на мезо- и микроуровне. Верификация результатов моделирования разрезов, проведенная с использованием натуральных наблюдений и литературных источников, показала, что, несмотря на схематизм модельных разрезов, они принципиально идентичны реальным и могут быть использованы для выявления межгодовых различий строения снежного покрова.

Характеристики климатических условий зимнего периода, модельные разрезы и выявленные соотношения, корреляции и зависимости позволяют оценивать среднюю плотность, теплоемкость и теплопроводность снежного покрова, а также средний за зиму градиент температуры в нём. В результате становится возможным рассчитать (реконструировать) тепловой поток из снежного покрова и подстилающего грунта в атмосферу, а, при наличии данных о влажности и теплофизических свойствах грунта, возможную глубину промерзания и межгодовые вариации её, определяемые снежным покровом.

На основе предлагаемых алгоритма и программы расчета глубины промерзания проведены расчеты для трёх климатических зон России, расположенных в районе полярного круга, для наиболее холодного и тёплого сезонов XXI столетия. Полученные результаты согласуются с данными натуральных наблюдений в соответствующих регионах.

# Новые технологии рекультивации нарушенных земель в условиях Крайнего Севера

Е.В. Голубев, О.Н. Вепренцев, Н.А. Вепренцева

Технопарк ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет», Тюмень, Россия

## Аннотация

Работы по нефтегазовому освоению тундры создают участки с разрушенной растительностью и подвижным песчаным субстратом. Такие территории подлежат обязательной рекультивации. Применяемые в условиях других природных зон технологии рекультивации не могут быть адаптированы к местным условиям. Существует острый дефицит методов восстановления нарушенных тундровых земель. Описаны результаты по разработке новых технологий рекультивации, обеспечивающих быстрое восстановление растительного покрова в условиях тундр и лесотундр.

**Ключевые Слова:** нарушенные территории; рекультивация; песок; травосмеси; тундра.

## Введение

При освоении тундровых территорий в результате деятельности нефтяной и газовой промышленности происходит формирование «песчано-пустынных» участков. Открытые песчаные субстраты появляются в результате нарушения естественного мохово-растительного покрова и за счет формирования искусственных насыпей. Песок является основным материалом для сооружения площадок для буровых, бригадных хозяйств, баз и других технологических площадок различного назначения, а так же промысловых автодорог. При этом разработка песчаных карьеров, отсыпка песком откосов и выемок, формирование насыпей и штабелирование песка увеличивают территории, занятые оголенными песчаными субстратами.

Скорость восстановления растительного покрова на оголенных участках крайне мала. Незакрепленные пески за счет активного развития дефляционных процессов становятся подвижными, что значительно снижает скорость формирования естественного растительного покрова.

Тем не менее, все нарушенные в ходе хозяйственного использования земли подлежат обязательному восстановлению. Существует объективная необходимость проведения работ по рекультивации техногенных песчаных субстратов. В то же время дефицит технологий рекультивации нарушенных тундровых земель ощущается уже на стадии проектирования. Технологии, используемые в других природных зонах, в условиях тундры не применимы. Завоз материалов на место проведения работ имеет очень высокую стоимость.

Новизна проекта заключается в создании новой технологии рекультивации нарушенных земель с применением материала, обеспечивающего посадочный материал влагой и питательными веществами без применения торфа, а также исключающего вынос семян и развитие неблагоприятных экзогенных процессов.

## Современное состояние проблемы и уровень применяемых технологий

Рекультивации нарушенных земель в тундровых районах Западной Сибири до конца 90-х годов не

уделялось значимого внимания. В 2000-е годы объем работ по рекультивации и сдаче земель постоянным землепользователям возрос существенно. Тем не менее, рост площадей нарушенных земель заметно превышает темпы их рекультивации. Это является следствием острого дефицита адекватных технологических решений.

Основные мероприятия, проводимые в ходе рекультивации традиционно включают планирование откосов, противооползневые и противоэрозионные работы, создание плодородного слоя грунта, засев травами.

Вопрос о состав рекультивационных мероприятий в условиях тундровых территорий остается дискуссионным. Особую позицию занимает представление о малой эффективности рекультивационных работ в условиях тундры и целесообразности оставления нарушенных земель под самовосстановление [Максимова, 1972; Василевская, Кириллишин, 1993]. При этом, такой подход нередко вызван применением другого крайнего метода – интенсивной рекультивацией с масштабной инженерной подготовкой территории, внесением высоких доз органических веществ и удобрений. В основном такие мероприятия проектируются без предварительных изысканий в условиях крайнего дефицита данных. В состав проектируемых работ включают всевозможные мероприятия по принципу «что-нибудь, да сработает», которые реализуются с большим трудом и не дают желаемого эффекта. Стоимость такого комплекса работ оказывается неоправданно высокой.

Таким образом, при выборе и создании технологий рекультивации следует руководствоваться следующими принципами:

- учет комплекса природоведческих данных о нарушенном участке и окружающем ландшафте;
- использование минимально необходимого и достаточного количества удобрений и структурообразователей;
- использование только технических решений эффективных в условиях Крайнего Севера;

Представляет особое значение разработка новой технологии мелиорации техногенных песчаных субстратов без нанесения плодородного слоя земли, то есть без применения торфа, так как запасы торфа на Крайнем Севере сильно ограничены. Кроме того, перенос маломощного слоя торфа на песчаный субстрат вызывает

нарушения водных и температурных свойств поверхности, что вызывает развитие процессов деградации многолетнемерзлых пород.

В настоящее время можно выделить несколько групп методов, специально разработанных для условий Крайнего Севера. К первой группе можно отнести методы, основанные внесении большого количества травосмесей, в том числе сложной фитоценотической структуры, и большого количества удобрений. Их эффективность страдает по причине отсутствия мероприятий мелиорации подвижных грунтов.

Вторая группа методов обеспечивается созданием защитного слоя из материалов относительно крупных фракций (дресвы, щебня, шлака). Однако завоз этих материалов в тундру в больших количествах сопряжен с высокими затратами.

Третья группа методов сопряжена с использованием для закрепления верхней части подвижных грунтов жидких полимерных составов или отработанных бентонитовых составов. Такие покровы образуют плотную слабопроницаемую корку, что создает неблагоприятные условия для произрастания растений. Некоторые из таких методов представляют собой банальное «размазывание» буровых отходов по тундре.

Четвертая группа методов основана на использовании геосинтетических материалов, габионов и сетевых конструкций. Основным недостатком таких методов – высокая цена самих материалов и их доставки.

Таким образом, разрабатываемая технология должна решать сразу две задачи: понижение подвижности песчаных грунтов и увеличение их плодородия. Особую важность представляет экономическая эффективность предлагаемых решений.

### **Технология «Экополимер»**

В ходе исследований в области восстановления нарушенных земель специалистами Технопарка Тюменского государственного университета разработана новая технология рекультивации нарушенных тундровых земель. Технология обеспечивает закрепление подвижных песчаных грунтов, повышение плодородия и создание устойчивого растительного покрова.

Разработана принципиально новая рекультивационная смесь «Экополимер». В состав новой рекультивационной смеси входят полимерные гранулы с прикрепленными к ним семенами. Гранулы насыщаются водой с растворенными в ней удобрениями, затем наносятся на рекультивируемую поверхность выстланную песком и перемешиваются с ним с помощью фрезы. Влага и удобрения, находящиеся в гранулах, используются семенами растений, обеспечивая их устойчивое прорастание и укоренение. В рекультивационную травосмесь входят виды растений арктических травосмесей.

Данная технология обеспечивает закрепление подвижных грунтов, не создавая плотных поверхностных корок. Используется сравнительно небольшое количество удобрений, которые связаны в доступной для растений форме и не выносятся природными водами в окружающую среду. Исключается необходимость использования дорогих листовых или рулонных геосинтетических материалов.

Все материалы, применяемые в технологии «Экополимер» полностью безопасны для окружающей среды.

Применение новой технологии рекультивации нарушенных земель позволит значительно сократить затраты на проведение работ, понизить трудоемкость процесса, а так же увеличить их результативность.

### **Литература**

- Васильевская В.Д., Кирилишин В.В. Антропогенные нарушения почвенного покрова в южной тундре Ямала и мероприятия по их предотвращению // Вестник МГУ. Серия 17, Почвоведение. 1993. № 4. С. 3–9.
- Максимова В.Ф. Восстановление растительного покрова техногенных ландшафтов Верхней Колымы // Вестник МГУ. Серия 5, География. 1972. № 4. С. 69–76.

## Ландшафтно-мерзлотные условия и криогенные процессы на V Салехардской морской террасе

А.Ю. Горбатюк, В.В. Рогов

Кафедра криолитологии и гляциологии, МГУ им. Ломоносова, Москва, Россия

### Аннотация

Работа основана на полевых маршрутах, проводимых на севере Западной Сибири в летний сезон 2009 года. Основная часть маршрутов проведена на V Салехардской морской водораздельной террасе, которая занимает абсолютные высоты от 70 до 90 м. Отложения террасы сформировались в период трансгрессии холодного моря, в конце среднего плейстоцена. [Баулин и др., 1989]. В дальнейшем они подвергались различной переработке: аллювиальными, эоловыми, эрозионными, криогенными и почвообразовательными процессам. На территории ГП «Юбилейный» были поведены ландшафтно-мерзлотные исследования на V Салехардской террасе в районе озер - Наше-то, Клене-то, на буграх пучения и в долинах рек Хальмер-Яхи и Седи – Яха.

**Ключевые слова:** криогенные процессы, ландшафтно-мерзлотные условия, V Салехардская терраса

### Введение

Были исследованы основные природно-территориальные комплексы (ПТК) в пределах водораздельной поверхности, они приурочены к трем основным типам мезорельефа [Баулин и др., 1989]:

- а) межхасырейные пространства – водоразделы между котловинами, небольшими реками, ложбинами стока;
- б) озерно-хасырейный тип местности;
- в) долины небольших современных рек.

### Методика

В качестве иллюстрации ландшафтно-мерзлотных особенностей (рис.1) можно привести исследования в т. 1.1.



Рис.1. Лиственничные редины на относительно дренированных поверхностях (фото Рогова В. В., 2009).

Пологоволнистая слабонаклоненная (не более 1-3° на север), бугорковатая, местами пятнисто-медальонная, относительно дренированная тундра, средняя высота бугорков 30 см, слегка вытянуты по склону. Длина 143, 126, 189; ширина 125, 230.

Грунты тиксотропные. Многие деревья искривлены (ветер, снег).

Растительность была представлена следующими видами: древесный ярус – *Larix sibirica*, кустарничковый ярус: *Vaccinium vitis*, *Empetrum nigrum*, *Vaccinium uliginosum*;

травянистый ярус: *Carex*; мох – *Sphagnum balticum*; лишайники – *Cetraria islandica*.

Средняя глубина СТС на 05 июля 2009 года составила: между бугорками 77см, а на бугорках 90 см.

На данной точке был выкопан и описан шурф 1.1:

0-2 см – очес

2-16 см – ТН, черно-бурый, слабо разложившийся торф, переплетен корнями.

16-27 см – ВФ, светло-бурый с пятнами ожелезнения, пылеватый песок, с/з и к/з граница четкая по цвету.

27-70 см – ВС, песок, мокрый, с марганцевыми примазками, наблюдается слоистость, включения корней.

Также нами была отмечена граница, где мерзлые породы переходят в талик. На этом месте в начале зимы начинает формироваться сезонный слой промерзания. В днище хасырея, занятой осоково-моховой растительностью, откуда сдувается снег, промерзание грунтов идет быстрее и при этом мерзлота сливается выше, в пределах редины, мерзлоты нет, но при этом в верхнем горизонте активно идет фильтрация воды (о чем, кстати, свидетельствует наличие *Salix pulchra* и *Salix lanata*). Вода встречает на своем пути противифльтрационную стену (мерзлоту в начале хасырея), происходит ее выдавливание – выпучивание разжиженной массы. Сформировались линейные трещины выдавливания, заполненной в период наблюдений (начало июля) свежим оттаивающим грунтом.

В точке 1.2 расположенной в пределах крупного хасырея мы рассмотрели озерно-хасырейный ландшафт. На юго-западной оконечности озера Клене-То. Это озеро термокарстового происхождения имеет в целом правильную округлую форму. Отдельные берега, особенно, на южной и юго-восточной части подвержены термообразии. Этот процесс наиболее интенсивен на

участках, где подмываются распученные торфяники. Берег в точке описания представлен бугорковатыми распученными торфяниками, превышение над урезом воды 1 м. На поверхности торфяников имеются отдельные морозобойные трещины. Параллельно озеру наблюдаются фрагменты трещин обрыва и оползания торфяных блоков в озеро. Высота бугорков составила 30 см, а оседания - до 25 см. Ширина типичной морозобойной трещины 30 см, глубина на 13 июля 2009 года составила 50 см. Трещина заросла мхом и морошкой. Средняя глубина протаивания между бугорками 25 см, а на бугорках 40 см, а вдоль трещины 30 см. Была сделана закопушка 1.1:

0-2 – О, очес

2-25 – ТО, торф разной степени разложения, сфагновоягельный.

Растительность была представлена следующими видами: кустарничковый ярус: *Vaccinium vitis*, *Vaccinium uliginosum*, *Empetrum nigrum*, *Betula nana*; травянистый ярус: *Carex*; мох – *Sphagnum balticum*;

В районе исследований антропогенное воздействие оказало большое влияние на ПТК. Это хорошо прослеживается в изменении растительного покрова для некоторых участков. Например: устройство подземного газопровода с обратной грунтовой засыпкой привело к изменению типичной для этого места кочковатой заболоченной осоково-моховой тундры на заболоченную поверхность, на которой прорастает *Eriophorum vaginatum* [[www.planetadisser.com](http://www.planetadisser.com)]. Характерно, что вдоль подземного газопровода сформировались линейно

вытянутые озерца и полосы чрезмерной заболоченности, здесь активны процессы эрозии, ветрового воздействия, неравномерного промерзания (пучение грунтов) и протаивания (осадка).

На территории полевых маршрутов V салехардская морская терраса отличается большим разнообразием ландшафтно-мерзлотных условий. Здесь мы встречали, как и сквозные талики (в пределах лиственничной редины), типичные северные тундры (район сгоревшей тундры озеро – Наше-то), и весьма характерный для этой природной зоны - озерно-хасырейная тип местности.

### Литература

- Попов А. И., Розембаум Г. Э., Тумель Н. В. Криолитология. М.: изд-во МГУ, 1985. С. 208-213.
- Баулин В.В., Васильчук Ю.К., Трофимов В.Т., Чеховский А.Л., Историко-геологические закономерности формирования геокриологических условий // В кн. Геокриология СССР / Под ред. Трофимова В.Т., Гречищева С.Е., Баулина В.В. – М.: Изд-во «Недра», 1989.- С. 20-38.
- [www.planetadisser.com](http://www.planetadisser.com) - эколого-ботанические аспекты воздействия транспортной инфраструктуры на ландшафты нефтегазодобывающих районов севера Западной Сибири

## Криогенные полигоны гор Центральной Азии. Географическое обозрение

А.П. Горбунов

Казахстанская высокогорная геокриологическая лаборатория Института мерзлотоведения СО РАН,  
г. Алматы, Республика Казахстан

Основное внимание до сих пор уделяется изучению криогенных полигонов на равнинах высоких широт. В горах, особенно в южных, они очень слабо исследованы. Ныне появилась возможность использовать компьютерную программу Google Earth для подготовки географического обозрения этих криогенных форм в горах Центральной Азии. Некоторые материалы были собраны в ходе полевых исследований автора и его коллег.

### Тянь-Шань

Особая разновидность криогенных полигонов обнаружена нами в Заилийском Алатау, в бассейне реки Турген (43°11' с.ш. и 77°01' в. д., абсолютная высота 2600 – 2950 м). Их поперечник варьирует от 2 до 10 м. Приурочены они к плакорам и пологим склонам, сложенным неогеновыми глинами. По трещинам грунтовые клинья проникают на глубину 118 см, а реликтовые трещины - до 145 см. Возраст клиньев отражает два этапа их формирования – 4500 и 2500 лет тому назад. Вечная мерзлота здесь отсутствует, средние годовые температуры воздуха в отмеченном диапазоне высот от 0 до минус 1,6°C.

Заилийский Алатау, близ перевала Кольалматы (42°59' с. ш. и 77°01' в.д., высота 3400 м) полигоны с поперечником не более 8 м. Для них характерны грунтовые клинья, которые развиты в условиях вечной мерзлоты, залегающей здесь на глубине около 1,5 м. Они проникают только на глубину до 1 м. (Горбунов и др., 1996).

Бассейн озера Чатыркуль. Восточное и южное побережье озера (40°42' с. ш. и 75°25' в. д., высота 3500 м). Поперечник тетрагонов 8-10 м. Они активные. Трещины на глубине 0,9 м упираются в толщу вечной мерзлоты и продолжают в ней в виде серии тонких (около 1 мм) жилок льда, понижающихся в нее на глубину до 30 см. Такие же активные тетрагоны, но с поперечником до 40 м, отмечены в отложениях озера Дод-нуур в Дархатской котловине Монголии [Горбунов, 1991].

На космических снимках полигоны зафиксированы в Джунгарском Алатау (44°44' с.ш. и 79°32' в. д.) на высотах

около 2700 м и в Кетмене (43°14' с. ш. и 79°56' в. д.) на высотах порядка 3000 м. Но они нуждаются в полевых исследованиях.

### Восточный Памир

Бассейн озер Кукжигит (37°28' с. ш. и 74°00' в.д., высота 4290 м). Поперечник полигонов от 5 до 20 м, чаще 10 м.

### Тибет и Куньлунь

В Тибете и Куньлуне во многих китайских публикациях отмечались криогенные полигоны различного вида [Тун Бойлян, Ли Шуде, 1998]. Но они не позволяют судить в должной мере о их географии. Анализ космических снимков свидетельствует, что криогенные полигоны широко распространены на севере региона выше 4600 м, на юге – выше 5500 м абсолютных высот. Судя по снимкам, они активны. Их поперечник варьирует в пределах 5 – 30 м, чаще он около 10 м. Средние годовые температуры воздуха в местах их формирования минус 5 - 6°C. В регионе не менее десятка крупных полей с полигонами. Площади их изменяются от 2-3 до нескольких десятков квадратных километров.

## Литература

- Горбунов А.П. 1991. К изучению повторно-жильных льдов Монголии: Верхний горизонт толщ мерзлых пород. М., Наука: с. 70 – 76. (in Russian)
- Горбунов А.П., Северский Э.В., Титков С.Н. 1996. Геокриологические условия Тянь-Шаня и Памира. Якутск, ИМЗ, 194 с. (in Russian)
- Тун Бойлян, Ли Шуде. 1998. Плато Цинхай-Сизан (Тибетское плато): Региональная и историческая геокриология мира. Основы геокриологии. Часть 3, Издательство МГУ: с. 413 – 424. (in Russian)

## Многолетнемерзлые породы как среда для жизнедеятельности микроорганизмов

Т.В. Гордеева  
ТГНГУ, Тюмень, Россия

Существование реликтовых биологических объектов, имеющих необычно большую продолжительность жизни, было и остается предметом оживленных научных и околонучных споров. В последнее время такая дискуссия приобрела особую остроту в связи с возможностью секвенирования генома и генетических манипуляций с остатками древней ДНК, как, например, исследование ДНК из образцов волос первобытного человека, жившего предположительно 4 тыс. лет назад в Якутии, или секвенирование генома в остатках цианобактерий, найденных в кристаллах известняка возрастом около 6 млн лет. Изучение образцов разных мерзлых горных пород Северо-Восточной Сибири и Аляски, сформировавшихся в интервале от 20 тыс. до 3 млн лет назад, позволило выделить десятки видов микроорганизмов, способных выживать в вечной мерзлоте. Как и следовало ожидать, такие микроорганизмы, оказались, преимущественно, олиготрофными, то есть отличались низким уровнем метаболизма и способностью выживать в средах с крайне низким уровнем питательных веществ. Стремительно растет число видов и география изучения этих микроорганизмов. В последние годы увеличивается интерес к вечномерзлым экосистемам в связи с потеплением климата и возможным выбросом из оттаявших пород больших количеств разных газов, прежде всего метана и CO<sub>2</sub>. Особый интерес представляет вопрос о механизме, который обеспечивают феноменальную долговечность этих микроорганизмов.

С одной стороны, стремительно растет число публикаций, авторы которых утверждают, что им удалось выделить культуры новых видов реликтовых организмов или ДНК. Причем такие работы выходят из весьма авторитетных учреждений. К сожалению, они часто недостаточно обоснованы, как, например, утверждение о том, что из солевых кристаллов горных пород выделена бактерия возрастом 250 млн лет. При этом подчеркивалось, что применялись самые жесткие меры для обеспечения стерильности образцов (вероятность загрязнения менее 10<sup>-9</sup>). В другой работе такого плана показано, что с помощью сочетания лазерной техники, плазменной масс-спектрометрии и ПЦР удалось обнаружить ампликоны бактериальной 16S рибосомальной ДНК возрастом до 425 миллионов лет. Естественно, трудно воспринять идею о возможности существования живых систем или даже ДНК

в течение столь больших сроков. Известно, что ДНК без активной репарации должна иметь гораздо более скромные сроки сохранения функциональной целостности вследствие разнообразных спонтанных (химических) и ферментативных нарушений, прежде всего тепловой, гидролитической и окислительной природы. Реликтовые микроорганизмы, которые сохранили жизнеспособность в течение сотен тысяч и, возможно, миллионов лет, часто обнаруживают в местах, где репликация ДНК и тем более деление клетки кажутся невозможными, а именно - в кристаллах соли, извлеченных из горных пород, янтаре и в вечномерзлых породах или льдах.

Среди таких систем вечномерзлые породы выделяются особо, и не только из-за своей широкой распространенности. В России, например, как известно, около 65 % территории занято вечной мерзлотой. Вечномерзлые породы являются уникальной экосистемой, обеспечивающей изолированность и сохранность реликтовых микроорганизмов при сравнительно умеренных и стабильных отрицательных температурах (часто около -2...-5°C). Более того, в таких условиях не исключены репарация и репликация ДНК и даже деление и рост, по крайней мере, некоторых видов микроорганизмов. Так, сравнительная оценка организмов, обитающих в обычных породах, вечной мерзлоте и массивных ледяных образованиях высоких широт канадского сегмента Арктики, показала, что вечномерзлые породы отличаются большим разнообразием видов, которые сохраняют микробную активность при температуре до -15 °С. Примерно половина изолятов, выделенных из вечномерзлых пород Сибири, поддерживала определенный уровень метаболизма при температуре -10 °С, но без признаков роста. Обзор стремительно растущих исследований не оставляет сомнений в уникальности экологии и защитных возможностей микроорганизмов из мерзлых пород.

### Литература

Брушков А. В., Мельников В. П., Суховой Ю. Г. и др. Реликтовые микроорганизмы криолитозоны как возможные объекты геронтологии // Успехи геронтол. 2009. Т. 22. С. 253-258.

## Основы методики определения теплофизических свойств дисперсных грунтов

Д.Н. Горобцов

*Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ),  
г.Москва, Российская Федерация*

### Аннотация

Определены теплофизические свойства дисперсных грунтов с помощью аппаратно-методического комплекса на базе методов оптического сканирования и линейного источника, впервые использованных в области инженерной геологии. Рассматривается методика прогнозной оценки теплофизических свойств по показателям состава, состояния и физических свойств грунтов на основе множественного корреляционно-регрессионного анализа. Приводятся полученные уравнения регрессии.

**Ключевые Слова:** дисперсные грунты; корреляционный анализ; моделирование; объемная теплоемкость; теплопроводность, физические свойства.

Исследование теплофизических свойств мерзлых и талых грунтов, используемых в качестве оснований зданий и сооружений, является важной задачей при изучении процессов теплопереноса в системе фундамент-грунт, определяющих условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

На сегодняшний день основная проблема заключается в измерении параметров теплофизических свойств дисперсных грунтов с заданной точностью.

В настоящее время при инженерно-геологических изысканиях теплофизические характеристики грунта определяют, как правило, по таблице СНиПа 2.02.04-88 (основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах), при этом не может быть обеспечена достаточная надежность и точность определяемых параметров, так как отсутствует информация по методам определения, региональной привязке, не учитываются генетические особенности грунта, возраст грунта, условия залегания.

В связи с этим актуальной задачей является повышение уровня экспериментальных теплофизических исследований грунтов лабораторными методами с возможностью определения на этих же образцах и других показателей состава, состояния и физических свойств.

Важным также является развитие инженерных теоретических моделей тепловых режимов грунтов оснований и фундаментов, создание подходов к прогнозу теплофизических свойств грунтов по результатам определения показателей состава, состояния и физических свойств

На сегодняшний день существует большое разнообразие методов и средств для определения тепловых свойств различных природных и промышленных материалов, но все они имеют определенные серьезные недостатки. Вместе с тем в области инженерной геологии задача усложняется еще и тем, что грунты характеризуются значительной неоднородностью, при этом часть грунтов находится в несвязанном состоянии.

В результате экспериментального сравнения возможностей различных современных приборов для измерений теплофизических свойств пород и грунтов нами установлено, что в целях инженерно-геологических

исследований наиболее эффективно применение следующего комплекса: 1) метод и прибор оптического сканирования, превышающий по своим характеристикам все известные аналоги в России и за рубежом; 2) метод линейного источника для измерений тепловых свойств на сыпучих образцах. Особенности указанных методов и приборов позволяют помимо тепловых свойств определять на этих же образцах и другие физические свойства (плотность, влажность, гранулометрический состав, характеристики пластичности и др.).

Знания зависимостей теплофизических свойств грунтов оснований от других физических характеристик открывает новые возможности в определении теплопроводности и объемной теплоемкости при инженерно-геологических изысканиях.

В процессе работы основным объектом исследования теплофизических свойств послужили более 300 образцов дисперсных грунтов Московского региона, отобранных на различных объектах при проведении инженерно-геологических изысканий.

В ходе выполнения работы выполнен комплекс экспериментальных исследований теплофизических свойств и физических характеристик грунтов Московского региона. Полученные результаты обработаны и проанализированы, построены графики и номограммы зависимости теплофизических свойств от показателей состава, состояния и физических свойств, получены расчетные уравнения связи.

С помощью коммерческого симулятора (пакет Comsol Multiphysics) построены модели теплового режима грунтов оснований и фундаментов инженерных сооружений.

В результате проведенной работы основные научные и практические выводы и результаты заключаются в следующем:

1. Показано, что в настоящее время единственным надежным источником данных о теплофизических свойствах грунтов являются лабораторные измерения на образцах.

2. Показано, что детальные экспериментальные исследования теплофизических свойств грунтов позволяют построить пространственные изображения распределения

теплопроводности, температуропроводности, объемной теплоемкости и тепловой инерции по всей площади исследуемого образца.

3. Проведены массовые экспериментальные исследования теплофизических свойств и показателей состава, состояния и физических свойств дисперсных грунтов Московского региона.

4. Создана представительная база данных о теплофизических свойствах и показателях состава, состояния и физических свойств дисперсных грунтов Московского региона.

5. В результате проведенного корреляционно-регрессионного анализа взаимосвязи теплофизических свойств с показателями состава, состояния и физических свойств дисперсных грунтов получены математические уравнения их связи между собой.

6. Оптимальными математическими уравнениями связи для изученных дисперсных грунтов являются уравнения следующего структурного вида:

покровные суглинки

$$C_p = f(S_r),$$

$$\lambda = f(L_n(S_r));$$

озерно-ледниковые суглинки

$$C_p = f(S_r),$$

$$\lambda = f(L_n(S_r), \rho, W_p);$$

моренные суглинки

$$C_p = f(S_r),$$

$$\lambda = f(L_n(S_r));$$

вся совокупность глинистых грунтов

$$C_p = f(S_r),$$

$$\lambda = f(L_n(S_r), \rho, \rho_d),$$

где  $C_p$  – объемная теплоемкость, Дж/(м<sup>3</sup>·К);  $\lambda$  – теплопроводность, Вт/(м·К);  $S_r$  – степень влажности, д.е.;  $\rho$  – плотность, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_d$  – плотность сухого грунта, г/см<sup>3</sup>;  $W_p$  – влажность на границе раскатывания, д.е.

7. Проверка адекватности полученных математических моделей поставленным целям показала их эффективность, поскольку коэффициенты корреляции имеют достаточно высокие значения.

8. По результатам корреляционно-регрессионного анализа установлена возможность прогнозной оценки теплопроводности и объемной теплоемкости по показателям состава, состояния и физических свойств различных разновидностей дисперсных грунтов.

9. Разработаны численная и визуализированная модели прогноза и расчета теплового режима в массиве грунта и фундаменте, позволяющие определять температуру в системе фундамент-грунт на основе детальных

экспериментальных данных по теплофизическим свойствам грунтов и строительных материалов.

10. Установлено, что результаты прогноза температуры массива грунта в значительной степени зависят от возможной погрешности задания теплофизических свойств грунта и строительных материалов инженерных сооружений.

11. В результате математического моделирования описаны процессы, связанные с промерзанием и протаиванием, намечены пути локализации этих процессов, даны рекомендации для снижения негативных последствий при эксплуатации инженерных сооружений.

Направление дальнейших научных и практических исследований связано с расширением базы данных по другим генетическим типам и разновидностям грунтов, а также с адаптацией аппаратно-методического комплекса для определения теплофизических свойств мерзлых грунтов, что является особенно актуальным в связи с освоением новых территории и строительством инженерных сооружений в сложных климатических условиях.

## Литература

- Гаврильев Р.И. 1998. Теплофизические свойства горных пород и напочвенных покровов криолитозоны. – Новосибирск, Издательство СО РАН, 280 с.
- Горобцов Д.Н. 2011. Анализ взаимосвязи между теплофизическими свойствами и простейшими физическими показателями моренных суглинков Московского региона. Инженерные изыскания, №2: 22-28.
- Пендин В.В. 2009. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии. М., издательство КДУ, 350 с.
- Попов Ю.А. 1983. Теоретические модели метода измерения тепловых свойств горных пород на основе подвижных источников тепловой энергии. Геология и разведка, № 9: 97–103
- СНиП 2.02.04-88. 1990. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Госстрой СССР. М., издательство ЦИТП Госстроя СССР, 56 с.
- Popov Yu., Pribnow D., Sass J., Williams C., Burkhardt H. 1999. Characterization of rock thermal conductivity by high-resolution optical scanning. Geothermics, № 28: 253–276.

## Экспериментальное изучение влияния влагонасыщения на криогенное давление в засоленных грунтах

Э.С. Гречищева

*Кафедра геокриологии МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

**С.Е.Гречищев**

*ОАО Фундаментпроект, Москва, Институт Криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия*

А.В. Павлов

*Институт Криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия*

### Введение

До настоящего времени термодинамические условия формирования криогенного давления при замерзании засоленных дисперсных грунтов не изучались. Задача настоящего исследования - выполнить систематическое экспериментальное лабораторное изучение термодинамических условий формирования криогенного давления в засоленных грунтах в зависимости от их влагонасыщенности при промораживании последних по закрытой схеме опытов.

Ранее нами в экспериментах с незасоленными грунтами было установлено, что значение криогенного давления в дисперсных незасоленных грунтах существенно отличается от теоретически рассчитанного термодинамического значения 13,3 МПа/град (133 атм/град) - давления при замерзании дистиллированной воды в закрытом недеформируемом объеме [Гречищев и др. 2012, 2006, 2007].

### Методика проведения исследований

Лабораторные исследования состояли в изготовлении образцов заданной засоленности, влагонасыщения и их направленному промораживанию (сверху вниз) в холодильной камере в специально разработанных динамометрическом устройствах двух типов. Первое устройство устанавливалось в прессе-релаксметре и обеспечивало герметичность, теплоизоляцию с боков, подогрев дна и измерение криогенного давления, кроме того, независимо измерялась деформация пучения образца. Второе устройство для влагонасыщенных грунтов предполагает больший размер самого образца, а кроме того используется без пресса-релаксметра.

Исследования выполнены для двух типов грунта: суглинки и супесь пылеватые, с начальной засоленностью 0,21 и 0,24%, соответственно. Для исследуемых грунтов были определены показатели водно-физических свойств, гранулометрический состав. Кроме того для засоленных грунтов большое значение имеет фазовый состав влаги в них и температура начала замерзания [Ершов и др., 1999, Мотенко, 1997], которые были также определены. Пробы грунта были отобраны в ЯНАО: суглинок – на полигоне Бованенково, супесь – на Заполярном НГКМ. Дополнительная засоленность до значения заданной выполнялась добавлением расчетного количества NaCl относительно веса сухого грунта с растворением в требуемом объеме дистиллированной воды для создания заданной влажности образца [Ершов и др., 1999]. Значения

засоленности менее начальной (природной) достигались отмыванием в дистиллированной воде, для ускорения осаждения применялось центрифугирование. Промораживаемая проба использовалась один раз. Влагонасыщение образцов грунта в исходном состоянии составляло от 0,75 до 1 д.е. Образцы грунта были предварительно уплотнены под нагрузкой 0,024-0,05-0,1-0,2 МПа в течение 2-х суток непосредственно в форме для образца от разработанного устройства. Исследования выполнялись по закрытой и открытой схемам опытов при температурах среды (верхняя часть образца) -2; -4; -7 и -10°C, температура нижней части образцов во всех опытах поддерживалась равной +2...+4°C для первого устройства и +1...1,5°C – для второго. Продолжительность опытов с грунтом – 2-5 суток. После промораживания изучено распределение плотности скелета, влажности и влагонасыщения в образцах грунта. Всего выполнено 56 опытов. Опыты по на-правленному замораживанию грунтов с неполным влагонасыщением при использовании устройства первого типа с объемом образца около 37 куб.см выполнялись при использовании динамометра ДОСМ-3 на 3 т, во втором устройстве с объемом образца 0,5 куб.дм использовался динамометр ДОСМ-3 на 1 т. С помощью первого устройства исследовалась вся зависимость криогенного давления от коэффициента влагонасыщения исходных образцов в интервале от 0,8 до 1,0 д.е. при исходной влажности образцов 0,3-0,35 д.е.

Всего выполнено 37 опытов, в том числе 19 – для суглинка и 18 – для супеси при разной степени засоленности. Продолжительность опытов с грунтом от 2 до 5 суток. После промораживания образца грунта выполнялась его разделка и изучалось распределение плотности скелета, влажности и влагонасыщения в образцах грунтов. В отдельных опытах изучено распределение по вертикали засоленности образца после промораживания. Испытания выполнены при температуре среды (верхней части образца) -7°C и температуре нижней части образца +2...+4°C.

### Полученные результаты

Были получены зависимости величины вертикальной составляющей криогенного давления от коэффициента влагонасыщения засоленных грунтов (для супеси и суглинка), которые приведены на рисунке 1. Криогенное давление в промерзающем суглинке регистрировалось несколько большим, чем в супеси, что объясняется большей долей пылеватоглинистой фракции в гранулометрическом составе. При уменьшении

влажнонасыщения засоленных грунтов от 1 до 0,9 д.е. криогенное давление, формирующееся при промораживании образцов, полого снижается, далее при уменьшении влажнонасыщения ниже 0,9 д.е. давление резко падает и при коэффициенте влажнонасыщения, равном или менее (0,86-0,88) д.е. становится равным нулю. Максимальное значение криогенного давления достигалось через 0,5 суток от начала замораживания. С увеличением продолжительности замораживания засоленного грунта наблюдалось некоторое снижение значения давления, достигающее средней величины 2-3% в сутки за первые 5 суток, далее процесс снижения практически застывает. Над границей раздела мерзлой и талой частей образцов засоленного грунта формировалась зона мощностью до 1 см тонкослоистой криотекстуры.

При промораживании грунта с коэффициентом влажнонасыщения от 1 до 0,9 д.е. и засоленностью (0,21-0,24)% наблюдалось существенное увеличение объемной влажности в мерзлой части образцов в зоне толщиной 1,5-2 см над поверхностью раздела мерзлой и талой частей и пропорциональное снижение объемной влажности в талой части, засоленность грунта в этой зоне мерзлого образца оставалась примерно равной исходному значению или незначительно увеличивалась. В талой части снижение объемной влажности могло достигать 30%, одновременное уменьшение засоленности не превышало 10% от исходного значения.

При промораживании влажнонасыщенного грунта с засоленностью 1 % увеличение объемной влажности в мерзлой части образцов в зоне толщиной 1,5-2 см над поверхностью раздела мерзлой и талой частей было незначительным, значения влажности по вертикали распределялись равномерно.

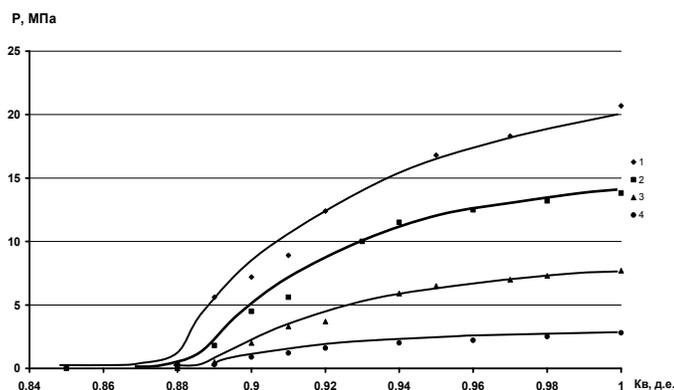


Рис.1. Зависимости вертикальной составляющей криогенного давления от коэффициента влажнонасыщения засоленных грунтов:

- 1 – ямальский пылеватый суглинок, засоленность – 0,21%;
- 2 – уренгойская пылеватая супесь, засоленность – 0,24%;
- 3 – ямальский пылеватый суглинок, засоленность – 1%;
- 4 – уренгойская пылеватая супесь, засоленность – 1%.

При направленном замораживании образцов грунта с коэффициентом исходного влажнонасыщения ниже 0,92 д.е. значения нормальной составляющей криогенного давления резко падают (по гиперболическому закону) и при коэффициенте влажнонасыщения 0,86-0,88 д.е. и менее становятся равны нулю.

## Выводы

В условиях градиентного температурного поля, влажнонасыщенности среды, ее закрытости промерзание дисперсного грунта характеризуется следующими свойствами:

- криогенное давление, формирующееся в промерзающем по закрытой схеме опытов (влажнонасыщенном и влажнонасыщенном) засоленном грунте, пропорционально температуре среды и начальной объемной влажности грунта;
- возникающие криогенные давления в засоленных влажнонасыщенных грунтах с коэффициентом влажнонасыщения более 0,9 д.е. (при степени засоленности – до 0,24%) достаточно велики и могут быть более 5-8 МПа, но не достигают предельных термодинамических показателей;
- при промораживании влажнонасыщенного дисперсного грунта с коэффициентом влажнонасыщения менее 0,9 д.е. и засоленностью более 1 % криогенное давление резко падает и составляет не более 1-2 МПа при влажнонасыщении, равном 0,9 д.е.;
- с ростом засоленности влажнонасыщенного дисперсного грунта граничное значение коэффициента влажнонасыщения, ответственное за начало формирования криогенного давления при его промораживании повышается, стремясь к 0,9 д.е. (при засоленности 1 % начало регистрации криогенного давления составляет 0,88 д.е.).

## Литература

- Гречишев С.Е., Брушков А.В., Павлов А.В., Гречищева О.В., 2012. Экспериментальное изучение криогенного давления в промерзающих влажнонасыщенных засоленных грунтах. // Криосфера Земли, Т. XVI, № 1 (в печати)
- Гречишев С.Е., Кутвицкая Н.Б., Минкин М.А., Павлов А.В., 2006. Криогенное давление в поровой влаге искусственно замораживаемых водонасыщенных грунтовых оснований в градиентном поле температур. // «Теория и методы замораживания грунтов искусственным холодом (ТМЗГ -2006)», – С.-Петербург, с.32-38.
- Гречишев С.Е., Павлов А.В., Гречищева О.В. Поровое давление и незамёрзшая влага в мерзлых грунтах в градиентном поле температур, 2007. // Мат-лы междунар. конф. «Криогенные ресурсы полярных регионов», Т. II, – Салехард, с.133 -135.
- Ершов Э.Д., Мотенко Р.Г., Комаров И.А., 1999. Экспериментальное исследование теплофизических свойств и фазового состава влаги засоленных мерзлых грунтов. // «Геоэкология», изд-во "Наука", N.3, с. 232-242.
- Мотенко Р.Г. Теплофизические свойства и фазовый состав влаги мерзлых засоленных дисперсных пород. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд.геол.-мин.наук, – М., 1997.

## Геокриологические условия Юрубчено-Тохомского месторождения. Геотехнический мониторинг площадки УПН

Ю.В.Григорьева, Е.А. Новик  
ОАО «ТомскНИПИнефть», г. Томск, Россия

### Аннотация

В данной работе рассмотрены особенности геокриологических условий Юрубчено-Тохомского месторождения. Установлено, что принятие грунтов в качестве оснований в оттаявшем состоянии в полной мере не даёт возможности учесть все параметры геологической среды. Даны рекомендации по проведению геотехнического мониторинга за состоянием геологической среды.

**Ключевые Слова:** многолетнемерзлые грунты, геокриологические условия, принцип строительства, геотехнический мониторинг.

### Введение

Многолетнемерзлые грунты, по различным данным, занимают около 25% суши и почти 75% территории России [Геокриология СССР... 1989]. В этой связи освоение и разработка нефтегазовых месторождений в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов является актуальной проблемой.

Цель работы: рассмотреть особенности геокриологических условий ЮТМ, на основе проведенных изысканий, в связи с дальнейшим принятием проектных решений.

Задачи:

- обобщить результаты изысканий (с 2008 г. по 2011 г.);
- охарактеризовать геокриологические условия месторождения на основе выполненных изысканий;
- дать рекомендации по выбору принципа освоения геологической среды;
- обосновать дальнейшие работы по мониторингу за геологической средой после растепления.

### Основная часть

Инженерно-строительные изыскания на Юрубчено-Тохомском месторождении выполнялись в 2008 году ОАО «ТомскНИПИнефть ВНК» на стадии ТЭО (проект) по объекту «Комплексное обустройство первоочередного участка Юрубчено-Тохомского месторождения с внешним транспортом нефти. Обустройство системы сбора нефти и газа. Обустройство промышленной площадки Юр-5. Комплексная утилизация попутного газа в пласт». Затем изыскания выполнены на стадии рабочая документация (РД).

Выбор принципа строительства так же, как и специфика освоения криолитозоны, выяснение инженерно-геологических условий, для дальнейшего принятия проектных решений, в целом связаны с особенностями инженерно-геокриологических условий, определяемых свойствами мерзлых и оттаивающих пород, развитием мерзлотно-геологических процессов, промороженностью горизонтов подземных вод, большой динамикой всех геокриологических характеристик, связанных прежде всего с временной изменчивостью температурного поля пород.

Исходя из вышесказанного, все исследования на ЮТМ были направлены на выяснение геокриологических условий территории. В результате изысканий выявлены некоторые их особенности.

По результатам проведенных изысканий инженерно-геологические условия территории Юрубчено-Тохомского месторождения в целом оцениваются как сложные. Здесь зафиксирован весь набор проявлений неблагоприятных инженерно-геологических процессов, характерных для территорий с развитием многолетнемерзлых пород – заболачивание, наледи, пучение, термокарст, термоэрозия, солифлюкция, оползни.

Крайне не выдержаны по простиранию и по разрезу выделенные инженерно-геологические элементы. Включения крупнообломочного материала усиливают неоднородность строения грунтовых массивов.

Общий предварительный прогноз для данной территории – в настоящее время многолетняя мерзлота района имеет тенденцию к деградации, из-за дальнейшего антропогенного воздействия при строительстве объектов промысла произойдет еще более быстрое ускорение процессов оттаивания многолетнемерзлых толщ.

Учитывая прерывистое распространение многолетнемерзлых грунтов, их высокую температуру и неустойчивое термодинамическое состояние, после проведения инженерных изысканий было рекомендовано при проектировании и строительстве использовать грунты в качестве основания по II принципу – в оттаявшем состоянии. Использовать при строительстве тип фундамента сооружений – свайный.

Учитывая определённую сложность геокриологических условий, невозможность достоверно учесть все параметры инженерно-геологической среды и дать достоверный прогноз её развития, а также общую недостаточную инженерную изученность территории, на Юрубчено-Тохомском месторождении планируется организация и проведение геотехнического мониторинга.

Программа геотехнического мониторинга разработана для площадки УПН на ЮР-5.

Система ГТМ включает в себя организационную структуру, объекты контроля, сеть режимных наблюдений, средства и методики измерения, обработки, анализа,

передачи и хранения данных, квалифицированный состав специалистов.

Реализация системы геотехнического мониторинга осуществляется в три этапа:

- - контроль параметров, характеризующих состояние инженерных сооружений и развитие негативных процессов;
- - геотехнический прогноз;
- - управление состоянием ГТМ.

Сжатые сроки строительства определяют необходимость проведения предпроектного оттаивания ММГ на площадках ЮР-5 для ускорения процесса осадки грунтов оснований площадок строительства, при переходе из мерзлого состояния - в талое.

На этапе эксплуатации системы ГТМ, проводятся следующие виды работ:

- термометрические наблюдения в скважинах;
- гидрогеологические наблюдения в скважинах;
- нивелирование грунтовых реперов;
- планово-высотное положение деформационных марок;
- нивелирование сети грунтовых марок;
- визуальные обследования;
- расчет напряженного состояния элементов инженерных сооружений;
- геотехнический прогноз;
- оценка общего состояния природно-технических систем;
- - разработка рекомендаций по устранению деструктивных процессов;

Сеть ГТМ площадки УПН состоит из:

- термометрических скважин
- грунтовых реперов
- поверхностных грунтовых марок;
- глубинных грунтовых марок
- деформационных марок

Результатом завершения стадии строительства объектов являются:

- обустроенная сеть ГТМ;
- режимные данные о параметрах ГТС и их соответствие нормам состояния;
- база данных температурных наблюдений в процессе осуществления работ;
- данные об осадках грунта по поверхностным и глубинным маркам;
- результаты лабораторных исследований физических свойств оттаявших грунтов.

Результатом выполнения отдельных видов работ, выполняемых в рамках ГТМ, является информация о текущих и прогнозных величинах параметров, характеризующих состояние ГТС и инженерных объектов.

Информация накапливается, хранится, передается в виде соответствующих электронных баз данных или комплексных текстово - графических документов, отражающих состояние и надежность геотехнических систем и инженерных объектов.

## Заключение

Установлено, что геокриологические условия на Юрубчено-Тохомском месторождении сложные и весьма нестабильные. Следовательно, хозяйственное освоение рассматриваемой территории распространения многолетнемерзлых грунтов сопряжено с определёнными трудностями.

Принятие грунтов в качестве оснований в оттаявшем состоянии в полной мере не даёт возможности учесть все параметры геологической среды. Поэтому для таких районов в наиболее ответственных случаях экономически целесообразным является организация геотехнического мониторинга в период строительства и в начальные годы эксплуатации объектов

Полученная при проведении геотехнического мониторинга информация позволит следить за развитием инженерно-геологической среды во времени и оперативно влиять на отдельные её компоненты для предотвращения аварийных ситуаций.

## Литература

- Геокриология СССР. Средняя Сибирь. \ Под ред. Э. Д. Ершова. Москва: Недра, 1989. - 414 с.
- Криогипергенез и геотехнические свойства пород криолитозоны. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. - 266 с.
- Методика прогнозной оценки антропогенных изменений мерзлотных условий (на примере равнинных территорий). / Под ред. Л.С. Гарагуля. - Москва: Изд-во МГУ, 1985 - 224 с.
- Основы геокриологии. Ч.4.Динамическая геокриология / Под ред. Э.Д. Ершова. - Москва: Изд-во МГУ, 2001. - 688 с.
- Основы геокриологии. Ч.6.Геокриологический прогноз и экологические проблемы в криолитозоне / Под ред. Э.Д. Ершова. - Москва: Изд-во МГУ, 2008. - 786 с.
- Основы геотехники в криолитозоне / Под ред. Л.Н. Хрусталева - Москва: Изд-во МГУ, 2005.

## Палеокриогенез в позднеплейстоценовой истории педогенеза в центре Восточно-Европейской равнины

Л.А. Гугалинская

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пуцунский государственный естественно-научный институт, г. Пуцино Московской области, Россия*

### Аннотация

Сопряженный анализ почвенных криогенных и некриогенных признаков позволяет значительно детализировать историю формирования погребенных позднеплейстоценовых почв. Интергляциальные и интерстадиальные почвы состоят из нескольких индивидуальных профилей, интерфазиальные почвы имеют простое строение.

**Ключевые Слова:** палеоэкологическая информативность; перигляциальная область; стадии педогенеза.

Исследования влияния палеокриогенеза на почвообразование активно развиваются в генетико-эволюционном почвоведении, поскольку признаки палеокриогенеза устойчивы к процессам диагенеза и, следовательно, погребенные криоморфные почвы обладают высокой палеоэкологической информативностью. По нашим наблюдениям, в природных условиях позднеплейстоценового оледенения, в памяти погребенных почв наиболее точно «записывались» те нарушения их состояния, которые были связаны со сменой периодов с более теплыми климатическими условиями (интергляциал, интерстадиалы и интерфазиалы) периодами ужесточения холодов и степени континентальности климата (гляциал, стадиалы и фазиалы).

Исследования проводились в перигляциальной области последнего оледенения. Признаки палеокриогенеза в погребенных почвах способствуют уточнению таксономического ранга почв. Самые многообразные признаки палеокриогенеза формировались в профилях интергляциальной (микулинской) почвы (см. рис.1), имеющей сложный дифференцированный профиль, похожий на на профиль современных дерново-подзолистых почв с мощным гор. Вt. В нижней части профиля микулинской почвы сохранились морфологические признаки палеокриогенеза, соответствующие ранней мерзлотно-гидроморфной стадии ее развития. Эти признаки выражаются в форме плитчатой структуры с белесой присыпкой по граням структурных отдельностей. Именно такая плитчатость (крупная, выдержанная по размеру, с гладкими, покрытыми глинистыми пленками горизонтальными гранями, с белесой присыпкой на них) характерна для приконтактного с мерзлотой, незначительно избыточно увлажненного горизонта в современных мерзлотных почвах, изученных нами в Восточном Забайкалье [Алифанов 1978, Гугалинская и Алифанов 1979]. Образование такой плитчатости мы связываем с развитием криогенной микрослоеватости, образующейся, по данным криолитоологов, при промерзании избыточно увлажненных грунтов.

Завершалось формирование интергляциальной микулинской почвы также в условиях холодного, но резко континентального и сухого климата при сезонном промерзании почвы. О континентальности климата

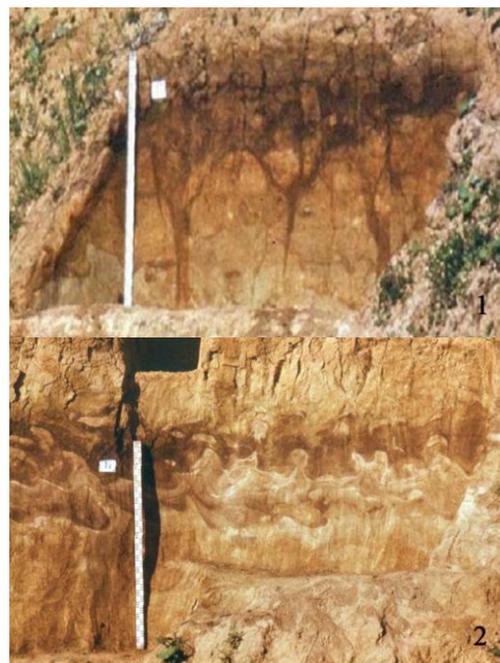


Рис.1. Палеокриогенные деформации интергляциальной микулинской (сангамонской, эемской, MIS 5e-5c) почвы Лихвинского разреза (Тульская обл.; 54.1055 с.ш.; 36.2572 в.д.): сложные трещинные в профиле, сформированном на ровной древней поверхности (1) и солифлюкционные в профиле на склоновой древней поверхности (2)

свидетельствуют морозобойные трещины, выполненные материалом гумусового горизонта почвы. О холодности климата, кроме формирования многочисленных микроморфологических признаков криогенеза, говорит бывшее присутствие в профиле почвы вечной мерзлоты, уровень залегания которой четко фиксируется на глубине 40-50 см, о чем свидетельствует мощность солифлюкционного слоя здесь и глубина плеч в морозобойных трещинах. Всего в истории развития характеризуемой интергляциальной микулинской почвы нами выделено шесть стадий педогенеза.

Интерстадиальная брянская почва имеет меньшую мощность, более простое строение и слабую выраженность иллювиального горизонта. Однако на фоне вмещающих покровных лессовидных суглинков почва выделяется отчетливо (см. рис.2). Из морфологических признаков палеокриогенеза в брянской почве чаще всего встречаются

деформации, по морфологии напоминающие солифлюкционные. Однако прямых доказательств солифлюкционного течения материала по склону мы привести не можем, так как нам не удалось зафиксировать бывшую границу вечной мерзлоты, хотя следы такой границы, если она присутствовала, обнаруживаются в почвенном профиле без труда. Мы допускаем возможность развития турбационных процессов в результате криодиагенеза, развивавшихся в постбрянскую стадию криолитогенеза (см. рис.2.1). Это предположение



Рис.2. Интерстадиальная брянская (32-24 тыс. лет) почва (1,2) и перекрывающая ее интерфазиальная пушинская (pu) (2) (17-18 тыс. лет) почва на позднелепелитическом поселении Сунгирь (Владимирская обл.; 56.1780 с.ш.; 40.5077 в.д.)

подтверждается археологическими исследованиями: турбационные деформации нарушили нормальное залегание культурных остатков, то есть эти деформации развивались после формирования культурного слоя. В период существования поселений криотурбационных деформаций брянской почвы не происходило.

Однако гумусовый горизонт брянской почвы подвергался воздействию синкриолитогенных процессов, связанных с его сезонным промораживанием, поскольку в почве прекрасно выражены микроморфологические признаки криогенеза.

Сопряженный анализ почвенных криогенных и некриогенных признаков позволяет значительно детализировать историю развития интерстадиальной брянской почвы. В истории ее развития нами выделено три стадии педогенеза, каждой из которых соответствовал индивидуальный почвенный профиль, и каждый из профилей развивался частично на новом наносе. При этом почвообразование в брянское время проходило в условиях нарастания холодности, степени континентальности и сухости климата от начала эпохи почвообразования к ее концу.

Впервые описанная нами пушинская интерфазиальная почва (pu) (см. рис.2.2) имеет наиболее простое строение: светло-серый гумусовый гор. А, постепенно переходящий в оглеенный гор. G. Заметную морфологическую выраженность почва приобретает в понижениях микрорельефа, существовавших на дневной поверхности 17-18 тыс. лет назад.

В постбрянскую стадию криолитогенеза сформировались крупные криогенные грунтовые структуры, заполненные как лессовидным суглинком (см. рис.2.1), так и материалом перекрывающей их еще одной интерфазиальной почвы. Радиоуглеродный возраст этой почвы (мы ее назвали серпуховской) составляет  $14\ 100 \pm 370$  (3809 ИГАН). Следовательно, с учетом времени на формирование серпуховской почвы, постбрянская стадия криолитогенеза завершилась примерно 15 тыс. лет назад.

На юге исследованной перигляциальной области крупные криогенные грунтовые структуры в качестве стратиграфических реперов в профилях современных черноземов могут отсутствовать и замещаться сгущениями более мелких трещинных деформаций. Дешифрирование особенностей трещинных деформаций в сложных объектах, например, в серии наложенных друг на друга погребенных почв, позволяет выявить в этой сложной толще индивидуальные почвенные профили (см. рис.3) и восстановить экологию почвообразования. В серии погребенных почв разреза на рис 3 к настоящему времени изучена только пушинская почва ( $17850 \pm 650$  лет). Две нижние погребенные почвы в районе исследований выявлены впервые и пока не имеют названия.



Рис.3. Серия вложенных друг в друга погребенных почв, вошедших в профиль современного чернозема типичного в заказнике Каменная степь (Воронежская обл.; 51.0361 с.ш.; 40.7359 в.д.)

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (11-04-01083-а) и Программы Президиума РАН.

## Литература

- Алифанов, В.М. 1978. Мерзлотные почвы Восточного Забайкалья. Почвоведение 6: 5-17.  
 Гугалинская, Л.А. и Алифанов, В.М. 1979. Морфогенетический анализ профиля как основа реконструкции условий почвообразования (на примере мерзлотных почв Нерчинской котловины). // Почвоведение 6: 5-19.

## Возобновление термических наблюдений за температурным режимом мерзлых грунтов на Северо-Востоке России

С.А.Гулый, В.А.Басистый

*Северо-Восточная научно-исследовательская мерзлотная станция Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института мерзлотоведения им.П.И. Мельникова СО РАН, Магадан, Россия*

М.Н.Железняк

*Институт мерзлотоведения им.П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Россия*

### Введение

В связи с обострившейся проблемой «потепления климата» во всем мире отмечается повышенный интерес к глобальным палеоклиматическим обобщениям. Считается, что именно мерзлые грунты наиболее чувствительны к изменениям, которые происходят при потеплении. Однако если метеорологические наблюдения ведутся уже в течение 200 лет, то геокриологические наблюдения имеют ограниченные сроки наблюдений, которые не превышают 80 лет. Исключение составляют данные, полученные в шахте Шаргина в г. Якутске, где температуры многолетнемерзлых пород до глубины 136 м замеряются с 1830 г. Измерения до таких глубин интересны с точки зрения определения мощности многолетнемерзлых грунтов и выявления интенсивности тепловых потоков, идущих из недр земли. Однако для выявления фактора потепления климата достаточно данных замеров температур в скважинах глубиной, ограниченной глубиной нулевых годовых амплитуд, где влияние внешней температуры уже не ощущается.

### Проведенные работы

В Институте мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН с 2007 г. в рамках проекта «Современное геотеплофизическое и геохимическое состояние криолитозоны Северной Азии, палеорекострукция и прогноз развития» начались работы по восстановлению мониторинговой сети наблюдений за изменением мерзлотной обстановки Верхояно-Чукотского региона, охватывающего территории Магаданской области и Чукотки (рис.1). Конечной целью этих работ будет оценка реакции криолитозоны на происходящее изменение климата применительно, как конкретно к этой территории, так и для всей Земли в целом.

На первом этапе работы были выявлены организации, ранее занимавшиеся наблюдениями за температурным режимом и состоянием многолетнемерзлых пород на Северо-Востоке России. Затем в фондах этих организаций был проведен сбор информации о ранее проведенных ими исследованиях. В течение 2007-2011 гг. были просмотрены все научно-технические, технические, инженерно-геологические, гидрогеологические и прочие отчеты, имеющиеся в наличии в архивах ОАО «ВНИИ-1», фондах геологического управления МТФГУ, ОАО «Магаданэнерго», ОАО «Дальэнергосетьпроект», СВКНИИ ДВО РАН, Анадырского ТИСИЗА, ТФИ по Чукотскому АО, Анадырской мерзлотной станции, в которых содержалась информация о геотемпературных

наблюдениях мерзлых грунтов в скважинах глубиной более 10 м. В результате был собран банк данных, из более, чем 200 научно-исследовательских отчетов, содержащих информацию об измерениях температуры грунтов на всей территории Магаданской области и Чукотки, начиная с сороковых и заканчивая девяностыми годами двадцатого века. По Магаданской области было отобрано 102 скважины, по Чукотке - 298. На каждую из скважин заведен паспорт, в котором приведены: географические координаты; максимальная глубина скважины и глубина измерения температуры; температура на забое скважины; глубина, на которой зафиксирован 0 С°; абсолютная высота устья скважины; принадлежность к бассейнам рек; вид рельефа; экспозиция и крутизна поверхности; вид почвенного покрова; наличие кустарниковой и древесной растительности; описание литологического строения грунтов по глубине скважины; приборы, с помощью которых велись наблюдения; мощности снегового покрова и деятельного слоя; состояние скважины; результаты измерения температуры грунта по датам и глубине; источник информации. Полученные данные внесены в единый каталог «Технических и теплофизических характеристик скважин Восточной Сибири» Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. Систематизированная информация о геотермических наблюдениях позволила начать работы по поиску скважин на местности. Перед началом полевых работ было выбрано 16 скважин, которые, по нашему мнению, можно было привести в работоспособное состояние. На практике удалось обнаружить только девять, а поставить под наблюдение всего пять скважин, одна из которых находится в г.Анадыре.

Проведенные работы показали, что поиск скважин 20-50-летней давности на местности без сопровождающего, который бы знал их точное расположение, имеет слабые шансы на успех. В связи с этим было принято решение не заниматься поиском и восстановлением старых скважин, а создать новую наблюдательную сеть, используя для этих целей остающиеся после современных геолого-разведочных и изыскательских работ выработки. Работы по обустройству новых геотермических скважин начаты в 2011 г. с Омсукчанского района Магаданской области.

В пяти пригодных для наблюдений скважинах, две из которых расположены в окрестностях г. Магадана, две – в районе рудника имени Матросова и одна – в окрестностях г Анадыре (рис.1) были установлены автоматизированные комплексы НОВО U12 Outdoor/Industrial 4 external Channels, которые рекомендуются IPA к использованию

для проведения работ по оценке реакции криолитозоны на изменение климата.

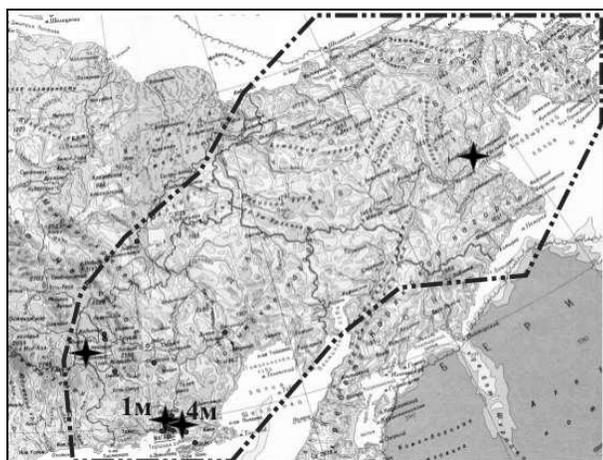


Рис.1 Территория, на которой с 2007 г. начались работы по восстановлению мониторинговой сети наблюдений за изменением мерзлотной обстановки. Звездочками обозначены места, где возобновлены систематические наблюдения в скважинах.

Так как климатические условия над наблюдаемыми скважинами существенно отличаются друг от друга, то в этих же местах с 2008 г. определялась высота снежного покрова и его плотность, велось считывание данных о температуре воздуха на высоте 2 м и грунта под слоем снега. Для этих целей применялись автоматические регистраторы температуры iBDL-L.

Сохранность измерительного оборудования обеспечивалась полной засыпкой грунтом термометрической трубы и измерительного комплекса, упакованного в водо- и теплонепроницаемый ящик. Найти местоположение скважины в этом случае можно лишь тем лицам, кто лично принимал участие в маскировке, или кто имеет точные координаты места, установленного с помощью GPS. Несмотря на то, что время проведения замеров при этом увеличилось из-за земляных работ, этот недостаток полностью компенсируется сохранностью приборов.

## Результаты

Проведенные в течение 2007-2011 гг. измерения температуры, в использовавшихся для этих же целей 18-20 лет назад геотермических скважинах, выявили явное повышение температуры многолетнемерзлых толщ. Так, в прибрежной к Охотскому морю зоне (перевалы Ольский и Хабля) на глубине 20 м это увеличение в среднем составило 0,28°C. Заметно повышение температуры и за более короткие промежутки времени (рис.2).

Повышение температуры вечномерзлых грунтов также было отмечено и учеными других стран. Шарку [Sharkhuu, N. & Sharkhuu, A. 2011] приводятся результаты последних наблюдений за температурным режимом грунтов (MAGT) Монголии, в которых отмечен рост температур на глубине 15-20 м до 0,8°C за 40 лет наблюдений.

Прослеживается прямая зависимость между повышением температуры грунтов на глубине нулевых

амплитуд и ростом среднегодовой температуры воздуха за рассматриваемый период времени. Для метеостанции г.Магадана (Нагаево) по данным Климатологических справочников 1960 г. и 1990 г. рост среднегодовой температуры воздуха произошел с -4,1 до -3,5°C, а для п. Сеймчан с -11,9 до -11,0°C, соответственно. По нашим данным (СВНИМС) к концу 2010 г. рассматриваемое значение температуры для г. Магадана достигло значения, равного -2,6 °С. При этом нельзя однозначно утверждать, что это связано только с повышением среднезимних или среднелетних температур воздуха, как отмечалось в работах Гавриловой [Гаврилова 2008] и Скачкова [Скачков 2009] для Якутии.

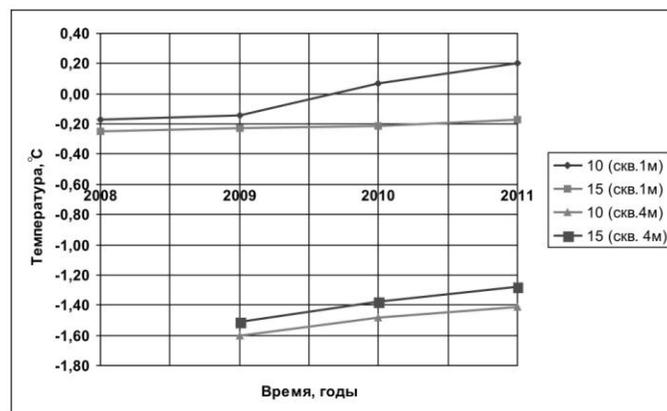


Рис.2. Изменение средней температуры грунта (°С) на глубинах 10 и 15 м в двух скважинах Магаданской области за последние 4 года наблюдений.

## Литература

- Гаврилова, М.К. 2008. Изменение климата (температуры воздуха) на примере Западной Сибири и Якутии. // Доклады Международной конференции: Криогенные ресурсы полярных и горных регионов. Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения, Тюмень, апрель 21-24 2008: 217-220.
- Sharkhuu, N. & Sharkhuu, A. 2011. Long-term monitoring of permafrost in Mongolia. *Extended abstracts of the Second international symposium on mountain and arid land permafrost, August 22-26, 2011, Ulaanbaatar, Mongolia: 59-61.*
- Skachkov, Yu. B. 2009. Recent Variations in Climatic Parameters at Yakutsk. *Proceedings of the eighth international symposium on permafrost engineering: Recent Development of Research on Permafrost Engineering and Cold Region Environment. October 15-17 2009, Xi'an, China: 459-464.*

## Температурный режим мерзлотных почв Северной Якутии

С.П. Давыдов, А.И. Давыдова

Северо-Восточная научная станция Тихоокеанского института географии ДВО РАН, п. Черский; Республика Саха(Якутия), Россия

Д.Г. Федоров-Давыдов, В.Е. Остроумов, А.Л. Холодов, В.А. Сороковиков

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, Московская обл., Россия

### Введение

Температурный режим почв Северной Якутии изучается преимущественно в рамках международной программы Циркумполярный мониторинг деятельного слоя (Circumpolar Active Layer Monitoring). На территории Колымской низменности термометрия с использованием автоматического оборудования (data loggers) ведется с 1998 года, а в более западных точках (река Аллаиха (R31) и мыс Быковский (R29A)) – с 2008 года. В разные годы наблюдениями были охвачены в общей сложности 19 почвенных профилей. Местоположение наиболее важных точек наблюдения отображено на карте (рис.1).

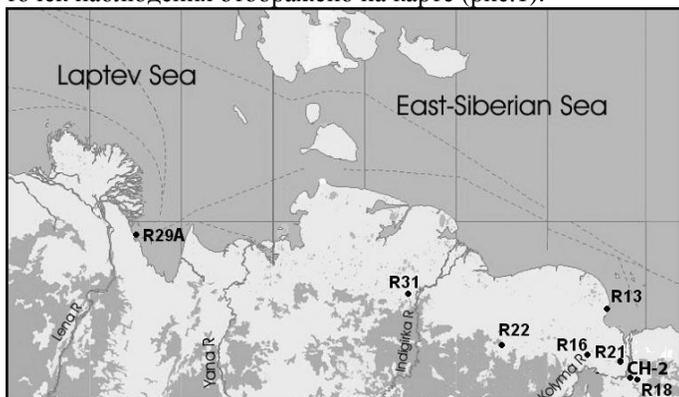


Рис.1. Местоположение основных точек наблюдения на карте Северной Якутии: R13 – мыс Малый Чукочий; R16 – буглуных Сегодня; R18 – гора Родинка; R21 – оз. Ахмело; R22 – р. Алазея; R31 – р. Аллаиха; CH-2 – Малиновый яр.

### Результаты и обсуждение

Было показано, что температурный режим зональных тундровых почв суглинистого состава  $\rho$ риоземов, Нарlic Cryosols), развивающихся на дренированных водоразделах под кустарничково-травянисто-зеленомошными или травянисто-зеленомошно-дриадовыми ассоциациями, различается в зависимости от географической широты. В арктической тундре (R29A,  $71^{\circ}47'$  СШ) средняя температура летнего периода (июнь-август) на глубине 20 см отрицательная ( $-0,3^{\circ}\text{C}$ )<sup>1</sup> из-за низкой температуры июня, а средняя температура самого теплого месяца (августа) равна  $0,45^{\circ}\text{C}$ ; в типичной тундре (R13,  $70^{\circ}05'$  СШ и R31,  $70^{\circ}33'$  СШ) среднелетние температуры составляют  $1,9...2,0^{\circ}\text{C}$ , а температуры августа –  $3,0-3,4^{\circ}\text{C}$ ; в южной тундре у северной границы леса (R22,  $69^{\circ}19'$  СШ) температуры составляют  $3,9^{\circ}$  и  $5,4^{\circ}\text{C}$  соответственно (рис.2). Годовая сумма положительных среднесуточных температур на глубине 20 см в арктической тундре равна

$53^{\circ}\text{C}$ , в типичной –  $227-262^{\circ}\text{C}$ , а в южной –  $429^{\circ}\text{C}$ ; доля суммы экологически достаточных температур (выше  $5^{\circ}\text{C}$ ) от этих величин составляет 0, 34-36 и 58% соответственно.

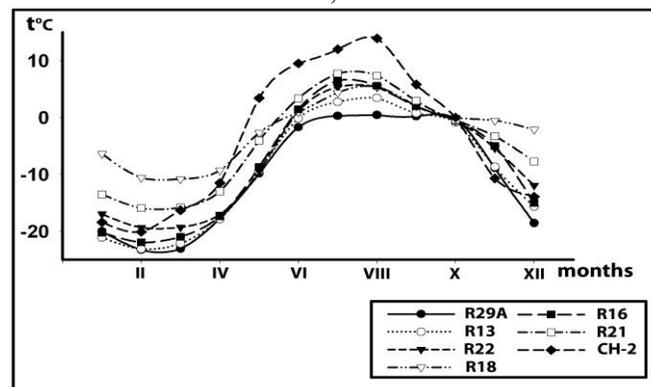


Рис.2. Годовой ход температуры почвы (среднемесячные значения на глубине 20 см) в основных точках наблюдения.

Отдельного внимания заслуживает распределение температурного поля по элементам криогенного бугорчатого микрорельефа в тундровой зоне (R22). В переувлажнённой и оторфованной почве западинки по сравнению с почвой бугорка на одной и той же глубине с поверхности (20 см) среднелетняя температура и средняя температура самого тёплого месяца ниже на  $3,2-3,3^{\circ}\text{C}$ , годовая амплитуда – на  $5,7^{\circ}\text{C}$ , а сумма положительных температур – почти на  $300^{\circ}$ . Экологически достаточные температуры в западинке не были зафиксированы даже в аномально тёплом 2007 году.

В северной тайге существенно увеличивается разнообразие зональных почв по температурным характеристикам. Они различаются в зависимости от густоты древостоя, стадии развития сообщества, характера напочвенного растительного покрова, экспозиции и крутизны склона. Для ровного участка зеленомошно-лишайниково-кустарничкового листовничного редколесья (R18,  $68^{\circ}45'$  СШ) среднелетняя температура палевой почвы (Cambic Cryosols) на 20 см составляет  $3,6^{\circ}$  (средняя температура августа –  $5,4^{\circ}\text{C}$ ) (рис.2), а для пологого склона южной экспозиции –  $4,9^{\circ}\text{C}$  (средняя температура августа –  $5,8^{\circ}\text{C}$ ). В случае же резкого преобладания в напочвенном покрове мхов летняя температура снижается до  $1,3^{\circ}\text{C}$  (средняя температура августа –  $2,6^{\circ}\text{C}$ ). Сумма положительных среднесуточных температур изменяется в пределах  $165-515^{\circ}$ , доля среднесуточных температур выше  $5^{\circ}\text{C}$  от этой величины составляет 54-66%, но в случае моховых парцелл почва до  $5^{\circ}$  вообще не прогревается. В целом, при переходе от южной тундры к северной тайге скачкообразно возрастают не летние, а зимние термические показатели. Так, температура самого

<sup>1</sup> - Здесь и далее приводятся среднемноголетние значения.

холодного месяца (февраля) на глубине 20 см в арктической тундре равна – 23,3°C, в типичной тундре – 23,1°C, в южной тундре – 19,4°C, а тайге повышается до -7,6...-10,8)°C (рис.2). При переходе от южной тундры (R22) к северной тайге (R18) сумма отрицательных температур на 20 см снижается с -3045 до -1280°. Зимнее отепление таёжных почв имеет место благодаря лесной растительности и снежному покрову - более рыхлому, мощному и стабильному, чем в тундре. На открытых участках в пределах таежной зоны, где отсутствуют условия для накопления мощного снежного покрова, значения температуры в зимнее время ближе к таковым для тундры, а не тайги. За счёт, главным образом, зимних температур от тундры к тайге происходит резкое (на 4-5°C) возрастание среднегодовых значений температуры почв на 20 см: с -7,2 до -2,3...-2,9°C; на 8,5-11,0°C снижается годовая амплитуда среднемесячных температур.

Гранулометрический состав определяет температурный режим почв наравне с географической широтой и зональным положением. В тундре песчаные подбурсы (Spodic Cryosols) точек R16 и R21 характеризуются значительно более контрастным температурным режимом и более высокими летними температурами, нежели суглинистые криоземы. В то же время зимние температуры подбуров ниже, чем суглинистых почв. В результате, годовая амплитуда в них больше на 3,2-4,4°C. Кроме того, в силу большей теплопроводности высокие температуры проникают в них на большую глубину. Если в суглинистых почвах, как тундры, так и тайги, среднесуточные температуры выше 5°C обычно не встречаются глубже 30 см, то в случае песчаных подбуров на глубине 50 см их сумма насчитывает 23-195°C, что составляет 12-49% от общей суммы положительных температур. На глубине 20 см в подбурсах удавалось в отдельные годы зафиксировать активные среднесуточные температуры (выше 10°C), чего не наблюдалось ни в одной из зональных почв суглинистого состава. По среднесуточным данным сумма температур выше 10°C составляет 15-16% от общей суммы положительных температур. Подбур дренированной тундры (R21) является наиболее теплым из всех рассмотренных зональных почв. Его среднелетняя температура на 20 см равна 6,1°C, средняя температура самого теплого месяца - 7,7°C (рис.2), а годовая сумма положительных температур – 653°.

Из незональных вариантов наибольший интерес представляют почвы небольших остепненных участков, являющихся наиболее теплыми в регионе. Среднелетняя температура одного из таких профилей на береговом склоне южной экспозиции (СН-2) на 20 см равна 11,8, а средняя температура августа - 13,9°C (рис.2), что примерно на 6°C выше соответствующих значений для подбура дренированной тундры (R21) – самой теплой зональной почвы. Сумма положительных температур на глубине 20 см составляет 1370°, 93% от этой величины приходится на долю температур выше 5°C и 66% - выше 10°C. Активные среднесуточные температуры в таких профилях распространяются до 40 см. Из-за низкой влажности почвы остепненных участков имеют чрезвычайно контрастный температурный режим, годовая амплитуда на 20 см равна 34°C.

Значения теплообеспеченности (количества тепла, расходуемого на нагревание почвы от нуля до

максимальных значений), рассчитанные по огибающим температурных кривых, возрастают в ряду: тундровые криозёмы (3600-3700 ккал/м<sup>2</sup> в год) – таёжная палевая почва (5200 ккал/м<sup>2</sup> в год) – тундровые подбурсы (6000-6200 ккал/м<sup>2</sup> в год) (рис.3). Таким образом, формирование генетически различных почв зависит от количества поступающих в них тепловой энергии.

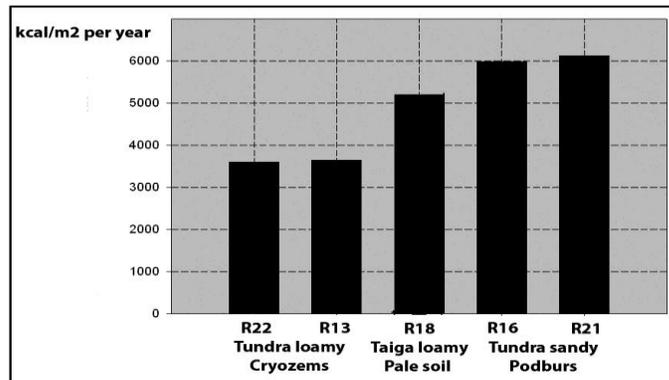


Рис.3. Теплообеспеченность основных зональных почв Северной Якутии.

## Выводы

Температура суглинистых почв Колымской низменности повышаются в зональном ряду с севера на юг. В этом же направлении увеличивается и доля экологически достаточных температур (от 5 до 10°C) в сумме положительных. При переходе от тундры к северной тайге зимние значения температуры изменяются значительно более резко, чем летние, за счёт влияния лесной растительности и более стабильного снежного покрова.

Бугорковатый микрорельеф и связанная с ним комплексность почвенного покрова в тундровой зоне определяют резкое различие температурного режима в деятельном слое. Западинки характеризуются постоянным господством холода (ниже 5°C) и значительно меньшей годовой температурной амплитудой.

Для песчаных подбуров характерны более высокие летние температуры и более глубокое (до 50 см) проникновение изотермы 5°C, чем для суглинистых почв тундры и тайги. В отдельные годы в профиле подбуров (глубина 20 см) наблюдаются среднесуточные температуры выше 10°C, что не отмечено для других зональных почв.

Наиболее теплыми почвами изучаемого региона являются ксероморфные суглинистые почвы экстразональных степных сообществ. Для них характерны наиболее высокие температуры в летнее время и максимальные значения годовой температурной амплитуды.

По возрастанию теплообеспеченности зональные почвы Северной Якутии образуют ряд: тундровые суглинистые криозёмы < таёжные суглинистые палевые почвы < тундровые песчаные подбурсы.

# Изменение засоленности озер под воздействием техногенных факторов и криогенных процессов на примере озера Круглое (город Якутск)

М.В. Данзанова

*Лаборатория подземных вод криолитозоны, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия*

## Введение

На низких террасах среднего течения р. Лены широко развиты старичные мелководные озера эрозионного происхождения. Эти озера, наряду с мелкими речками являлись дренами для поверхностных и надмерзлотных вод. В настоящее время, ввиду сильной зарегулированности стока, они являются накопителями различных растворенных загрязняющих веществ. Наибольший антропогенный стресс испытывают озера, распространенные на территории города Якутска.

## Методика исследований

Для изучения изменения химического состава озер под воздействием природных и техногенных факторов были проанализированы данные гидрохимических опробований озера Круглого, расположенного на второй надпойменной террасе р. Лены. Результаты химических анализов воды за 1954 г., 1963 г. и 1994-2007 гг. заимствованы из фондовых материалов Института мерзлотоведения, с 2008 г. пробы воды отбирались с участием автора. Следует отметить, что в 1994-2011 гг. в период максимально промерзания водоема вода отбиралась из шести лунок (пять по периметру и одна в центре озера), для общей гидрохимической характеристики результаты анализов усреднялись.

## Обсуждение результатов

Оз. Круглое мелководное, имеет небольшую водосборную площадь, береговые линии слабо выражены. Размеры водоема в 1950-х годах были 40х30 м, а максимальная глубина летом не превышала 1,5 м. Озерная котловина была покрыта луговой растительностью. Естественное питание водоема осуществлялось за счет атмосферных осадков и надмерзлотных вод сезонноталого слоя. Химический состав озерной воды в 1954 г. был сульфатно-гидрокарбонатный, смешанный по катионам с преобладанием кальция, минерализация составляла 0,4 г/л. Зимой водоем перемерзал, за исключением центральной части, где слой воды составлял 0,5 м. Под озером существовал несквозной подошвенный талик мощностью 13 м, который в зимний период промерзал сверху до глубины 2,3 м. Водовмещающие породы – пылеватые и мелкозернистые пески четвертичного возраста. Общая мощность рыхлых четвертичных отложений составляет 25 м. Подстилают их выветрелые песчаники верхней юры. Химический состав воды в талике хлоридно-гидрокарбонатный магниевый-натриевый с минерализацией 4,5 г/л.

Для сохранения озера в него с 1963 г. до середины 1980-х гг. периодически летом из близрасположенной

скважины сбрасывали подмерзлотную воду, извлекаемую с глубины 310 м и имеющую хлоридно-гидрокарбонатный натриевый состав и минерализацию 1,29 г/л. Чтобы исключить поверхностный и надмерзлотный сток воды из водоема в местные мезопонижения, его с восточной стороны оградил дамбой. По северному и западному борту озерной котловины была проложена дорога. В результате закачки подмерзлотных вод площадь озера увеличилась в 6 раз, а максимальная его глубина стала 3,6 м.

По данным опробования 1963 г. вода в водоеме летом приобрела минерализацию 0,941 мг/л, анионный состав остался прежним, среди катионов стал преобладать натрий, содержание которого с 25 %/мг\*экв (1954 г) повысилось до 62 %/мг\*экв. В зимний период концентрация химических элементов в озерной воде достигала 2,1 г/л за счет увеличения содержания ионов натрия, магния, сульфатов и хлоридов. С повышением минерализации воды изменилась растительность вокруг озера – берега его стали зарастать камышом.

В 1985 г. в центре озера была пробурена скважина, зафиксировавшая значительное увеличение мощности талика – на всю толщу рыхлых четвертичных отложений. Гидрохимического опробования таликовых вод не проводилось, но, учитывая высокую миграционную способность ионов натрия, сульфатов и хлоридов, которыми обогатилась озерная вода, можно с уверенностью утверждать и существенный рост минерализации воды в талике.

Не смотря на прекращения закачки подмерзлотных вод в озеро с середины 1980-х годов, снижения солености озера не наблюдается, что связано с техногенным нарушением надмерзлотного стока. С конца 80-х гг. можно считать, что химический состав озера формировался в большей степени под действием естественных факторов.

По данным гидрохимических исследований 1994-2011 гг. вода в озере имеет наименьшую минерализацию в конце мая-июне. Но и в это время она превышает 2,5 г/л. К концу лета при интенсивном испарении вода обогащается хлоридами, сульфатами и натрием, минерализация ее при этом возрастает до 3,0-3,5 г/л. В зимний период вследствие выпадения в осадок гидрокарбоната кальция и криогенного концентрирования хлоридов, натрия и магния соленость водоема составляет уже 4,3-5,8 г/л, достигая в отдельные холодные годы 8 г/л.

При изучении изменения химического состава озера по его периметру было замечено, что на участке №3 ежегодно наблюдается незначительное уменьшение минерализации воды. Исходя из метода, предложенного Анисимовой Н.П. [Анисимова, Макарова и др. 1989], следует, что на этом

участке может существовать субквальная разгрузка в озеро надмерзлотных вод.

Для подтверждения факта стока надмерзлотных вод в озеро, в 2011 г. были пробурены 2 скважины (скважины 4/11 и 5/11). По данным бурения, в скважине, расположенной в 30 метрах от озера, талые обводненные породы залегают в интервале глубин от 2 до 5 м., в скважине 5/11, расположенной в 35 метрах от озера, талые породы зафиксированы на глубинах от 2,1 до 3,7 м. По данным гидрохимического опробования надмерзлотные воды имеют идентичный с водами озера химический состав, но значительно менее минерализованы - 0,7 г/л. Скважины оборудованы для режимных наблюдений за уровнем и химическим составом надмерзлотных вод.

### Заключение

Увеличение минерализации воды обусловлено криогенным концентрированием солей в более холодные годы с

небольшой мощностью снежного покрова и повышенной толщиной льда, а снижение солёности озера является следствием разбавления его вод атмосферными осадками.

Несмотря на участие в питании озера пресных надмерзлотных вод, снижение солёности водоема не происходит ввиду малого объема стекающих с водосборной площади надмерзлотных вод.

### Литература

- Анисимова Н.П., Макарова Е.В., Голованова Т.В. 1989. Гидрохимические исследования для выявления субквальной разгрузки надмерзлотных вод. Комплексные мерзлотно-гидрогеологические исследования. 108 - 114 с.

Таблица 1. Усредненный химический состав оз. Круглого, мг/экв

Дата	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na	Na+K	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl	Жесткость общая	Минерализация, мг/л	pH
01.03.66	4,0	7,0		21,1	6,2	16,4	7,9		1963,12	-
02.02.00	1,4	24,1		64,2	21,2	22,3	40,7	25,5	5771,15	8,95
02.03.06	7,2	20,0		46,8	19,4	17,7	37,1	27,3	4217,72	-
26.03.07	5,1	21,6	39,8		23,0	14,7	27,1	26,6	4369,31	9,02
14.03.08	3,8	13,2	26,2		18,3	7,5	14,0	17,0	2833,05	7,38
03.03.09	4,5	19,0	26,7		26,9	8,1	22,9	23,5	3793,74	7,58
30.03.10	9,1	37,3	69,9		53,2	18,9	47,0	46,4	8076,74	7,94
01.03.11	5,6	22,7	44,8		30,1	14,9	27,3	28,3	4091,01	8,27

## Исследование динамики развития криогенных оползней на Центральном Ямале с помощью повторной топографической съемки

Ю.А. Дворников

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

**Ключевые слова:** криогенные оползни, топографическая съемка, динамика

Исследован участок, расположенный на стационаре ИКЗ СО РАН «Васькины Дачи» в пределах III аллювиально-морской равнины Центрального Ямала, на склоне холма. Измерения проводились в сентябре 2011 г. с использованием электронного тахеометра TopCon GTS-235 с погрешностью измерений 5". Предыдущая съемка проводилась в 1990 году посредством оптического теодолита и был изготовлен топографический план в масштабе 1:500.

Целью представленной работы являлся анализ активности оползневых процессов путем сопоставления границ оползневых тел и относительных превышений некоторых участков оползней, применение картографического метода исследования и современных геоинформационных технологий для количественной оценки и описания динамики экзогенных процессов.

В ходе обработки полевых данных и сопоставления разновременных гипсометрических планов было выявлено, что общий «рисунок» рельефа сохранился на всей площади склона.

К заметным изменениям можно отнести сдвиг русла термоэрозионной промоины в центральной части поверхности скольжения криогенного оползня, сошедшего в 1989 году, в среднем на метр +/- 0,5 м. Это обусловлено выработкой профиля термоэрозионной промоины в течении 22 лет. В таблице 1 приведены некоторые значения относительных высот тальвегов одной из промоин за 1990 и 2011 годы.

Таблица 1. Характеристики термоэрозионной промоины в 1990 и 2011 годах

	Низовья	Среднее течение	Верховья
1990	21.81	21.94	28.34
2011	21.63	21.78	28.22

Можно заметить, что превышения на участках русел за разные годы сохраняются в пределах 10-20 см.). На основании этого можно сделать вывод о том, что донная эрозия менее активна, чем боковая. Необходимо отметить, что ручей к настоящему времени в некоторых местах сформировал «ступеньки» в рельефе (см. рис.).

Размеры поверхности скольжения оползня в поперечниках также сильно изменились. По рисунку горизонталей хорошо заметно, что за прошедшие 22 года смежные с первичной поверхностью скольжения области формируют террасы, видимо, солифлюкционного

происхождения (см. рис.1). Это может свидетельствовать о том, что при благоприятных климатических и других условиях склон может подвергнуться еще более эффективному оползанию.

В ходе обработки результатов съемки было также установлено, что изменилось положение стенки отрыва. В некоторых местах бровка изменила свой характер, это произошло в результате формирования новых малых оползневых тел. Основные векторы дальнейшего динамического развития оползня представлены на рисунке.

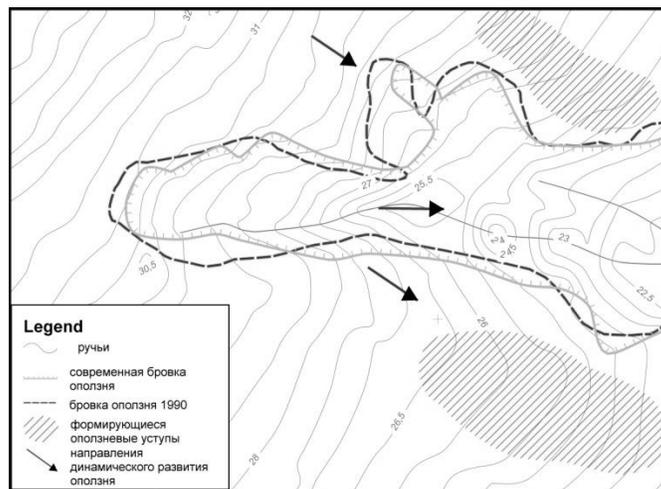


Рис.1. Динамика поверхности оползневой склона за 22 года с 1990 до 2011 на экспериментальной площадке стационара Васькины Дачи

Данные повторной тахеометрической съемки подтверждаются также анализом космического снимка сверхвысокого разрешения 1 м (geoeye-1).

Результаты исследования показывают, что использованный метод повторной детальной топографической съемки может дать количественные характеристики развития опасных криогенных процессов и быть использован для картографирования динамики криогенного оползания. Недостатки метода: дороговизна оборудования, относительная зависимость измерений от погодных и географических условий (Крайнего Севера), проблематичность получения истинных координат и высот местности.

## Проблемы обеспечения геотехнической безопасности малых поселений в арктических районах России на примере г. Игарки

М.В. Дебольский

*Кафедра Гляциологии и Криолитологии, МГУ им М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

### Аннотация

Северные поселения на территории России в недавнее время получили новый толчок в развитии. Это связано в первую очередь с освоением крупных месторождений горючих полезных ископаемых, а так же с проявлением внимания государства к Арктическому региону. В данной работе, на примере города Игарки, рассмотрены проблемы, связанные с развитием и эксплуатацией инфраструктуры северных поселений, связанные с наличием вечной мерзлоты. Так же в цель работы – проследить климатические тренды за XX век и реакцию на них мерзлых толщ, как оснований фундаментов, при учете техногенного фактора.

**Ключевые Слова:** геотехническое состояние, енисейский север, реакция мерзлоты, антропогенное влияние

В связи с увеличением интенсивности хозяйственного освоения Енисейского Севера, связанным с разработкой месторождений горючих полезных ископаемых, актуальна проблема обеспечения геотехнической безопасности региона. У г. Игарка долгая и славная история, связанная, с открытием здесь научно-мерзлотной станции еще в 30-х гг. XX века. В этой лаборатории проводились одни из первых работ по изучению механики, реологических свойств, прочности, температурного режима др. параметров мерзлых грунтов. В течение последних десятилетий город переживал не лучшие времена, что сказалось на геотехнической обстановке в нем.

Игарка расположена вблизи южной границы распространения ММП. Здесь существование островов определяется в основном свойствами грунта (грансостав, влажность, степень заторфованности) и ландшафтными условиями. В данном районе чрезвычайно велико тепловое влияние различных покровов на температуру грунтовых массивов, что отражено в ранних работах сотрудников ИНИМС [Павлов и др., 1976; Павлов, Сергеев, 1989]. Город находится на поверхности Каргинской террасы Енисея. Преобладающие отложения – покровные суглинки, подстилаемые флювиогляциальными песками и ленточными глинами, коренные породы представлены туфо-брекчией. Сейчас большая часть населения проживает в двух микрорайонах построенных в период с конца 60-х по начало 90-х гг., дома, в которых имеются ХПП, что говорит о намерении сохранить основания фундаментов в мерзлом состоянии. Фундаменты домов представлены в основном сваями-стойками, опирающимися на неглубоко залегающее (5-15 м) скальное основание.

Анализ приземных температур показал, что среднегодовая температура воздуха с 1930-х годов по 2000-е гг. увеличивалась в среднем на 0,0062°C за год, в большей степени за счёт отепления летнего периода. В связи с этим, можно говорить о наиболее высокой роли снежного покрова в формировании температурного режима пород. Хотя он здесь и имеет небольшую мощность (в среднем, 50-60 см), его распределение во

многом зависит от естественных условий (преобладающее направление ветра и т. д.) и от перераспределения человеком.

За время эксплуатации зданий микрорайона, дом №27 был частично снесен вследствие просадок не совместимых с дальнейшей эксплуатацией здания. Так же был выселен дом рядом с ним, для которого были предприняты безуспешные попытки сохранить здание (рис.1). По-видимому, причиной послужил прорыв



Рис.1. Мероприятия, направленные на предотвращение деформаций жилого дома в 1-ом микрорайоне. Центральная часть дома тянет за собой крайние.

(Фото С.В. Познарковой, июль 2010).

коммуникаций, вызвавший протаивание новообразованной мерзлоты. Новообразование мерзлоты идет за счет наличия ХПП у зданий и уплотнения снега на придомовой территории – проезжих частях и т.д. Так же в связи с большим слоем подсыпки, свободно фильтрующим воды, перелетками и мерзлотой под проезжей частью и пространствами свободными от снежного покрова осложняется гидрогеологическая ситуация в городе. Еще одним примером может служить построенное недавно

соматическое отделение детской больницы, которое не было сдано в эксплуатацию вовремя и несколько лет простояло пустым. На ростверке здания видны трещины, вызванные неравномерными деформациями пучения, вследствие аградации мерзлоты под зданием.

Так же стоит отметить состояние зданий стоящих на простраиваемых фундаментах-оболочках. Идет мониторинг температурного режима под зданием, в наиболее крупных трещинах установлены инклинометры. Другое здание на таком же фундаменте, но расположенное на мерзлом участке было снесено в 2010 г.

### **Заключение**

Основными геотехническими проблемами в г. Игарке являются:

- 1) нарушения в эксплуатации зданий
- 2) ошибки в проектировке

3) отсутствие мониторинга за состоянием сооружений и оснований фундаментов

Так же стоит отметить, что глобальные климатические процессы не оказывают особого влияния на температурный режим грунтов г. Игарки.

### **Литература**

- Павлов А.В., Сергеев Б.П., Скрыбин П.Н. Результаты режимных исследований теплообмена почвы и атмосферы в районе г. Игарки / в кн. Региональные и теплофизические исследования мерзлых горных пород в Сибири, Якутское книжное издательство, г. Якутск. 1976 г. - С. 122-144
- Скрыбин П.Н., Сергеев Б.П. Тепловой режим грунтов Енисейского севера / под ред. Павлова А. В., изд-во АН СССР СО, Институт мерзлотоведения, г. Якутск, 1989 г. - 176 с.

## Использование данных дистанционного зондирования земли при проведении геокриологического мониторинга

Е.В.Денисевич

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Москва, Россия

Геокриологический аэрокосмический мониторинг эксплуатирующихся месторождений в пределах контуров горных отводов, линейных инженерных объектов является составной частью мониторинга состояния недр (геологической среды).

Мониторинг состояния недр – система регулярных наблюдений, сбора, накопления, обработки и анализа информации, оценки состояния геологической среды и прогноза ее изменений под влиянием естественных природных факторов и деятельности человека в процессе проведения поисковых и разведочных работ, обустройства и разработки месторождений, строительства внутрипромысловых и магистральных трубопроводов и иной деятельности.

Получаемые при геокриологическом мониторинге данные используются при маркшейдерско-геодезическом, геотехническом, производственном, экологическом, инженерно-геокриологическом и других видах мониторинга.

Использование результатов аэро- и космических съемок, самых быстрых и сравнительно дешевых технологий получения геоинформации, объединенных в геоинформационной системе с другими сведениями о состоянии и изменении недр, характеризующими геокриологическую обстановку является важной основополагающей информацией для проведения геокриологического мониторинга.

Геокриологический аэрокосмический мониторинг проводимый при разработке месторождений в условиях развития многолетнемерзлых пород, является подсистемой общего мониторинга состояния недр в части экзогенных геологических процессов и представляет собой объектный уровень мониторинга. Его проведение является обязательным при геологическом изучении недр, добыче углеводородного сырья и регламентируется руководящими документами.

Необходимость проведения геокриологического аэрокосмического мониторинга обусловлена потребностью минимизации рисков воздействия опасных геокриологических процессов, наблюдаемых при освоении месторождений углеводородов.

Основными задачами, решаемыми с помощью данных дистанционного зондирования Земли при мониторинге геокриологических процессов, являются:

- оценка текущего состояния геокриологических процессов на месторождении, включая зону существенного влияния его разработки;

- составление текущих, оперативных и долгосрочных прогнозов изменения состояния опасных геокриологических процессов, как на месторождении, так и в зоне существенного влияния его эксплуатации;

- экономическая оценка ущерба с определением затрат на предупреждение активизации геокриологических процессов и их отрицательного воздействия на окружающую среду при разработке месторождения;

- разработка мероприятий по рационализации способов добычи углеводородов, предотвращению аварийных ситуаций и ослаблению негативных последствий разведочных и эксплуатационных работ на геологические процессы верхних частей массивов горных пород и связанных с ними подземных вод;

- контроль и оценка эффективности мероприятий по рациональному способу добычи углеводородов, обеспечивающему, при прочих равных условиях, полноту их извлечения и сокращения нерациональных потерь;

- оценка изменений состояния геологической среды под влиянием изменений геокриологических условий, связанных с разведкой и разработкой месторождения, а также с проведение сопутствующей им иной хозяйственной деятельности;

- информационное обеспечение проектирования разработки месторождений в части разработки рекомендаций по корректировке местоположения кустов эксплуатационных скважин с целью их переноса в наиболее благоприятные геокриологические условия.

Геокриологическая интерпретация результатов дешифрирования аэрокосмических съемок позволяет выявить и картографически зафиксировать опасные геокриологические процессы и явления, требующие обязательного учета при проектировании и эксплуатации месторождений углеводородов, располагающихся в пределах развития многолетнемерзлых пород

Наибольшие опасности при обустройстве месторождений представляют: термокарст, криогенные полигональные образования рельефа, морозное пучение, наледообразование, термоэрозия, термоабразия, солифлюкция, криогенные оползни скольжения.

Целью геокриологического аэрокосмического мониторинга является обеспечение недропользования информацией для осуществления контроля, оценки и прогноза развития опасных геокриологических процессов, обусловленных влиянием природно-климатических и антропогенных факторов.

Конкретные задачи мониторинга уточняются условиями лицензий на пользование недрами и техническими заданиями на выполнение работ.

На основе полученной информации принимаются управленческие решения по предотвращению аварийных ситуаций, снижению негативных последствий эксплуатационных работ на окружающую природную среду, а также контроль за соблюдением условий лицензий на пользование недрами.

Изменение геокриологических условий (активизация опасных геокриологических процессов) выражается в изменении температурного режима многолетнемерзлых пород в пределах кустов эксплуатационных скважин, участках недр, примыкающих к ним и иных объектах обустройства месторождения (карьеры, трубопроводы, площадки расположения инженерно-технических объектов).

Изменение геокриологических условий может быть вызвано природными процессами (потепление климата), а может быть спровоцировано разработкой месторождений. Опасные изменения геокриологических условий взаимосвязаны с изменениями горно-геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий, что необходимо учитывать при постановке и проведении мониторинга.

С изменениями температурного режима связана активизация термокарста, образование полигональных форм рельефа, пучение, термоэрозия и термоабразия, наледообразование и солифлюкционные сплывы и оползни.

Одной из основ успешного проведения мониторинга является создание единого информационного пространства, которое может быть сформировано на основе использования современных геоинформационных технологий. Интеграционный характер геоинформационных систем (ГИС) позволяет создать на их основе мощный инструмент для сбора, хранения, систематизации, анализа и представления информации.

Геоинформационные системы имеют характеристики, которые с полным правом позволяют считать эту технологию основной для целей обработки и управления мониторинговой информацией.

Благодаря тому что, дистанционные материалы содержат информацию обо всех параметрах природной среды: геологических, геокриологических, географических, сельскохозяйственных, экологических их комплексную интерпретацию и экспертную оценку результатов дешифрирования космических изображений включая комплексирование с геофизическими и промышленными данными рационально производить в геоинформационных системах, управляя визуализацией тематических карт и их объектами. Этим осуществляется переход от сложных, часто перегруженных карт, к серии взаимосвязанных карт специализированных объектов, что обеспечивает высокую структурированность информации и позволяет эффективно ее использовать и анализировать при интерпретации результатов дешифрирования.

### **Литература**

Н.А.Гафаров, Ю.Б.Баранов и др.. 2010, Использование космической информации в газовой промышленности. 131с.

## Льдогрунтовая противофильтрационная завеса грунтовых плотин в суровых природно-климатических условиях

С.П. Дмитриева, Н.Б. Кутвицкая, Е.Д. Мороз, Ю.А. Власова  
ОАО «Фундаментпроект», Москва, Россия

В суровых природно-климатических условиях в качестве противофильтрационной завесы (ПФЗ) в грунтовых плотинах эффективным является создание льдогрунтовой ПФЗ с помощью глубинного замораживания вертикальными термостабилизаторами (термосифонами). Примерами могут служить Иреляхская и Певекская плотины, многолетняя эксплуатация которых позволила получить опыт проектирования, строительства и эксплуатации подобных плотин. Так, на Иреляхской плотине для создания льдогрунтовой противофильтрационной завесы последовательно использовались замораживающие колонки, вентилируемые холодным наружным воздухом, жидкостные и парожидкостные термостабилизаторы. Причиной замены термостабилизаторов явилось нарушение проектного температурного режима грунтов основания и тела плотины, а также возможность использовать более эффективные технические решения. Подобная ситуация в настоящее время сложилась и на плотине в г.Певек, где на отдельных участках произошло оттаивание мерзлого ядра и фильтрация из водохранилища.

Поэтому, актуальным вопросом на сегодняшний момент является прогнозирование температурного режима грунтов основания и тела плотины в процессе эксплуатации, и разработка технических решений, направленных на обеспечение надежности и долговечности подобных сложных сооружений.

Создание льдогрунтовой ПФЗ с помощью эффективных сезоннодействующих охлаждающих устройств в данном случае является техническим решением, позволяющим исключить фильтрацию из водохранилища не только через тело плотины, но и под ее основанием.

В качестве примера, ниже рассмотрена грунтовая плотина Майского ГОК на Чукотке, запроектированная и построенная в 2010-11 гг.. Льдогрунтовая ПФЗ плотины наморожена с помощью современных парожидкостных термостабилизаторов, заглубленных в подстилающие природные грунты с целью предотвращения фильтрации воды из водохранилища под плотинной.

Отсыпка тела плотины проведена в летний период. В качестве материала для тела плотины использован древесново-щебенистый грунт, устройство ядра и зуба плотины выполнено суглинком.

Прогнозные теплотехнические расчеты, на основании которых запроектирована льдогрунтовая ПФЗ, выполнены при следующих начальных условиях: температуры талого насыпного грунта в теле плотины равны плюс 10°C, температура воды после заполнения водохранилища в летний период - плюс 3,0...10,0°C, в зимний период - плюс 1,0°C; основание сложено многолетнемерзлыми грунтами сливающегося типа, представленными переслаиванием

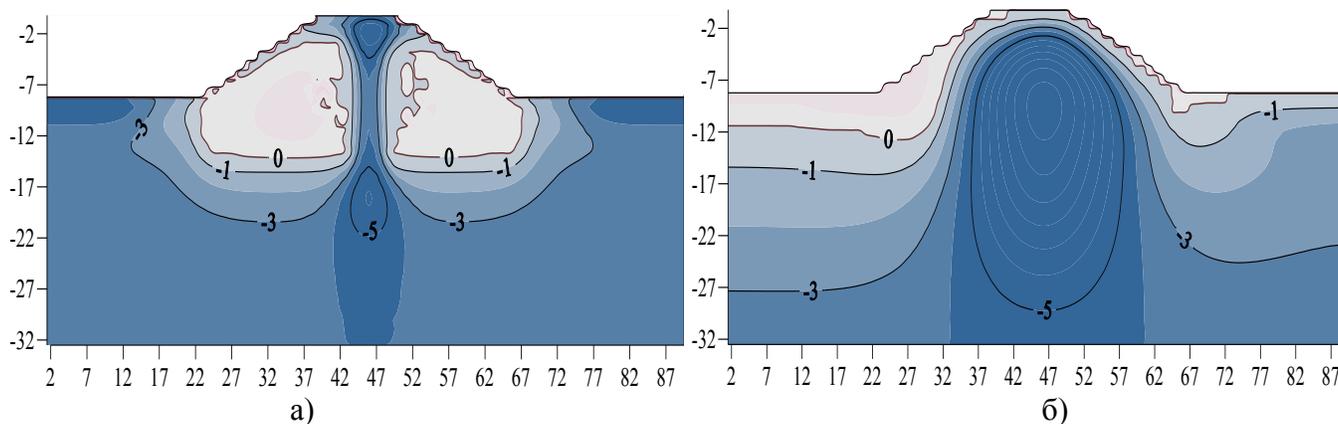
суглинков, древесново-щебенистых грунтов, песчаников и алевролитов; среднегодовая температура грунта на глубине нулевых амплитуд изменяется от минус 4,0°C до минус 6,5°C.

Прогнозные теплотехнические расчеты выполнены по программе PROGNOZ, предназначенной для прогнозных теплотехнических расчетов температурного режима многолетнемерзлых грунтов численными методами. Программа PROGNOZ соответствует требованиям нормативных документов РСН 67-87, СНиП 2.02.04-88. Сертификат соответствия № РОСС RU.СП15.Н00165, выдан 05.07.2008г органом по сертификации программной продукции в строительстве РОСС RU.0001.11СП15.

Теплотехнические расчеты позволили подобрать количество, типоразмеры и эффективные схемы расстановки парожидкостных термостабилизаторов таким образом, что формирование ПФЗ происходит за один холодный сезон при незаполненном водой водохранилище. При этом минимальная ширина промороженного грунта, которая сохраняется к концу летнего периода (сентябрь) после первого зимнего цикла задана равной не менее 3.0 м, а под "зубом" плотины промороженная льдогрунтовая завеса смыкается с подстилающими природными мерзлыми грунтами естественного сложения. При таких условиях исключается фильтрация воды из водохранилища.

Результатом прогнозных теплотехнических расчетов является температурное поле по всему объему грунтового массива, которое может быть получено для анализа на любой момент времени прогноза по заданному направлению плоского разреза вертикальной и горизонтальной плоскостью. Формирование льдогрунтовой завесы ПФЗ представлено на рис.1 температурными полями через год (рис.1а) и через 5 лет (рис.1б) работы термостабилизаторов.

Результаты замеров температур, выполненные в термометрических скважинах, заложенных в проект геотехнического мониторинга, после первого месяца работы термостабилизаторов показали практически полное совпадение расчетных и фактических температур. Это подтвердило правильность выбора параметров ПФЗ, а также то, что льдогрунтовая ПФЗ действительно сохраняется в теплый период (пассивный цикл работы термостабилизаторов). При дальнейшей эксплуатации по результатам прогнозных теплотехнических расчетов происходит понижение температуры промороженных грунтов и увеличение ширины льдогрунтовой ПФЗ, что обеспечивает надежность и долговечность эксплуатации плотины.



Глубина, м	Дата			
	13.03.2011	20.03.2011	26.03.2011	30.03.2011
1	-6,37	-10,74	-9,43	-12,68
2	-10,78	-12,47	-12,78	-13,9
3	-10,27	-11,27	-11,34	-12,21
4	-8,62	-9,31	-9,31	-9,87
5	-6,71	-7,09	-7,27	-7,52
6	-4,68	-4,99	-5,31	-5,49
7	-2,52	-3,02	-3,34	-3,65
8	-0,15	-0,34	-0,46	-0,65
9	-0,09	-0,15	-0,28	-0,28
10	-0,34	-0,53	-0,72	-0,84
11	-1,78	-2,41	-2,59	-2,72
12	-3,53	-3,65	-3,78	-3,96
13	-4,27	-4,21	-4,34	-4,46
14	-4,55	-4,49	-4,55	-4,62

в)

г)

Рис.1. Формирование льдогрунтовой ПФЗ на плотине Майского ГОК  
 а, б – температурные поля после одного и пяти лет работы термостабилизаторов;  
 в – фото гребня плотины с установленными термостабилизаторами,  
 г - таблица понижения температур льдогрунтовой противодиффузионной завесы (ПФЗ)

## Выработка предложений по конструктивным решениям прокладки горячего нефтепровода на многолетнемерзлых грунтах

А.Н. Дмитриевский, Н.Н. Хренов  
Институт проблем нефти и газа РАН, Россия

Исследования проводились по договорам с ОАО Гипротрубопровод.

Трасса нефтепровода проходит по левобережью реки Пур, по ее террасам и прилегающей озерно-аллювиальной равнине. Общий облик территории – плоско-холмистая равнина с абсолютными отметками до 40-50 метров и общим уклоном на восток в сторону реки Пур. Расчлененность и дренированность поверхности невелики и наиболее выражены в приречных частях террас. Трасса пересекает долины левых притоков Пура, из которых наиболее значительные: Пурпе (ширина 56м, глубина 5,2м), Тыдеотта (ширина 60,5м, глубина 2,1м), Ягенета (ширина 36,6м, глубина 2,2м) река Хыльмигъяха (17,9м, глубина 0,97м) Кроме основного русла долины меандрирующих рек изобилуют старицами и мелкими протоками.

Литологический состав отложений верхней части разреза на всю глубину исследования при инженерно-геологических изысканиях (до 10-15м) очень пестрый, что характерно для отложений аллювиального и озерно-аллювиального генезиса. Массивы, линзы, прослои суглинков, супесей, песков создают картину сложной изменчивости разреза как в плане, так и по глубине. Картину осложняет и широкое распространение торфяных накоплений, перекрывающих минеральные грунты.

Нефтепровод проектируется на транспорт нефти с температурой до 60 градусов.

Надземная прокладка нефтепровода позволяет уйти от многих неблагоприятных ситуаций, возникающих (как было показано выше) при подземной прокладке. Техногенные преобразования природных ландшафтов и изменение грунтовой обстановки могут возникать и при возведении опор под надземный нефтепровод. Но эти преобразования будут локальными. При выборе точек возведения опор следует уходить от участков перегибов склонов, особенно вблизи заболоченных и заозеренных площадей водосбора, чтобы не создавать ситуации, когда преобразование природного ландшафта (и, прежде всего, преобразование микрорельефа) может создать условия образования сосредоточенного поверхностного стока и эрозионного размыва. Надземная прокладка должна сопровождаться замораживанием грунта вокруг свай, так как при замораживании грунтов с низкой несущей способностью (широко распространенных по трассе) их несущая способность увеличивается. При этом необходимо учитывать, что промораживание грунтов вокруг опор в условиях большой обводненности массивов будет сопровождаться выпучиванием блоков мерзлых пород.

Теплофизические расчеты выполнены с целью оценки возможностей подземной и надземной прокладки

нефтепровода, в том числе с применением технических средств термостабилизации грунтов основания.

Расчеты выполнены методом математического (численного) моделирования. Использован метод конечных разностей. Подробные сведения о постановке задач, особенностях метода и алгоритма расчетов приведены в Отчете

Во всех расчетах диаметр нефтепровода принят равным 1,0 м (с теплоизоляцией – 1,2 м), глубина верхней образующей – 1,0 м, нижней – 2,2 м, толщина теплоизоляции – 100 мм, коэффициент теплопроводности ее материала – 0,033 Вт/(м•К).

Расчеты проводились для двух условных однородных инженерно-геологических разрезов, сложенных грунтами, наиболее распространенными по трассе нефтепровода. Один из них представлен песками с плотностью в сухом состоянии  $\rho_d = 1600 \text{ кг/м}^3$  и суммарной влажностью  $W_{\text{tot}} = 0,22$ , второй – суглинками ( $\rho_d = 1300 \text{ кг/м}^3$ ,  $W_{\text{tot}} = 0,35$ ). Теплофизические характеристики грунтов принимались по СНиП 2.02.04-88 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах".

Отдельно рассчитывались низкотемпературные вечномерзлые грунты (ВМГ) с температурой на глубине нулевых годовых теплооборотов  $T_0 = -3^\circ\text{C}$ , приуроченные к начальному (северному) участку нефтепровода, и высокотемпературные ВМГ ( $T_0 = -1^\circ\text{C}$  и  $-0,5^\circ\text{C}$ ), распространенные на средних и южных участках. Климатические параметры для низкотемпературного (северного) участка приняты по данным метеостанции Ямбург, для высокотемпературных участков – по Тарко-Сале (СНиП 23-01-99 "Строительная климатология"). На низкотемпературном (начальном) участке температура нефти принята равной  $+60^\circ\text{C}$ , на высокотемпературных участках  $+45$  и  $+30^\circ\text{C}$ .

Задачи об оттаивании ВМГ вокруг нефтепровода решались в двухмерной постановке; рассматривался вертикальный разрез, перпендикулярный его оси. Задачи об охлаждении и замораживании грунтов термостабилизатором (ТС) решались в трехмерной осесимметричной постановке, при этом представлены температурные поля в вертикальной плоскости, проходящей через ось (ТС). В расчетах приняты теплофизические параметры ТС типов ТМД-5 и ДОУ-1 конструкции и производства АОЗТ "Интер Хит Пайп" как наиболее эффективные из известных сезонно действующих охлаждающих устройств

На участках с вечномерзлыми грунтами подземная прокладка нефтепровода может применяться лишь в исключительных случаях, когда надземный вариант прокладки исключен в силу неизбежных объективных

причин. Каждый такой участок требует тщательных расчетов и анализа для выработки технических решений, предотвращающих развитие негативных геокриологических процессов, опасных для устойчивости нефтепровода.

В результате работ были выданы поикетные рекомендации по конструктивным решениям прокладки нефтепровода.

Большой объем работ был посвящен анализу применимости свай в различных условиях по трассе. Выработаны оптимальные конструкции свайных оснований и рекомендации по их применению на трассе.

## Криолитозона арктического шельфа Восточной Сибири

Я.Н.Добытин

*Тюменский Государственный Нефтегазовый Университет, Тюмень, Россия*

### Актуальность темы

Субмаринная криолитозона (КЛЗ) на шельфах Северного полушария занимает площадь около 5 млн. км<sup>2</sup>. В ее строении выделяются ярусы охлажденных ниже 0оС и многолетнемерзлых пород. Многолетнемерзлые породы (ММП) в подавляющем большинстве являются реликтовыми. Последние, в отличие от толщ субаэральных ММП, характеризуются в своем развитии ярко выраженной цикличностью. На этапе осушения шельфа они формируются (аградируют), на этапе затопления - деградируют. Их современное распространение, глубина залегания и мощность более существенно, чем параметры субаэральных ММП, зависят от истории развития природной среды.

Будущее топливно-энергетического комплекса России связано с освоением нефтегазовых ресурсов арктических шельфов. Поэтому региональная геокриология находится на пороге становления нового научного направления, связанного с изучением субмаринной КЛЗ, требующем изучения истории развития природной среды и ее роли в формировании современного состояния криолитозоны. Под последним понимаются данные о ее вещественном составе; вертикальном строении; распространении и мощности; глубине залегания и мощности яруса мерзлых пород, их температуре на современном этапе развития КЛЗ.

Современное состояние криолитозоны необходимо знать также для составления прогнозных сценариев глобального потепления климата. В настоящее время оценивается только эмиссия парниковых газов, высвобождающихся при разрушении берегов арктических морей, сложенных ММП. Между тем, при донной абразии в море также поступает законсервированный в мерзлых толщах органический углерод. А наиболее крупной его <емкостью> является зона стабильности гидратов газов (ЗСГГ), залегающая в пределах и ниже яруса ММП. Поэтому оценка эволюции яруса ММП и ЗСГГ приобретает большое практическое значение.

Одним из наименее изученных является шельф Восточной Сибири (морей Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского). Первые оценки распространения и мощности яруса ММП этого шельфа сделаны в 60-80-е годы XX века на базе исследований в прибрежной части моря и математического моделирования. Полученные результаты - вплоть до диаметрально противоположных - обуславливались крайней недостаточностью опорных данных, различиями в представлениях о колебаниях климата и уровня моря, слабым развитием вычислительной техники.

### Научная новизна

1. Впервые разработаны представления о геокриологической цикличности на шельфе Восточной Сибири, которая наследует цикличность глобальных колебаний климата и уровня моря, и проявлена в циклических сменах направленности в развитии криолитозоны и криогенного морфолитогенеза. Представления о цикличности криогенного морфолитогенеза и различия в ее выраженности в положительных и отрицательных неотектонических структурах позволили впервые реконструировать ход позднеплейстоцен-голоценовой трансгрессии моря с учетом изменения рельефа шельфа.

2. Получены принципиально новые представления о современном состоянии реликтовой КЛЗ шельфа Восточной Сибири. Это - криолитозона со сплошным ярусом ММП, распространенном в интервале современных глубин моря от 0 до 50-60 м. В интервале глубин от 50-60 до 80-100 м (бровка шельфа) ярус ММП имеет прерывистое и островное распространение.

3. Произведено подразделение арктических шельфов по географическому положению, позволившему отделить их друг от друга по условиям формирования криолитозоны и ее современному состоянию. Установлено, что особенности КЛЗ шельфа Восточной Сибири определяются криогенными процессами, обусловленными влиянием азиатского континента. В формировании криолитозоны других шельфов в среднем плейстоцене - голоцене существенную роль играло климатическое и гидрологическое влияние океанов - Атлантического или Тихого.

### Практическое значение

Результаты настоящего исследования могут обеспечивать управленческие решения при планировании поисков и разведки полезных ископаемых на шельфе, применяться при составлении прогнозных сценариев изменения климата Арктики и Земли, а также в научных исследованиях.

### Литература

- Осадчая Г.Г. Ресурсный потенциал криолитозоны // Материалы Междунар. конф. "Криогенные ресурсы полярных и горных регионов. Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения (Тюмень, 21-24 апр. 2008 г.). - Тюмень, ТюмГНГУ, 2008.
- Жигарев Л. А. Океаническая криолитозона. — М: Изд-во МГУ, 1997.

## К вопросу проведения гидравлического разрыва пласта в газовых скважинах при наличии в разрезе многолетнемерзлых пород

В.А.Долгушин, А.А.Земляной, Г.П.Зозуля

*Кафедра «Бурение нефтяных и газовых скважин», ТюмГНГУ, Тюмень, Российская Федерация*

А.В.Кряжев

*Trican Well Service, Тюмень, Российская Федерация*

### Аннотация

В работе обоснована необходимость применения специальных жидкостей с регулируемыми реологическими свойствами для проведения работ по подготовке к гидравлическому разрыву пласта (ГРП), проведению и освоению скважин после ГРП для условий Крайнего Севера при наличии в разрезе скважин мерзлых пород. Придания специальных свойств пропантам для проведения ГРП и технологическим жидкостям пропантоносителям для осуществления гидроразрыва пласта. Описаны пути для проведения исследований по данным направлениям для совершенствования технологических параметров при проведении ГРП, учитывающие специфику работы в условиях Крайнего Севера.

Мерзлые породы в разрезах скважин обогащены органическими остатками и характеризуются высокими значениями влажности (28-30 %) и льдистости, убывающими вниз по разрезу и являются коллекторами значительных газовых и газогидратных скоплений. Выбросы газа из МП существенно осложняют буровые работы и эксплуатацию газодобывающих скважин, расположенных в области распространения криолитозоны, приводят к различным аварийным ситуациям, что требует совершенствования технологии бурения и эксплуатации скважин [*Применение гидроразрыва... 2007*].

Для ввода в эксплуатацию таких скважин часто целесообразно применение методов интенсификации притока газа. Как показывает опыт разработки месторождений углеводородного сырья, одним из самых эффективных методов интенсификации является гидроразрыв пласта (ГРП), который позволяет не только интенсифицировать обработку области дренирования скважины за счет снижения потерь пластовой энергии в призабойной зоне, но и существенно расширить эту область, связав системой трещин прежде всего слабодренируемые пропластки в тонкослоистых заглинизированных пластах [*Теория и практика... 2009*].

Приказ Минэнерго РФ от 24 июня 2008 г. N 5 Об утверждении «Рекомендаций по определению видов ремонтных работ в скважинах, эксплуатируемых организациями нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, газовой и нефтехимической промышленности» [*Приказ №5 2008*]. ГРП включает в себя комплекс работ по КР7-2 (подготовка к ГРП), КР7-3 (проведение ГРП), а затем освоение после ГРП. Для качественного выполнения такого объема работ важно управление и регулирование самого процесса, при этом в газовых скважинах имеется своя специфика. Известные способы гидравлического разрыва пласта газовой скважины, включающие глушение скважины, проведение гидравлического разрыва пласта, переобвязку устья и освоение скважины, обладают рядом недостатков.

Прежде всего это большая трудоемкость подготовительных работ перед гидравлическим разрывом

пласта и заключительных после него, высокая вероятность повторного глушения скважины для извлечения колонны насосно-компрессорных труб с пакером высокого давления из скважины в случае получения преждевременного притока газа, неизбежное загрязнение призабойной зоны пласта, ухудшающее полученный эффект от гидравлического разрыва пласта [*Пат. 2306412*].

Регулирование данного процесса достигается путем правильного выбора материала (пропанта) и технологических жидкостей. Свойства жидкостей определяются их природой, способностью растворять химические реагенты, транспортирующей способностью (реологическими свойствами) и подбором реагентов для регулирования этих свойств, которые существенно зависят от температуры окружающей среды как на поверхности, так и по стволу скважины.

Все это диктует необходимость применения специальных незамерзающих жидкостей как пропантоносителей с регулируемыми реологическими свойствами, прежде всего в скважинах, где наличие многолетне - мерзлых пород влияет как на проведение ГРП, так и на возможность образования газогидратных пробок, которые могут образовываться до глубин порядка 700 метров. Таким образом, для качественного проведения ГРП в условиях наличия многолетне мерзлых пород, особенно в условиях сурового климата на севере Западной Сибири, необходимо эффективное регулирование технологических свойств жидкости-пропантоносителя, исключающее ее замерзание на поверхности и обеспечивающие необходимые транспортирующие (реологические) свойства в стволе скважины, существенно изменяющиеся от эффективности вводимых реагентов, действие которых зависят, прежде всего, от температуры и других скважинных факторов (давление, поступление пластовой воды, степень ее минерализации, взаимодействие с углеводородами, образование газожидкостных смесей и др.). Решаются эти проблемы, как правило, применением специальных солевых растворов с регулируемыми показателями (такими как концентрация, температура, вязкость, СНС, показатель

фильтрации, седиментационная устойчивость, плотность) которые должны обеспечивать разрушение и вымывание газо-гидратных пробок, а также исключаящее их повторное возникновение, особенно в условиях аномально низких пластовых давлений (АНПД). Все это позволит сократить продолжительность работ по освоению скважин после гидравлического разрыва пласта и повысить качество ГРП в целом. В процессе ГРП и освоения после него, должна учитываться «совместимость» жидкостей – пропантоносителей с пластовыми флюидами, что может существенно осложнить выполнение процесса ГРП и ухудшить ФЕС продуктивного пласта.

Для решения данных проблем нами проводятся исследования для придания специальных свойств применяемым пропантам для регулирования фазовой проницаемости по нефти, газу и воде, в создаваемом при ГРП «экране», а также влияния на процесс ГРП различных реагентов для регулирования реологических и других свойств жидкости – пропантоносителя, прежде всего при наличии в разрезах скважин МП.

## Литература

- Применение гидроразрыва пласта для интенсификации притока на газоконденсатных скважинах Ямбургского месторождения и перспективы применения метода в процессе дальнейшего освоения залежей. / Зинченко И.А., Кирсанов С.А., Маршаев О.А. и др. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2007, - 118 с.
- Теория и практика капитального ремонта газовых скважин в условиях пониженных пластовых давлений. / Гейхман М.Г. Зозуля Г.П., Кустышев А.В., и др. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2009. – 208 с.
- Приказ Минэнерго РФ от 24 июня 2008 г. N 5 "Об утверждении Рекомендаций по определению видов ремонтных работ в скважинах, эксплуатируемых организациями нефтедобывающей, газовой и нефтеперерабатывающей, нефтехимической промышленности"
- Пат. 2306412 RU, МПК Е 21 В 43/26. Способ гидравлического разрыва пласта газовой скважины / Кустышев А.В., Обиднов В.Б., Зозуля Г.П., Кряквин Д.А., Афанасьев А.В., Кочетов Г.С., Токарев А.П., Лахно Е.Ю. (Россия) – 2005140129/03; Заявлено 21.12.2005; Оpubл. 20.09.2007, Бюл. 26.

## Пространственное распределение «химических маркеров» морского влияния в водотоках Печорской дельты

Е.А.Домбровская, Н.Г.Украинцева  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень, Россия

### Аннотация

Проведено гидрологическое опробование водотоков и водоемов дельты р. Печоры. Установлено, что помимо тренда «река – море» существуют значительные различия в содержании типично «морских» элементов (Na и Cl) и общей минерализации речных вод в разных группах водотоков. Содержание натрия и хлора максимально в пределах открытых акваторий и минимально в небольших внутренних протоках, не имеющих открытого выхода в морскую акваторию. Дана оценка нефтяного загрязнения вокруг аварийной скважины на протоке Малый Гусинец. Показано, что приливные или сгонно-нагонные явления усиливают морское влияние.

### Район и методы исследований

Исследования ИКЗ СО РАН проводятся в дельте р. Печора. Дельты рек Арктического бассейна - это специфические переходные экосистемы, находящиеся в зоне взаимодействия морских и речных вод. Они существенно отличаются от типичных зональных ландшафтов и наряду с болотами относятся к азональным гидроморфным экосистемам. Им свойственны мощные геохимические барьеры, формирующиеся в результате контакта морских и речных вод (маргинальный фильтр), аккумуляции взвешенных наносов на островах дельты и криогенных процессов по бортам и днищам речных долин [Коротяев и др., 2006; Никаноров и др., 2007; Полонский, 1984].

Цель данной работы – оценить пространственное распределение типично морских химических элементов (хлора и натрия), служащих «химическими маркерами» морского влияния в водотоках дельты р. Печоры. Особенности аккумуляции речных наносов и криогенные процессы в данной работе не рассматриваются.

В 2011 году в ходе экспедиции в низовьях р.Печоры были отобраны пробы воды (с поверхности) от г. Нарьян-Мар до Печорской и Коровинской губ в разных группах водоемов и водотоков дельты.

Ионный и химический состав образцов природных вод проведен в Почвенном институте им. В.В. Докучаева стандартным химическим методом (аналитик – Гришина Р.В.) и в РГУ им. С.А. Есенина методом атомно-абсорбционной спектроскопии (AAS, аналитик – Тобратов С.А.).

### Основные результаты исследований

Ландшафты речных дельт находятся в зоне морского влияния, ослабевающего по мере удаления от моря. Геохимическими свидетелями морского влияния являются «морские» элементы - натрий, хлор, обогащающие основные компоненты ландшафта - воды, почвы, растительность. Влияние моря на пойменные и террасовые ландшафты проявляется по всей устьевой области р. Печоры от с. Большая Сопка до Печорской и Коровинской губ [Полонский, 1984]. Содержание хлора и натрия в воде Большой Печоры максимально в устье реки и заметно снижается вверх по течению [Домбровская, Украинцева, 2011].

Помимо тренда «река – море» существуют значительные различия в содержании типично «морских» элементов (Na и Cl) и общей минерализации речных вод, взятых в разных точках устьевой области. Опробованы разные группы водоемов и водотоков: 1) основные протоки дельты (Большая Печора, Тундровый Шар, Средний Шар); 2) отмели морского края дельты; 3) малые внутриостровные протоки со слабопроточным и застойным режимами; 4) морские акватории.

Морское влияние максимально в пределах открытых акваторий – Печорской губы и внешнего края Коровинской губы – и резко снижается на отмелях морского края дельты (рис.1). Из трех показателей химического состава вод лучше всего индицирует степень морского влияния хлор. В разных группах дельтовых водотоков содержание хлора заметно различается. В Большой Печоре, имеющей открытый выход в засоленную Печорскую губу, содержание хлора выше, чем в протоке Тундровый Шар, впадающей во внутреннюю наиболее опресненную часть Коровинской губы. Минимально содержание хлора в протоке Средний Шар и в небольших внутренних протоках, не имеющих открытого выхода в морскую акваторию.

Минерализация воды (сумма солей) и содержание в ней ионов натрия почти не меняются в пределах дельты, повышаясь лишь в морских акваториях (рис.1).

На отмелях морского края дельты содержание натрия, хлора и сумма солей заметно увеличиваются с запада на восток – от внутреннего края Коровинской губы (т.32-11) до ее внешнего края и акватории Печорской губы (т. 44-11, 30-11 – рис.2).

Одним из факторов изменения экологии дельты р. Печоры и площадей проток является техногенное воздействие. Здесь расположены газоконденсатные месторождения, ведутся буровые работы. В начале 80-х годов во время бурения произошел сильный выброс газа. Вокруг аварийной скважины сооружены две дамбы, перегородившие протоку Малый Гусинец и создающие механический и геохимический барьер на пути речного стока.

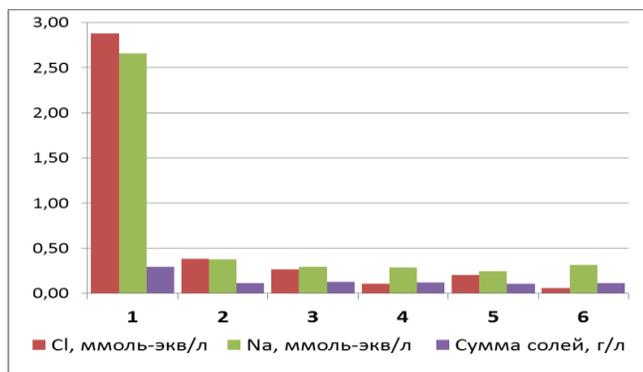


Рис.1. Показатели «морского влияния» в разных группах водотоков дельты р. Печоры

1 – морские акватории Печорской и Коровинской губ; 2 - отмели морского края дельты; 3 - Большая Печора; 4 – протока Средний Шар; 5 – протока Гундровый шар; 6 - малые протоки (с застойным режимом)

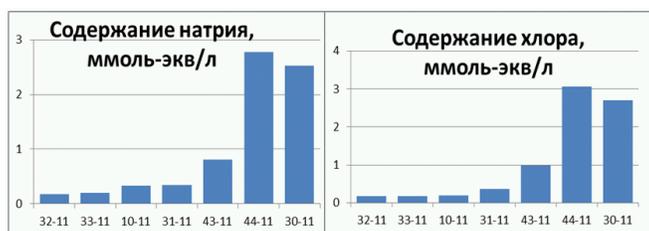


Рис.2 Содержание натрия и хлора на отмелях морского края дельты слева (запад) направо (восток) – по направлению к открытой морской акватории.  
32-11, 33-11... – точки наблюдений

Химический анализ отобранных проб воды показал, что в затоне между дамбами (имеющем непроточный водный режим) содержание нефтепродуктов оказалось в 4-5 раз выше, чем в речной воде в 200-300 м от дамб (рис.3).

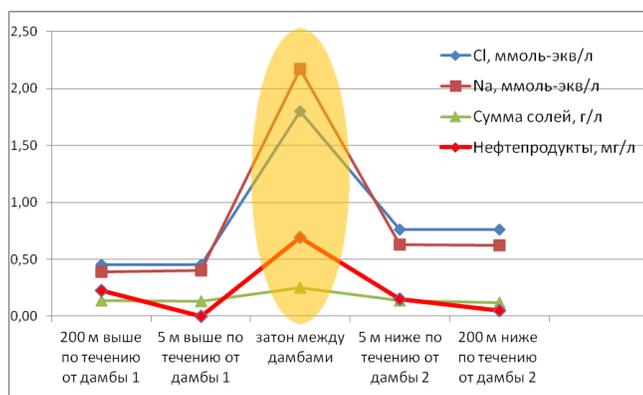


Рис.3. Химический состав воды и содержание нефтепродуктов в затоне между дамбами и за пределами дамб в протоке Малый Гусинец

Кроме нефтепродуктов, резко повышается общая минерализация воды – до 200 и более мг/л при фоновой минерализации воды в фарватере основных протоков не более 60-80 мг/л – а также содержание типично «морских»

ионов – хлора и натрия. Резкое повышение доли хлора и натрия свидетельствует о преобладании морского влияния на состав воды в затоне. Речной сток полностью перекрыт верхней дамбой. Опресненные морские воды Коровинской губы, переливаясь через замыкающую дамбу, попадают в затон во время приливно-нагонных явлений.

## Выводы

Проведенные исследования показали, что:

1. Содержание типично «морских» элементов – натрия и хлора – максимально в устье Большой Печоры и резко снижается вверх по течению.
2. Содержание натрия и хлора максимально в пределах открытых акваторий, снижаясь на отмелях морского края дельты и в крупных протоках. Минимально содержание хлора в протоке Средний Шар и в небольших внутренних протоках, не имеющих открытого выхода в морскую акваторию.
3. Из трех «химических маркеров» лучше всего индицирует степень морского влияния хлор.
4. Приливные или сгонно-нагонные явления усиливают морское влияние и могут наносить вред или даже разрушать инженерные сооружения, построенные для защиты дельты от нефтяного загрязнения.

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант НШ-5582.2012.5), грантов РФФИ №№ 11-05-00544-а, 11-05-10084-к, 10-05-10027-к, 09-05-10030-к, интеграционных программ Президиума СО РАН; в рамках научных Программ ОНЗ РАН и АНО «Губернская Академия».

## Литература

- Домбровская Е.А., Украинцева Н.Г. Гидрологические и геоэкологические исследования в дельте р. Печоры. – Материалы четвертой конференции геоэкологов России, МГУ им. М.В. Ломоносова, 7-9 июня 2011 г., т.3, ч.9 Экологические проблемы криолитозоны, М.: Университетская книга, 2011.–С. 207-214.
- Коротаев В.Н., Михайлов В.Н., Михайлова М.В. Дельтообразование в различных ландшафтно-климатических условиях. // Вестн. Моск. Ун-та, сер.5, география, 2006, №2, с.23-29.
- Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгалов В.А. Реки российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. - Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2007. – 280 с.
- Полонский В.Ф. Распределение стока воды в устьевой области Печоры и тенденция его изменения // Труды ГОИН. -1984. - Вып.172. – С.96-110.

## Моделирование процессов тепло-влажнопереноса в грунтах методом тепловых и гидравлических сопротивлений с учетом вентиляции подполья сооружений

Л.А. Дугинов, М.Х. Розовский, Н.Б. Кутвицкая, А.В. Рязанов  
ОАО «Фундаментпроект», Москва, Россия

Разработана принципиально новая комплексная программа численного моделирования тепловых и гидравлических процессов в грунтах оснований сооружений с учетом фазовых переходов «вода-лед» и «вода-пар», аэродинамики вентилируемых прослоек, излучения от надземных конструкций, тепловых источников произвольной формы и интенсивности в грунтах. Программные модули могут работать как автономно, так и в сопряженной постановке. В программе использован метод тепловых и гидравлических сопротивлений, позволяющий обеспечивать сходимость и устойчивость процесса решения.

Расчетная модель позволяет учитывать наличие в основании сооружений как «активных» конструктивных элементов (трубопроводов и нагревательных или охлаждающих устройств различного назначения и конфигурации, в том числе термостабилизаторов и нагревательных кабелей), так и «пассивных», не вносящих в основание дополнительных тепловых потоков (фундаменты, сваи, теплоизолирующие прослойки и др.). Указанные элементы, а также поверхности и границы расчетных областей, могут иметь произвольную конфигурацию и различные условия теплообмена.

В качестве граничных условий может задаваться реальный рельеф местности и конфигурация подземных частей сооружений, а также параметры источников и стоков тепла и другие особенности оснований. В расчетах также учитывается весь комплекс климатических условий (динамика температуры, направлений и скоростей наружного воздуха, снегоотложений ...).

Результаты расчетов, представляемые в табличном и графическом виде в любых точках расчетной области, включают следующую информацию:

- динамика температурно-влажностного состояния грунтовых оснований и несущей способности свайных фундаментов в процессе эксплуатации;
- значения тепловых, гидравлических и аэродинамических сопротивлений;
- расходы и скорости фильтрационных потоков;
- воздухообмен и тепловой режим в вентилируемых подпольях, каналах и т.д.

Моделирование процессов тепло- и влажнопереноса методом тепловых и гидравлических сопротивлений является одним из способов численного решения уравнений, описывающих эти процессы, и позволяет решать задачи как в установившемся (стационарном), так и в переходном режимах.

В последнем случае, за счёт условного разбиения элементарного объёма грунта на две составляющие - скелет и поровую жидкости, отпадает необходимость использования энтальпийного метода в тепловых расчётах,

включая расчёты с фазовыми переходами (в том числе учетом вытеснения солей из поровой влаги для засоленных грунтов).

Метод тепловых и гидравлических сопротивлений позволяет в трехмерной постановке не только решить сопряженную задачу тепло-, влажнопереноса в оттаивающих и промерзающих грунтах, в том числе с учетом процессов парообразования, но и на любом этапе расчета вводить источники и стоки тепла различной конфигурации и природы без снижения точности и скорости расчетов. Все это позволяет отражать реальные физические процессы, что в конечном итоге исключает расходимость итерационного метода.

Методика расчета позволяет моделировать взаимодействие полостей, по которым движется наружный воздух (вентилируемое подполье, каналы, трубы...), с грунтами оснований и рассчитывать, например, размеры продухов в цокольной части вентилируемых подполий или сечения вентилируемых труб и каналов, обеспечивающих требуемый температурный режим оснований зданий и необходимую скорость движения воздуха. Предусмотренный в программе расчет влияния процессов излучения нагретых тел на тепловое состояние грунтов оснований позволяет учесть температуру воздуха или другого продукта внутри сооружений (зданиях, резервуарах...). При интенсивном излучении, например, во время горения факела на газоконденсатных месторождениях в зависимости от формирующихся температур грунтов, помимо переходов «лед-вода», учитывается переход – «вода-пар».

Как показывает эксплуатация таких объектов, как земляные плотины, автомобильные и железные дороги, факельные установки, в регионах распространения многолетнемерзлых грунтов, процессы фильтрации, парообразования и излучения вносят существенный вклад в температурный режим грунтов основания, интенсифицируя оттаивание и осадки грунтов.

Расчеты фильтрационных процессов в надмерзлотном слое актуальны при проектировании общепланировочных насыпей, подземной прокладке «теплых» трубопроводов, водостоков под дорогами и прочими линейными сооружениями, а также при проектируемом предпостроечном оттаивании грунтов или их оттаивания во время эксплуатации сооружения.

Использование разработанного программного комплекса при проектировании повышает надежность эксплуатации сложных объектов, таких как сооружения значительных размеров в плане, в том числе с вентилируемыми подпольями, трубопроводы подземной и наземной прокладки, добывающие скважины, сооружения

аэропортов, железнодорожных станций, объекты нефтегазодобывающей промышленности.

Указанное выше, существенно повышает актуальность разработанной программы, ее использование позволяет надежно прогнозировать поведение оснований в процессе эксплуатации и разрабатывать мероприятия по термостабилизации грунтов и инженерной защите территорий, которые обеспечивают проектную несущую

способность и долговечность фундаментов, сооружений и экологическую безопасность застраиваемых территорий.

Область применения программы: расчеты оснований зданий и сооружений при проектировании, строительстве и эксплуатации в суровых природно-климатических условиях – многолетнемерзлые грунты, глубокое сезонное промерзание.

## Земляное полотно железнодорожного пути на вечной мерзлоте

П.И.Дыдышко

ОАО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ОАО «ВНИИЖТ»)

### Аннотация

Земляное полотно железных дорог в районах вечной мерзлоты воздействует на основание как «горячий» штамп. Верхняя граница многолетней мерзлоты понижается до 6 – 10 м. Неравномерные осадки происходят вследствие выдавливания слабых грунтов основания из-под насыпи. Для их устранения необходимо замораживать грунты или создавать механическую преграду выдавливанию. Разработаны и нормированы технические решения, даны предложения по стабилизации.

**Ключевые слова:** земляное полотно, железнодорожный путь, вечная мерзлота, оттаивание, осадки, пластические деформации, замораживание грунтов, удерживающие конструкции.

Общая протяженность участков железных дорог общей сети, расположенных в районах вечной мерзлоты, составляет свыше 5 тыс.км. Они находятся в эксплуатации от ста до тридцати лет. После устройства земляного полотна и укладки верхнего строения пути изменяются условия теплообмена. Независимо от толщины слоя минерального грунта, размещенного на поверхности, происходит понижение верхней границы вечной мерзлоты (рис.1). Это

является результатом повышения температуры поверхности в период оттаивания за счет отсутствия затенения и испарения влаги растительностью, а также быстрого оттаивания вследствие низкой влажности грунта насыпи по сравнению с грунтами основания (скрытой теплоты плавления льда). Поверхность дренирующего грунта и обводненная поверхность нагреваются в несколько раз выше чем в естественных условиях (соответственно от 4 до 16°С и от 0,4 до 6°С в дневном цикле).

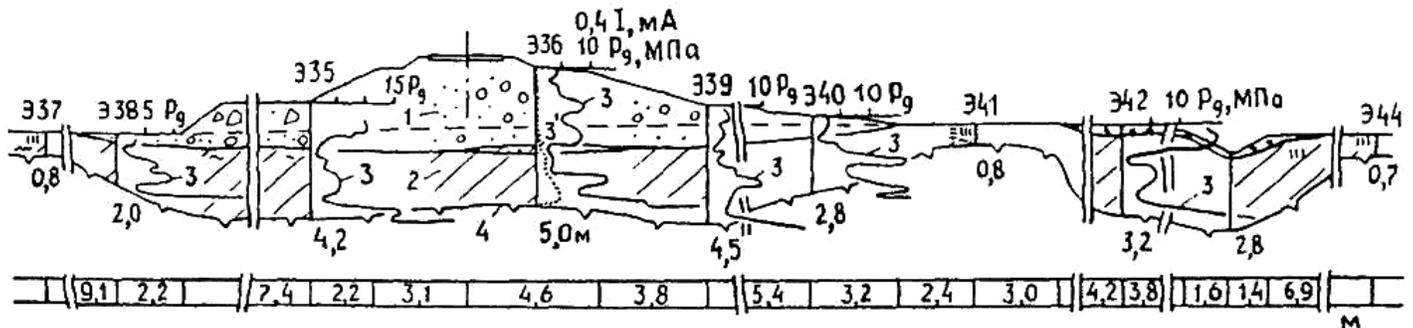


Рис.1. Инженерно-геологический разрез оседающей насыпи на мари: 1 – дренирующий грунт насыпи; 2 – глинистый грунт основания; 3 – условное динамическое сопротивление  $P_d$ ; 3' – сила тока  $I$ ; 4 – верхняя граница вечной мерзлоты

Таким образом, земляное полотно воздействует на вечномерзлые грунты основания как «горячий» штамп. Верхняя граница вечной мерзлоты (ВГВМ) в пределах зоны с нарушенным температурным режимом опускается до 6 – 10 м от верха насыпи. Сезоннопромерзающий слой не смыкается с ВГВМ, в земляном полотне и основании формируется талик. Под насыпью температура вечномерзлых грунтов повышается примерно до минус 1°С.

Такая мерзлотно-грунтовая ситуация характерна для южной части геокриолитозоны в восточных и северных районах страны. На отдельных участках (например, Ноябрьск-Коротчаево Свердловской железной дороги) в насыпи и основании мерзлые грунты не зафиксированы.

При понижении ВГВМ вытаивают ледяные включения в грунте (рис.2). Как следствие вытаивания льда реализуется начальная просадочность. Затем в течение десятилетий (длительная просадочность) за счет

выдавливания талых глинистых грунтов основания, находящихся в текучем – текучепластичном состоянии, происходят осадки и расползания насыпи (рис.3).

Протяженность участков с осадками насыпей на железных дорогах составляет свыше 800 км. Из этой протяженности 75% приходится на Дальневосточную железную дорогу, 13% – на Восточно-Сибирскую и 6% – на Северную, остальные 4% и более 1% – соответственно на Забайкальскую и Свердловскую. Средняя протяженность одного деформирующегося места составляет 400 м.

Под насыпным, как правило, дренирующим грунтом экспериментально с использованием геофизического метода электроконтактного динамического зондирования, ЭДЗ, установлен слой грунтов основания, находящихся в текучепластичном – текучем состоянии. Толщина его составляет 0,1 – 0,3 м. Модуль деформации этих грунтов не достигает и 10 МПа (Технические

указания ЦПИ-36), что характеризует их как слабые. Ниже идут более прочные грунты. Такая ситуация характерна для всех видов глинистого грунта независимо от его начальной просадочности. Избыточному увлажнению оттаивающих грунтов способствует миграция пленочной влаги в капиллярах под действием открытого неизвестного ранее термоэлектрокинетического явления – термоэлектрокинеза (сайт Thermoelectrokinesis.ru). При наличии температурного градиента в пленочной влаге (двойном электрическом слое) возникает разность электрических потенциалов, и влага перемещается (мигрирует) к более холодной стороне. На фронте (границе) сезонного оттаивания грунта значение температурного градиента достигает  $4^{\circ}\text{C}/\text{м}$ .

Отдельные части (элементы) насыпи перемещаются вниз и в стороны от оси земляного полотна (см. рис.3), в том числе с разрывом сплошности – образованием трещин шириной до 30 см и более (рис.4). Неравномерные осадки насыпей достигают 100 – 300 мм в год. Примерно 1/3 годовой осадки приходится на ноябрь – декабрь. Феномен обусловлен изменением направленности градиента температуры и потоков мигрирующей влаги из талого переувлажненного слоя к фронту промерзания. За зимний период происходит морозное пучение до 30 – 50 мм.

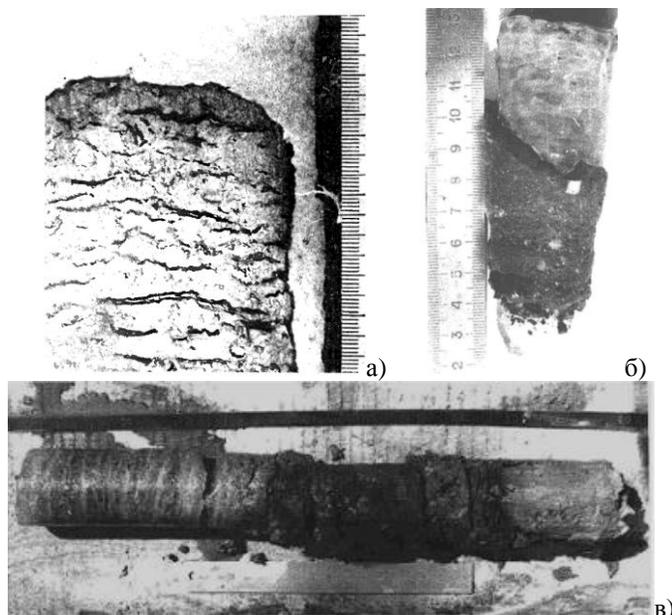


Рис.2. Прослои сегрегационного льда в суглинке (а), в суглинке с дресвой (б) и пласт льда толщиной 3,2 м на контакте с заторфованным суглинком (в)

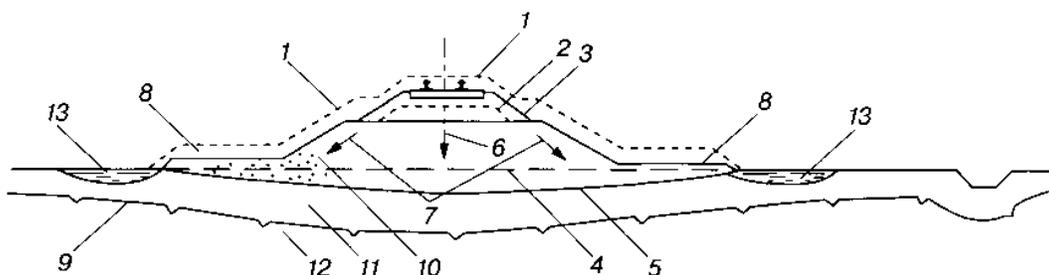


Рис.3. Осадки и расползание насыпи на оттаивающих вечномерзлых грунтах: 1 – построечное положение земляного полотна и балластной призмы; 2 – то же после осадки; 3 – то же после исправления пути его подъемкой; 4 – подошва насыпи в построечном состоянии; 5 – то же после осадки; 6 – направление перемещений центральной части насыпи; 7 – то же боковых; 8 – бермы; 9 – верхняя граница вечной мерзлоты; 10 – дренирующий грунт насыпи; 11 – глинистые грунты основания в талом состоянии; 12 – то же в мерзлом; 13 – понижения, заполненные водой



Рис.4. Перемещающаяся часть насыпи с трещинами на обочине

При ненарушенной поверхности основания тепловое воздействие насыпи распространяется примерно на 2 м от ее края.

В местах с засыпанной минеральным грунтом поверхностью ВГММ опускается (см. рис.1). Аналогичная деградация мерзлоты происходит при обводнении

поверхности. Устроенные бермы шириной 3 м с обеих сторон насыпи (до 20% стоимости земляного полотна) и повторная нарезка водоотводных канав с предварительной засыпкой их дренирующим грунтом, приводят к увеличению ширины зоны с нарушенным температурным режимом и обводнению по всему ложу протаивания, изменяющему естественную гидрологическую и гидрогеологическую сеть.

Оттаиванию способствует также отсутствие водопропускных сооружений в местах естественных понижений рельефа (на восточном участке Северного широтного хода до 1/3 их общего количества), что приводит к застоям воды и ее фильтрации через насыпь.

При проектировании и строительстве допущено устройство мостов и труб вне естественных водотоков с пересыпанием их насыпями и отводом русел.

С учетом полученного негативного опыта нормами СТН Ц-01-95 «Железные дороги колеи 1520 мм» предусмотрено проектирование водопропускных

сооружений во всех естественных понижениях профиля, а на слабосточных участках – через 500 м, пересыпание водотоков насыпями с отводом русел не допускается. На участках со сложными мерзлотно-грунтовыми условиями (относительная осадка более 0,1, термокарст, подземные льды до глубины 4 м от поверхности) следует сохранять грунты в вечномерзлом состоянии.

Наличие экспериментально установленного слабого слоя грунтов под подошвой насыпи и бERM является основной предпосылкой (причиной) проявления здесь реологических процессов (пластического течения грунта) и неравномерных осадок насыпи.

Осадки и расползания насыпей в наибольшей мере проявляется на моховом, травянисто-кочковом слабосточном основании. Насыпи, расположенные в местных понижениях, имеющих форму медальонов размером 200 – 500 м с угнетенными деревьями (до 3 м) и окаймленных крупным смешанным лесом, особенно подвержены неравномерным интенсивным осадкам. Такие понижения характерны для всех рассматриваемых регионов вечной мерзлоты.

Для устранения деформаций в соответствии с установленной причиной их проявления необходимо поднять мерзлоту в откосной зоне насыпи или создать механическую преграду выдавливанию грунта.

Для замораживания оттаивающих грунтов применены длинномерные термосифоны, нормируемые Техническими указаниями ЦПИ-40, (267, 489 кмкм Ноябрьск-Коротчаево), рис.5, тепловая изоляция из пенопласта (211, 212 кмкм Тында - Беркакит), рис.6, торф и другие способы теплового регулирования. Выполнено математическое и физическое моделирование. Осадки насыпей интенсивностью до 300 мм полностью устранены. Слабые грунты перешли в мерзлое состояние. Достигнуты минусовые температуры грунта при замораживании длинномерными термосифонами (рис.7). Под средней частью слоя пенопласта шириной 6 м глубина оттаивания через 4 года составляла 2,7 м, через 18 лет – 2,8 м, температура грунта на глубине 6 м (глубина оттаивания без пенопласта) была равна соответственно минус 0,4 и минус 0,6°C (данные получены совместно с Мерзлотной станцией Центра ИССО).



Рис.5. Вид термосифонов при эксплуатации в зимний период



Рис.6. Тепловая изоляция из пенопласта: а) в процессе укладки, б) при эксплуатации

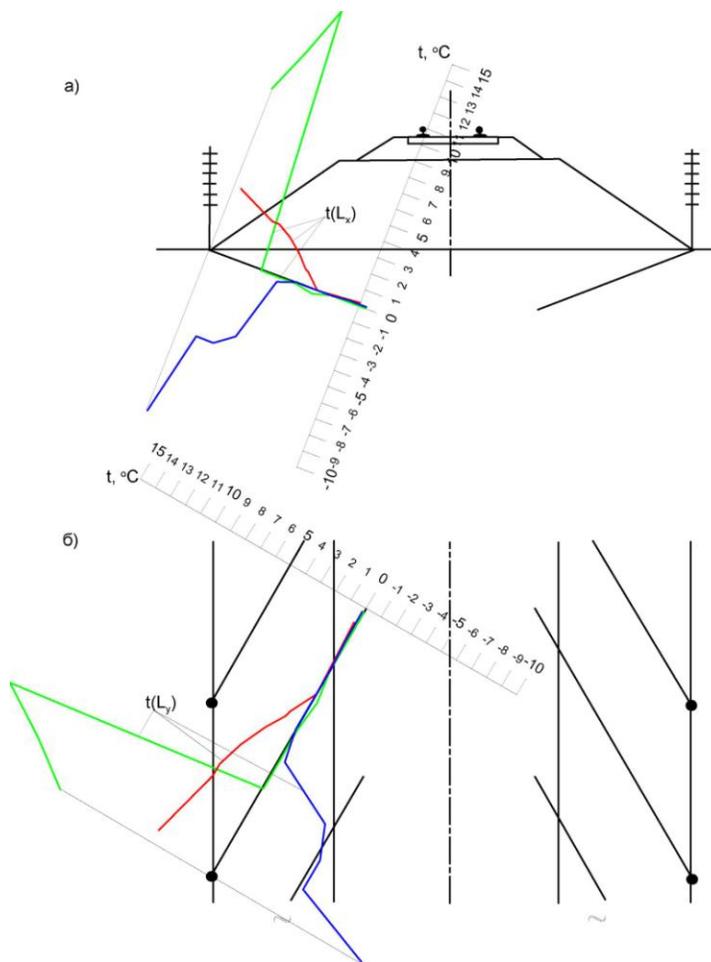


Рис.7. Графики распределения температуры в термоскважине 1 т по длине термосифона: а) в поперечном разрезе; б) в плане; зеленый – сентябрь 2005 г.; красный – сентябрь 2006 г.; синий – октябрь 2006 г.

В качестве механической преграды нормируется использование удерживающих конструкций из гофрированных листов (ЦПИ-38). Также получен патент на изобретение. 2374392. Способ стабилизации насыпи удерживающими конструкциями из стальных гофрированных листов. 19.05.2008.

Для стабилизации земляного полотна на вечной мерзлоте потребуется устраивать не менее 25 км противодеформационных конструкций в год. Ежегодные капитальные вложения следует предусматривать в объеме 200 – 300 млн. руб. в течение 30 – 40 лет.

## О необходимости создания геоинформационной геокриологической системы.

М.Н. Железняк

*Институт мерзлотоведения им П.И. Мельникова СО РАН, Россия Федеральное государственное бюджетное учреждение*

Понятие причин и особенностей формирования криолитозоны планеты и отдельных регионов, невозможно без наличия систематизированной информации, а точнее сказать продуманной и разработанной специалистами информационной системы.

Геолого-геофизическая и геокриологическая информация о недрах, накопленная за более чем за 100-летнюю историю освоения природных богатств и научных исследований в настоящее время оказалась рассредоточенной по десяткам различных организаций. Это не могло не отразиться на сохранности информации, её качестве и доступности.

По данным статистических исследований установлено, что при отсутствии единой системы управления информационными ресурсами: от 5 до 10 % данных ежегодно теряется из-за неправильного учёта и несоблюдения условий хранения; качество данных в местах их традиционного хранения либо не известно, либо не отвечает современным требованиям; от 60% до 80% рабочего времени теряется на поиск, проверку и подготовку необходимой информации.

Внедрение современных информационных технологий позволяет решить вопросы надёжного долговременного хранения и управления данными, а также обеспечение оперативного доступа пользователей к необходимым информационным ресурсам.

Если имеющиеся данные единичны, то работа с ними упрощается, а если этот массив насчитывает сотни и даже тысячи измерений, сразу встает вопрос о их обработке, хранении и анализе. Несомненно, создание компьютерной базы данных (БД) с возможностью вести оперативную работу с большим массивом материалов, их статистической и аналитической обработкой, является в настоящее время наиболее приемлемым решением в формировании знаний о криосфере, и позволяет на более высоком уровне подойти к решению научных, технических, социальных и экономических проблем регионов. Базы данных должны стать основой при разработке проектных решений инженерных объектов, способствовать научному поиску и образовательному процессу.

В настоящее время ни в России, ни за рубежом нет завершённых геокриологических баз данных (ГБД). В начале 1990 г. Международная ассоциация по мерзлотоведению выступила с инициативой создания Всемирной геокриологической базы данных (ВГБД) и Российский национальный комитет по мерзлотоведению поддержал это решение. В 1995 году в Институте мерзлотоведения СО РАН были начаты работы по разработке структуры геокриологической базы данных. В соответствии с разработанными положениями была предложена трехуровневая структура [Балобаев и др.,

1996]. Лаборатория геотермии Института мерзлотоведения СО РАН в рамках инициативного проекта начала формирование третьего уровня - базы фактических данных, включающих в себя структурированную мерзлотно-геотермическую информацию. В процессе работы, появились новые решения, изменения в структуре базы. В настоящее время завершается формирование геокриологической базы данных Сибирской платформы, которая может являться примером или рабочей моделью для разработки Всемирной геокриологической информационной системы.

Работа по формированию геокриологической базы данных Сибирской платформы (ГБДСП) направлена на систематизацию геотеплофизической информации, в основу которой положены первичные данные по техническо-географическим сведениям выработок, температурному режиму и теплофизическим свойствам горных пород. На основе этих данных возможна аналитическая работа по выявлению особенностей и закономерностей распространения многолетнемерзлых пород, их свойствам по участкам, месторождениям, орографическим областям, геоструктурам [Железняк, 2011]. С этой целью в настоящее время созданы:

1 – банк данных по физико-географическим и техническим сведениям горных выработок, в которых проводились геотеплофизические исследования. В данном банке обобщена информация по 35 пунктам, в том числе приведены температурные данные на реперных глубинах, полученные непосредственно измерениями или расчетным путем.

2 – банк региональных данных по теплофизическим свойствам, которые в настоящее время включают в себя набор теплофизических и физических характеристик горных пород;

3 – банк первичных данных по температурным измерениям в горных выработках.

Геокриологическая база данных Сибирской платформы может рассматриваться как элемент Всемирной геокриологической базы и как самостоятельная база. В основе её систематизации заложен геолого-структурный принцип (рис.1). Структурами 1-го порядка являются Алданская, Анабаро-Оленекская, Байкитская, Непско-Ботуобинская антеклизы, Вилюйская, Тунгусская, Присяяно-Енисейская синеклизы, Лено-Анабарский, Предверхоанский, Предпатомский, Нижнее-Тунгусский прогибы, Катангская седловина, Иркутский свод и Енисейский массив. К структурам 2-го и 3-го порядков отнесены более мелкие структуры: Алдано-Становой щит, Анабарский массив, Оленекский свод и др. Далее районирование может осуществляться по тому же геоструктурному или геоморфологическому принципам.

Структурами 4-го порядка являются участки, на которых выполнены геокриологические исследования.

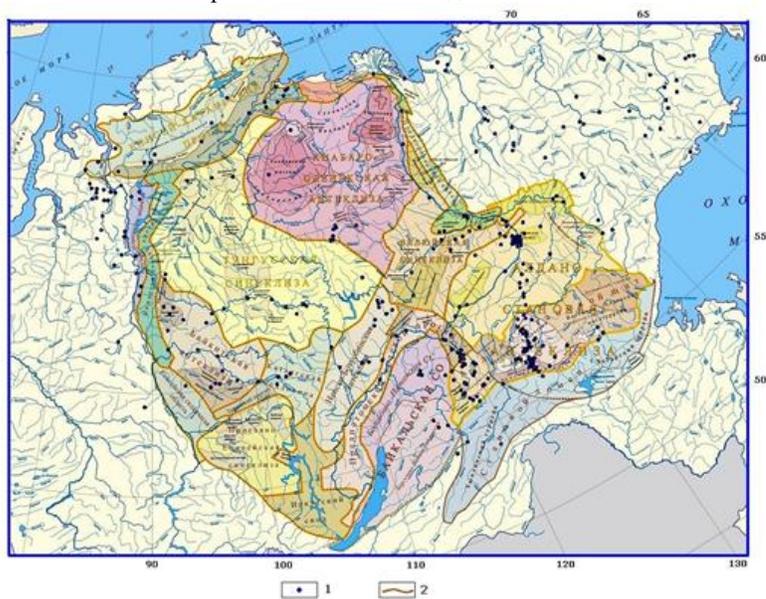


Рис.1. Схема геоструктурного районирования Сибирской платформы.

1- участки мерзлотно-геотермических исследований; 2 – границы геоструктур.

В настоящее время в базе данных Сибирской платформы собран материал по 200 участкам (около 2400 горных выработок). Работа с базой данных позволяет вести просмотр имеющейся информации в табличном и графическом вариантах, выборку интересующих данных, её статистическую обработку.

База данных Сибирской платформы создана с использованием многофункциональной системы DELPHI и процессора баз данных Borland Database Engine (BDE), в качестве стандартного языка является SQL - структурированный язык запросов (Structured Query Language). Он позволяет создавать реляционные базы данных, представляющие собой набор связанных данных, хранящихся в таблицах, и оперировать ими. Для реализации запросов в Delphi существует специальный компонент TQUERY, который обладает рядом свойств и методов, позволяющих использовать все преимущества запросов SQL для работы с данными. Это дает возможность манипулировать большими выборками информации [Железняк, 2005].

Настоящая система является только начальным этапом создания Всемирной геокриологической информационной системы. В дальнейшем она должна пополняться информацией из различных источников и организаций, её создателями могут и должны стать все мерзлотоведы планеты. Мировому геокриологическому сообществу необходимо подумать и взяться за координацию создания этой системы, в которой основными целями на наш взгляд будут являться:

- Обеспечение, централизованного учёта и надёжного хранения накопленной за годы освоения региона первичной геокриологической информации, а также получаемых современных данных;
- Обеспечение унифицированных форматов хранения и выдачи данных, их полноту и качество, организация оперативного регламентированного доступа потребителей к ресурсам ГБД посредством современных информационных технологий;
- Создание информационной основы для формирования целостной системы управления и регулирования обменом информацией при организации научных проектов и вопросов природопользования;

Несомненно, формирование единой геоинформационной системы будет осуществляться на территориальной (государственной) основе. Однако центром и активным инициатором должен стать Международный комитет, который и может взять на себя координацию и помощь в продвижении проектов в странах, их интеграцию в научных исследованиях.

Создание такой информационной системы необходимо осуществить в ближайшее время и это должно быть одной из первоочередных задач мерзлотоведов. Все замечательные региональные обобщения о криолитозоне выполненные нашими коллегами и учителями в прошлом веке требуют дополнения и осмысления на это есть множество причин. Совершенно очевидно, что с внедрением компьютерных технологий аналитические возможности стали намного шире и это позволит расширить и повысить достоверность сведений и криолитозоне планеты, выявить новые региональные особенности и закономерности её развития.

Создание региональных геокриологических баз данных в настоящее время является необходимостью, и не может осуществляться в рамках сугубо инициативных программ, а требует поддержки и внимания со стороны Международного комитета. Это позволит, придав статус программе, активизировать работу территориальных центров и будет серьезным шагом в создании подобной системы

## Литература

- Балобаев В.Т., Алексеева О.И., Железняк М.Н., Шац М.М. Создание геокриологической базы данных Якутии. // Материалы первой конференции геокриологов России. М.: Изд-во МГУ, 1996. - Кн. 1. - С.93-100.
- Железняк М.Н. Геотемпературное поле и криолитозона юго-востока Сибирской платформы. Новосибирск. Наука, 2005. 228с.
- Железняк М.Н. Геокриологическая база данных Сибирской платформы// Материалы всероссийской конференции «Рельеф и экзогенные процессы гор» Иркутск, Изд-во ИГ СО РАН, 2011 г. С. 100-103.

## Этапы оледенений в формировании геоморфологических форм рельефа Южного Верхоянья

В.И. Жижин, С.И. Сериков, И.Е. Мисайлов  
Институт Мерзлотоведения им.П.И.Мельников, г.Якутск, Россия

### Аннотация

Приведена краткая характеристика формирования рельефа Южного Верхоянья. Показаны этапы развития горнодолинных оледенений на различных гипсометрических уровнях. Рассмотрены тектонические факторы и их последовательность, выраженная в горном рельефе.

В конце мелового периода на юге Верхояно-Колымской складчатой области в результате коллизионных событий произошло формирование Верхоянского орогенного пояса, включающего и Южно-Верхоянский сектор Верхоянского складчато-надвигового пояса. С этого времени, в течение длительного периода, в условиях континентального режима на обширных площадях Южно-Верхоянского сектора шли геодинамические процессы, которые влияли на образование древнего пенепленизированного рельефа и горной системы, существующей в настоящее время. [Парфенов и др. 2001].

В северной части Южно-Верхоянского сектора Верхоянских гор расположены отроги хребта Сунтар-Хаята. Это главнейшая орографическая структура, которая служит узловым пунктом геоморфологического районирования. Абсолютные отметки отдельных горных вершин достигают 2200 м (г.Атласова), но большая часть расположена на высотах 1850-1950 метров.

В формировании современного, облика рельефа этой территории существенное значение имели климатические условия, формировавшие крупные ледники. Ледниковые формы рельефа здесь прослеживаются повсеместно. Наиболее отчетливо их подчеркивают долины крупных рек, которые имеют троговые формы. (рис.1).



Рис.1. Троговая долина р. Восточная Хандыга.

Изучение морфологии и генезиса вершинного рельефа альпийского района позволило предположить существование на этой территории единой поверхности выравнивания доплиоценового возраста [Коростелев 1982]. В неоген-четвертичное время она была поднята слабо дифференцированными движениями. Амплитуда поднятия в разных тектонических блоках была не одинакова.

Реликты доплиоценового пенеплена выделяются как первый ярус рельефа хребта Сунтар-Хаята.

Для второй поверхности выравнивания определение времени ее образования тоже затруднено. Обычно

исследователи по ряду косвенных признаков относят ее к позднечетвертичным образованиям и связывают с первой фазой горно-долинного оледенения этого времени.

На водоразделах Восточная Хандыга—Некучан, Некучан—Харчан, а также в верховьях руч. Лагерь хорошо сохранились следы экзарационной деятельности ледников на второй поверхности выравнивания, в том числе остатки «верхнего трога», прорезанного современной речной сетью на глубину свыше 300 м.

Выделяется в районе и третий ярус рельефа, который составляют днища крупных речных долин (р. Восточная Хандыга, рч. Сеторым, рч. Кюрбелях).

Изучение поверхностей выравнивания и анализ полученных результатов позволили определить амплитуды (и скорости) новейших тектонических движений и сформировать модель тектонического рельефа территории. Методика этого определения исходит из того, что каждая поверхность выравнивания в момент своего формирования горизонтальна или полого наклонена к базису денудации. Последующие движения отражаются в деформации этой поверхности.

На основании выполненных исследований и интерпретации полученных результатов сделаны следующие выводы:

1) трем поверхностям выравнивания района соответствуют три яруса рельефа; усредненная абсолютная отметка верхнего яруса составляет 2000 м, среднего яруса—1600 и нижнего яруса - около 1000 м (рис 2);



Рис.2. Гора Домохотова (абс. отм. 1800м). Поверхность выравнивания в средней части склона на уровне 1600м.

2) средняя высота склонов и уступов, разделяющих ярусы рельефа, составляет соответственно 400 и 500 -600 м;

3) современные абсолютные отметки всех поверхностей выравнивания обязаны восходящим движениям и денудации и не связаны с оледенением, так как

материкового оледенения здесь не было, а горно-долинные его формы не влияли на гипсометрию ярусов рельефа;

4) верхняя поверхность наклонена на север, средняя почти горизонтальна, а нижняя наклонена к западу, северо-западу;

5) возраст древней (исходной) поверхности выравнивания условно позднемеловой-палеогеновый, средней поверхности - средне-позднечетвертичный, а нижней - современный;

6) неотектонические и современные движения вызвали некоторый перекося поверхности выравнивания вследствие перемещения базиса денудации, вероятно, с севера на запад, северо-запад. Факт такого перекося подтверждается и существованием переметных ледников, (в верховьях рек Кобюма, Оганья, Дыбы и др.), где в средне-позднечетвертичное время ледники, изменяя направление, двигались то на северо-запад, то на юго-восток, то на юг.

Большинство исследователей Южного Верхоянья в истории развития региона выделяют два периода оледенения. Среднечетвертичное было максимальным и в ряде районов имело полупокровное распространение, а второе, позднечетвертичное оледенение имело меньшую площадь распространения и образовано было в горно-долинных условиях.

Первое оледенение оставило свои следы в наиболее приподнятых местах района (на отметках свыше 1600 м), где встречаются; эрратические валуны, обработанные ледником перевальные седловины, днища «верхних» трогов, фрагменты разрушенных каров, цирков и т.п. Ледниковые морены этого оледенения в районе практически не сохранились, за исключением верхнего и среднего течения руч. Сеторым, где среднечетвертичный трог вложен в трог последующего оледенения, причем на 40-60-метровой террасе сохранились и незначительные моренные образования первого оледенения.

По рисунку распределения эрратических валунов прослеживается, что ледники среднечетвертичного времени двигались в северном и западном направлениях, а их относительно широкое площадное распространение доказывалось многочисленными экзарационными микроформами рельефа, с различной степенью сохранности на верхней поверхности выравнивания. Областью генерации региональных ледников среднечетвертичного времени был, вероятно, хребет Сунтар-Хаята, откуда ледники двигались в разные стороны, в том числе к западу и северо-западу. Местные же ледники формировались в более высоких южных и восточных частях района, откуда они перемещались в низкие его участки. Одним из таких центров местного ледника было ледосборное поле в истоках рек Дыбы, Оганья, Керехтях и Угамыт.

Позднечетвертичное оледенение было в районе типичным горно-долинным и происходило в близкой к современной горной обстановке. Его следы сохранились значительно полнее и установлены практически повсеместно. Экзарационные формы рельефа этого оледенения довольно «свежие», они четко устанавливаются на местности и дешифрируются на космоснимках. Судя по высотным отметкам, плеча ледникового трога в долине р. Вост. Хандыга, мощность позднечетвертичного ледника здесь достигала 400 м. Аккумулятивные формы рельефа и другие следы деятельности этого оледенения столь же распространены в районе. Они представлены холмами боковой и донной морен, ледниковыми отложениями, слагающими

поверхности высоких и средних террас района. Наиболее заметны участки холмисто-моренного рельефа при слиянии реки Восточная Хандыга с реками Кюрбелях и Сеторым. Максимальное распространение они имеют вблизи Алдано-Индибирского водораздела, где занимают площадь в десятки квадратных километров.

С последним оледенением связаны также многочисленные кары и цирки, троговые формы долин многих мелких водотоков. Часто они являются сквозными долинами в истоках и висьями в устьевых частях, например, висьяе долины ручьев Север и Сквозной, а также и других левых притоков рч. Кюрбелях.

Кроме того, второе оледенение позднечетвертичного времени обусловило интенсивную экзарационную деятельность ледников горно-долинного типа, которые уничтожили почти все предшествующие моренные и аллювиальные отложения, а после своего отступления всюду оставили ледниковые отложения. С ледниками этой эпохи связаны имеющиеся в районе участки холмисто-моренного ландшафта, многочисленные сквозные ледниковые долины, котловины спущенных и ныне существующих озер и т. д.

В настоящее время сводовое воздымание территории продолжается. Это подтверждается деформацией террас различных уровней, глубиной эрозией, обилием щеток, порогов и водопадов в долинах водотоков, значительными вертикальными (и горизонтальными) смещениями по неотектонически активизированным разломам, образованием висьяе долин при сползании со склонов от сейсмических сотрясений гравитационно неустойчивых пород и другими признаками. Общее воздымание территории в четвертичное время оценивается в 900—1500 м, а за всю стадию орогенеза не менее 1200—2200 м.

В завершение отметим, главная рельефообразующая роль принадлежит тектоническим факторам, ледниковой деятельности и эрозионным процессам, обусловленным значительными годовыми и даже суточными температурными перепадами. Все они продолжают оказывать влияние на современное моделирование рельефа.

Выявленные дешифровочные признаки позволяют точно определить экзогенно-геологические (криогенные) образования (бугры пучения, термокарстовые западины, солифлюкционные террасы, полигональные системы и др), а также (полюньи, наледи).

Признаки тарынов или наледей сохраняются и после их полного оттаивания. На космоснимках они выделяются по составу и цвету поверхности, по положению в рельефе и растительному покрову. Обычно это расширенная русловая отмель или низкая пойма, выстланная галечником, вследствие вымывания мелкой фракции (песков и более мелкой фракции)/

## Литература

- Коростелев В.И. Геология и тектоника Южного Верхоянья. – Новосибирск, Наука, 1982. 216 с.  
Парфенов Л.М. и др. Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики Саха (Якутия). – М.: МАИК, Наука/интерпериодика, 2001. 571 с.

## Повышение защитно-коррозионной стойкости нефтепромыслового оборудования в условиях Севера с помощью электролитических покрытий Zn-Ni

И.Г. Жихарева, А.А. Ракашов, В.В. Шмидт

Тюменский Государственный Нефтегазовый Университет, г.Тюмень, Россия

Главным назначением электролитических покрытий сплавом Zn-Ni защита стальных конструкций от коррозии в солевой среде и морской воде. Чтобы обеспечить высокие антикоррозионные свойства покрытие должно быть плотным, равномерным по толщине, обладать скоростью коррозии, близкой к нулю.

Повышение коррозионной стойкости покрытий на основе цинка с одновременным сохранением его электроотрицательности по отношению к защищаемому металлу (стали) может быть достигнуто легированием цинка на катоде металлами, способными образовывать с Zn интерметаллические соединения.

К их числу относится никель, кобальт, железо. Особенно перспективно на практике использование в качестве легирующего компонента никеля, т.к. кобальт более дефицитен, а сплав Zn-Fe обладает повышенной хрупкостью.

В литературе представлены данные, относящиеся в основном к гальваноосадкам Zn-Ni, представляющих собой фазу твердого раствора никеля в цинке ( $\alpha$ -Zn), либо фазу твердого раствора цинка в никеле ( $\beta$ -Ni).

Максимальная коррозионная стойкость характерна для сплавов, содержащих 18-25 вес % никеля.

Целью данной работы было исследование влияние условий электролиза (катодной плотности тока) и состава электролита (органических добавок) на фазовый состав Zn-Ni электроосажденных сплавов.

Осаждение проводилось из хлоридно-аммиакатных электролитов в присутствии аминокислот с разным положением заместителей (о-АБК, м-АБК, и п-АБК) при  $t = 25^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 6,5$ .

Содержание Ni в сплаве определяли спектрофотометрическим методом по величине оптической плотности раствора, цинка – по разности навески сплава на анализ и привеса никеля.

При низкой катодной плотности тока  $i_k$  (0,3 - 2,0 А/дм<sup>2</sup>) на катоде формируются сплавы Zn-Ni (85-98 Zn), представляющие собой фазу твердого раствора  $\alpha$  – Zn с параметрами  $a = 0,270$  нм;  $c = 4,99$  нм.

На предельных токах  $i_k$  (50 - 75 А/дм<sup>2</sup>) покрытие представляет собой 2-х фазные осадки  $\alpha$  – Zn +  $\beta$  – Ni.

Наибольшее содержание фазы  $\beta$  – Ni наблюдалось для сплавов в присутствии м – АБК.

При средних  $i_k$  (5 - 7,5 А/дм<sup>2</sup>) на катоде формируются однофазные осадки, представляющие собой интерметаллид Ni<sub>5</sub>Zn<sub>21</sub>.

Состав хлоридамммиакатного электролита осаждения для сплава Zn-Ni обеспечивал диффузионные ограничения при разряде ионов Zn, о чем косвенно свидетельствовала неравномерность микрораспределения массы осадка.

Однако химический состав покрытия по микропрофилю, согласно данным микрорентгеноспектрального анализа, оставался практически постоянным, что возможно связано с изменением скорости осаждения никеля.

При электроосаждении сплава Zn-Ni цинк определяет распределение скорости осаждения легирующего компонента.

Этот факт свидетельствует об образовании химического соединения с определенным соотношением компонентов.

Рентгеноструктурным методом анализа показано, что образование интерметаллида Ni<sub>5</sub>Zn<sub>21</sub> ( $\gamma$  – фаза) происходит в присутствии всех 3-х добавок с различным положением заместителей.

Данная фаза имеет искаженную структуру примитивной кубической решетки типа латуни I – 43m.

Параметры кристаллической решетки покрытий, полученных в присутствии о – АБК и м – АБК практически совпадают с  $\alpha$   $\gamma$  – фазы диаграммы состояния [Хансен, Андерко 1962].

Значение  $a$  для п – АБК ( $\gamma$  – фаза) завышено и составляет 0,8976 нм. Установлено, что наиболее плотные, ровные, однородные по составу покрытия получаются в присутствии п – АБК.

Объяснение появлению интерметаллида Ni<sub>5</sub>Zn<sub>21</sub> при введении в раствор электролита аминокислот связано с процессом образования циклических комплексов с межмолекулярными водородными связями (о – АБК и м – АБК) и линейных ассоциатов (п – АБК) [Жихарева 2006].

В последнем случае образующиеся в двойном электрическом слое комплексы п – АБК с ионами металлов приводят к резкому торможению разряда Ni<sup>2+</sup>.

Содержание никеля в сплаве минимальное (7,5 вес. %). Увеличение параметра кристаллической решетки Ni<sub>5</sub>Zn<sub>21</sub> (п – АБК) вызван значительными внутренними напряжениями сжатия.

Найдены условия для получения Zn-Ni сплавов с выходом по току, близким к 100%, содержащих 19 вес. % Ni.

Коррозионная устойчивость и микротвердость полученных осадков в 3,5 – 4,5 раза превышают таковые для чистых цинка и кадмия.

Таким образом катодная плотность тока способствует изменению фазового состава сплава Zn-Ni, добавки АБК улучшают однородность покрытия по химическому составу и равномерности по толщине.

На основании проведенных исследований рекомендовано использовать покрытия сплавом Zn-Ni ( $\gamma$  – фаза, [Zn] = 85 масс. %,  $i_k = 7,5$  А/дм<sup>2</sup>,  $t = 80^\circ\text{C}$ , добавка МЭА) для защиты нефтяного оборудования на Шельфах Тюменского Севера.

### Литература

- Хансен М., Андерко К. Структура двойных сплавов. - М.: Металлургиздат, 1962. Т.2. С. 1122-1124.  
Жихарева И.Г., Шестаков М.А., Щипанов В.П., Прогнозирование условий образования интерметаллида Ni<sub>5</sub>Zn<sub>21</sub> // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2006. Т. 49. Вып. 12. С. 62-66.

## Время жизни переохлажденной воды в водонасыщенном монтмориллоните

А.Г. Заводовский

*Институт криосферы Земли СО РАН, г. Тюмень*

М.Ш. Мадыгулов

*Институт криосферы Земли СО РАН, г. Тюмень*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень*

### Аннотация

В интервале температур  $-8...-3^{\circ}\text{C}$  экспериментально определены времена ожидания начала спонтанной кристаллизации переохлажденной воды в монтмориллонитовой глине с влажностью 340 %. Для серии идентичных образцов построены гистограммы распределения числа опытов по временам ожидания начала кристаллизации воды. Определены средние значения времен жизни переохлажденного состояния воды в исследуемых образцах глины монтмориллонита.

**Ключевые Слова:** Монтмориллонит; Незамерзшая Вода; Нуклеация; Переохлаждение; Фазовый Переход.

### Введение

При оценке прочностных и теплофизических свойств мерзлых грунтов необходимо учитывать наличие в них незамерзшей воды, количество которой может меняться даже при неизменных внешних условиях [Еришов, Акимов 1979]. Получено, что равновесное содержание незамерзшей воды  $W_{нз}(T)$  устанавливается не сразу же после достижения температуры образца, равной температуре окружающей среды, а спустя некоторое время [Чистотинов 1973]. Вследствие целого ряда причин [Гречищев и др. 1980] время установления равновесного фазового состава воды в изотермических условиях меняется в широких пределах и зависит от влажности, дисперсности и химико-минералогического состава среды [Нестеров и др. 1984].

Для корректного определения величины  $W_{нз}(T)$  и обоснования критериев подбора при установлении соответствия результатов лабораторных и полевых измерений параметров мерзлых грунтов, актуальна задача получения информации о характерных временах процессов, определяющих механизм установления равновесного содержания незамерзшей воды.

Прогнозируя высокую вероятность длительного существования метастабильной воды в сильно влажных грунтах при небольших переохлаждениях, что в конечном итоге предопределяет их морозное пучение, в качестве объекта исследования преднуклеационных явлений в высокодисперсных средах использованы водонасыщенные образцы глины монтмориллонита.

### Материалы и методика проведения опытов

Образцы глины необходимой влажности готовили при комнатной температуре путем тщательного перемешивания сухого пылевидного порошка монтмориллонита с водой до получения пластичной массы однородной консистенции в процессе добавления необходимого количества воды небольшими порциями. Для завершения процесса набухания глины и достижения равномерного распределения в ней воды по всему объему,

глину помещали в эксикатор и выдерживали над водяной баней в течение нескольких часов.

Перед началом эксперимента приготовленной глинистой массой заполняли алюминиевые бюксы радиусом 10 мм с высотой заполнения не превышающей 20 мм. Затем в центре исследуемого образца устанавливали рабочий спай дифференциальной термопары и бюксы тщательно герметизировали. После помещения бюкса с образцом глины в термостат с заданной отрицательной температурой (рис.1) в автоматическом режиме регистрировалась температура образца и текущее время эксперимента.

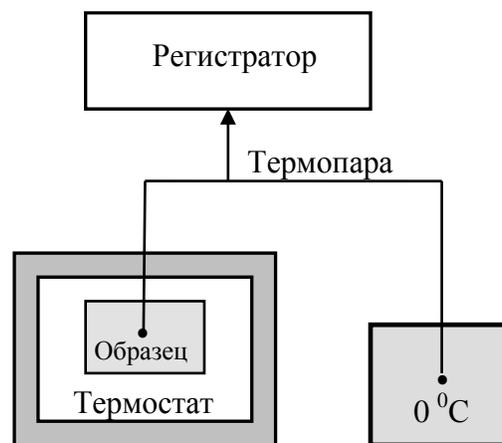


Рис.1. Блок-схема экспериментальной установки по определению времени жизни переохлажденной воды грунтов в изотермических условиях.

В процессе понижения температуры образца фиксировали начальный момент установления изотермических условий в образце, что отмечалось в последующем неизменностью показаний термопары в пределах погрешности измерений  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Эксперимент заканчивали после уверенной регистрации характерного скачка температуры в результате спонтанной кристаллизации основной массы переохлажденной воды,

находящейся в глине. За время жизни метастабильного состояния воды (время ожидания начала кристаллизации) в области отрицательных температур принимали интервал времени от момента термостабилизации образца, до момента начала кристаллизации воды.

Точное определение влажности приготовленных образцов проводили после окончания эксперимента в соответствие с требованиями ГОСТа 5180-84.

### Результаты исследований

В результате проведенных экспериментов получен набор данных по времени жизни переохлажденного состояния воды  $\tau_{ж}$  в образцах глины монтмориллонита с влажностью  $340 \pm 5\%$  в интервале температур  $-8 \dots -3^\circ\text{C}$ .

Случайность фиксируемых актов кристаллизации в конечном итоге привела к заметному разбросу времен  $\tau_{ж}$  в ансамбле эквивалентных образцов. С целью интерпретации полученных результатов проведена статистическая обработка массива данных по  $\tau_{ж}$ . Для этого подсчитано число опытов  $N_i$ , попадающих в  $i$ -й интервал времен ожидания начала кристаллизации воды в исследуемых образцах. По итогам проведенной сортировки событий кристаллизации построены гистограммы распределения опытов по соответствующим промежуткам времени существования переохлажденного состояния воды. При этом учтены только опыты, в которых заведомо реализовывались изотермические условия до начала спонтанной кристаллизации воды.

Приведенная на рис.2 гистограмма распределения событий кристаллизации воды отражает вероятностный характер гетерогенной нуклеации льда в водонасыщенном монтмориллоните при температуре окружающей среды  $-3^\circ\text{C}$ . В данном случае, при общем количестве учтенных для анализа опытов равном 49, среднее время ожидания начала кристаллизации составляет 2,8 часа.

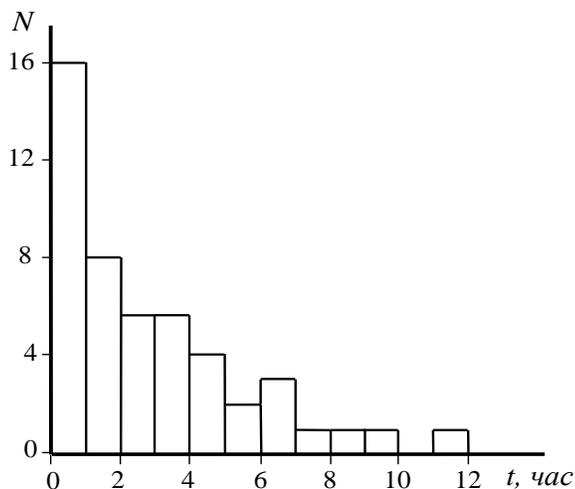


Рис.2. Гистограмма распределения опытов по временам ожидания начала спонтанной кристаллизации поровой влаги в образцах глины монтмориллонита с влажностью 340% при температуре  $-3^\circ\text{C}$ .

При анализе всей совокупности построенных на основе экспериментальных данных гистограмм обнаружена тенденция уменьшения среднего времени ожидания начала кристаллизации воды в изотермических условиях с понижением температуры образца, что свидетельствует о возрастании активности гетерогенных центров в процессе формирования жизнеспособных зародышей льда [Скрипов, Коверда 1984]. Эта тенденция соответствует результатам работы [Гречищев и др. 2004], где аналогичные закономерности изменения  $\tau_{ж}$  наблюдались при охлаждении влажных суглинков и песков в области отрицательных температур.

Предполагаем, что отличная от нуля вероятность существования переохлажденного состояния воды в течение более 10 часов может привести к соответствующим долговременным изменениям фазового состава воды в образцах глинистых минералов повышенной влажности [Ершов, Акимов 1979]. Есть основания считать [Власов и др. 2011], что эти изменения будут наиболее заметны в неоднородных по влажности образцах.

В дальнейшем планируем систематические ЯМР исследования неравновесной кристаллизации воды в монтмориллонитовой глине в более широком диапазоне температур и влажностей.

### Литература

- Власов В. А., Заводовский А. Г., Мадыгулов М. Ш. 2011. Изменения фазового состава воды в монтмориллоните по данным импульсного метода ЯМР//Материалы Международной научно-практической конференции по инженерному мерзлотоведению, посвященной 20-летию создания ООО НПО “Фундаментстройаркос”- Тюмень, Сити-пресс: 448-449.
- Ершов Э.Д., Акимов Ю.П. 1979. Фазовый состав влаги в мерзлых породах.- М.:Изд-во МГУ, 188 с.
- Гречищев С.Е., Чистотинов Л.В., Щур Ю.А. 1980. Криогенные физико-геологические процессы и их прогноз.- М.: Недра, 383 с.
- Гречищев С.Е., Павлов А.В., Шешин Ю.Б., Гречищева О.В. 2004. Экспериментальные закономерности формирования переохлажденной поровой влаги при объемном замерзании дисперсных грунтов. Криосфера Земли 4: 41–44.
- Нестеров И.И., Даниэлян Ю.С., Яницкий П.А., Галиева В.Н. 1984. Неравновесная кристаллизация влаги в мерзлых грунтах. Доклады Академии Наук 277, 4: 928–935.
- Скрипов В.П., Коверда В.П. 1984. Спонтанная кристаллизация переохлажденных жидкостей. - М.:Наука, 232 с.
- Чистотинов Л.В. 1973. О релаксационном характере кинетики кристаллизации связанной воды в горных породах. Сборник “Проблемы геокриологии”.- Новосибирск, Наука: 50–64.

## О перспективах совершенствования колтюбинговой техники и технологий для условий Крайнего Севера

А.А. Земляной, Г.П. Зозуля, В.А. Долгушин

*Кафедра «Бурение нефтяных и газовых скважин», ТюмГНГУ, Тюмень, Российская Федерация*

В.В. Дмитрук

*ООО «Газпром подземремонт Уренгой», Новый Уренгой, Российская Федерация*

В.В. Журавлев

*ООО «Газпром добыча Надым», Надым, Российская Федерация*

### Аннотация

В работе обоснована необходимость использования колтюбинговой техники и технологий для условий Крайнего Севера при наличии в разрезе скважин мерзлых пород. Описаны пути совершенствования колтюбинговых установок, направленные на увеличение их эксплуатационного ресурса. Приведены результаты опытных работ по повышению коррозионной и износостойкости поверхности деталей инжектора с использованием нанотехнологии ионного легирования. Также рассмотрены перспективы применения технологии «гибких труб» для освоения месторождений на шельфе и в акваториях арктических морей, в условиях сложной ледовой обстановки.

**Ключевые Слова:** колтюбинговые установки; колтюбинговые технологии; мерзлые породы; ремонт скважин; нанотехнологии; коррозионная стойкость; износостойкость; шельф; морские платформы

В настоящее время развитие промышленного потенциала и инфраструктуры сибирских и северных регионов России и организация связей между ними немислимы без должного развития технологий и сопутствующего им оборудования. Особенностью ремонта газовых и газоконденсатных скважин в суровых климатических условиях на месторождениях севера Тюменской области является наличие в разрезе скважин мерзлых пород, зон с аномальными пластовыми давлениями, влияющих как на процесс и качество ремонта, так и на последующую эксплуатацию скважин. Например, широко применяемая технология промывки песчаных пробок на месторождениях средней полосы и юга России в суровых климатических условиях Крайнего Севера из разряда простой технологии превращается в сложную. В таких условиях процесс ликвидации песчаных пробок осложняется возможным гидратообразованием в скважине, в связи с чем требуются новые технологические жидкости (незамерзающие растворы) и дополнительное оборудование (передвижные паронагревательные установки – ППУ), что влечет за собой увеличение продолжительности ремонтных работ, повышение вероятности разгерметизации устьевого оборудования и возникновения газопроявлений, фонтанов и пожаров. Поэтому в таких условиях актуален поиск новых и совершенствование применяемых технологий ремонта скважин, а также технических средств и оборудования.

За последние годы заметно изменился спектр проводимых на месторождениях Крайнего Севера ремонтов. Появились новые виды ремонта скважин, выполняемые с использованием канатной техники и колтюбинговых установок. В 2,0...2,5 раза увеличилась доля сложных капитальных ремонтов скважин (КРС), возросла их продолжительность и увеличилась степень фонтаноопасности проводимых ремонтов [Зозуля 2008].

Применение колтюбинговых технологий – это выгодное и эффективное решение для северных регионов. Но их применение имеет ограничения, связанные с отсутствием дорог и баз обслуживания [Зозуля 2007]. В этой ситуации можно предложить производителям колтюбинговых установок разработать модульные агрегаты, которые будут транспортироваться к месту проведения работ с помощью вертолетной, морской и другой мобильной техники и собираться непосредственно на скважине. Возможно, такой вариант установки будет дороже, чем стандартный, зато вырастет общая эффективность работ, за счет снижения эксплуатационных затрат.

Суровые климатические условия существенно сокращают срок службы установок для ремонта скважин. В этом аспекте влияние оказывают прежде всего качество самой техники, и то, как эта техника обслуживается. Немаловажную роль играют применяемые технологические жидкости и материалы, которые обеспечивают работоспособность гидравлической системы колтюбинговых установок [Зозуля 2006]. В этих условиях, чтобы повысить эксплуатационную надежность оборудования, необходимо улучшать их физико-механические и физико-химические свойства, такие как коррозионно- и износостойкость отдельных узлов и деталей установки, которые подвергаются наибольшему механическому нагружению и воздействию агрессивных сред. Улучшение работоспособности отдельных узлов установок может значительно расширить спектр задач, которые она может выполнять.

Одним из возможных решений данной проблемы является применение пучково-плазменных нанотехнологий ионного легирования, основанных на контролируемом внедрении в материал ускоренных в электростатическом поле ионизированных атомов или молекул. При этом энергия ионов и доза облучения определяет толщину слоя и

концентрацию необходимых элементов в легируемом слое, а также структуру легируемого слоя и в целом формируемого наноструктурированного защитного покрытия.

В данное время проводятся опытные работы по повышению коррозионной и износостойкости поверхности деталей инжектора колтюбинговых установок с использованием нанотехнологий на стенде по исследованию процессов ионного легирования. Результаты испытаний [Зозуля 2010] показали, что коррозионная стойкость образцов, по сравнению с необработанными, кратно увеличилась с учетом предела погрешности методики и точности аналитического оборудования. При этом износостойкость рабочей поверхности плиты из стали 40X13 после ионного легирования приповерхностного слоя металла и формирования защитного слоя увеличивается в 3-6 раз.

Данное направление обработки отдельных энергонагруженных узлов и деталей колтюбинговых установок, как показывают результаты испытаний, может существенно увеличить их эксплуатационный ресурс и расширить спектр выполняемых операций, что весьма актуально в условиях Крайнего Севера и, прежде всего, для перспективы освоения месторождений в акваториях северных морей при наличии мощных подвижных льдов. В настоящее время для разработки таких месторождений (в частности Штокмановского) построены полупогружные буровые платформы «Полярная Звезда» и «Северное Сияние», которые считаются самыми современными и большими в мире в своем классе. Они оснащены высокотехнологичным буровым, геофизическим, навигационным и энергетическим оборудованием ведущих российских и зарубежных компаний. Установки предназначены для бурения скважин до 7500 м на морских глубинах до 500 м и способны работать в условиях Арктики, в диапазоне температур окружающего воздуха от -30°C до +45°C, при наличии битого льда толщиной до 70 см. Однако при освоении месторождений в акватории Северного Ледовитого океана, даже с наличием таких

установок, разведку и бурение скважин можно осуществлять только в короткие навигационные периоды. Поэтому целесообразно перенимать опыт предприятий оборонной промышленности, которые имеют хорошо отработанные технологии по производству атомных подводных лодок, способных непрерывно находиться под водой в течение нескольких месяцев, с целью создания подводных буровых аппаратов [Гусейнов 2012], в том числе с применением гибких труб. Этот путь по созданию глубоководных агрегатов на сегодняшний день видится наиболее перспективным в условиях наличия больших глубин и мощного ледового покрова, который не дает возможности производить буровые работы с традиционных морских платформ.

## Литература

- Зозуля Г.П., Гейхман М.Г., Чабаев Л.У. 2008. Применение колтюбинговых технологий при ликвидации открытого нефтегазового фонтана. *Coiled tubing times* 25: 26-32.
- Зозуля Г.П., Листак М.В., Попова Ж.С. 2007. Комплексный подход к ремонту газовых скважин с помощью колтюбинговых технологий. *Известия вузов. Нефть и газ* 6: 13-19.
- Зозуля Г.П., Гейхман М.Г., Тулубаев А.Б. 2006. Анализ эффективности применения технологий «гибких труб» при освоении и ремонте скважин на месторождениях. // *Инновации и эффективность производства. Сб. мат-лов региональной НТК, посвященной 50-летию ТюмГНГУ*: 153-155.
- Зозуля Г.П., Шмидберский П.А., Дмитрук В.В. 2010. Повышение износостойкости и надежности деталей инжектора колтюбинговых установок. *Наука и техника в газовой промышленности* 3(43): 32-39.
- Гусейнов Ч.С. 2012. Освоение углеводородных ресурсов Северного Ледовитого океана – ближайшая и неотложная перспектива. // *Бурение и нефть* 1: 20-23.

## Сравнение развития повторно-жильных льдов и ледников в условиях резко континентального климата (на примере хребта Кодар и Чарской котловины)

Е.Н. Иванов

*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН*

### Введение

Горные районы с резко континентальным климатом характеризуются наличием криосферы и, соответственно, криогенеза, то есть совокупностью физических, химических, биохимических и других процессов, происходящих в пределах криосферы и сопровождающихся льдообразованием. Более точно это процессы изменения и отчасти преобразования минеральных, органических, водных и атмосферных веществ, составляющих географическую оболочку в связи с образованием льда при отрицательных температурах.

Образующийся лед – это тоже горная порода с характерными свойствами. С участием льда происходит формирование особых объектов различных видов.

В период 2008-2010 гг. усилиями научных сотрудников Института Географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, а также МГУ им. Ломоносова, ИПРЭК СО РАН, ЛИН СО РАН были проведены научные исследования Кодарского ледникового района, в которых участвовал и автор. Были исследованы: центральный район оледенения Кодара – ледники №20 (Азаровой), 18, 11, 12, 14 согласно каталогу Ледников СССР (1972.), а также долина реки Чары, вдоль береговых обрывов которой встречаются повторно-жильные льды. В данной работе предпринимается попытка сравнения развития этих гомотопически связанных объектов с целью реконструкции климатических событий прошлого.

### Объекты исследования и результаты

**Хребет Кодар** (56°45' – 57°15' с. ш. и 117°–118° в.д.). Это крайний северо-восточный хребет Станового нагорья, расположенный на водоразделе Витима и Чары, имеющий преимущественно северо-восточное простирание. Район оледенения охватывает центральную, наиболее высокую часть. Он поднимается выше 2300 м, многие вершины достигают 2700 – 2800 м и порой превышают 3000 м.

Такие характеристики на фоне резко континентального климата обуславливают существование на Кодаре современного оледенения и повсеместного распространения криогенеза. Ледники Кодара, их средняя температура на подошве слоя годовых колебаний составляет –7°C.

Ледник №20 (Азаровой). Долинный ледник северной экспозиции, находится в верховьях правого истока р. Средний Сакукан. Длина открытой части ледника 1540 м, наибольшая ширина 500 м, расположен на высоте 2100-2425 м над уровнем моря. Тело ледника лежит в симметричном трого. Левая часть ледника представляет собой довольно крутой снежно-ледовый шлейф, который

состоит из снежных конусов и крупных снежно-эоловых форм, слившихся между собой. У правой окраины ледника имеется ложбина стока, по которой течет ручей. За ручьем сразу же начинается подъем на боковую морену. На конце языка имеется почти отвесный обрыв высотой 5 м. Из-под него вытекает ручей, собирающий все талые воды, стекающие с ледника, и исчезает под валом конечной морены. На внешнем склоне моренного вала флювиогляциальный поток впадает в озеро, из которого берет начало правый исток реки Средний Сакукан. Согласно исследованиям автора 2008 г.: тальвег: нижняя точка 2102 м, верхняя точка 2425 м. Фирновая линия: нижняя точка 2192 м., верхняя 2360 м. Линия натечного льда: нижняя точка 2185 м, верхняя – 2359 м.

Ледник № 18. Склоновый каровый ледник северо-восточной экспозиции. Площадь 0,1 км<sup>2</sup>. Наибольшая длина 400 м. Расположен на высотах 2240-2380 м, в начале левого истока реки Средний Сакукан. Нижний край ледника незначительно отступил. Наименьшая его точка находится на высоте 2270 м.

На крупнейшем леднике Азаровой конечная морена ледника представляет собой массивное образование высотой около 100 м со следами термокарста, поскольку на ледяное ядро в ее составе приходится около 80%. Сложена морена обломками горных пород диаметром 30-50 см, однако нередко обломки до 7 м в поперечнике. На их поверхности отсутствуют признаки биологической активности.

За фронтальной мореной ледника Азаровой располагается комплекс более древних морен, разделенных межморенными озерами, и протянувшимся более чем на 1.5 км на север.

Особенностью ледника № 18 является то, что его моренные отложения превосходят площадь ледника по крайней мере в 10 раз. А также то, что зона аккумуляции примерно вдвое больше области абляции. Характер обширной зоны моренных отложений – следы повсеместного термокарста, крупные слабо окатанные глыбы, почти не наблюдается освоение их лишайниками.

На других ледниках наблюдаются подобные моренные комплексы, что говорит о значительном оледенении, происходившем во время Малого Ледникового Периода.

**Чарская котловина** примыкает к хребту Кодар с юга. Днище котловины занимает территорию в пределах высот 630-1100 м. Характерной чертой орографии Станового нагорья является “чередование вытянутых с запада-юго-запада на восток-северо-восток высоких, довольно монолитных, бедных перевалами, хребтов и глубоких котловин” (В. С. Преображенский, 1960).

Большая часть котловины это система валов, замыкающих устья трогов, которые выходят на равнину в

малые впадины горного обрамления. Приледниковые и предгорные наклонные равнины плавно переходят в заболоченные и покрытые озерами выровненные участки, примыкающие к долине р. Чара.

Значительная часть котловины занята болотами, также в ней множество озер, обычно незначительных по площади и неглубоких. Повсюду встречаются такие следы мерзлотных процессов, как морозные трещины, мерзлотные полигоны, бугры пучения.

Крупный незакрепленный массив песков сформировался в центральной части Чарской котловины, в районе верхней ее горловины по левому борту долины реки Чара, в междуречье Верхнего и Среднего Сакуканов за счёт накопления песчаного материала, в избытке поставляемого водными потоками и ледниками, спускавшимися с соседних горных хребтов (Петров & Гусьяков, 2010).

Обнажения полигонально-жильных структур встречаются по обоим берегам Чары часто. Во время экспедиции 2009 г. был исследован участок реки от впадения притока Сангиях до ущелья чуть ниже по течению поселения Чапо-Олого.

Четко выраженные обнажения ПЖЛ встретились на участке от р. Сангиях до района возле пос. Чапо-Олого дважды. Особенно выделяется обнажение «Белый Ключ» на первой надпойменной террасе, описанное в работе (Васильчук и др., 2010). Здесь наблюдаются мощные сингенетические повторно-жильные льды, которые зародились от 10 до 7.5 тысяч лет назад.

У выходов ПЖЛ были зафиксированы размеры, осуществлялись отборы проб почвенных горизонтов и предположительно древних органических остатков, сохранившихся в мерзлоте.

Визуально хорошо видно, что ПЖЛ достаточно устойчивые. Процессы таяния и подмыва речной водой идут, но скорость этих процессов не катастрофична для существования этих структур.

**Ледники и полигонально-жильные структуры не совсем корректно сравнивать** вследствие обладания ими различных свойств, однако если рассматривать их с точки зрения их происхождения, влияния основных факторов, то криогенез в данном районе является одним из основных таких факторов.

Во время четвертичного оледенения высота хребтов Кодара и Удокана способствовала развитию ледников, достигавших в длину 60—120 км при мощности льда 500—700 м. (Коваленко, 2008). Ледники преобразили многие долины района в типичные трюги с характерным корытообразным поперечным профилем и оставили многочисленные следы в виде конечных морен, бараньих лбов, полей курчавых скал, сглаженных скальных уступов. По-видимому, в этот период на Кодаре выше снеговой линии под действием денудационных процессов шло формирование остроугольных гребней и пиков, в Чарской котловине накапливались мощные массы рыхлого материала и развивался зандровый ландшафт.

Для ледников Кодарского ледникового района характерна тенденция реагирования на наблюдаемые изменения климата, при которой они не столько сокращаются по площади, что характерно для большинства ледников в мире, а теряют массу, толщину. Это прямо указывает на зависимость существования этих

ледников в большей степени от свойств подстилающей поверхности, чем от количества осадков на территории.

Что касается тенденции такого реагирования на изменения климата для ПЖЛ в долине р. Чары, то она характерна не такими быстрыми темпами деградации, какие можно было бы предположить при наблюдающемся в последнее время положительном изменении среднегодовой температуры.

Нельзя не согласиться с утверждениями В.С. Шейнкмана (Шейнкман, 2008) об огромном запасе холода под всей территорией этого района, накопившегося за время оледенения, который и удерживает такие структуры в относительно стабильном состоянии.

Климатические условия района и сегодня крайне суровы. По ряду показателей они даже суровее, чем на Крайнем Севере. Так, в Чаре количество дней со средней суточной температурой воздуха ниже минус 25° равно 94, тогда как для Игарки оно составляет 84 и для Магадана — 36.

Таким образом, низкие температуры и малое увлажнение позволяет гляциальным объектам находиться в относительно устойчивом состоянии.

## Выводы

На наш взгляд, развитие природных льдов хребта Кодар и Чарской котловины отражает тенденцию глобального положительного изменения температуры с присущими этим территориям особенностями. С внешней стороны ледовые структуры подвергаются отепляющему воздействию климата, а изнутри очень сильное влияние оказывает охлаждающее влияние криолитозоны. Обычно воспринимаемые как антагонисты, льды мерзлотного и ледникового генезиса здесь дополняют друг друга.

## Литература

- Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Станиловская Ю.В. 2010. Летние и зимние температуры воздуха в северном Забайкалье в период формирования голоценовых повторно-жильных льдов. // Криосфера Земли, ИздатГео., т. XIV, № 2, с. 7–22.
- Иванов Е.Н. 2010. Оледенение как ландшафтообразующий фактор в горах юга Восточной Сибири. Динамика геосистем и оптимизация природопользования. Материалы международной конференции. – Иркутск, изд-во ИГ СО РАН им. В.Б. Сочавы. с. 96-98.
- Каталог ледников СССР. 1972. – Л.: Гидрометиздат, Т. 17. – 44 с.
- Коваленко Н.В. 2008. Режим и эволюция малых форм оледенения // Кандидатская диссертация, МГУ, Москва.
- Петров Н.Н. & Гусьяков В.К. 2010. Чарские пески – ландшафтный реликт эпохи мамонтов в центральной Сибири. // Наука в Сибири № 28-29.
- Преображенский В.С. 1960. Кодарский ледниковый район. В кн.: Забайкалье. – М.: Изд-во АН СССР. 68с.
- Шейнкман В.С. 2008. Четвертичное оледенение в горах Сибири: общие закономерности, анализ данных. МГИ. №105. С. 51-72.

## Перспективный материал для термостабилизации грунтов

К.С. Иванов

*Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия*

Негативное криогенное воздействие на основания инженерных сооружений в условиях вечномёрзлых и пучинистых грунтов требует особых строительных мероприятий. Одним из них является термостабилизация оснований путём применения теплоизоляционных материалов. До недавнего времени способность большинства традиционных теплоизоляционных материалов накапливать влагу ограничивало их применение для теплозащиты грунтов.

Эффективным утеплителем, способным сохранять свои теплоизоляционные свойства в грунте является пеностекло. Это застывшая стеклянная пена с замкнутыми порами (пористость материала достигает 97%), что исключает насыщение материала влагой. При плотности 140 кг/м<sup>3</sup> теплопроводность пеностекла составляет 0,045 Вт/(м·К), а разрушающая при этом нагрузка достигает 50 т/м<sup>2</sup> (0,5 МПа) [Горяинов и Горяинова 1982]. Негорючесть, химическая стойкость и долговечность делают этот материал уникальным. Однако из-за сложной и энергоёмкой технологии пеностекло является самым дорогостоящим неорганическим теплоизоляционным материалом, что резко ограничивает его применение для термостабилизации оснований.

Автором решалась задача получения пеносиликата – дешёвого изоляционного материала со свойствами, близкими к пеностеклу, на основе дешёвых минеральных сырьевых ресурсов (кремнистых пород – диатомитов и трепелов) и щелочных добавок. В основе идеи получения пеносиликата лежит процесс выщелачивания аморфного SiO<sub>2</sub> из кремнистых пород раствором щелочи с образованием растворимых щелочных силикатов. При нагревании, они дают легкоплавкие эвтектики и способствуют переходу смеси в пиропластическое состояние при температуре ниже 700°C [Iler, 1979], а выделяющаяся из глинистых минералов кремнистой породы кристаллизационная вода вспенивает смесь. Таким образом, смесь кремнистой породы и щёлочи может быть подвергнута обжигу сразу после выщелачивания, что существенно упрощает и удешевляет эту технологию. Исключаются энергоёмкие операции приготовления стеклогранулята и его измельчения в тонкий порошок.

Исследования проводились с использованием диатомита Камышловского месторождения Свердловской области с содержанием аморфного SiO<sub>2</sub> 42,5 мас. %. Диатомит смешивался с 40%-м раствором NaOH в массовом соотношении 2,3:1,0 с добавлением воды до получения гомогенной массы и последующей выдержкой при температуре 20 и 95°C. Выход SiO<sub>2</sub> (от массы сухого

диатомита) после выщелачивания определялся по методике, описанной в работе [Sokolovich, 1963].

При помощи тарельчатого гранулятора из смеси изготавливались гранулы диаметром 5 – 8 мм. Высушенные до постоянной массы при температуре 100°C, гранулы подвергались обжигу в открытых металлических формах по схеме: скорость нагрева 25 °C/мин, выдержка при 775°C в течение 20 мин, остывание вместе с печью (~1°C/мин). При обжиге гранулы вспенивались и спекались между собой, образуя сплошной массив пеносиликата, из которого выпиливались образцы (кубы с ребром 30 мм).

В исследованиях установлено, что повышение температуры до 95°C значительно ускоряет процесс выщелачивания аморфного SiO<sub>2</sub>. Уже через 30 мин выдержки при 95°C его выход в 3,3 раза выше, чем за то же время при 20°C и составляет 43% против 13%, и в дальнейшем практически не увеличивается. Плотность и прочность образцов изменяются от 580 до 290 кг/м<sup>3</sup> и от 7,8 до 1,7 МПа при изменении выхода SiO<sub>2</sub> с 13 до 43 % соответственно.

Объёмное водопоглощение всех образцов не превышает 2% (отношение объёма поглощённой воды к объёму материала). Теплопроводность образцов плотностью 290 и 580 кг/м<sup>3</sup> составляет 0,08 и 0,14 Вт/(м·К). Образцы имеют однородную структуру, состоящую из замкнутых ячеек, диаметр которых в среднем равен 1,5 мм. Поверхность ячеек хорошо остеклованная, цвет ее изменяется от светло-серого до серо-зеленого.

При том, что пеносиликат в среднем втрое дешевле пеностекла, не исключена полная или частичная возможность замены натриевой щёлочи отходами различных производств с разным содержанием щелочей.

Пеносиликат позволит минимизировать отрицательное криогенное воздействие, играя роль не только теплоизолятора, но и гидроизолятора, препятствуя миграции влаги в опасные зоны оснований.

### Литература

- Горяинов К.Э., Горяинова С.К. 1982. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. – М.: Стройиздат, 296 с.
- Iler R.K. 1979. The Chemistry of Silica. New York, Wiley, 866 p.
- Sokolovich V.E. 1963. Rapid method of determining the modulus of sodium silicate solution. Glass and Ceramics, vol. 20, No. 9, p. 471–472.

## Криогенные процессы и явления на Полярном Урале

М.Н. Иванов

Географической факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Кафедра криолитологии и гляциологии, Москва, Россия

### Введение

Рельеф полярных регионов в своей морфологии четко фиксирует историю развития территории в плейстоцен-голоценовое время, что позволяет реконструировать условия его формирования. Современные экзогенные процессы, преимущественно мерзлотные, вносят значительный вклад в преобразование полярных ландшафтов, формируя множество форм рельефа, а в суровых геоэкологических условиях гор Полярного Урала, создают широкий комплекс криогенных явлений. Криогенные явления на Урале активно исследовались в ходе экспедиций 2-го Международного полярного года (1932-1933 гг.) [Алешков 1935] и в середине XX века [Александров 1948, Боч, Краснов 1943]. Современные изменения климата приводят к сокращению ледников [Иванов 2009], продвижению растительности на север и вверх по склонам [Шиятов 2009], изменению мерзлотных условий.

### Методика и район исследования

Во время летних экспедиционных работ 2010 г. проведено изучение современных криогенных процессов и явлений в центральной части Полярного Урала, выполнен анализ климатических и мерзлотных условий.

Полярный Урал простирается с ЮЗ на СВ от г. Колокольня до г. Константинов камень, ширина южной части около 20 км, севернее долины реки Сось хребет расширяется до 70 км. Рельеф западного макросклона альпийского типа; перепад высот от 200 до 1300 м., что создает контрастность по сравнению со сглаженным восточным макросклоном, где преобладают среднегорья. По данным А.И. Попова [1967] слагающие породы представлены весьма дислоцированными метаморфическими и изверженными породами палеозоя, рыхлые осадочные отложения маломощны, представлены валунной суглинистой мореной, гравитационным грубообломочным и делювиально-солифлюкционным суглинисто-песчаным материалом на склонах и аллювиальным грубообломочным и иловато-торфянистым – в долинах. Мощность вечномерзлых толщ измеряется десятками и сотнями метров (до 400-500 м на севере). Температура вечномерзлых толщ сильно изменчива в зависимости от гидрогеологических условий [Панова и др. 2003].

Климатические условия центральной части Полярного Урала наиболее полно изучены по данным метеостанции Б.Хадата, которая работала в 1957-1981 гг. на базе Института географии АН СССР. Установлена тесная корреляция (0,9) метеозаписей, измеренных на этой станции с метеостанциями Воркута и Салехард, отстоящих от Б.Хадаты на 80 и 100 км, соответственно [Иванов 2009]. Ход температуры воздуха синхронен на всех трех станциях с сохранением градиента; в Салехарде, и на восточном макросклоне Полярного Урала, в зимний период холоднее, в летний период жарче. В результате барьерного эффекта гор, в центральной части Полярного Урала осадков вдвое больше, чем в Салехарде, где осадки измерялись более

надёжно и регулярно, по сравнению с Воркутой. По данным метеостанций с 1946 г. по 2011 г. период снегонакопления продолжается с октября по май, средняя зимняя температура воздуха  $-13^{\circ}\text{C}$ , средняя температура наиболее холодного месяца февраля опускается до  $-21^{\circ}\text{C}$ , абсолютный минимум температуры воздуха на северо-востоке (Хальмерью)  $-49,6^{\circ}\text{C}$ , средняя летняя температура  $+9^{\circ}\text{C}$ , температурный градиент  $0,6^{\circ}\text{C}/100$  м. По данным метеостанции Салехард с 1891 г. по 2011 г. за зиму в среднем выпадает 220 (до 440 на Б.Хадате) мм твердых осадков.

### Результаты и дискуссия

Своеобразие рельефа и климата создают условия для существования на Полярном Урале многолетнемерзлых грунтов и около 90 ледников карового и присклонового типа [Оледенение Урала 1966]. Благодаря повышенной концентрации снежного покрова в западной и центральной части хребта, глубина сезонного промерзания и мощность многолетнемерзлых толщ меньше (до 100-150 м.), чем на малоснежном восточном макросклоне, в условиях более низких температур (до 250-300 м.). Мощность многолетнемерзлых пород на коренных склонах гор изучена недостаточно. В то же время, большинство ледников расположены как раз на западной стороне Урала, благодаря обильному снегонакоплению в эрозионных формах рельефа. Высотная зональность обусловлена температурным градиентом и ярко выражена в растительности на склонах гор, кроме того, криогенные процессы и явления на склонах различной экспозиции отличаются, формируя некоторую секторность. В условиях заполярья, северные склоны практически не освещаются солнцем, на них менее развита растительность, что приводит к интенсификации криогенных процессов.

Среди криогенных склоновых процессов преобладают курумы, солифлюкция, оплывание и крип. Особенно хорошо на склонах южной экспозиции развиты солифлюкционные террасы потоки и валы, благодаря более высокотемпературным грунтам, рис.1d. На склонах северной экспозиции больше развиты курумовые потоки, достигающие ширины в десятки метров, крип и криогенная десерпция. Формы полигонального пучинного рельефа в горных долинах выражены слабо и в основном приурочены к предгорьям. Ряд бугров высотой до 2 м описаны в районе Б.Хадатинского озера и в верховьях р. Б.Лагорта [Сурова и др. 2009], на восточном отроге массива Рай-Из [Ковшарова 1999, Оледенение Урала... 1966, Jankovska, Andreev 2006] и на участке Чёрная горка в 2 км к северу от пос. Полярный [Jankovska, Andreev 2006].

На вершинных поверхностях широко представлены формы криоструктурного рельефа, формирующиеся при морозной сортировке материала – каменные кольца, и многоугольники, рис.1b, каменные полосы, достигающие длины до 20 м, пятна-медальоны, рис.1c. Значительную роль в формировании каменных полос играют талые воды

снежников и присклоновых ледников, рис.1а. Криогенное морозное выветривание играет ведущую роль в формировании форм нивального рельефа – кары, цирки, ниши, уступы, нагорные террасы. Размеры этих форм свидетельствуют о длительном сроке их формирования, превышающем сотни тыс. лет. В центральной части гор, преимущественно в районах распространения древних моренных отложений, развиты формы термокарстового рельефа – котловины, западины, блюдца, провалы, озера, ложбины. Формы криоэрозионного рельефа (овраги, ложбины, дели) развиты незначительно.

### Выводы

Благодаря благоприятным мерзлотным условиям, на Полярном Урале развит весь спектр криогенных форм рельефа, от крупных (поверхности выравнивания, цирки, кары, троговые долины, карлинги, нагорные террасы) и средних (курумы, каменные моря, моренные валы, бугры пучения) до мелких (солифлюкционные террасы, оплывины, пятна медальоны и др.). Сформирован устойчивый крионивальный комплекс форм рельефа, образованный ледниками, процессами криогенного выветривания, солифлюкции, смыва тальми водами, криогенной сортировки и др. Несмотря на климатические изменения последних лет, интенсификация криогенных процессов в горах практически не выражена и проявляется в основном в увеличении глубины сезонного протаивания.

### Благодарности

Выражаю благодарность Дмитрию Окопному за помощь в проведении полевых исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Ведущие научные школы РФ», НШ – 32.71.2010.5, компании «КонакоФиллипс Россия Инк».

### Литература

Александров А.И. Каменные моря и реки Урала // Материалы по геоморфологии Урала, Вып. 1. – М-Л, 1948.

Алешков А.Н. О нагорных террасах Урала // Урал. Приполярный районы. Труды ледниковых экспедиций, Вып. 4. – Л.: Изд-во МПГ при ЕГМС, 1935.

Боч С.Г., Краснов И.И. О нагорных террасах и древних поверхностях выравнивания на Урале и связанных с ними проблемах. Изв. ВГО, т.75, 1943.

Иванов М.Н. Эволюция оледенения Полярного Урала за последние 200 лет // Гляциология в начале XXI века. Материалы Международной научной конференции / Науч. ред. А.Н.Божинский, В.Ф.Перов, Н.В.Тумель. – М.: Университетская книга, 2009, с. 186-192.

Кошкарлова В.Л., Карпенко В.Л., Орлова Л.А. Динамика растительности и верхней границы леса в голоцене на Полярном Урале // Экология 1999. №–2, с.121–125.

Оледенение Урала. / Троицкий Л.С., Ходаков В.Г., Михалев В.И. и др. – М.: Наука, 1966. 307 с.

Панова Н.К., Янковска В., Корона О.М., Зиновьев Е.В. Динамика растительности и экологических условий на Полярном Урале в голоцене // Экология 2003. № 4. с. 248 – 260

Попов А.И. Мерзлотные явления в земной коре (криолитология). – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1967.

Сурова Т.Г. Троицкий Л.С. Пуннинг Я.М. Палеогеография и абсолютная хронология голоцена Полярного Урала. // Известия АН Эстонской ССР. Химия, Геология Т.24, № 2. Таллин. 1975, с. 152-159.

Шиятов С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 216 с.

V. Jankovska, A.A. Andreev, N.K. Panova Holocene environmental history on the eastern slope of the Polar Ural Mountains, Russia / Boreas № 35, 2006. p. 650-661.



Рис.1. а – каменные полосы, формирующиеся у края тающего ледника № 138, б – каменные многоугольники на возвышенной поверхности выравнивания к востоку от ледника 22, с – пятно-медальон в долине оз. Б.Хадата, d – формы солифлюкционного рельефа в верховьях р. Б.Уса. Фотографии М.Н.Иванова, 2010 г.

## Реконструкция палеоклимата по групповым палиноспектрам

С.Н.Иванов, А.А. Коновалов

Тюменский государственный нефтегазовый университет, Институт проблем освоения Севера, Россия

**Ключевые Слова:** палеоклимат, палиноспектры, индекс сухости, фитосфера, фитопродукция

Обычно полные наборы флористических элементов в палиноспектрах, достигающие 40 и более таксонов, по общему составу объединяют в три группы: 1) пыльца древесных пород и кустарников  $d_1$ , 2) то же, трав и кустарничков  $d_2$  (иногда кустарнички выделяют в отдельную группу), 3) споры  $d_3$ . Они примерно отражают доленое участие в флористическом комплексе верхнего, среднего и нижнего ярусов растительности, которое, как и видовое разнообразие, зависит от климата. Каждая группа характеризуется определенной долей общего веса палиноспектра, приравниваемого к единице. Показано [Коновалов, Иванов, 2007], что взаимодействие частей палиноспектра можно рассматривать как дихотомию доминанты  $D$  (группы с большим весом в долях от 1) и субдоминанты  $D_s = 1 - D$  (суммы относительных весов остальных групп). Климатические показатели хорошо увязываются с величиной  $D$ . Минимум  $D = 0$  соответствует условию невозможности существования растительности, когда все три  $d$  равны 0. Это условие выполняется в области вечного холода, где средняя температура самого теплого месяца не поднимается выше  $0^\circ\text{C}$ , и в жарких пустынях, где влажность почвы стремится к 0. Максимум  $D = 1$  наблюдается при равных долях тепла и влаги. По характеру распределения на поверхности и величине  $D$  примерно совпадает с индексом сухости  $J$ , в первом приближении можно принимать, что  $D \approx J$ . Величина  $J \approx 1$  делит фитосферу на влажную (холодную) – плювиофитосферу и засушливую – ксерофитосферу. Максимумы  $D$  и  $J$ , равные 1, находятся в подтаежной зоне, являющейся областью симметрии. Получены формулы связи  $J$ , а через ее посредство и  $D$  с основными элементами климата и с фитопродукцией  $Pr$ . На прилагаемом рисунке

дана схематическая карта, отражающая эти связи в Тюменско-Омском регионе.

Другой путь определения связи  $D$  и климата – представление его составляющих, как и палиноспектров, в виде дихотомии безразмерных компонентов  $d_1$  и  $d_2$ , характеризующих теплый и холодный периоды года и в сумме равных 1, например:  $d_1 = d_{11} = -t_1/2A$  и  $d_2 = d_{17} = t_7/2A$ , где  $A = (t_7 - t_1)/2$  амплитуда;  $t_7$  и  $t_1$  – средние температуры самого теплого и самого холодного месяцев. В виде дихотомий безразмерных компонентов  $d_1$  и  $d_2$ , характеризующих холодный и теплый периоды года, можно представить также их длительности и осадки. В качественном плане эти относительные климатические оппозиции ведут себя примерно одинаково и хорошо коррелируют друг с другом. Если согласно принципу актуализма считать, что вид связи доминанты поверхностных и ископаемых палиноспектров с элементами климата идентичен, то зная распределение по глубине величины  $D$  и возраст вмещающих пород, с помощью схематических карт (см. рисунок) и формул взаимосвязи элементов современного климата, например по [Коновалов, Иванов, 2007], можно реконструировать климаты прошлого. Пример подобной реконструкции для района Салехарда приведен в таблице.

### Литература

Коновалов А.А., Иванов С.Н. Климат, фитопродуктивность и палиноспектры: связи, распределение и методика палеореконовструкций. Новосибирск. Гео, 2007. 130 с.

Таблица Определение элементов палеоклимата и фитопродукции в районе Салехарда

$h, м$	$\tau, л.н.$	$d_1$	$d_2$	$d_3$	$d_{11}$	$-t_1$	$t_7$	$U$	$Pr$
0,025	197	0,18	0,60	0,22	0,7	26,3	11,6	314	9,4
0,125	987	0,40	0,33	0,27	0,8	30,3	8,0	266	7,2
0,225	1777	0,22	0,46	0,32	0,77	29,1	9,1	281	7,9
0,325	2567	0,28	0,35	0,37	0,82	31,1	7,3	259	6,8
0,425	3035	0,24	0,44	0,32	0,78	29,5	8,7	276	7,6
0,525	4146	0,10	0,80	0,10	0,6	22,2	15,1	362	11,1
0,625	4936	0,09	0,46	0,45	0,77	29,1	9,1	281	7,9
0,725	5726	0,02	0,16	0,83	0,59	21,8	15,5	369	11,3
0,775	6310	0,06	0,35	0,60	0,70	26,3	11,6	314	9,4

Обозначения:  $h$  – глубина взятия образца;  $\tau$  – возраст отложений;  $d_1 \dots d_3$  – веса групп (жирным выделены  $D$ );  $t_1$  и  $t_7$  – средние температуры воздуха в январе и июле,  $^\circ\text{C}$ ;  $U$  – годовая сумма осадков, мм;  $Pr$  – фитопродукция, (т/га · год)

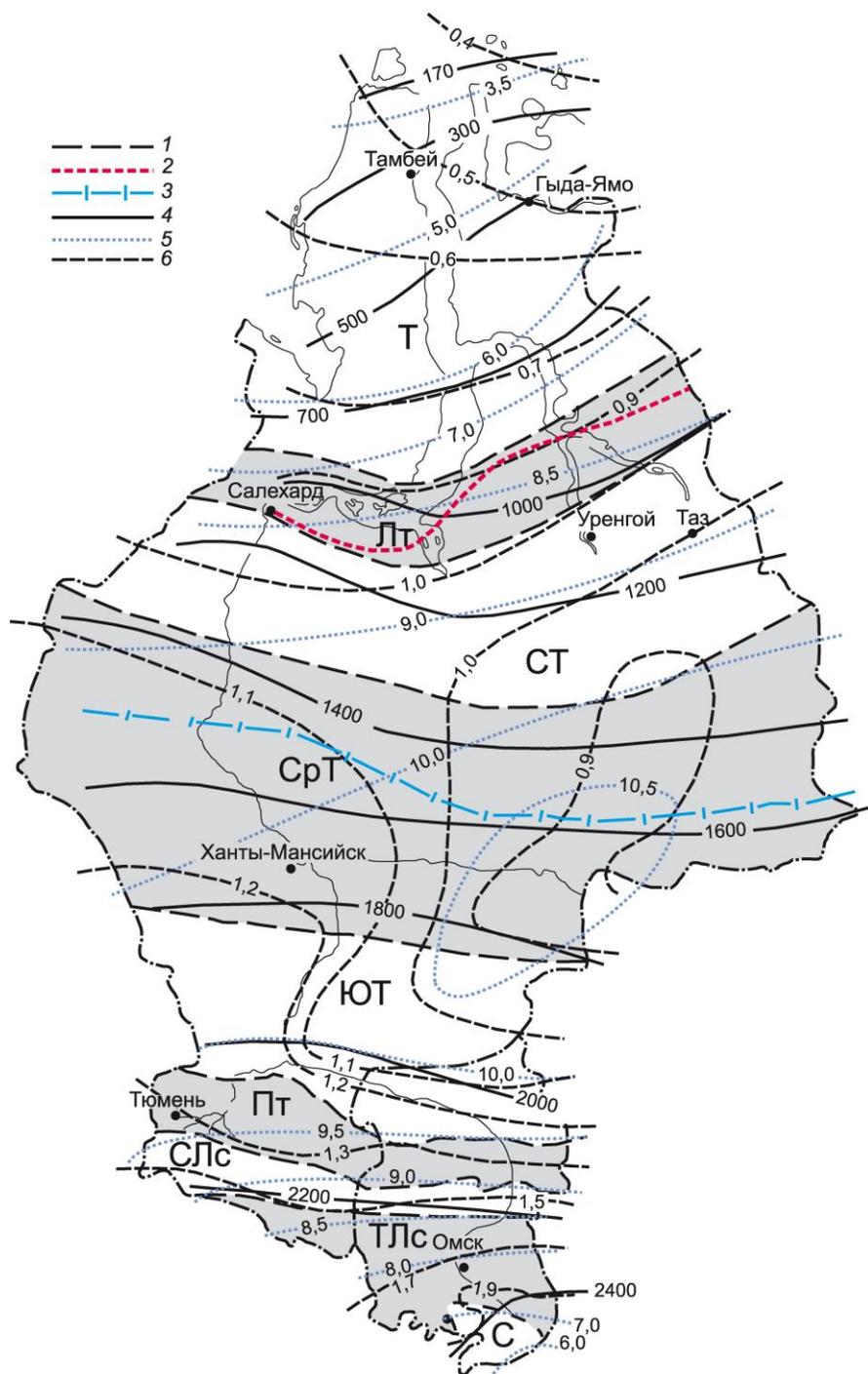


Рис.1. Схематическая карта геоботанической зональности Тюменско-Омского региона

1 – границы зон и ползон (Т-тундра, Лт-лесотундра, СТ- северная тайга, СрТ- средняя тайга, ЮТ- южная тайга, Пт- подтайга, СЛс- северная лесостепь, ТЛс- типичная лесостепь, С- степь); 2 – южная граница сплошной мерзлоты; 3 – южная граница вечной мерзлоты; 4 – суммы температур выше 5°C; 5 – фитопродукция  $P_g$ , т/га\* год, 6 – индекс сухости.

## К вопросу определения состояния и характеристик прочности и сжимаемости многолетнемерзлых грунтов по данным статического зондирования

О.Н. Исаев

НИИОСП им. Н.М.Герсеванова (ОАО "НИЦ "Строительство"), г. Москва, Россия

### Введение

Определение состояния и нахождение границ между тальми и мерзлыми грунтами является одним из основных вопросов, решаемых в процессе инженерно-геокриологических изысканий. Традиционно ответ на эти вопросы получают в результате проходки разведочных инженерно-геологических скважин, отбора монолитов и измерений природной температуры грунта в специально обустроенных термометрических скважинах. Исследования отечественных специалистов показали, что определять температуру и состояние грунта можно и по данным статического зондирования.

В условиях многолетнемерзлых грунтов для испытаний используют тензометрический зонд с конусом и муфтой трения, дополнительно оснащенный датчиком температуры, расположенным в конусе наконечника зонда (рис.1). В рамках международной классификации такие испытания следует называть как Cone Penetration Test with Temperature Measurement (CPTT).

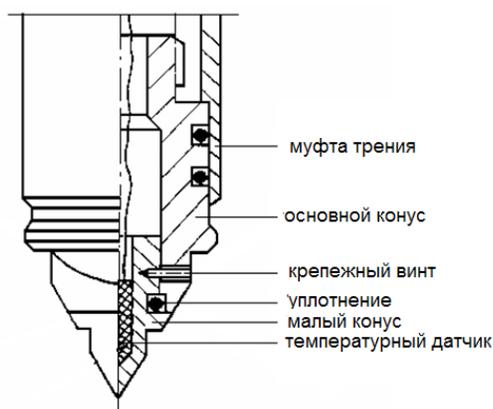


Рис.1. Тензометрический зонд с температурным датчиком (CPTT)

Определение характеристик прочности и сжимаемости пластичномерзлых грунтов является одним из основных вопросов, решаемых в процессе инженерно-геокриологических изысканий.

Традиционно он решается в результате: бурения инженерно-геологических скважин, отбора монолитов, их транспортировки (часто на длительные расстояния) в места расположения геокриологических лабораторий, оборудованных камерами-холодильниками и необходимым оборудованием для лабораторных испытаний грунтов.

Исследования зарубежных и отечественных специалистов (в том числе НИИОСП), показали, что

определять свойства этих грунтов можно и в условиях их природного залегания используя метод статического зондирования. Применение зондирования в комплексе с традиционными методами инженерно-геокриологических изысканий, выполняемыми в уменьшенных объемах, позволяет значительно сократить их общую длительность, стоимость и трудоемкость.

### Определение состояния грунта по результатам измерений температуры зонда

*Измерение температуры зонда в процессе его задавливания*

При погружении зонда в талый грунт между грунтом и наконечником происходит фрикционное взаимодействие, сопровождаемое повышением температуры конуса и муфты трения. Степень их разогрева, достигаемая иногда  $10^{\circ}\text{C}$ , пропорциональна прочности грунта, количеству крупнодисперсных частиц и скорости зондирования.

При зондировании мерзлого грунта картина не столь однозначна. На границе системы «зонд - мерзлый грунт» происходит сложное теплофизическое взаимодействие, зависящее от многих геокриологических и технологических факторов. При проведении опытных работ был открыт и в дальнейшем исследован, на первый взгляд аномальный, теплофизический эффект. Он заключался в следующем.

Если в низкотемпературных грунтах, как и в талых, зонд разогревался (обычно менее  $1^{\circ}\text{C}$ ), то в пластичномерзлых (в высокотемпературном диапазоне вблизи зоны фазовых переходов) - часто охлаждался на  $0,1...0,5^{\circ}\text{C}$ .

В результате теоретических исследований оказалось возможным разработать модель теплофизического взаимодействия системы «зонд - мерзлый грунт», объясняющую замеченный эффект «псевдоаномального охлаждения зонда». В ее основу легло положение о наличии двух взаимно противоположенных тепловых процессов, протекающих на границе системы «движущийся зонд - мерзлый грунт». Первый процесс обусловлен потоком поглощаемого зондом тепла, образующегося в результате его трения о грунт, второй - потоком отдаваемого зондом тепла в результате понижения температуры плавления льда при повышении давления. В зависимости от соотношения этих потоков температура зонда может повышаться или понижаться.

Эффект «псевдоаномального охлаждения зонда» всегда свидетельствует о том, что грунт, имеющий отрицательную температуру, находится в мерзлом состоянии.

### Измерение температуры зонда в процессе его остановки и испытании в релаксационно-ползучем режиме

Анализ данных изменения температуры остановившегося и испытываемого в релаксационно-ползучем режиме зонда выявил, что в талых и мерзлых грунтах температурные кривые, а также соответствующие им тепловые процессы существенно отличаются.

Эксперименты показали, что в талых грунтах после остановки зонда температурная кривая, в целом, удовлетворительно описывается известной зависимостью решения задачи об охлаждении одномерного тела, погруженного в среду с постоянной начальной температурой. Используя эту зависимость по начальному участку кривой можно определить природную температуру талого грунта.

В мерзлых же грунтах температурные кривые имели сложный характер и начинали удовлетворительно описываться указанной зависимостью лишь через определенное время после остановки зонда, что позволило сделать вывод о невозможности использовать эту зависимость для определения природной температуры грунта.

Сопоставление температурных кривых зонда и замеров в термометрических скважинах позволили разработать методику определения природной температуры мерзлого грунта, основанную на анализе изменения температуры конуса зонда во времени - вмерзание зонда в грунт допустимо считать завершенным, если скорость изменения температуры зонда снижается до  $0,01^\circ\text{C}/\text{мин}$ .

### Определение состояния грунта по результатам измерений сопротивлений грунта зондированию

Как показано выше, зонд, оснащенный температурным датчиком, позволяет определить природную температуру грунта, которая в значительной степени характеризует его состояние.

Для точной оценки состояния грунта этого бывает часто недостаточно. Необходимо также дополнительно знать температуру его начала замерзания, зависящую от литологии, засоленности, заторфованности грунта и т.д. Поэтому данный подход не всегда удобен и надежен.

Проведенные исследования показали, что в случае испытаний «со стабилизацией» зонда, даже при отсутствии температурного датчика, можно с достаточной для практических целей точностью идентифицировать состояние грунта.

В результате полевых исследований было выявлено, что коэффициент стабилизации сопротивления грунта под конусом зонда  $R_{vs} = q_{cv}/q_{cs}$  в талых и мерзлых грунтах существенно отличается. Если в талых грунтах величина коэффициента  $R_{vs}$  составляла в среднем 1,4, то в мерзлых существенно больше - 3. Однако, этот критерий работает не во всех случаях. В интервале  $R_{cv} = 1,5 \dots 3,0$  гистограммы талого и мерзлого грунтов накладываются друг на друга создавая зону неопределенности.

В связи с этим был предложен двухпараметрический критерий (рис.2) оценки состояния грунтов. Более точно разделить грунты по их состоянию оказалось возможным при одновременном использовании коэффициента стабилизации сопротивления грунта под конусом зонда  $R_{vs}$  и «скоростного» сопротивления  $q_{cv}$ .

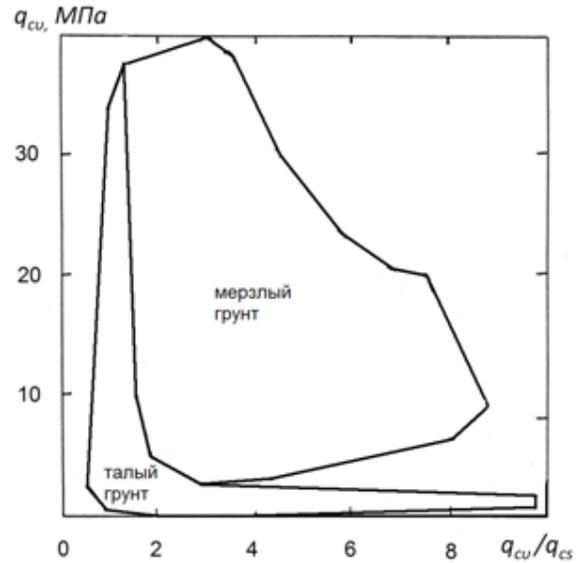


Рис 2. Диаграмма определения состояния грунта по данным статического зондирования

$q_{cv}$  и  $q_{cs}$  - сопротивления грунта под конусом зонда, зафиксированные соответственно при его погружении со скоростью  $V_c = 0,5$  м/мин и через  $t_s = 5$  мин после начала релаксационно-ползучего режима испытания

Помочь в определении состояния грунта могут и другие признаки, основанные на анализе сопротивлений грунта зондированию. Среди них можно выделить, например: резкое возрастание (понижение) «скоростного» сопротивления грунта под конусом зонда  $q_{cv}$  при его задавливании в пределах одного инженерно-геологического элемента; наличие (отсутствие) начального участка возрастания «стабилизованного» сопротивления грунта вдоль муфты трения  $f_{ss}$ , обусловленного процессом интенсивного вмерзания зонда в грунт и т.д.

### Оборудование и методика испытания статическим зондированием

Согласно ГОСТ 19912-2001 статическим зондированием можно испытывать многолетнемерзлые дисперсные грунты, состав и состояние которых позволяют производить непрерывное внедрение зонда. Наиболее эффективен этот метод в пластичномерзлых глинистых грунтах. В условиях многолетнемерзлых грунтов для испытаний используют тензометрический зонд с конусом и муфтой трения, дополнительно оснащенный датчиком температуры, расположенным в конусе наконечника зонда (рис.1).

Зондирование выполняется путем вдавливания зонда с постоянной скоростью  $0,5 \pm 0,1$  м/мин с периодическими остановками по глубине (рекомендуемый интервал 0,5-1,0

м), при которых испытание переводят в релаксационно-ползучий режим («стабилизация» зонда), сопровождаемый вмерзанием зонда в грунт и изменением сопротивлений грунта зондированию во времени. Переход в режим «стабилизации» достигается путем прекращения подачи масла в гидродомкраты вдавливания зонда.

При испытании мерзлых грунтов измеряют и фиксируют:

- удельные сопротивления грунта под конусом и вдоль боковой поверхности муфты трения при вдавливании зонда с постоянной скоростью («скоростные» сопротивления), испытании зонда в релаксационно-ползучем режиме («стабилизированные» сопротивления) и в начальный момент додавливания зонда после завершения его вмерзания в грунт в процессе испытания в режиме «стабилизации» («пиковые» сопротивления);

- температуру конуса зонда;
- глубину и скорость вдавливания зонда;
- время, прошедшее после начала режима «стабилизации» зонда.

Вмерзание зонда в грунт допустимо считать завершенным, если изменение температуры конуса наконечника зонда за последние 5 мин составляет не более  $0,05^{\circ}\text{C}$ .

### Определение характеристик механических свойств пластичномерзлых грунтов

В результате проведения сравнительных полевых испытаний пластичномерзлых глинистых грунтов методом статического зондирования и в лабораторных условиях (испытаний методом шарикового штампа и компрессионных) были получены корреляционные зависимости, позволяющие оценить величину предельно длительного значения эквивалентного сцепления  $C_{eq}$  и модуля деформации  $E_f$  грунта по «скоростным»  $q_{cv}$  или «стабилизированным»  $q_{cs}$  сопротивлениям грунта под конусом зонда.

В инженерной геокриологии для мерзлых грунтов широко применяется соотношение  $C_{eq} = 0,5R_c$ . Оно позволяет по величине  $C_{eq}$  определить предельно длительное значение сопротивления грунта одноосному сжатию  $R_c$ .

Для определения нормативных величин  $C_{eq}$ ,  $R_c$  и  $E_f$  в условиях их природного залегания, в зависимости от режима зондирования, можно использовать табл.1 или табл.2. Корректировка на прогнозную температуру грунтов (на период эксплуатации проектируемого объекта) может быть выполнена двумя путями.

Первый путь – перед использованием предлагаемых таблиц откорректировать замеренные сопротивления грунта зондированию на основе их зависимостей от температуры. Второй путь – откорректировать значения характеристик механических свойств, соответствующих природной температуре грунта, на основе их зависимостей от температуры.

Табл.1 Определение характеристик прочностных ( $C_{eq}$  и  $R_c$ ) и деформационных ( $E_f$ ) свойств пластичномерзлых грунтов по «скоростным» сопротивлениям грунта зондированию

$q_{cv}$ , кПа	5 000	10 000	15 000	20 000
$C_{eq}$ , кПа	34	96	170	260
$R_c$ , кПа	68	198	340	520
$E_f$ , МПа	16	23	28	32

$q_{cv}$  - сопротивление грунта под конусом зонда, зафиксированное при его погружении со скоростью  $V_c = 0,5$  м/мин

Табл.2 Определение характеристик прочностных свойств ( $C_{eq}$  и  $R_c$ ) пластичномерзлых грунтов по «стабилизированным» сопротивлениям грунта зондированию

$q_{cs}$ , кПа	3 000	5 000	10 000	15 000
$C_{eq}$ , кПа	58	110	240	390
$R_c$ , кПа	116	220	480	780

$q_{cs}$  - сопротивление грунта под конусом зонда, зафиксированное через 5 мин после начала релаксационно-ползучего режима испытания

### Литература

- ГОСТ 19912-2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием.
- ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.
- СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.
- Минкин М.А. Методика и методы инженерно-геокриологических изысканий. 2005. – Ухта: Институт управления, информации и бизнеса. 252 с.
- Рыжков И.Б., Исаев О.Н. 2010. Статическое зондирование грунтов. М.: Издательство «АСВ». 496 с.
- Lunne T., Robertson P.K. and Powell J.J.,M. 2004. Cone penetration testing in geotechnical practice. London and New York: Spon Press. 312 p.

## О силах криогенного пучения грунтов

О.А. Казанский

Игарская ГЛ Института мерзлотоведения СО РАН, Игарка, Красноярский край, Россия

Обеспечение устойчивости инженерных сооружений связано с решением проблемы воздействия на фундаменты криогенного пучения грунтов. В действующих нормативных документах [СНиП 2.02.04-88, 1990] расчет фундаментов на устойчивость при воздействии сил криогенного пучения грунтов предусмотрен только для слоя сезонного промерзания – оттаивания. В практике строительства встречаются нередко условия с маломощными многолетнемерзлыми толщами (ММТ). Такие условия часто встречаются на правом берегу Енисейского Севера и в южной зоне распространения ММТ.

При использовании их в качестве оснований сооружений по 1 принципу, охлаждающее влияние вентилируемых подполий приводит к аградации ММТ. Процесс сопровождается интенсивным криогенным пучением за счет миграции влаги к фронту промерзания. Именно в таких случаях и возникает необходимость рассчитывать воздействие сил криогенного пучения на фундаменты сооружений при многолетнем промерзании грунтов. К сожалению, в нормативных документах необходимая методика пока отсутствует, а строительство производится. Так, без всякого научного обоснования, построен весь современный Норильск (рис.1).

Под криогенным пучением понимается прежде всего перемещение определенного слоя грунта перпендикулярного фронту промерзания. Традиционно [Цитович, Сумгин 1937], величина касательной силы пучения определяется длительным сопротивлением сдвигу мерзлого слоя грунта относительно фундамента, то есть силами смерзания. Однако как бы велика ни была суммарная сила смерзания, она не может приподнимать фундамент и деформации в сооружениях не вызывает. Подъемную силу обеспечивает только нормальная сила пучения. Давление криогенного пучения полностью определяется кристаллизационным давлением, которое развивается и существует в тонком слое «лед – незамерзшая вода – минеральная составляющая» на нижней границе самого глубокорасположенного растущего штира льда. Под кристаллизационным давлением понимают максимально возможное при данном переохлаждении давление кристаллов льда на препятствие [Хаимов-Мальков 1959]. Связывают это давление с энергией фазового перехода. В открытой системе давление от веса вышерасположенного слоя грунта и сооружения через растущий штир льда прилагается к подстилающему слою минеральной части грунта. Поэтому кристаллизационное давление является однофазным, оно не распространяется на грунтовую воду. К этому основополагающему выводу о перераспределении внешнего давления между фазами грунта впервые пришел К. Терцаги еще в 20 годы прошлого века [Терцаги, Пек 1948]. Кристаллизационное давление является термодинамическим параметром и выражается в виде:

$$\sigma = -L \cdot (T_0 - T_s) / T_0 v_i$$

где  $\sigma$  – кристаллизационное давление, МПа;  
 $L$  – теплота фазового перехода воды, кДж/кг;  
 $T_0$  – температура плавления льда при нормальном атмосферном давлении (101,3 кПа), К;  
 $T_s$  – температура фазового равновесия у подошвы растущего штира льда, К;  
 $v_i$  – удельный объем льда, м/кг.

Расчет по этой формуле показывает, что удельное нормальное давление криогенного пучения при температуре сегрегации ( $T_s$ ) равной минус 0,3°С составляет 330 кПа.

В практике строительства обычно встречаются два варианта. Первый – когда фундаменты сооружений проходят через слой многолетнемерзлого грунта и опираются на скальные или малосжимаемые грунты, а второй – когда фундаменты располагаются в слое многолетнемерзлого грунта.

В первом случае расчет фундаментов на устойчивость, необходимо производить не только по величине

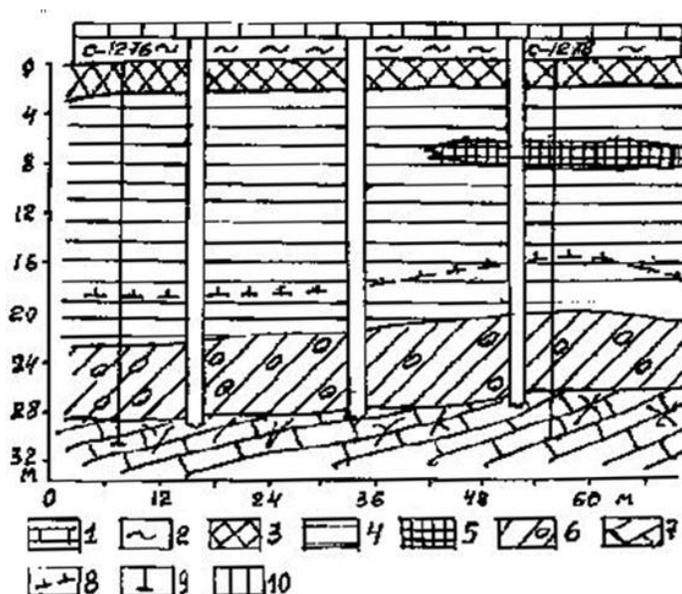


Рис.1. Геокриологический разрез на строительной площадке в г. Норильске. 1 – ростверк; 2 – проветриваемое подполье; 3 – подсыпка; 4 – глина ленточная; 5 – сегрегационный пластовый лед; 6 – суглинок с галькой; 7 – известняк; 8 - граница многолетнемерзлых грунтов; 9 – изыскательская скважина; 10 – свая.

суммарной касательной силе пучения, но также оценивать и суммарную нормальную силу пучения приходящуюся на один фундамент. При большой частоте и глубококом заложении фундаментов (рис.1), последняя может быть соизмерима или даже меньше. За результирующую принимается минимальная из этих величин.

При выявлении причин деформаций или преждевременного разрушения сооружений, построенных на маломощных ММТ, автор в своей практике [Казанский 2005] применяет оценочные расчеты на действие сил криогенного пучения по следующей методике. Суммарная касательная сила пучения при многолетнем промерзании грунтов рассчитывается по методике нормативного документа [СНиП 2.02.04-88. 1990], поскольку в генетическом плане разницы нет (табл.1)

Таблица 1. Суммарные сопротивления суглинистых мерзлых грунтов сдвигу по поверхности свай (МН) сечением 0,3х0,3м и 0,4х0,4м при разных мощностях мерзлых толщ и температуре -1,0°С (так называемая, суммарная касательная сила пучения).

Мощность мерзлой толщи, м	5	7	9	11	13
Свая 0,3 х 0,3 м	0,60	0,84	1,08	1,32	1,56
Свая 0,4 х 0,4 м	0,80	1,12	1,44	1,76	2,08

Суммарная сила нормального пучения, приходящаяся на единицу фундамента рассчитывается по вышеприведенной формуле, пропорционально площади

пятна сооружения, при этом ММТ условно принимается за жесткую плиту.

В существующих словарях термин касательная сила пучения трактуется не совсем адекватно своей генетической природе, поэтому автор предлагает свое, более простое, понятное и связанное непосредственно с генезисом определение

Касательная сила пучения есть результат совместного действия силы смерзания грунта с фундаментом и нормальной силы пучения, передаваемый на его боковую поверхность.

## Литература

- Казанский О.А. 2005. Строительство и эксплуатация сооружений в условиях островного распространения многолетнемерзлых толщ (ММТ) // Материалы третьей конференции геокриологов России, 1-3 июня 2005г. Изд-во МГУ, – С. 131-137.
- СНиП 2.02.04-88. 1990. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах // Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 56 с.
- Терцаги К., Пек Р. 1948. Механика грунтов в инженерной практике. – М.: Стройиздат, 340 с.
- Хаимов-Мальков В.Я. 1959. К термодинамике кристаллизационного давления // Рост кристаллов. Т.2. – М.: Изд-во АН СССР, С. 5-16.
- Цитович Н.А., Сумгин М.И. 1937. Основы механики мерзлых грунтов. – М.: Изд-во АН СССР, - 432 с.

# О связи параметров фазового равновесия вода-лед с долговечностью мерзлого грунта

Х.Т.Казбакова, А.А. Коновалов

Тюменский государственный нефтегазовый университет, Институт проблем освоения Севера, Россия

## Аннотация

Рассмотрены особенности кристаллизации грунтовой влаги при разных величинах давления и засоленности. Показана и количественно оценена связь температур кристаллизации с долговечностью мерзлого грунта.

**Ключевые Слова:** температура, кристаллизация, давление, засоленность, долговечность

Связь между параметрами фазового равновесия можно описать простой формулой [Лабораторные методы..., 1985]:

$$t_{\phi} = P_b = P(V_{\text{тв}} - V_{\text{ж}})T_o/Q_{\phi} \approx P \cdot 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{МПа}, \quad (1)$$

где  $t_{\phi}$  – температура замерзания (оттаивания) грунтовой влаги,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_o = 273(\text{K})$  – то же, при атмосферном давлении;  $V_{\text{тв}}$  и  $V_{\text{ж}}$  – удельный объем твердой ( $1,09 \text{ см}^3/\text{г}$ ) и жидкой ( $1 \text{ см}^3/\text{г}$ ) фазы;  $P$  – внешнее давление;  $Q_{\phi} = 334 \text{ кДж/кг}$  – теплота плавления.

Минимум  $t_{\phi} = -22^{\circ}\text{C}$ , достигается при  $P = 214-220 \text{ МПа}$ . При  $P > 220 \text{ МПа}$  знак зависимости  $t_{\phi}$  от  $P$  меняется на обратный (рис.1). Эти величины  $t_{\phi} = -22 \text{ }^{\circ}\text{C} = t_{\text{пр}}$  и  $P = 220 \text{ МПа} = P_{\text{пр}}$ , характеризуют предельное равновесие жидкой и твердой фаз обычной воды. При  $t < -22 \text{ }^{\circ}\text{C}$  обычная вода, а при  $P > 220 \text{ МПа}$  обычный лед (лед - I) – не существуют [Савельев, 1991].

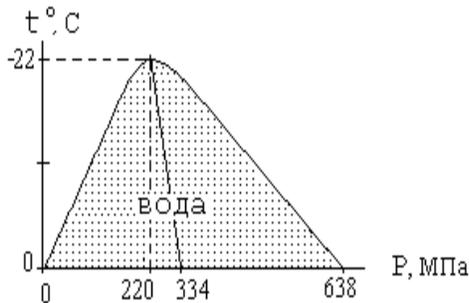


Рис.1. Область существования воды при отрицательной температуре.

Другим фактором понижения температуры замерзания является засоленность.

Анализ фактического материала показал:

1) Зависимость температуры замерзания ( $t_{\phi}$ ) от давления ( $P$ ) и концентрации порового раствора ( $Z$ ), отнесенных к их предельным (эвтектическим) значениям описываются идентичной формулой (рис.2).

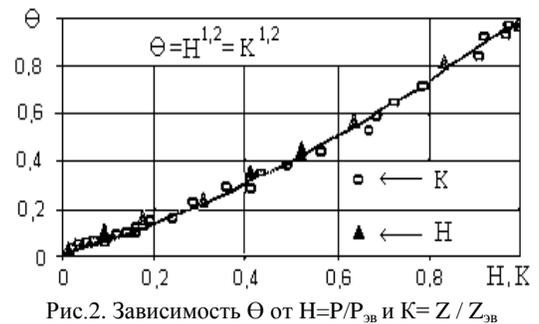


Рис.2. Зависимость  $\Theta$  от  $H = P/P_{\text{эв}}$  и  $K = Z/Z_{\text{эв}}$

С учетом этого получена формула температуры замерзания, учитывающая оба этих фактора [Konovalov, 2009, 2010]:

$$\theta = [(P/P_{\text{max}} + (Z/Z_{\text{эв}})(t_{\text{эв}}/t_{\text{min}})^{0,83}]^{1,2}, \quad (2)$$

Все параметры в (2) выражены в относительном виде:

$$\theta = (t_{\phi} / t_{\phi, \text{min}}); H = (P / P_{\text{эв}}); K = (Z / Z_{\text{эв}})$$

2) Пространственные, температурные и тепловые параметры, характеризующие области существования жидкой и твердой фаз воды и их деформации при фазовых превращениях, примерно подобны, причем коэффициент подобия совпадает с числом месяцев в году или средним количеством часов в дневное и ночное время [Konovalov, 2009]:

$$V_{\text{тв}}/(V_{\text{тв}}-V_{\text{ж}}) = T_o / -t_{\text{пр}} = Q_c/Q_{\phi} = j_c / j_{\text{пл}} \approx 12, \quad (3)$$

где  $Q_c$  – скрытая теплота сублимации льда (при  $t = -22^{\circ}\text{C}$   $Q_c = 2830 \text{ кДж/кг}$ );  $j_{\text{пл}} = 1 - (V_{\text{ж}}/V_{\text{тв}}) = 0,083$  – относительная деформация плавления льда (изменение его объема при плавлении);  $j_c = 1$  деформация льда при сублимации.

3) Существует два типа (механизма) разрушения твердого тела: медленное, пластическое, проявляющееся через постепенное увеличение внешней деформации, и скачкообразное, хрупкое, развивающееся за счет трещинообразования [Вялов, 1978, Регель и др., 1977, Konovalov, 2009, Коновалов, 2011]. Первое завершается переходом в жидкообразное состояние, второе –

раскрытием трещин и распадом на части. Первый, типичный для мерзлых грунтов и льда, работает около точки плавления; второй – вдали от нее. Формулы долговечности для пластического и хрупкого разрушения имеют вид, соответственно:

$$\tau_d = \tau_0 \exp[2(T_0/T)(1 - P/P_m) / j_{пл}] \quad (4)$$

$$\tau_d = \tau_0 (P_m/P)^{1/j_{пл}} \quad (5)$$

где  $P_m$  – давление замерзающей воды, равновесное данной температуре, определяемое из формулы (1),  $T$  (К) температура.

На рис.3 представлены зависимости условных долговечностей  $A = j_{пл} \ln(\tau_d / \tau_0) = 2(T_0/T)(1 - P/P_m)$  и  $B = j_{пл} \ln(\tau_d / \tau_0) = \ln(P_m / P)$  от  $P/P_m$ . Жирная линия отражает зависимость реальной относительной долговечности (в логарифмическом масштабе) от относительного давления, независимо от механизма разрушения.

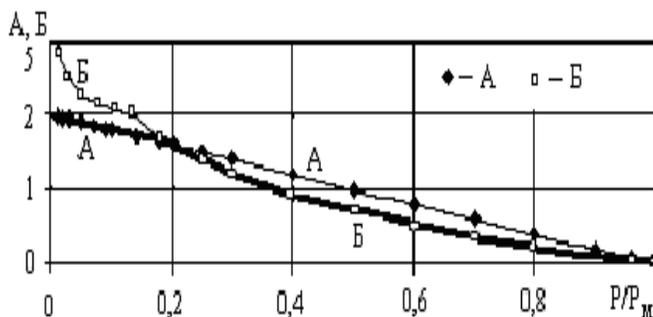


Рис.3. Зависимость A и B от  $P/P_m$

Из рис.3 видно, что при  $P/P_m \geq 0.2$  долговечность больше у хрупкого тела ( $A > B$ ). Это означает, что критическая деформация  $j_{пл}$  достигается раньше, чем тело разваливается на части. Следовательно, долговечность и прочность в этой области нужно рассчитывать по формуле (5), как для пластического тела. При  $(P/P_m) < 0.2$ , наоборот, больше “пластическая” долговечность ( $B > A$ ), поэтому тело разваливается раньше, чем достигается критическая

деформация  $j_{пл}$ . Следовательно, долговечность и прочность в этой области (левой на рис.3) нужно рассчитывать по формуле (4), как для хрупкого тела.

Барическое условие преимущественной работы хрупкого или пластического механизма разрушения  $P/P_m = 0.2$  при подстановке в него  $P_m$  согласно формуле (1) легко переводится и в температурное:

$$P/P_m = t_n / t = 0.2 \quad (6)$$

Как следует из формул (5) и (6), при малых нагрузках или низких температурах “пластическая” долговечность теоретически устремляется в бесконечность. На самом деле во всех случаях, даже если  $P=0$  (при атмосферном давлении), фактическая долговечность (жирная линия на рис.3) является конечной величиной.

## Литература

- Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов – М.: Высшая школа, 1978, - 446 с.
- Konovalov A.A. Correlation between the supercooling parameters of a freezing moist material and the temperatures of transitions to the plastic- and solid-frozen state and its longevity // Journal of Engineering Physics and Thermophysics, V. 83. No 3., 2010. P. 476-485.
- Коновалов А.А. О прочности и ползучести мерзлых грунтов // Мат. 4-й конференции геокриологов России Т.1, М.: МГУ, 2011, с.80-86
- Лабораторные исследования мерзлых грунтов /Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: МГУ, 1985. 351 с.
- Регель В.Р., Слущер А.И., Томашевский Э.Е. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: Наука, 1974. 560 с.
- Савельев Б.А. Гляциология.– М.: МГУ, 1991. 288 с.
- Konovalov A.A. On the strength a body at temperatures close to its melting point. Journal Physics and Thermophysics, vol.82, No.5, 2009. P. 1000-1007

## Заболачивание и многолетнее промерзание территории, сложенной крупнообломочными грунтами

В.Д. Каргаполов

*Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Россия*

### Аннотация

Принято считать, что заболаченность местности наблюдается там, где покровные отложения представлены суглинками и супесями или льдистыми торфяниками. При этом отмечается, что в отдельных районах, несмотря на малое количество выпадающих в летнее время дождей, болота на поверхности образуются интенсивно. Автором выполнены натурные наблюдения, которые показали, что заболачивание местности не зависит от дисперсности отложений.

**Ключевые Слова:** крупнообломочные грунты; заболачивание; многолетнее промерзание; насыщение льдом; сфагнум; торф.

Многолетнее промерзание грунтов в северных регионах связано с изменением условий теплообмена на поверхности. Наиболее существенным фактором при этом является заболачивание территории и образование торфяников.

По мнению большинства исследователей, занимавшихся вопросами заболачивания северных территорий, основным условием, необходимым для образования болот, является наличие водоупора в приповерхностных отложениях. Таким водоупором могут быть глинистые отложения или многолетнемерзлые породы [Реутт 1970]. Заболачиванию, кроме того, способствует возникновение просадок во впадинах и понижениях и также на склонах в местах выклинивания подземных вод. По мнению геоботаника Г.А. Воронова [1963] заболачивание может происходить в результате сукцессии при смене зеленых гипновых мхов кукушкиным льном и впоследствии сфагновыми мхами.

В зарубежной литературе отмечается, что в районе Фербенкса (Аляска) при континентальном климате и небольшом количестве выпадающих осадков наблюдается обилие заболоченных участков. Авторы объясняют это тем, что "...губчатый мат, состоящий из осоки, мхов и низких кустарников, задерживает поверхностные воды и действует как резервуар" [Певе, Пейдж, 1974].

Автором данного сообщения выполнены натурные наблюдения на побережье Охотского моря в районе устья р. Яны (рис.1, 2).

Наблюдения проводились на низине, представляющей собой морскую террасу, сложенную галькой и песком разной крупности. Глинистых отложений в поверхностном слое нет.

Климат побережья муссонного типа. В зимнее время холодный воздух, формирующий область высокого давления, с континента стекает в сторону моря. В весеннее время над континентом область высокого давления исчезает, повторяемость западного и юго-западного ветров увеличивается.

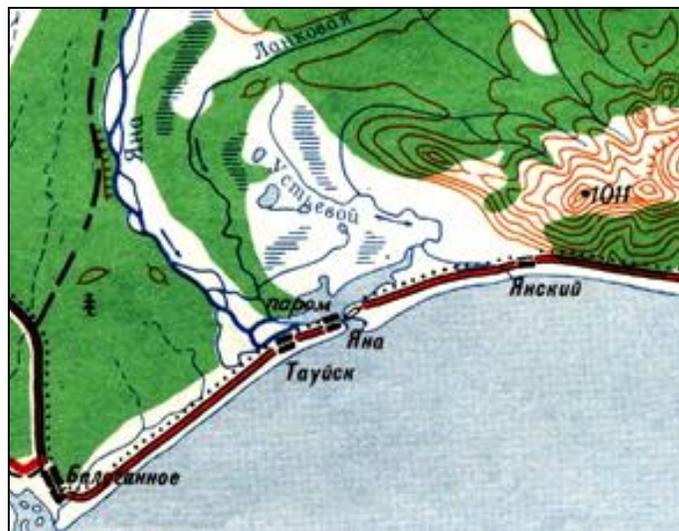


Рис.1. Участок натурных наблюдений в районе устья р. Яны (схематическая карта)



Рис.2. Общий вид участка натурных наблюдений в районе устья р. Яны

В прибрежную зону выносятся влажные воздушные массы воздуха с низкой облачностью и туманами. Среднегодовая температура воздуха по метеостанции Нагаево (на побережье в черте г. Магадана) составляет  $-4,1^{\circ}\text{C}$ , абсолютная минимальная  $-48^{\circ}\text{C}$ , абсолютная максимальная  $+25^{\circ}\text{C}$ .

Непосредственно на побережье (морской пляж) растительность отсутствует. Если двигаться от берега моря на север в сторону склона горы, можно наблюдать следующее. Непосредственно к пляжу примыкает поверхность, заросшая травой. Далее травяной покров сменяется редкими одиночными молодыми лиственницами даурскими и редкими куртинами молодого кедрового стланика. Далее в ландшафте появляются более зрелые лиственницы и куртины кедрового стланика произрастают более часто, при этом поверхность покрыта низкорослой растительностью, состоящей из травяного покрова и мхов (рис.3). Еще дальше лес становится более густым и зрелым.



Рис.3. Редкий лиственничный лес и куртины кедрового стланика



Рис.4. Граница леса и тундры

На рис.2 видна граница между лесным массивом и тундрой с озерами на поверхности. На рис.4 эта граница показана с более близкого расстояния. У границы с тундрой лиственничный лес достаточно густой и зрелый. Подлесок здесь представлен ограниченными по размерам куртинами стланика и густым кустарником с моховым покровом на поверхности.

Мы выполнили исследования по изучению влияния растительности на температурный режим верхнего слоя пород. Разовые измерения температуры до глубины 0,7 м выполнялись одновременно в период максимального прогрева пород (вторая половина августа) на следующих участках: точка 1 – галечниковая морская коса; точка 2 – зарастающая морская терраса (рис.3); точка 3 – граница между лесом и тундрой (рис.4); точка 4 – на тундре на расстоянии около 100 м от леса. Сравнение графиков (рис.5) показывает, что смена растительных сообществ и заболачивание приводит к многолетнему промерзанию и образованию многолетнемерзлых пород.

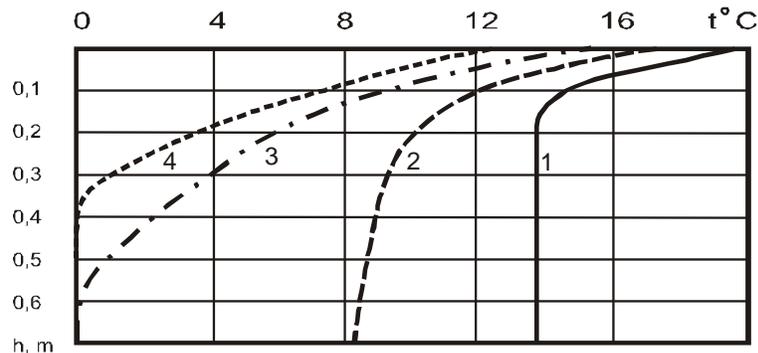


Рис.5. Температура грунтов на разном удалении от берега (описания в тексте)

## Литература

- Воронов Г.А. 1961. Геоботаника. – М.: Изд-во Наука, 263 с.  
 Певе.Л, Пейдж А. 1974. Морозное пучение свай на примере района Фербенкс на Аляске (перевод с англ.). Красноярск: Издательство института "Красноярский промстройиниипроект", 116 стр.  
 Реутт А.Т. 1970. Растительность. Из: Север Дальнего Востока. – М.: Изд-во Наука, с.257-291

## Проект геопортала МГУ «Геоинформационная система участка побережья Югорского полуострова»

А.И. Кизяков

*Географический факультет МГУ им.М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

М.В. Зимин

*Инженерно-технологический центр «СканЭкс», Москва, Россия*

А.В. Хомутов, К.А. Ермохина, М.О. Лейбман

*Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия*

### Аннотация

Развивающееся направление веб-картографии позволяет осуществлять удаленный доступ к различным пространственно-ориентированным данным, с возможностью организации совместной работы внутри рабочей группы, а также представления свободного доступа к результатам исследований для широкого круга пользователей. На базе геопортала МГУ с образовательными и научно-исследовательскими целями создан проект «Геоинформационная система участка побережья Югорского полуострова». В состав проекта включены результаты многолетних полевых наблюдений и их последующей камеральной обработки. В структуре проекта хранятся материалы дистанционного зондирования, пространственно привязанные описания полевых маршрутных точек, фотографии характерных форм рельефа и ландшафтов, а также созданные на основе полученных данных тематические карты.

**Ключевые Слова:** Геоинформационная система; термоденудация; термоцирки; Югорский полуостров.

### Введение

В рамках развития геопортала МГУ создан проект «Геоинформационная система участка побережья Югорского полуострова». Используемые геопортальные технологии позволяют визуализировать, проводить анализ пространственных данных и обмениваться ими в рамках открытых коммуникационных сетей. Имеющиеся базы данных космических снимков дополняются материалами проводимых полевых исследований, результатами обработки материалов дистанционного зондирования. Реализована возможность доступа к веб-сайту геопортала МГУ из любой точки мира, имеющей доступ в интернет.

Научно-исследовательские и образовательные цели создания проекта геопортала участка побережья Югорского полуострова восточнее поселка Амдерма:

1. изучение морфолитогенеза Арктических равнин для разработки прогноза развития опасных рельефообразующих процессов,

2. систематизация результатов изучения криолитонологического, геоморфологического и ландшафтного строения территории для совместного анализа полученных материалов,

3. выделение комплекса рельефообразующих процессов, развивающихся на арктических побережьях в условиях широкого распространения залежей ледяных льдов для использования в курсе лекций «Криогенные процессы на равнинах и в горах».

### Исходные данные

Работы на побережье Югорского полуострова в районе поселка Амдерма проводятся с 1999 года [Cherkashov et al. 1999; Кизяков 2005; Лейбман и Кизяков 2007]. Основное

внимание уделено изучению распространения и свойств залежей ледяных льдов, развитию процессов термоденудации и термоабразии в полосе побережья. Выявлены различные комплексы термоденудационных процессов и связанных с их развитием форм рельефа.

На полевом этапе исследований в ходе маршрутных наблюдений проведено картографирование рельефа и рельефообразующих процессов прибрежной зоны, а также типизация берегов изучаемого 45-км участка. Результатом этих работ стала геоморфологическая карта изучаемого участка, позволившая оценить распространенность термоденудационных форм рельефа и протяженность берегов разного типа. В структуре атрибутивной таблицы каждому геоморфологическому контуру присвоена информация о морфологии и происхождении рельефа, для террасовидных поверхностей добавлена информация о предполагаемом возрасте. Береговая линия разбита на сегменты с различными типами берегов в зависимости от соотношения скоростей термоабразии и термоденудации на береговом клифе. При наложении разделенной на сегменты береговой линии на геоморфологическую карту выделены элементарные участки берегового уступа, в пределах которых каждому контуру рельефа побережья соответствует один динамический тип берега. Выявленные скорости отступления берегов позволили спрогнозировать положение береговой линии через 50 лет.

Динамика роста термоцирков и скорость отступления берегов выявлены на основании повторных наблюдений на мониторинговых площадках и сопоставления современного положения бровок термоцирков и береговых уступов с результатами дешифрирования разновременных данных – аэрофото- и космоснимков, топокарт. Для оценки динамики береговой линии и роста термоцирков за

длительный период времени использовались данные дистанционного зондирования – аэрофотоснимки 1947 года, топокарты 1969 года, космоснимок 2001 года, а также результаты полевой топографической съемки ключевого участка 2001 года.

Современные скорости роста термоцирков непосредственно измерены на мониторинговых площадках организованных нами в 2001-2001 гг. Полученные скорости отступления стенок термоцирков и берегового уступа позволили:

- рассчитать объемы выносимого материала из термоцирков и сопоставить с количеством материала, поступающего в море при отступании термоабразионных берегов [Кизяков и др., 2006],
- оценить факторы, влияющие на скорость отступления берегов изучаемого участка [Leibman et al. 2008].

### Структура проекта

Накопленный полевой материал, результаты камеральной обработки и составленные тематические карты обобщены в рамках единой геоинформационной системы с возможностью дальнейшего пополнения информацией. Систематизация пространственно-ориентированных данных в составе проекта, упрощает доступ к материалам полевых наблюдений.

В состав проекта включены следующие слои:

1. Космоснимки:
  - Landsat7, ETM+ 2001 г. (15 м),
  - SPOT 4 2011 г. (10 м),
  - Terra/Aqua, MODIS (250 м).
2. Цифровая модель рельефа масштаба 1:25 000.
3. Аэрофотоснимки 1947 г. масштаба 1:60 000.
4. Созданные тематические карты:
  - геоморфологическая карта-схема масштаба 1:25 000,
  - карта растительности масштаба 1: 25 000,
  - карта ландшафтных комплексов (уровня фаций) на ключевых участках.
5. Таблично-текстовая информация:
  - точки полевых описаний рельефа, рельефообразующих процессов,
  - точки полевых описаний растительных ассоциаций,
  - архивные данные по метеостанции Амдерма [данные с сервера «Погода России» <http://meteo.infospace.ru>].
6. Точки фотографий характерных форм рельефа и ландшафтов, полученные в ходе полевых работ 1999-2010 гг., в том числе повторные фотографии термоцирков на ключевых участках.
7. Криолитологические разрезы ключевых участков.
8. Информация о темпах развития термоденудационных процессов:
  - отступление бровок термоцирков,
  - отступление береговой линии,
  - объем материала, выносимого в береговую зону,
  - прогноз отступления береговой линии.

Данные по развитию изучаемых термоцирков для удобства пользователей собраны в отдельные сообщения

по каждому ключевому участку – текстовое описание термоцирка, сведения об оборудованной мониторинговой площадке, схема изменения положения бровок за период наблюдений, фотоматериалы.

Материалы, вошедшие в проект геопортала, созданы, обработаны на основе программного обеспечения компаний ESRI, Leica Geosystems, R&D «SCANEX».

### Заключение

Проект участка побережья Югорского полуострова восточнее поселка Амдерма создан с целью обобщения данных по криолитологическому, геоморфологическому и ландшафтному строению территории и проведения анализа пространственных взаимосвязей с учетом динамики природных систем.

Создана система открытого типа для подключения новых информационных источников всех видов – растровых, векторных, таблично-текстовых.

На 2012 год запланировано: организация сверхвысокодетаальной съемки, определение положения бровок термоцирков и берегового уступа на ключевых участках, построение серии карт динамики вегетационного индекса.

Все материалы исследований открыты для общего доступа. Авторы проекта имеют расширенные возможности по редактированию, изменению проекта, добавлению новой геоинформации.

Доступ к проекту осуществляется по ссылке 93.180.19.34:8082/Yugorsky.

### Литература

- Кизяков А.И. 2005. Динамика термоденудационных процессов на побережье Югорского полуострова. // Криосфера Земли IX (1): 63-67. (на русском языке).
- Кизяков А.И., Лейбман М.О. и Передня Д.Д. 2006. Деструктивные рельефообразующие процессы побережий арктических равнин с пластовыми подземными льдами. // Криосфера Земли X (2): 79-89. (на русском языке).
- Лейбман М.О. и Кизяков А.И. 2007. Криогенные оползни Ямала и Югорского полуострова. – М., Тюмень^ ИКЗ СО РАН, 206 с. (на русском языке).
- Cherkashov G.A., Goncharov G.N., Kizyakov A.I., Krinitsky P.I., Leibman M.O., Persov A.V., Petrova V.I., Solovyev V.A., Vanshtein B.G. & Vasiliev A.A. 1999. Arctic coastal dynamics in the areas with massive ground ice occurrence. Arctic Coastal Dynamics Workshop, Woods Hool: 5-6.
- Leibman M.O., Gubarkov A.A., Khomutov A.V., Kizyakov A.I. & Vanshtein B.G. 2008. Coastal processes at the tabular-ground-ice-bearing area, Yugorsky Peninsula, Russia. Proc. of the 9<sup>th</sup> Intern. Conf. on Permafrost, 29 June – 3 July 2008, University of Alaska Fairbanks, USA. I: 1037–1042.

## Оценка угнетения растительности в результате влияния геокриологических процессов на основе данных дистанционного зондирования

К.Е. Киселевская

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Москва, Россия

В связи с тем, что большинство Российских месторождений углеводородов расположены в условиях распространения многолетнемерзлых пород важной составляющей является изучение влияния геокриологических процессов на природные системы и объекты обустройства месторождения. К геокриологическим процессам, можно, отнести образование природных газогидратов, их генезис и область распространения приурочена к областям распространения многолетнемерзлых пород. Газогидраты, разрушаются под воздействием внешних факторов, а образовавшиеся углеводороды просачиваясь на поверхность негативно влияют на природную среду, кроме того их выбросы при работе на скважинах приводят к остановке работ и пожарам.

Одним из наиболее интенсивных путей микропросачивания углеводородов на дневную поверхность являются разрывные нарушения высокой проницаемости. УВ газогидратного происхождения поступающие на дневную поверхность в первую очередь негативно сказывается на растительном покрове.

Теория микропросачивания появилась в конце XX в, и связана с тем, что из залежи через покрывку происходит постоянный вынос как углеродных ( $C_mH_n$ ), так и неуглеродных ( $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $He$  и др.), но химически активных компонентов, которые мигрируя могут достигать дневной поверхности, изменяя геохимические особенности ландшафтов над месторождением. В это же время были выявлены обширные залежи газогидратов в зоне многолетней мерзлоты и определено, что большинство природных газов ( $CH_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2S$  и др) образуют гидраты. Наиболее распространены гидраты метана и диоксида углерода, в среднем глубина их залегания 250 – 800м.

Изменения спектральных кривых растительности под влиянием химически активных веществ изучались Чангом и Коллинзом [Баранов и др. 2011, Ванярхо и др. 2010], как в лабораторных, так и в естественных условиях. Устойчивое изменение спектра растительности было выявлено на длинах волн от 680 до 750 нанометров, в этом диапазоне лежит граница красного цвета, которая при угнетение растительности перемещается в сторону коротких волн (в сторону синего), в среднем не более, чем на 20 нанометров, такое явление получило название «голубой сдвиг» (рис.1).

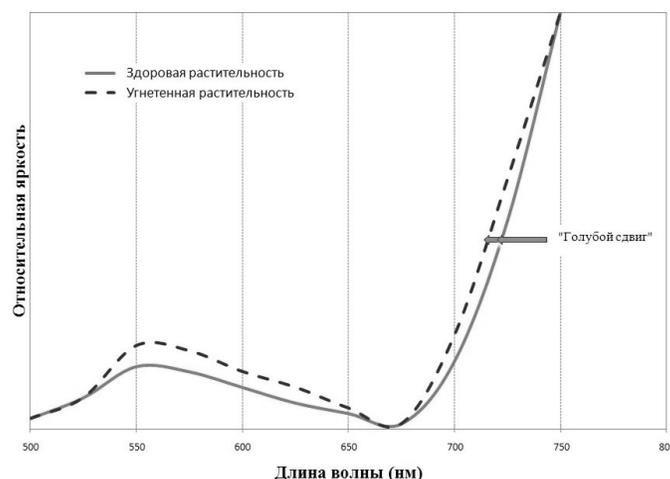


Рис.1. Спектральные кривые растительности и явление «голубого сдвига»

В настоящее время существует возможность на основе современных данных дистанционного зондирования выявить разрывные нарушения и области угнетения растительности, которые при сопоставлении дают возможность определить ареалы микропросачивания углеводородов на дневную поверхность. Для идентификации угнетенного состояния растительности существуют коммерчески доступные мультиспектральные космические аппараты WorldView-2 и Rapideye, которые имеют необходимые каналы для регистрации отражательной способности в крайней красной зоне в диапазоне 680-730 нм.

Технология выявления областей угнетенной растительности и обобщенный опыт применения в области прогноза и поиска месторождений отражен в [Chang & Collins 1983].

Расчет площадей с угнетенной растительностью по мультиспектральному космическому изображению был протестирован на Уренгойском месторождении [Collins, et al., 1983], где «голубой сдвиг» был выявлен вдоль активного разрывного нарушения и вокруг объектов обустройства месторождений. Аналогичные работы проводился на территории Заполярного месторождения и прибрежной территории Камчатки.

Результаты расчетов позволили выявить направления активных разрывных нарушений на месторождениях, обладающих высокой проницаемостью, где возможно вертикальное микропросачивание химически активных элементов, в том числе углеводородов из газогидратов.

Выявление и картирование областей микропросачивания углеводородов может служить одним из поисковых признаков залегания углеводородов, в том числе и газогидратных, которые представляют собой ценность для будущего альтернативного источника энергии, а так же важны для экологического и техногенного мониторинга территорий северных месторождений.

### Литература

Баранов Ю.Б., Ванярхо М.А., Киселевская К.Е., Кожина Л.Ю. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга деформации дневных поверхностей газовых месторождений углеводородов. // В сб.: «Земля из космоса - наиболее эффективные решения», 5-ая межд. конф.

29 ноября – 1 декабря 2011г, ИТЦ СканЭкс, , 2011-416с.

Ванярхо М.А. и др., Поиск месторождений нефти и газа и оценка перспективности лицензионных участков с использованием космической информации. // В сб.: Использование космической информации газовой промышленности, ООО «Газпром экспо», Москва 2010-132с.

S.H. Chang & W. Collins, Confirmation of the airborne biogeophysical mineral exploration technique using laboratory methods. *Economic Geology*, 78 (1983) 723-736.

W. Collins, *et al.*, Airborne biogeophysical mapping of hidden mineral deposits *Economic Geology*, 78 (1983) 737-749.

## Различия бугров пучения в песчаных отсыпках

О.Г. Кистанов

Геологический факультет, МГУ, Москва, Россия

При промерзании пород часто происходит изменение их объема с образованием бугров пучения, из-за различий промерзания по площади и глубине. Наиболее изучены бугры пучения для естественных природных условий. [Орлов В.О., 1962; Невечера В.Л., 1996; Маскау J.R., 1979 и др.]. Данный процесс сопровождается льдообразованием, который наиболее всесторонне описан в работе Шумского П.А. [1955]. На территории инженерных объектов в криолитозоне также наблюдаются бугры пучения [Гречищев, 1990]. Во время их образования и развития поверхность бугров растрескивается, а иногда и сопровождается взрывами, за счет возникающего внутреннего давления [Геворкян, 1992].

При проведении геокриологического мониторинга в 2010 – 2011 гг были изучены бугры пучения, возникающие на территории планировочной отсыпки. Выявлено существование двух типов бугров пучения в зависимости от начальных природных условий в грунте. Рассмотрены причины образования, а также стадии существования бугров пучения.

Участок, на котором проводились наблюдения, находился на установке комплексной подготовки газа (УКПГ), отсыпанной песчаным материалом размерами 500×600 м, расположенном на Заполярном нефтегазоконденсатном месторождении (ЗНГКМ), на севере Западо-Сибирской низменности, в междуречье нижних течений рек Газ и Пур.

Отсыпка песчаным грунтом площадок под строительство началась весной 1999 г и закончена осенью 2001 г. С весны 2006 г отмечены первые образования бугров пучения на территории УКПГ, в последующие годы они появлялись с различной интенсивностью. Причем некоторые бугры пучения образуются на одних и тех же участках из года в год с небольшим перемещением (до 2 м). Это перемещение связано с изменением ежегодного распределения в зимний период снежных отложений.

На рисунке 1 (а, б) представлено положение уровня грунтовых вод (УГВ) и многолетнемерзлых пород (ММП) на октябрь месяц, в период максимального оттаивания грунта. В первом случае (а), кровля ММП находилась на глубине 3,0 м и более от поверхности, а УГВ изменялся от 0,5 – 0,7 м и менее. Для другого варианта (б), – талый слой не выходил за пределы отсыпки и составлял 2,2 – 2,6 м, при УГВ как в случае (а).

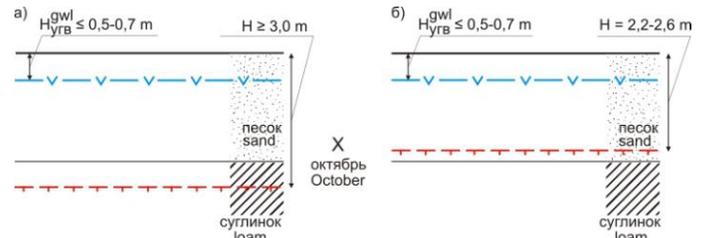


Рис.1. Грунтовые условия на начало промерзания

Скорость промерзания отсыпки была выше под обширными проветриваемыми подполями, зачищаемых от снега дорогами и прилегающих территории, а так же на относительно сухих грунтах отсыпки. На участках, где мощность снежного покрова достигала 0,5 – 0,7 м на начало декабря и с избыточным обводнением, промерзание запаздывало, при этом образовывались гидравлически замкнутые объемы водонасыщенного грунта в разных частях на территории УКПГ, см. рисунок 2 (а, б), рисунок 3 (а, б).

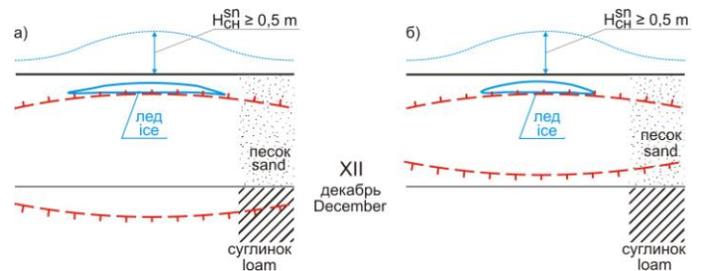


Рис.2. Ход промерзания грунта в декабре

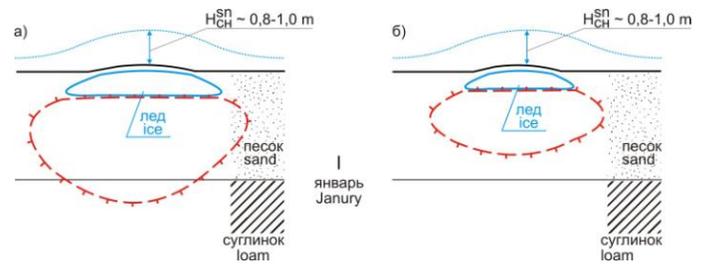


Рис.3. Состояние промерзающего объема грунта в январе

К марту-апрелю формирование бугра пучения завершается, рисунок 4 (а, б). Высота бугра составляла 0,3 – 0,8 м, причем более высокий бугор пучения характерен для варианта (а).

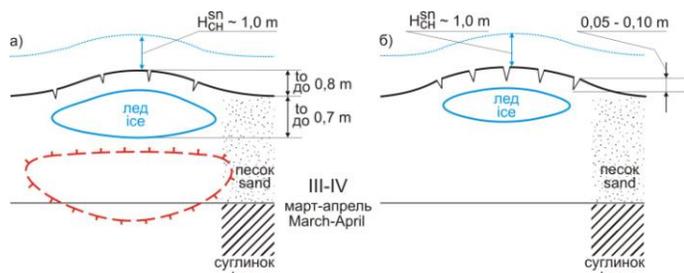


Рис.4 Бугор пучения после окончания роста

Диаметр бугра пучения круглой формы достигает 5 – 6 м. Подошва ледяного ядра находится на расстоянии около 0,7 м от поверхности грунта, глубина трещин в грунте над ядром 0,05 – 0,10 м. Через эти трещины происходит разгрузка при промерзании талых вод в январе-феврале. Основное отличие между буграми пучения это то, что для варианта (а) под ледяным бугром сохраняется талая область, а в варианте (б) талый участок промерзает полностью.

При оттаивании, которое начинается в конце мая – начале июня, образовавшихся бугров пучения, наблюдаются следующие особенности, рисунок 5 (а, б).

Для варианта (а) при достижении фронта протаивания талой зоны под бугром пучения, происходило проваливание ледяного ядра в водонасыщенный песок отсыпки с образованием отрицательных форм рельефа глубиной до 0,1 м и сетью трещин по внешнему периметру ледяного ядра из-за оседания.

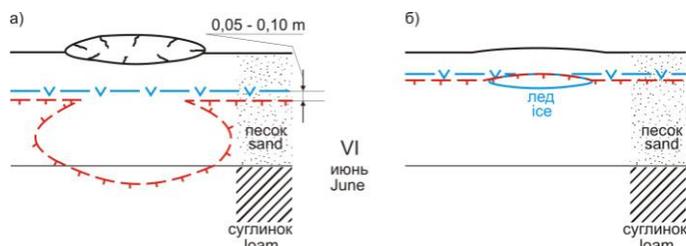


Рис.5 Грунтовые условия с буграми пучения в июне

При протаивании варианта (б), наоборот, в связи с высокой удельной теплоемкостью льда по сравнению с окружающим мерзлым песком, глубина протаивания ледяного ядра меньше, чем вокруг него. Внешне бугор пучения отличается от окружающего его грунта небольшим возвышением или (и) трещинами грунта, которые размыты жидкими осадками и талыми водами.

В ходе исследования получены следующие результаты: 1) определены наиболее благоприятные грунтовые и внешние условия для образования разных типов бугров пучения в насыпных песчаных грунтах;

2) выявлены стадии формирования и существования бугров пучения в течение зимнего и летнего периода;

3) получены некоторые морфометрические признаки бугров пучения (высота, окружность и тп) образованных на песчаных отсыпках.

## Литература

- Геворкян С.Г., Корейша М.М. 1992. Взрывы бугров пучения // *Материалы гляциологических исследований*, вып.77, стр. 120–129. (на русском языке)
- Гречищев С.Е., Шешин Ю.Б. 1990. Развитие некоторых криогенных физико-геологических процессов в основаниях северных аэродромов // *Проблемы механики грунтов и инженерного мерзлотоведения: Сб. науч. трудов ВНИИОСП*, стр.57-64 (на русском языке)
- Невечеря В.Л. 1996. Новая концепция изучения и прогноз криогенного пучения. Кн.1 – М.: МГУ., стр.399 – 406.
- Орлов В.О. 1962 Криогенное пучение тонкодисперсных грунтов. – М.: Изд-во АН СССР, 177 с. (на русском языке)
- Шумский П.А. Основы структурного ледоведения. М., Изд-во АН СССР, 1955, 492 с. (на русском языке)
- Маскай J.R.. 1979. Pulsating pingos, Tuktoyaktuk Peninsula, N.W.T. // *Can. J. Earth Sci.* V.12.- №130

## Радарная дифференциальная интерферометрия для анализа динамики геокриологических процессов

Л.Ю. Кожина, В.А. Черкасов, М.С. Горяйнов  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Москва, Россия

В последние годы интенсивно развивается технология спутниковой радарной съемки Земли. Радарные данные имеют многочисленные преимущества перед оптическими материалами дистанционного зондирования: всепогодность, независимость от времени суток на снимаемой площади, частая повторяемость съемки одной и той же территории. Традиционный продукт при обработке радарных данных – актуальные детальные модели местности. Кроме того, применение разновременных радарных снимков на одну и ту же территорию (радиолокационных пар) дает уникальную возможность рассчитать сантиметровые и субсантиметровые смещения рельефа за соответствующий временной интервал. Эта технология называется радарной дифференциальной интерферометрией. По точности получаемых результатов она сопоставима с геодезическими измерениями. В отличие от них, информацию об изменении поверхности рельефа получают не только в пределах нивелирного хода, но для всей площади покрытия радиолокационной пары, что составляет в зависимости от типа радиолокационного спутника, данные с которого используются, десятки (для крупномасштабных работ) и сотни (для региональных) квадратных километров.

В ООО «Газпром ВНИИГАЗ» активно применяются технологии получения высокодетальных моделей местности и моделей смещения земной поверхности для решения многих геологических и геолого-маркшейдерских задач. Всегда при исследовании территорий месторождений или коридоров трубопроводов, находящихся в пределах распространения многолетнемерзлых пород эти исследования сопровождаются созданием карт проявленности геокриологических процессов. Такие карты создаются посредством дешифрирования высокодетальных или детальных оптических космических изображений. Они позволяют различить объекты на местности размером 0,5 – 2 м. Карта проявленности геокриологических процессов, показывает распространение различных стадий термокарстового процесса, полигонально-валикового и полигонально-безваликового рельефа, вспученных торфяников, области развития солифлюкционных деформаций дневной поверхности, булгунняхов, термоабразионных берегов и термоэрозионных промоин оврагов, современное подтопление объектов инфраструктуры месторождений и прочее.

Состав, свойства и динамика состояния мерзлых пород являются генетическими условиями возникновения геокриологических процессов, проявленных на поверхности, которые выражаются специфическими генетически предопределенными элементами ландшафта.

Достаточно часто, в моделях смещений, получаемых с помощью дифференциальной интерферометрии, имеются участки потери когерентности, в которых нет данных о смещении. Это явление может быть вызвано разными причинами. Одна часть из которых техническая, например, не очень хорошо подобранные радиолокационные пары и параметры их обработки. Другая, обусловлена природными процессами - слишком сильная обводненность грунта, очень большие изменения поверхности за рассматриваемый период времени и обычно такие площади исключаются из анализа. Совместный анализ карт проявленности геокриологических процессов и моделей смещений рельефа по ряду месторождений полуострова Ямал и в Пур-Тазовском междуречье показал, что часто зоны потери когерентности хорошо коррелируют с областями развития полигонального рельефа. Из этого можно сделать два вывода. Первый, о высокой скорости и большой интенсивности пучения, а во-вторых, что области потери когерентности, ранее часто исключавшиеся из анализа, несут много полезной информации о ходе геокриологических процессов.

Комплексный анализ карт проявленности распространения геокриологических процессов и моделей смещений позволяет выявить и оценить активность термоэрозионных, термоабразионных, термокарстовых процессов, солифлюкционных деградаций, рост бугров пучения, выпученных торфяных массивов, представляющих серьезную опасность для безаварийной эксплуатации объектов инфраструктуры месторождений и трубопроводных систем.

Модели смещений поверхности рельефа, дают обширную и точную информацию о геометрических изменениях криогенных элементов ландшафта в рассматриваемый период времени, что позволяет делать выводы не только о динамике криогенных элементов ландшафта, но и об изменении состояния мерзлых пород.

### Литература

- Баранов Ю.Б., Денисевич Е.В., Кулапов С.М. и др. 2008. Космический мониторинг природных опасностей при освоении газовых месторождений Ямала. В мире науки. № 10: 64–67.
- Гафаров Н.А., Баранов Ю.Б. и др. 2010. Использование космической информации ООО «Газпром экспо», 132.
- Самсонов Р.О., Баранов Ю.Б., Кантемиров Ю.И., Гафаров Н.А., Киселевский Е.В. Патент на изобретение № 2435179

## Построение оптимальной климатической проекции для оценки последствий изменений климата в криолитозоне России

В.А. Кокорев, Е.Л. Жильцова

*Государственный гидрологический институт, С.Петербург, Россия*

### Введение

Для оценки влияния изменения климата на вечную мерзлоту необходимы климатические проекции, которые обладают приемлемой точностью в криолитозоне. В современных исследованиях наиболее часто используются ансамблевые проекции изменений температуры воздуха и осадков, полученные при помощи осреднения результатов расчетов по нескольким гидродинамическим моделям (мультимодельные проекции) или же по одной модели от различных начальных условий (мономодельные проекции). Это позволяет свести к минимуму случайные погрешности, присущие каждой индивидуальной модели. Вместе с тем неясен вопрос, как следует отбирать модели для построения мультимодельной ансамблевой проекции. Первоначально принято было считать, что чем больше используется моделей, тем она надежнее. В настоящее время полагают, что следует исключать модели заведомо низкого качества. Нами был разработан метод тестирования и отбора гидродинамических моделей для построения мультимодельной ансамблевой проекции, оптимизированной для изучения последствий изменений климата в криолитозоне России.

### Оценка качества моделей

Мы использовали результаты расчётов по 21 гидродинамической модели из базы данных МГЭИК за период 1900-1999 г., рассчитав основные климатические показатели, влияющие на динамику природных систем криолитозоны.

В публикации [Анисимов и др., 2011] было показано, что состояние природных систем в криолитозоне (включая вечную мерзлоту и растительность) во многом может быть описано тремя климатическими индексами:

- сумма температур теплого периода (для вечной мерзлоты) или периода с температурой выше 5°C (для растительности). Поскольку это статистически связанные характеристики, в тестировании моделей можно использовать любую из них.
- сумма температур ниже 0°C, характеризует суровость зим – важный лимитирующий фактор для растительности в условиях континентального климата.
- индекс сухости, равный отношению суммы температур выше 5°C к годовому количеству осадков.

В контексте сказанного целесообразно проводить оценку гидродинамических моделей именно по этим индексам. Для сопоставимости с работами других авторов к этому перечню мы добавили также среднегодовую температуру воздуха и суммы осадков.

Для оценки качества гидродинамических моделей мы сравнивали рассчитанные с их помощью тренды перечисленных выше индексов с данными наблюдений на

метеостанциях, расположенных в криолитозоне России и непосредственно прилегающих к ней территориях. Данные осреднялись по регионам с однородными изменениями климата в современный период, при этом для метеостанций учитывались веса, пропорциональные площади "области влияния" каждой из них в выбранном регионе. Методология такого районирования описана в публикациях [Анисимов & Жильцова, 2011; Анисимов и др., 2011]. Такой подход позволил уменьшить случайные ошибки модельных проекций за счёт осреднения по большой площади и оценить точность воспроизведения региональных особенностей современных изменений климата.

Для количественной оценки современной динамики климата не менее важную роль, чем районирование, играет дискретизация во времени, под которой понимается определение границ климатических периодов или эпох, характеризующих общностью статистических характеристик параметров климата и принадлежностью их к одной и той же генеральной совокупности. Дискретизация во времени позволяет обоснованно выбрать модель временного ряда и провести статистический анализ данных наблюдений. Как было показано в [Анисимов и др., 2011], даже в рамках простейшей модели временного ряда в виде линейного тренда, выбор точки начала отсчета и продолжительности периода оказывают сильное влияние на величину тренда региональной температуры, а для осадков в некоторых регионах может изменить и его знак.

В работе [Анисимов и др., 2007] было проведено сравнение трех различных моделей приземной температуры воздуха для регионов России в виде стационарного временного ряда, линейного тренда и ступенчатых изменений. Было показано, что из трех рассмотренных, модель временного ряда в виде линейного тренда является наилучшей для описания динамики температуры воздуха в современный период, охватывающий несколько последних десятилетий. В работе [Анисимов и др., 2011] был рассмотрен вопрос о том, где провести нижнюю временную границу этого периода в различных регионах. При помощи статистических критериев было показано, что период современного потепления на севере Центральной и Восточной Сибири начался уже в 1960-х годах. К 1970м годам он начался во всей Западной Сибири и на Дальнем Востоке, и лишь ближе к 1980м годам потепление стало отчетливо выявляться в других регионах России.

Тренды перечисленных выше климатических индексов рассчитывались для нескольких временных интервалов: 30-летний период в конце 20 века (1970-1999), который характеризовался наибольшими климатическими изменениями; весь период инструментальных наблюдений в 20 веке (1900-1999), а также современный климатический

период, определяемый индивидуально для каждой метеостанции. В конечной оценке наибольшее внимание уделялось точности воспроизведения заданных характеристик в современный период, который был определён как период, в котором невозможно выделить точки «перелома» тренда температуры [Анисимов и др. 2012]. Сравнение по такому периоду представляется наиболее корректным, т.к. позволяет наиболее точно оценить реальную величину тренда потепления в данном регионе.

Полученные характеристики сравнивались с данными наблюдений, по результатам этого сравнения проводилось ранжирование моделей по каждому климатическому параметру. При отборе моделей для составления итогового ансамбля особое внимание уделялось исключению разных версий одной и той же модели, а также моделей дающих проекции очень хорошо коррелирующие между собой. Это было сделано для того, чтобы в итоговую проекцию вошли с одинаковыми весами модели, хорошо воспроизводящие современный климат, но при этом дающие различающиеся прогнозы на будущее. По результатам проведённого ранжирования составлялся рейтинг моделей и отбирались несколько лучших с рейтингом выше среднего, на основе которых составлялась ансамблевая проекция температуры и осадков. Ансамблевые проекции с использованием 2, 3, 5 и 7 лучших моделей сравнивались с данными наблюдений и с проекцией, составленной из всех моделей, а по итогам этого сравнения выбиралась проекция, наилучшим образом воспроизводящая выбранные характеристики.

## Выводы

Результаты показали, что ансамблевая проекция, составленная из 3 лучших моделей, воспроизводит климатические характеристики лучше проекции из 21 модели, и по отдельным показателям лучше каждой отдельной модели. Ансамблевая проекция, составленная из 7 моделей незначительно хуже воспроизводит современный климат, однако, с большей вероятностью воспроизведёт диапазон, в который попадет будущий климат. Предложенный метод предварительного отбора лучших моделей и объединения их в ансамбль позволяет уменьшить неопределённость климатической проекции на региональном уровне.

## Литература

- Анисимов О.А., Жильцова Е.Л., Кокорев В.А., 2012. Пространственные и временные закономерности изменения температуры воздуха на территории России в XX веке – начале XXI века. // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. (в печати)
- Анисимов О.А. & Жильцова Е.Л., 2011. Неопределённость оценок изменения климата 20 и начала 21 веков по данным наблюдений на территории России. // Метеорология и гидрология 12
- Анисимов О.А., Жильцова Е.Л., Ренева С.А., 2011. Оценки критических уровней воздействия изменения климата на природные экосистемы суши на территории России. // Метеорология и гидрология 11: 31-41
- Анисимов О.А., Лобанов В.А., Ренева С.А., 2007. Анализ изменений температуры воздуха на территории России и эмпирический прогноз на первую четверть XXI века. - Метеорология и гидрология 10: 20–30.

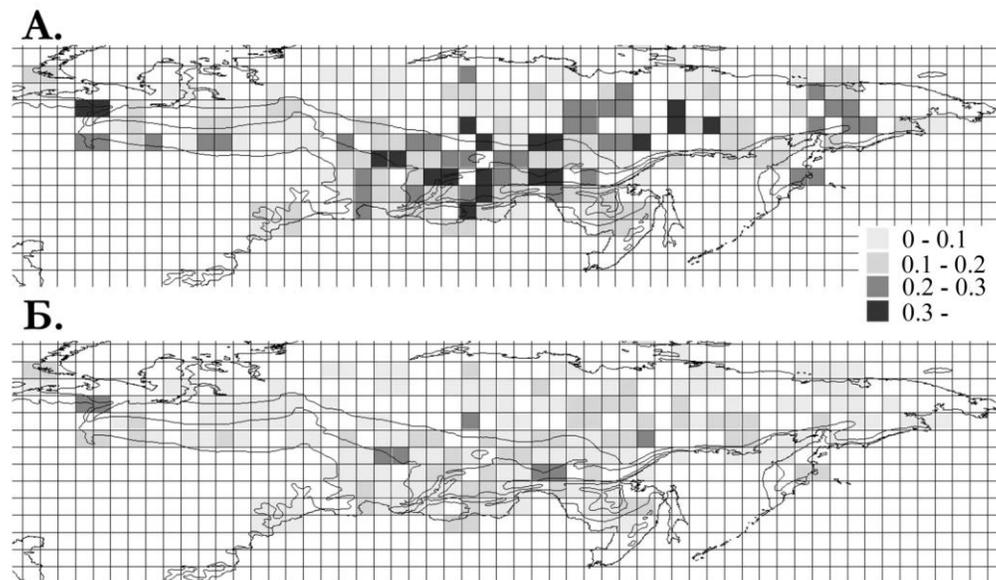


Рис 1. Ошибки годового тренда температуры ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет) за современный период в криолитозоне России для ансамбля всех моделей (А) и ансамбля 3 лучших моделей (Б).

## Связь температуры переохлаждения с прочностью мерзлого грунта

А.А. Коновалов

Тюменский государственный нефтегазовый университет, Институт проблем освоения Севера, Тюмень, Россия

### Аннотация

Рассмотрены особенности кристаллизации грунтовой влаги на скрытой и явной стадиях. Показана и количественно оценена связь температур переохлаждения и кристаллизации с прочностью и долговечностью мерзлого грунта.

**Ключевые Слова:** температура, переохлаждение, кристаллизация, прочность, долговечность

На рис.1 приведена типичная термограмма грунта в цикле заморозания – оттаивания [Цытович, 1973]. Формирование структуры льда начинается при понижении температуры воды ниже  $+4^{\circ}\text{C}$ . При достижении отрицательной температуры  $t_{\text{пер}} < t_{\text{к}}$  плотность воды уменьшается до плотности льда, температура

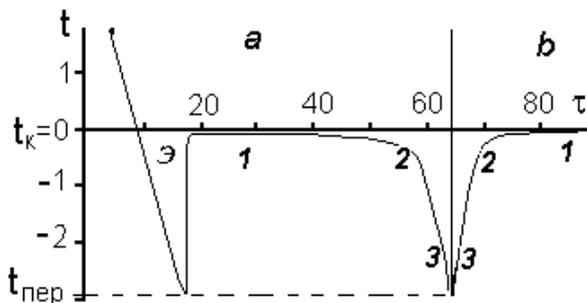


Рис.1. Кривая заморозания (а) и оттаивания (б) песка (Э, 1, 2, 3 – характерные участки кривой)

скачкообразно повышается до  $t_{\text{к}}$ , и на свет появляются первые кристаллы льда. Температура грунта в области выше  $t_{\text{пер}}$  зависит от его тепловых свойств и температуры среды  $t_{\text{ок}}$ . В общем случае  $t_{\text{пер}}$  равна температуре, которая установилась бы в данном месте и при отсутствии фазовых превращений (в сухом грунте). При одинаковых параметрах теплообмена со всех сторон образца грунта  $t_{\text{пер}} \approx t_{\text{ок}}$  [Гречищев и др., 2005]. Однако при испытаниях грунта на стандартных приборах при  $t_{\text{ок}}$  примерно от  $-5^{\circ}\text{C}$  и ниже обычно  $t_{\text{пер}} > t_{\text{ок}}$  [Цытович, 1973; Коновалов, 2009]. Это связано с зависимостью  $t_{\text{пер}}$  от длительности переохлаждения  $\tau_{\text{пер}}$ . На рис.2 показаны графики этой зависимости для суглинка с разной влажностью (опыты 1 и 2) [Гречищев и др., 2005]; точки – результаты опытов; кривые – их аппроксимации:

$$\tau_{\text{пер}} = \tau_{\text{мин}} (t_{\text{мин}} / t_{\text{пер}})^{1/g} = \tau_{\text{мин}} (t_{\text{пер}} / t_{\text{мин}})^{-1/g}, \quad (1)$$

где  $\tau_{\text{мин}}$  и  $t_{\text{мин}}$  – минимальное время и температура переохлаждения на это время, тоже минимальная из данных опыта;  $g$  – безразмерный эмпирический коэффициент.

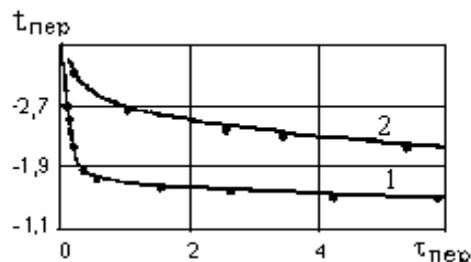


Рис.2. Связь  $t_{\text{пер}}$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) и  $\tau_{\text{пер}}$  ( $10^5 \text{с}$ )

Величина  $g$  в близка к относительной деформации кристаллизации  $j_{\text{к}} \approx 0,091$ , а максимальное переохлаждение (мгновенное, при значении  $\tau_{\text{пер}}$ , равном периоду колебаний атомов) при подстановке в (1) экспериментальных данных, составляет  $-22...-25^{\circ}\text{C}$ . Это близко к минимальной температуре, при которой еще может существовать обычная вода [Коновалов, 2009]. Т.е. пределы изменения  $t_{\text{пер}}$  и  $t_{\text{к}}$  приблизительно одни и те же: 0 и  $-22^{\circ}\text{C}$ .

Из (1) следует, что для каждого грунта

$$t_{\text{пер}} (\tau_{\text{пер}})^g = t_{\text{мин}} (\tau_{\text{мин}})^g = \mathcal{L} = \text{const} \quad (2)$$

Величина  $\mathcal{L}$  определяется по результатам определения нескольких, любых (необязательно предельных) пар  $t_{\text{пер}}$  и  $\tau_{\text{пер}}$ . Оценим ее, например, для условий опыта 1 на рис.2: суглинок с влажностью 26, 2%,  $t_{\text{к}} = -0,45^{\circ}\text{C}$ ,  $g \approx 0,1$ ;  $t_{\text{мин}} = -3,3^{\circ}\text{C}$  и  $\tau_{\text{мин}} = 30 \text{с}$ . Подставив в (2) эти цифры, получаем:  $\mathcal{L} \approx -4,6$  ( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{с}^{0,1}$ ). С помощью (2) можно установить минимальную температуру охлаждения  $t_{\text{ок}}$ , при которой еще наблюдается величина  $t_{\text{пер}}$ . В частности, при  $t_{\text{пер}} = -4,6^{\circ}$  величина  $\tau_{\text{пер}}$  составляет 1с, при  $-5^{\circ}$  она равна 0,43 с, а при  $-8^{\circ}$  – всего 0,004 с. Ясно, что в данном случае  $t_{\text{пер}}$  фиксируется при  $t_{\text{ок}}$  не ниже  $-5^{\circ}\text{C}$ . При повышении  $t_{\text{пер}}$  величина  $\tau_{\text{пер}}$  наоборот увеличивается, при  $t_{\text{пер}} = -1$ ,  $\tau_{\text{пер}}$  уже около 2 мес.

Явная стадия кристаллизации включает три участка (рис.1). На первом при  $t = t_{\text{к}} = \text{const}$  заморают свободная вода, на втором и третьем – рыхло-и прочносвязанная. Связанная вода заморают в спектре температур между значениями  $t_{\text{к}}$  и  $t_{\text{пер}}$ . Оттаивание протекает в обратном порядке.

Как видно из рис.1, температурам переохлаждения талого грунта можно сопоставить определенные,

одинаковые по величине температуры замерзания (оттаивания) связанной воды, а значит и свое напряженно-деформированное состояние в замерзшем состоянии, в т.ч. длительная прочность  $P$  и долговечность  $\tau_d$ , определяемые из формулы: [Коновалов, 2009]:

$$\tau_d = \tau_{\min} (P_{\max} / P)^{1/j_{np}} \quad (3)$$

где  $\tau_{\min}$  – минимальная долговечность, равновесная мгновенной (максимальной) прочности  $P_{\max}$ ,  $j_{np}$  – предельная относительная деформация.

Величина  $P_{\max}$  определяется из уравнения фазового равновесия:

$$t_k = P (V_{\text{тв}} - V_{\text{ж}}) T_0 / Q_{\phi} = P b, \quad (4)$$

где  $T_0 = 273(\text{K})$ ;  $V_{\text{тв}}$  и  $V_{\text{ж}}$  – удельный объем твердой и жидкой фазы;  $P$  – внешнее давление;  $Q_{\phi}$  – скрытая теплота плавления (замерзания).

Величина  $j_{np}$  в (3), как и  $g$  в (1) близка к деформации плавления  $j_{пл}$  (примерно 0,083...0,12) [Вялов 2000], а  $P_{\max}$  определяется из уравнения (4), в которое вместо  $t_k$  подставляется текущая температура мерзлого грунта  $t < t_k$  и  $P = P_{\max}$ , тогда  $P_{\max} = t / b$ . После этих преобразований формула долговечности приобретает вид:

$$\tau_d = \tau_{\min} (t / bP)^{1/j_{np}} = \tau_{\min} (t / t_k)^{1/j_{np}}, \quad (5)$$

Из сравнения (1) и (5) видно, что они отличаются только противоположным характером связи температуры и времени: чем ниже температура, тем короче

эмбриональная фаза ледяной структуры, но длиннее период ее явного существования.

Минимальной температуре переохлаждения соответствует максимальная (условно мгновенная) прочность. Поэтому, подставив в (5)  $t = t_{\text{пер}}$  получим выражение для оценки предельной (максимально возможной) долговечности данного грунта

Выдвигаемое положение о связи  $t_{\text{пер}}$  с прочностью и долговечностью замерзшего грунта является существенно новым. Но если температура переохлаждения грунта до начала его замерзания равна его же температуре в мерзлом состоянии [Гречищев и др., 2005], что часто не улавливается приборами из-за малости  $\tau_{\text{пер}}$ , то эта связь становится очевидной, поскольку зависимость  $P$  и  $\tau_d$  от температуры мерзлого грунта давно и надежно установлена [Вялов, 2000; Цытович, 1973].

## Литература

- Вялов С.С. 2000. Реология мерзлых грунтов. М.: Стройиздат. 448 с.
- Гречищев С.Е., Павлов Арк.В., О.В.Гречищева. 2005. Закономерности формирования переохлаждения поровой влаги при объемном замерзании дисперсных грунтов // Мат. Третьей конференции геокриологов России. М.: МГУ.. Т.1. С. 38-45.
- Коновалов А.А. К теории прочности мерзлых грунтов. Криосфера Земли, 2009, т. XIII, 1, с.31-39.
- Цытович Н.А. 1973. Механика мерзлых грунтов. М., Высшая школа. 446 с.

## Физические свойства оттаявших грунтов и существующие методы их улучшения

Е.А.Кононова

*Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.Аммосова*

### Аннотация

Приведен анализ состояния мерзлотно-грунтовых условий оснований деформирующихся зданий г. Якутска и существующих способов химического закрепления грунтов применительно к этим основаниям.

**Ключевые Слова:** усиление, закрепление, оттаивание, здания и сооружения, грунт

Количество аварийных зданий и сооружений в г. Якутске с каждым годом увеличивается. Неправильная эксплуатация зданий (утечки инженерных сетей, тепловые потери в основания) приводит к образованию в основаниях локальных таликов. Образование талых участков значительно снижает несущую способность зданий и сооружений.

В качестве укрепления оснований преимущественно используются метод промораживания грунта в зимний период. Но выполнение промораживания таликовых зон под зданиями затруднено, т.к. невозможно установить под зданиями, возведенными на сваях, охлаждающие колонки, поскольку буровая техника не разместится в проветриваемом подполье, и промораживание водонасыщенного грунта связано с возникновением криогенных процессов и явлений, что может привести к деформациям промораживаемых фундаментов, так и к деформациям самого здания.

Вместе с тем, в настоящее время усиление оснований возможно с помощью химического закрепления грунта. Существует несколько способов химического закрепления (силикатизация, смолизация и т.д.), используемых для закрепления грунтов с выходом прочного камня. Все эти методы применялись в условиях распространения талых грунтов, а для закрепления таликовых участков в многолетнемерзлых грунтах они не использовались.

Поэтому целью исследования является обзор существующих способов закрепления и выбор оптимального способа, применимого для закрепления водонасыщенных талых грунтов в основаниях деформируемых зданий в зоне распространения многолетнемерзлых грунтов.

Строительство зданий и сооружений в г. Якутске осуществляется, как правило, с сохранением мерзлого состояния многолетнемерзлых грунтов в основании сооружений. На ряде объектов в результате неправильной эксплуатации зданий и сооружений (утечке горячей воды из тепловых сетей, больших тепловых потерь в основании зданий построенных на подсыпках) или прокладок наземных теплотрасс вблизи основания сооружения происходит локальное оттаивание многолетнемерзлых грунтов, что приводит к снижению несущей способности фундаментов и как следствие этого, неравномерным деформациям здания.

ЯФ НРО «Полярэкс» в 80-90-х гг. был проведен сравнительный анализ инженерно-геологических условий существовавших до постройки зданий и мерзлотно-грунтовых условий оснований зданий, сформировавшихся в процессе эксплуатации. Исследования включали в себя:

- мерзлотно-грунтовые условия до его строительства и за период эксплуатации здания (литологический состав, температура грунтов, влажность, засоленность, расчетные характеристики нормативной глубины сезонного оттаивания и температуры);
- глубину сформировавшейся чаши оттаивания;
- вероятная причина образования чаши оттаивания под зданием.

Были рассмотрены 26 объектов г. Якутска. В литологическом отношении грунты, слагающие чашу оттаивания, представлены, как правило, мелкими и пылеватými песками и лишь двух случаях выполнены суглинками и супесями.

Грунты до строительства ниже деятельного слоя твердомерзлые мощностью слоя сезонного оттаивания до строительства зданий 2,7-2,9. Влажность мерзлых грунтов колеблется в широких пределах от 0,2-0,6. После образования чаши оттаивания в процессе эксплуатации здания грунты характеризуются влажностью, близкой к полной влагоемкости. Кроме того, в оттаивающую зону под действием сил тяжести и криогенного отжатия могут мигрировать соли из деятельного слоя и надмерзлотных вод. Полная картина засоления до строительства и после эксплуатации здания не ясна, поскольку очень часто отсутствуют материалы засоления в инженерно-геологических изысканиях прошлых лет. Но по некоторым объектам (примерно в половине случаев) талые грунты чаши оттаивания достаточно засолены и засоленность варьирует в широких пределах от 0,2 до 0,8%, а в супесчаных грунтах достигает 1,2 %. Глубина чаши оттаивания колеблется от 2,5 до 16 м. Больше половины рассмотренных аварийных зданий, возведены на столбчатых фундаментах с очень низким проветриваемым подпольем до 0,5 м. Глубина заложения такого фундамента не превышает 4,5 м. Почти во всех случаях глубина чаши оттаивания превышала глубину заложения фундамента.

В число аварийных зданий попали объекты, возведенные на ленточных, столбчатых и свайных фундаментах. На некоторых объектах, возведенных на ленточных и столбчатых фундаментах, проводились

укрепительные работы. Укрепительные работы заключались в усилении фундаментов цементной обоймой и в промораживании околосвайного пространства в зимний период. К сожалению, после укрепительных работ наблюдения за осадками зданий практически не проводились, и выявить, насколько надежен данный метод не представляется возможным.

В основаниях зданий, возведенных на сваях, глубина чаши оттаивания, как правило, меньше глубины заложения фундамента. На некоторых аварийных зданиях, построенных на свайных фундаментах, производились укрепительные работы. Так были укреплены сваи зданий школы № 29 и жилого дома с молочной кухней по ул. Орджоникидзе, 44. Геодезические наблюдения после укрепительных работ проводились только по жилому дому с молочной кухней. В результате наблюдений с 1987 по 1989 г.г. выявлена неравномерная осадка фундаментов. Разница между осадками угловых свай с правой стороны здания составила за период наблюдений 11 мм. Процесс осадок носит прогрессирующий характер со средней скоростью 3,8 мм/год. Неравномерность осадок связана с засоленностью грунта. Максимальная засоленность грунтов до 6м отмечена под нижним торцом угловой сваи с правой лицевой стороны здания и здесь же наблюдается максимальные осадки фундаментов. Неравномерные осадки привели к растрескиванию рандбалки и появлению трещин в стеновой кладке. Таким образом, укрепление фундаментов в данном случае не исключило деформации самого здания.

Эти способы укрепления фундаментов достаточно дорогостоящие. Кроме того как укрепление самих фундаментов, так и промораживание оснований не устраняют причины, вызывающие деформации зданий. Промороженное основание остается уязвимым на воздействие поверхностных вод, поступающих в подпольное пространство, т.е. снова начинается его оттаивание. Особо сложными вопросами при промораживании водонасыщенных оснований остается возможность развития криогенных процессов.

Таким образом, поиск надежных способов укрепления оснований в криолитозоне является актуальной задачей современного градостроительства.

Анализ состояния мерзлотно-грунтовых условий оснований деформирующихся зданий г. Якутска и существующих способов химического закрепления

грунтов применительно к этим основаниям показал следующее.

Наиболее подходящими для закрепления водонасыщенных таликов в криолитозоне являются методы:

- однорастворной силикатизации (кремнефтористоводородная рецептура);
- смолизация карбамидной смолой;
- цементация.

Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки.

Все перечисленные способы могут быть внедрены в практику ремонтно-восстановительных работ и инженерной подготовки водонасыщенных оснований.

Как уже указывалось, методы химического закрепления грунтов не нашли применения в условиях развития вечной мерзлоты. Поэтому необходимо проверить ряд вопросов, касающихся практического внедрения вышеназванных способов:

- оценка теплового влияния закрепляющих растворов или электрического тока на многолетнемерзлые грунты, оконтуривающие чашу оттаивания.
- исследование процесса инъецирования закрепляющих растворов в замкнутом пространстве.
- обработка технологических параметров закрепления: давление при инъекции, вязкости и плотности растворов и т.д.
- возможность применения закрепления в сильнозасоленных водонасыщенных грунтах.

Все эти задачи и другие, которые неизбежно возникнут в ходе закрепления, возможно решить только опытным путем. Поэтому необходимо провести цикл лабораторных и опытно-производственных работ для обработки практических навыков по применению того или иного способа химического закрепления грунтов в условиях распространения многолетнемерзлых пород.

## Литература

Отчет НИР. Разработать способы повышения несущей способности оттаивающих оснований деформирующихся зданий на многолетнемерзлых грунтах. – Якутск, ВНИИОСП, 1991.

## Влияние строительства магистрального газопровода на динамику берегов Западного Ямала

Н.В. Копа-Овдиенко, А.С. Цвезинский

*Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Москва, Россия*

Д.Е. Кузнецов, С.А. Огородов

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

### Аннотация

На Западном Ямале в районе берегового примыкания подводного перехода газопровода Бованенково-Ухта наблюдается интенсивное техногенное воздействие на динамику берегов. Наиболее опасными его видами являются изъятие наносов с пляжа и берегового бара, дноуглубление в устье р. Яраяха и перехват потока наносов коффердамом. Это приводит к размыву берегов на одних участках и аккумуляции наносов на других.

**Ключевые Слова:** береговая зона; техногенные воздействия; морфолитодинамика; транспорт наносов.

На западном побережье Ямала в районе берегового примыкания подводного перехода строящегося магистрального газопровода «Бованенково-Ухта» выделяются два основных типа берега. Первый тип представлен низким аккумулятивным берегом. Он оказался наиболее подвержен техногенному изменению, так как береговое примыкание газопровода расположено в пределах берега именно этого типа. Второй тип – это абразионный берег с четко выраженным береговым уступом.

Степень техногенного нарушения рельефа береговой зоны зависит от интенсивности техногенной деятельности, влияющей на рельеф, и от его устойчивости к техногенным воздействиям и способности к самовосстановлению.

Аккумулятивные берега в целом более устойчивы к техногенному воздействию [Совершаев, Камалов 1992, Камалов и др. 2006]. Основные морфолитодинамические процессы здесь – это аккумуляция морских наносов и эоловый перенос. В пределах аккумулятивных берегов расположена и большая часть сооружений, так как они в целом более стабильны и удобны для строительства. Абразионные берега в большей степени уязвимы для деятельности человека, однако они гораздо меньше подвергаются техногенным воздействиям. На них не происходит непосредственно строительства, и основные виды техногенного воздействия сводятся к движению тяжелого автомобильного транспорта и загрязнению строительными отходами.

По результатам полевых исследований выявлены следующие виды прямого воздействия человека на рельеф в пределах строящегося берегового примыкания подводного перехода газопровода:

1) сооружение крупных искусственных положительных форм рельефа, что приводит к дополнительному поступлению наносов в береговую зону в данном месте;

2) сооружение искусственных отрицательных форм рельефа, изъятие песчаного материала с пляжа, осушки и подводного берегового склона, что приводит к размыву и уменьшению ширины осушки и пляжа и перестройке системы подводных баров;

3) деформация поверхностей осушки, пляжа, берегового бара и лайды в ходе строительства и при движении тяжелой гусеничной техники и автотранспорта, уничтожение или нарушение почвенно-растительного покрова, что приводит к усилению эрозии.

Среди косвенных видов техногенного воздействия выделяются следующие:

1) появление техногенно-обусловленных аккумулятивных форм в береговой зоне, связанное с изменением потока наносов, например, заполнение «входящих углов», формируемых сооружениями;

2) появление отрицательных форм рельефа на пляже и осушке, обусловленное усилением размыва в результате нарушения транспорта наносов или изменения поперечного профиля пляжа;

3) усиление дефляции на нарушенных поверхностях.

Транспорт наносов в зоне строительства определяется тремя основными факторами. Первый из них – это вдольбереговой поток наносов, который обусловлен местной литодинамической ситуацией. Второй – это интенсивность естественного потока материала, поступающего с берега в результате абразии и выноса реками, а также размерность этого материала. Третий фактор – трансформация потоков наносов, обусловленная техногенным фактором.

Наиболее опасными с точки зрения устойчивости береговой системы техногенными воздействиями являются следующие виды воздействия:

1) Из-за того, что заранее не были предусмотрены безопасные с точки зрения морфолитодинамической ситуации места добычи строительных материалов, добыча песчаного материала для строительства ведется без определенного плана и учета последствий. Наиболее активное изъятие песчаного материала происходит с поверхности берегового бара и пляжа между устьем р. Яраяха и коффердамом (см. рис.1). Деформация поверхности и уничтожение растительности на береговом баре приводит к усилению дефляции, то есть усиливает процесс изъятия песчаного материала с этого участка. Это создает дефицит наносов на данном участке берега, что приводит к его размыву. Кроме того, снижение

поверхности берегового бара создает благоприятные условия для проникновения штормовых нагонов вглубь суши, что только усиливает размыв берега и расположенных на нем дорог и насыпей.

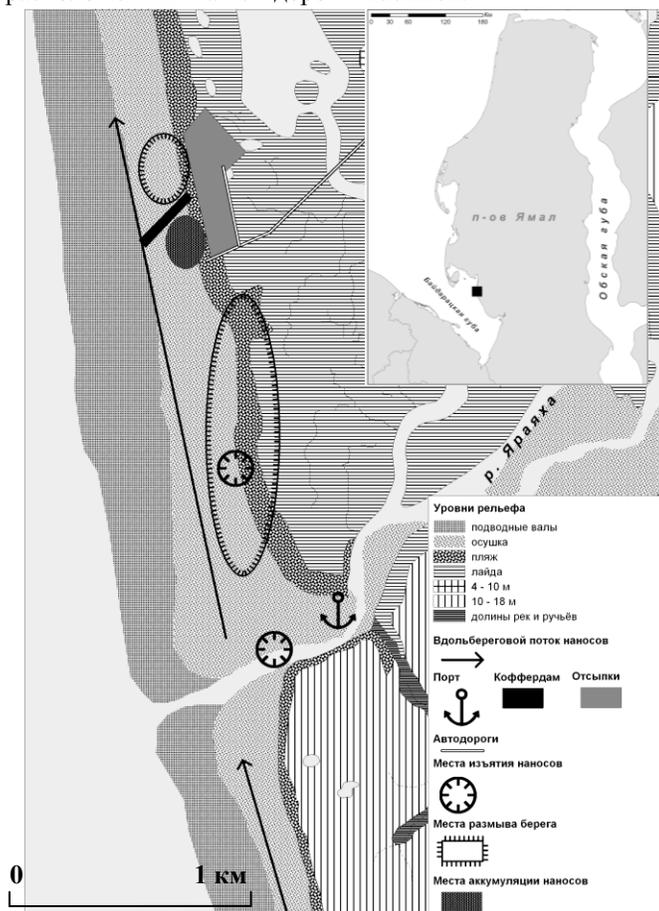


Рис.1. Техногенные нарушения в береговой зоне Западного Ямала в районе строительства магистрального газопровода

2) При строительстве порта в устье р. Яряяха было произведено дноуглубление фарватера для строительства подходного канала и намыв берегов для строительства наземных портовых сооружений. Это создало дефицит наносов в устье р. Яряяха, что привело к частичному перехвату потока наносов, движущегося с юга, и в конечном итоге – к усилению дефицита наносов и размыву берега между устьем р. Яряяха и коффердамом.

Строительство коффердама привело к аккумуляции наносов во «входящем углу» к югу от коффердама и размыву берега к северу от него.

В естественных условиях береговой бар полностью поглощает волновую энергию даже при экстремальных штормах хКамалов и др. 2006г. Изменение морфологии берегового бара влечет за собой изменение условий разрушения волн и, соответственно, полное изменение морфолитодинамического режима, которое может вызвать неблагоприятные и опасные последствия. Береговая система будет стремиться прийти к новому равновесному состоянию, что вызовет переформирование берегов и дна со скоростями, не учтенными в проекте строительства.

В целях снижения воздействия строительства трубопровода на береговые системы следует, прежде всего, прекратить изъятие наносов с участка берега между устьем р. Яряяха и коффердамом. Добычу песчаного материала без риска активизации размыва берега на участке строительства трубопровода можно осуществлять в зоне разгрузки вдольберегового потока наносов, например, с осушки и пляжа в районе м. Мутный, в 4 км к северу от участка строительства.

Таким образом, влияние человеческой деятельности на рельеф и транспорт наносов в береговой зоне Западного Ямала приводит к снижению устойчивости всей береговой системы и усилению абразивного процесса [Огородов, 2010]. Природа Ямала весьма уязвима и в условиях усиления техногенного прессинга обеспечение геоэкологической безопасности имеет приоритетное значение.

## Литература

- Камалов А.М., Огородов С.А., Бирюков В.Ю., Совершаева Г.Д., Цветинский А.С., Архипов В.В., Белова Н.Г., Носков А.И., Соломатин В.И. 2006. Морфолитодинамика берегов и дна Байдаратской губы на трассе перехода магистральными газопроводами. // *Криосфера Земли*. 10 №3: 3-14
- Огородов С.А. 2010. Критерии стабильности (устойчивости) арктических берегов. // *Естественные и технические науки*, № 6, 356-358
- Совершаев В.А., Камалов А.М. 1992. Устойчивость морских берегов в криолитозоне. // *Геоэкология Севера* – М.: Изд-во МГУ, 95-102

## Изучение мерзлотных процессов в пределах грядово-мочажинных болот территории ПП «Сибирские Увалы»

С.Е.Коркин, Е.К.Кайль, О.И.Ивашкевич

*Нижневартровский государственный гуманитарный университет, Нижневартовск, Россия*

Экспедиционные работы по изучению мерзлотных процессов в пределах грядово-мочажинных болот территории ПП «Сибирские Увалы» проведены в 2011 году по следующим маршрутам:

1) База «Глубокий Сабун» – болото Мегено-Нек-Куй – кордон на реке Липпынг-Инк-Игол (62°31'4,53"с.ш., 81°39'48,25" в.д.) – верховье реки Липпынг-Инк-Игол;

2) База «Глубокий Сабун» – кордон «Граничный» – устье р.Конехлог-Игол – устье реки Журавлиная. Достаточно большой комплекс работ был проведен в районе базы «Глубокий Сабун».

Во время первого маршрута было произведено исследование суходольных поверхностей междуречья р. Липпынг-Инк-Игол и р.Укум-Игол на наличие сохранности промерзания (шурф 1 и 2). Аналогичные исследования проведенные в конце июля 2010 г. (25.07) в междуречье р. Липпынг-Инк-Игол и р.Укум-Игол (шурф

2), выявили наличие мерзлого грунта на глубине 1 м, а 09 августа 2011 г. данный факт не был подтвержден. Это можно объяснить менее суровыми зимними условиями 2010-2011 года по сравнению с зимними температурами 2009-2010 гг..

Обследование болота Куер-Куй 62°33'49,7"с.ш., 81°37'49,1"в.д. было произведено 09.08.2011 г. В результате чего выявили наличие мерзлотной линзы на верховом грядово-мочажинном болоте (рис.1). Болотная гряда имела следующие размеры: высота – 0,57 м, длину 3,20 м, ширину 2,10 м. Линза располагалась на глубине 38 см, а в боковой части 40 см. Мощность линзы – 35 см. Температура воздуха на 09.08.11 г. составила 23°C, воды 13°C, мерзлого торфа – -0,6°C, талого грунта – 1,3°C, воды вокруг линзы – 2°C.



Рис.1. Проведение работ по определению мощности промерзания (35 см).

Далее на болоте была организована зондировка на наличие мерзлых горных пород, в результате чего было пройдено 600 м в северном направлении и на всем протяжении было зафиксировано 11 попаданий в мерзлый торф. Этот показатель говорит о том, что на каждые 100 м приходится практически 2 участка с гривами в основании которых находится сохраняющийся в летний период мерзлый торф с температурой ниже нуля градусов.

На северо-западе в 1,2 км от базы «Глубокий Сабун» 11.08.2011 г. был заложено ключевой участок по фиксации температуры мерзлого торфа на грядово-мочажинном болоте (рис.2). Термоскважина №8 (62°26'51,2"с.ш., 81°40'02,0" в.д.) имеет глубину 1 м. На поверхность и глубины 20, 40, 60 см и 1 м вставлен термохрон типа DS1921G-F5, в мерзлый торф поставлен термохрон типа DS1921Z-F5 на глубину 60 см. Мерзлый торф имеет мощность 20 см и идет от 50 до 70 см от поверхности гряды. Талый торф идет от 0 до 50 см. Высота гряды 70 см, ширина 4 м, а длина 10 м. Термохроны активированы с 00.01 12.08.2011. Во время полевых работ было

произведено определение температуры мерзлого грунта и были получены следующие результаты: 11.08.2011 г. 16:50 –  $-0,500^{\circ}\text{C}$ ; 17:00 –  $-0,625^{\circ}\text{C}$ ; 17:10 –  $-0,625^{\circ}\text{C}$ ; 17:20 –  $-0,625^{\circ}\text{C}$ ; 17:30 –  $-0,625^{\circ}\text{C}$ . Температура воздуха на момент измерений  $19^{\circ}\text{C}$ , а на контакте мерзлого и талого грунта температура составила  $3^{\circ}\text{C}$ . В 5 метрах от термоскважины было определено строение торфяной залежи: 0-0,20 – очес сфагновый, 0,2-0,8 – торф верховой светло-коричневый слабой степени разложения, 0,8-2,50 – торф верховой бурый, разжиженный, средней степени разложения, 2,50-2,60 – песок светло-серый среднезернистый.

Температура мерзлых пород в летний период 2011 года на грядово-мочажинном болоте составила  $-0,625^{\circ}\text{C}$ . В дальнейшем будет продолжено изучение температурных показателей верхней части слоя годовых теплооборотов на грядово-мочажинных болотах территории природного парка «Сибирские Увалы».



Рис.2. Определение мощности талого и мерзлого слоев.

## Крупномасштабное районирование Харасавэйского месторождения по благоприятности для сооружения подземных хранилищ

Т.А. Коробова  
Институт Криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН)

### Аннотация

Проведена оценка геокриологических условий и последующее крупномасштабное районирование территории Харасавэйского газоконденсатного месторождения по благоприятности для строительства подземных хранилищ. В основу проведенной оценки положена карта природных геосистем ранга урочища. По ряду основных факторов геокриологической среды, оказывающих наибольшее влияние на опасность сооружения и эксплуатации инфраструктуры подземных хранилищ рассчитан показатель эколого-геологической благоприятности территории месторождения.

**Ключевые Слова:** Оценка эколого-геологической благоприятности; подземные хранилища; районирование; расчетный балл; Харасавэйское месторождение.

### Введение

Харасавэйское месторождение расположено на западном побережье полуострова Ямал в подзоне арктических мохово-лишайниковых тундр, в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород.

Хозяйственное освоение месторождения началось в середине 70-х годов и продолжается до настоящего времени. Безопасное строительство и эксплуатация инженерных объектов, приуроченных к территории криолитозоны, во многом определяется локальными особенностями реакции природных геосистем на характер техногенного воздействия. В связи с этим, очень важными являются оценка геокриологических условий и последующее районирование территории по благоприятности для строительства инженерных объектов, основываясь на учете характера реакции природных геосистем.

### Методика

В качестве основы для последующей оценки геокриологических условий сооружения подземных хранилищ использована карта природных геосистем масштаба 1:25 000. Основными факторами эколого-геологической благоприятности условий при создании подземных хранилищ являются: температура многолетнемерзлых пород; льдистость пород, в особенности содержание подземных льдов – пластовых и полигонально-жильных; экзогенные геологические процессы и явления. Значения выбранных для оценки факторов были экспертно оценены в баллах: 1 балл присваивался наиболее простым и благоприятным условиям; 5 баллов – наиболее сложным геокриологическим условиям.

*Температура многолетнемерзлых пород, как индикатор возможных криопэггов*

Благоприятными, с точки зрения температурных условий, являются природные комплексы, с температурой ниже  $-5^{\circ}\text{C}$  (присваивался балл 1). Это природные комплексы дренированных плакоров и крутых склонов, занятых тундрами на песчаном и суглинистом субстрате, а

также слабодренированные тундры склонов на супесчано-суглинистом субстрате.

Относительно благоприятными являются природные комплексы с температурой ниже  $-3^{\circ}\text{C}$  (присваивался балл 2). При таких температурах в засоленных грунтах возможно присутствие природных криопэггов, а также формирование техногенных. Природные комплексы с температурой грунтов выше  $-3^{\circ}\text{C}$ , являются непригодными для создания подземных хранилищ (балл 5).

*Льдистость пород, присутствие подземных льдов в верхней части разреза*

Наличие подземных льдов (пластовых и полигонально-жильных) в верхней части разреза может оказывать негативное влияние на инфраструктуру подземных хранилищ и непосредственно на его полость. Это связано с наличием и возможной активизацией техногенно обусловленных криогенных процессов в результате воздействия. Показатель льдистости многолетнемерзлых пород учитывался «весом»  $\frac{1}{2}$ . Занижение значения параметра связано с ограничениями при сооружении подземных хранилищ на участках распространения сильно льдистых пород, что невозможно в условиях их сплошного распространения.

*Экзогенные геологические процессы*

Среди многообразия криогенных процессов, характерных для исследуемого региона, особую опасность с точки зрения сооружения подземных хранилищ представляют термокарст, термоэрозия и процесс криогенного оползания. Активизация других криогенных процессов может быть нейтрализована различными существующими методами.

Природным комплексам, в которых доминируют термокарст, термоэрозия и криогенное оползание присваивался наивысший балл 5. При подчиненном значении этих процессов, природным комплексам присваивался балл 4.

Итоговый расчетный показатель опасности сооружения хранилищ (PGP) рассчитывался по формуле:

$PGP = IT + 0.5 \Pi + IP$ , где  $IT$  – температура пород;  $\Pi$  – льдистость пород;  $IP$  – экзогенные процессы.

## Результаты

Полученные значения показателя опасности ( $PGP$ ) варьируют от 2,5 (наиболее благоприятные условия) до 12,5 (максимально неблагоприятные). Вне зависимости от суммы баллов, совершенно непригодными для сооружения и эксплуатации подземных хранилищ являются долины и поймы рек, лайда, заболоченные ложбины и балки.

В результате проведенной оценки построена карта районирования территории по благоприятности условий для сооружения хранилищ (рис.1.). Все полученные значения расчетного показателя опасности были объединены в три группы, соответствующие благоприятным, малоблагоприятным и неблагоприятным природным условиям.

Минимальные значения показателя сложности условий ( $PGP = 2,5$ ) соответствуют дренированным плакорам и пологим склонам, занятым тундрой на песчаном и супесчаном субстрате, слабодренированным тундрам на плакорах и полям дефляции. Менее благоприятными для создания подземных хранилищ являются дренированные и заовраженные склоны, занятые тундрой, слабодренированный комплекс тундр и озерково-мочажинных болот, термосуффозионные воронки, занятые тундрами на супесях, что связано с развитием в их пределах наиболее опасных криогенных процессов, а также топяные болота за счет их высокой температуры грунтов.

Наиболее неблагоприятными условиями ( $PGP > 6,5$ ) характеризуются западины и котловины, занятые плоскополигональными болотами, дренированные пологие склоны, занятые тундрой на супесчаном и суглинистом субстрате. Это связано с близко залегающими к поверхности подземными льдами ( $PGP = 8,5 \dots 9,5$ ).

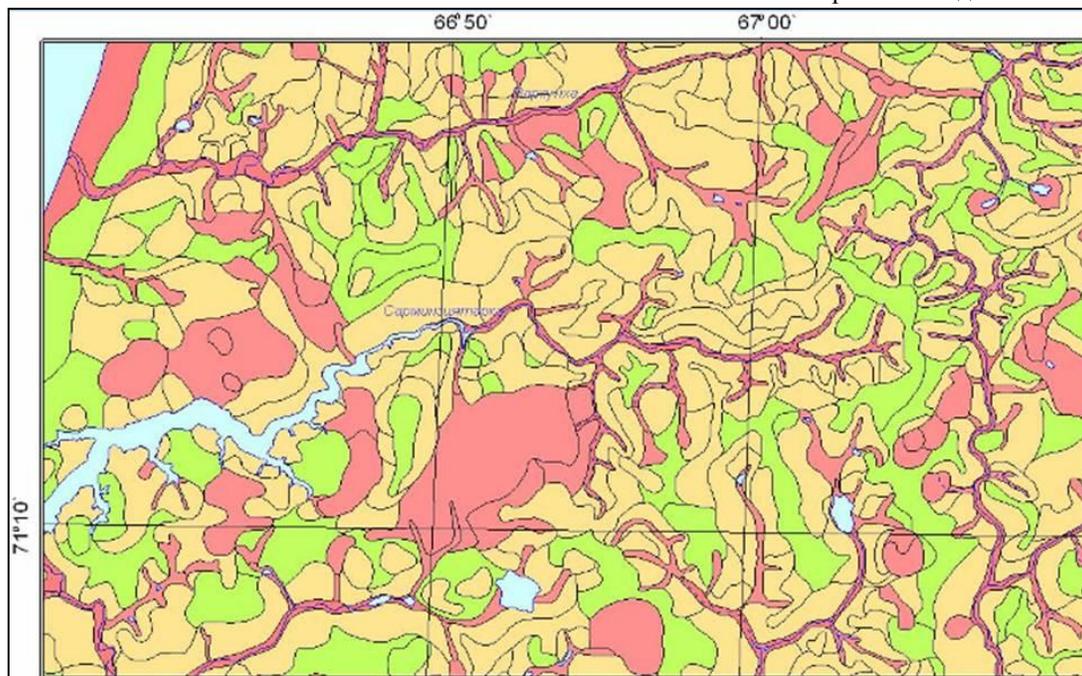


Рис.1. Фрагмент карты районирования территории Харасавэйского месторождения по благоприятности условий для строительства подземных хранилищ:  $PGP = 2,5 \dots 4$  – зеленая сплошная заливка (относительно благоприятные условия);  $4 \dots 6,5$  – желтая сплошная заливка (малоблагоприятные условия);  $>6,5$  – красная сплошная заливка (неблагоприятные условия)

Термосуффозионные воронки, занятые комплексом полигональных болот и тундр, западины и котловины с плоскополигональными болотами, а также с комплексом полигональных и озерково-мочажинных тундр и болот также были отнесены к группе с наименее неблагоприятными условиями, благодаря высоким температурам грунта и наличию подземных льдов ( $PGP = 7,5 \dots 8$ ).

Работа выполнена при поддержке Совета по грантам Президента Российской Федерации (грант НШ-5582.2012.5).

## Литература

Карта природных комплексов Севера Западной Сибири для целей геокриологического прогноза и планирования природоохранных мероприятий при массовом строительстве масштаб 1:1 000 000. // Отв. ред. Е.С.

Мельников, Н.Г. Москаленко – М.: Госгеодезия СССР, 1992. – 6 п.л.

СНИП 34-02-99. Подземные хранилища газа, нефти и продуктов их переработки. – 1999.

Геокриология СССР. Т.2 Западная Сибирь. /Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 362 с.

Полуостров Ямал (инженерно-геологический очерк). – М.: Изд-МГУ, 1975. – 248 с.

Стрелецкая И.Д., Лейбман М.О. Криогеохимическая взаимосвязь пластовых льдов, криопэгов и вмещающих их отложений Центрального Ямала. // Криосфера Земли, 2002. Т.6, №3, с. 15-24.

Korobova T.A., A Geocryological assessment of Kharasaveyskoye gas condensate field for a construction justification of underground storage» //Book of abstract of The International Polar Year Oslo Science Conference, 2010.

## О новой редакции «Геокриологической карты Российской Федерации»

Ю.В.Коростелёв, М.О.Лейбман, А.Г.Гравис

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень, Россия*

Д.С.Дроздов

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень, Россия*

*Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ–РГГРУ), Москва, Россия*

А.А.Абрамов

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (ИФХБПП РАН), Россия*

### Аннотация

Геокриологическая карта СССР, изданная в 1991, широко пользуется в научных и учебных целях, в практике проектно-изыскательских работ в отдаленных районах, при экологическом и геокриологическом мониторинге, а также при прогнозе изменения геокриологических условий. Однако, 20-30 лет, прошедшие со времени составления карты – срок весьма существенный для столь динамичного объекта, как криолитозона. Поэтому подготовка новой редакции «Геокриологической карты» весьма актуальна.

**Ключевые Слова:** Геокриологическая карта России, геосистемный подход, картографические и геоинформационные модели

Со времени издания предыдущей версии «Геокриологической карты СССР» прошло 20 лет. Эта карта (рис.1) стала классической, ею пользуются не только в научных и учебных целях. Она каждодневно используется в практике проектно-изыскательских работ в отдаленных районах России при камеральных обобщениях и составлении программ новых натурных исследований –

изысканий, мониторинга, а также при пространственно-временном прогнозе изменчивости геокриологических параметров в природных условиях, в условиях меняющегося климата, в условиях техногенеза. Авторский и редакторский коллектив под руководством Э.Д.Ершова и К.А.Кондратьевой почитаем пользователями карты.

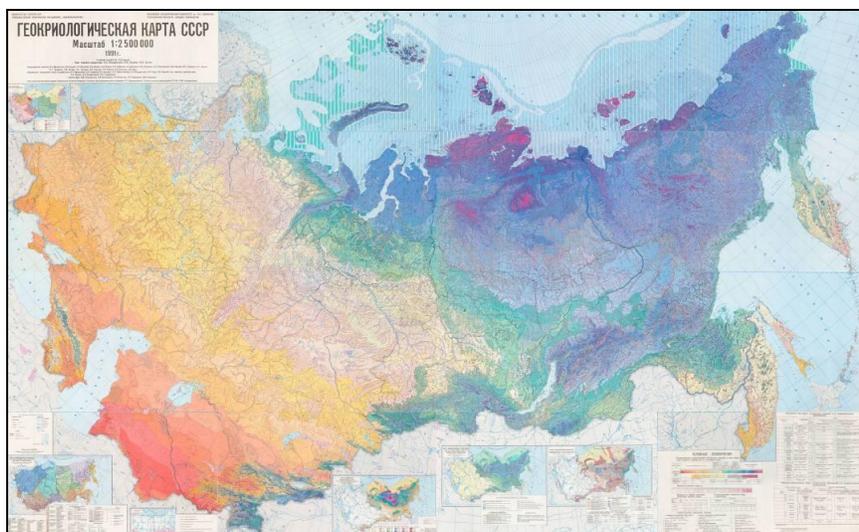


Рис.1. Геокриологическая карта СССР. Масштаб 1:2 500 000. / Под ред. Э.Д.Ершова. – М., 1991 (образ)

Однако криосфера – одна из наиболее изменчивых геосфер Земли. Фактические данные и расчеты, положенные в основу карты 1991 года обобщают материалы примерно 10 лет исследований, предшествовавших её изданию. Таким образом карта отображает природную обстановку и научные взгляды специалистов по мерзлотоведению, геокриологии и смежным дисциплинам, соответствующие примерно 20-30-летней давности. Для столь динамичной системы, как криолитозона, это существенный срок. Свое влияние оказывают и природные изменения в литосфере, и воздействие климатических изменений, и – в некоторых

районах – техногенез. Для приповерхностной криолитозоны, с которой больше всего взаимодействует наука и практика, текущие изменения наиболее существенны.

Поэтому подготовка новой редакции «Геокриологической карты» весьма актуальна. Соответствующая задача входит в тематический план ИКЗ СО РАН отдельной строкой с 2010 года, ранее проработки по данной теме делались в рамках других задач. К настоящему времени сформулированы следующие основные моменты к концепции составления новой карты.

### *Принципиальный подход к составлению карты*

В основе построения карты лежит геосистемный подход. Состояние и направленность развития геокриологической обстановки в северных регионах страны определяется состоянием и динамикой природных и техногенных геосистем криолитозоны. А они в свою очередь контролируются взаимодействием геологической среды с внешними по отношению к ней сферами Земли – атмосферой, гидросферой, биосферой, а также с техническими системами. Таким образом, в основе составления карты и обобщения материалов лежит геосистемный подход, позволяющий генерировать карты покомпонетные, синтетические и районирования.

### *Результирующий продукт*

«Геокриологическая карта» должна быть результатом количественной и качественной оценки взаимодействий внутри геосистем и с внешними сферами Земли и представлять собой комплекс картографических и информационных моделей. Основным результирующим продуктом – компьютерная карта, обеспечивающая удобное для пользователя представление и обобщение имеющейся информации. В качестве традиционного, удобного для зрительного восприятия продукта представляется печатный (подготовленный к печати) вариант карты с врезками и экспликациями.

### *Масштаб*

Информация, представляемая на новой «Геокриологической карте России» должна столь детально, чтобы обеспечивать стандартные требования, предъявляемые к «бумажным» геологическим картам масштаба 1:2 500 000. Рабочий масштаб макетов регионов должен быть 1:1 000 000 (или 1:500 000) ... 1:2 500 000 и обеспечивать адекватное обобщение информации глобального и регионального уровня.

### *Практическая реализация*

Геокриологическая карта России должна быть реализована в виде электронной (компьютерной) карты-модели с соответствующими базами данных. Достоверность зависит от обеспеченности фактическим материалом. Хорошо изученные площади на территории страны (районы крупных экономических комплексов и агломераций) являют собой своеобразные «ключевые участки» (масштаб 1:1 000 000...1:500 000 и при необходимости крупнее). Статистические критерии должны позволить количественно оценить правомочность переноса данных с заданной достоверной вероятностью. Задачам экстраполяции информации служит некоторая пространственная картографическая модель, функции которой и будет выполнять составляемая компьютерная карта.

При этом для любой точки территории «Карта...» с заданной точностью и надежностью должна давать информацию о фоновых и текущих природных и техногенных условиях, а также быть основой для мониторинга и прогноза изменений геокриологических параметров геосистем.

### *Теоретическая основа*

Теоретической основой для построения пространственных картографических моделей в криолитозоне служит представление о иерархической структуре геосистем и ее увязке с иерархией геологических тел, образующих литогенную основу геосистем. Фактографическую основу составляют базы данных геокриологической информации.

### *Графическая основа.*

В качестве графической основы используется цифровая модель рельефа РФ масштабов 1:2 500 000 для результирующей карты и 1:1 000 000 (1:500 000) при необходимости для рабочих макетов регионов.

### *Информационная основа*

Основная содержательная нагрузка будет представлена в кусочно-непрерывной форме с привязкой к системе соседствующих контуров, статистически квазиоднородных по некоторому набору геокриологических показателей. Квазиоднородные контура образуют иерархию сообразно иерархии геосистем, для которых даются обобщенные геокриологические характеристики. Контуров высшего иерархического уровня соответствуют ландшафтным странам и провинциям (подпровинциям) – т.е. отвечают природно-климатической и геоструктурной зональности территории РФ. Контуров низшего уровня – морфологически, гипсометрически, биогеографически выраженным ландшафтам (местностям, районам, участкам), сформированным на единой литогенной основе и пораженным единым комплексом экзогенных геологических процессов.

Значения геокриологических параметров для каждого контура являются продуктом геокриологического расчета на основании сведений о комплексе природных характеристик и верифицируются имеющимися данными инженерно-геологических и геокриологических съемок и изысканий, материалами мониторинговых, стационарных и режимных наблюдений, исследованиями на специальных контрольных точках.

### *Контурная основа*

В настоящее время для территории РФ имеется широкий набор карт (цифровых и на твердых носителях) топографического, географического, геологического, социально-экономического и др. характера. Степень обобщенности, содержащейся на них информации различна. Предположительно, большинство границ для новой «геокриологической карты» будет импортировано с этих карт с учетом их достоверности и значимости для геокриологических условий. Часть границ, особенно для горно-складчатых областей, будет генерироваться с учетом высотной поясности и экспозиции склонов. В первую очередь должна быть учтена новая «Геологическая карта России масштаба 1:1 000 000».

## Внедрение новой технологии термостабилизации грунтов оснований на объектах Заполярного нефтегазового месторождения

Р.В. Корытников, Д.А. Яхонтов  
 ООО Газпромдобыча Ямбург  
 Н.Б. Кутвицкая, М.А. Минкин, А.В. Рязанов  
 ОАО «Фундаментпроект», Москва, Россия

Заполярное нефтегазовое месторождение расположено на севере Тюменской области на Пур-Газовском междуречье и является одним из крупнейших мировых газовых промыслов мощностью 35 млрд. м<sup>3</sup> природного газа в год. Месторождение эксплуатируется с 2001 года.

Инженерно-геокриологические условия месторождения характеризуются большой сложностью, неоднородностью и динамичностью. Это, в первую очередь, относится к условиям залегания и температурам мерзлых грунтов: встречаются участки сливающихся и несливающихся многолетнемерзлых грунтов (ММГ), кровля ММГ колеблется от 1-3 м до 5-10 м и более, среднегодовые температуры изменяются от +0,3°C до -2,5°C. Кроме того, по данным изысканий, для верхних 6-10 м разреза характерен глинистый состав отложений и значительная их льдистость за счет ледовых включений, достигающая 0,4-0,6 д.е., что может вызвать большие осадки при их оттаивании. Отличается также интенсивное проявление процессов пучения, термокарста, термоэрозии.

При проектировании в целях разработки надежных и эффективных решений оснований и фундаментов сооружений в столь сложных условиях выполнен большой объем экспериментальных, в том числе на специальном полигоне, исследований и математического моделирования теплотехнических процессов. В проектах впервые в полной мере использована способность мерзлых грунтов воспринимать значительные нагрузки, а также возможности современных парожидкостных сезоннодействующих охлаждающих устройств – парожидкостных термостабилизаторов. Особенностью устройства основания является локальное замораживание талых грунтов и (или) понижение температур мерзлых

грунтов до проектных отрицательных значений в областях грунтов, на которые передаются нагрузки от надземных конструкций. Благодаря этому формируются несущие льдогрунтовые столбчатые опоры (рис.1), которые работают совместно со свайными фундаментами, воспринимая большую часть нагрузок, передаваемых на основания.

Как показали исследования и натурные наблюдения, термостабилизация является обязательным условием надежной эксплуатации опор эстакад, мачт, опор линий электропередач и других сооружений, под которыми возможно образование снеготаносов, препятствующих понижению температур грунтов в холодный период года.

Термостабилизация грунтов была выполнена на основных объектах месторождения: установках комплексной подготовки газа (УКПГ), промбазы, вахтовых жилых поселках, нефтебазы и базы метанола, газотурбинной электростанции и других. Эффективность термостабилизационных мероприятий показана на рисунке 2 на примере УКПГ-1с, включающей 108 сооружений, где по данным наблюдений научно-исследовательской лаборатории мерзлоты ООО «Газпром добыча Ямбург» уже после первых двух лет эксплуатации оснований сооружений с установленными термостабилизаторами произошло существенное понижение температур грунтов (с минус 0.7 до минус 3 град. и ниже). Запроектированные технические решения позволили сократить количество свай в 3 раза и уменьшить их заглубление в грунт, благодаря чему стоимость работ по устройству фундаментов уменьшилась на 1 млрд.165 млн. рублей в текущих ценах. Экономический эффект для 3-х УКПГ (1с, 2с, 3с) составил свыше 3 млрд. 500 тыс. рублей.

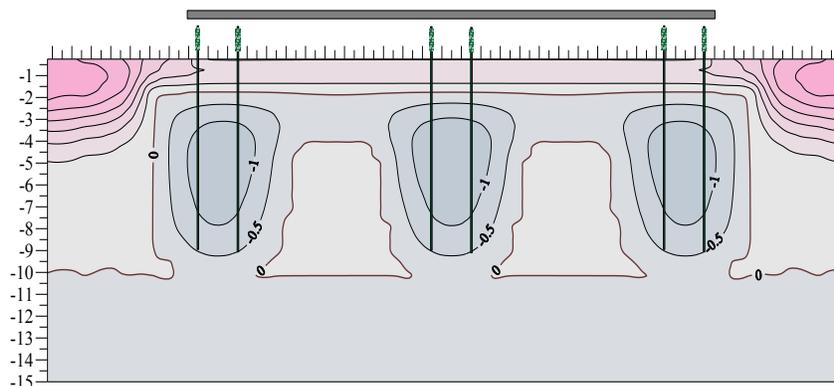


Рис.1. Льдогрунтовые опоры под зданием с вентилируемым подпольем на несливающейся мерзлоте после 1-го цикла работы термостабилизаторов

# ЗГНKM, УКПГ-1С

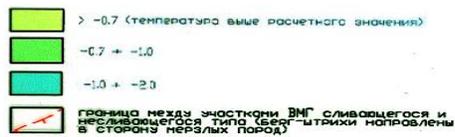
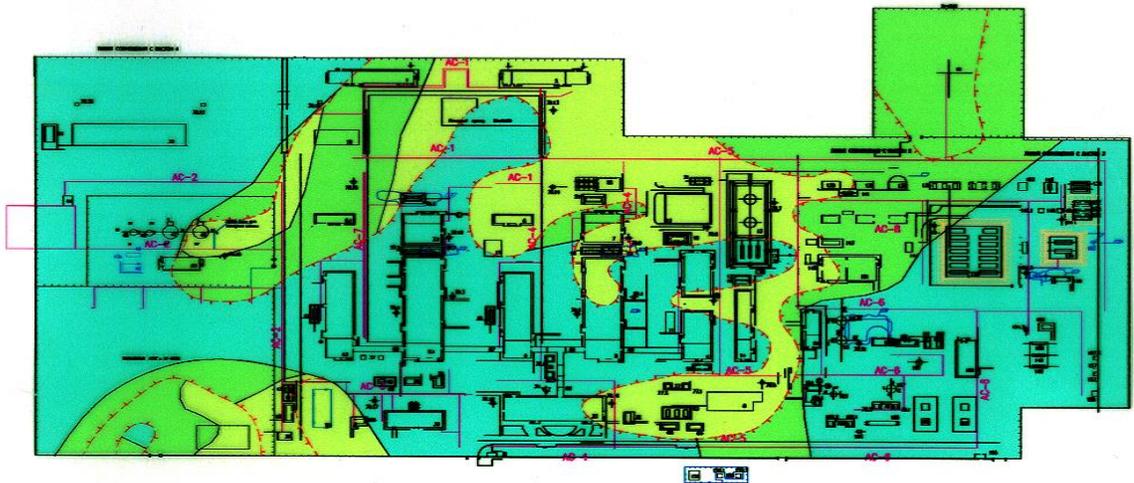
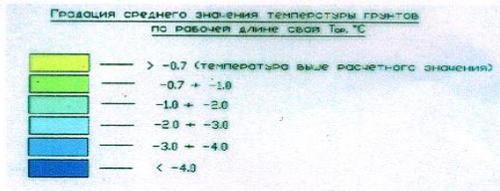
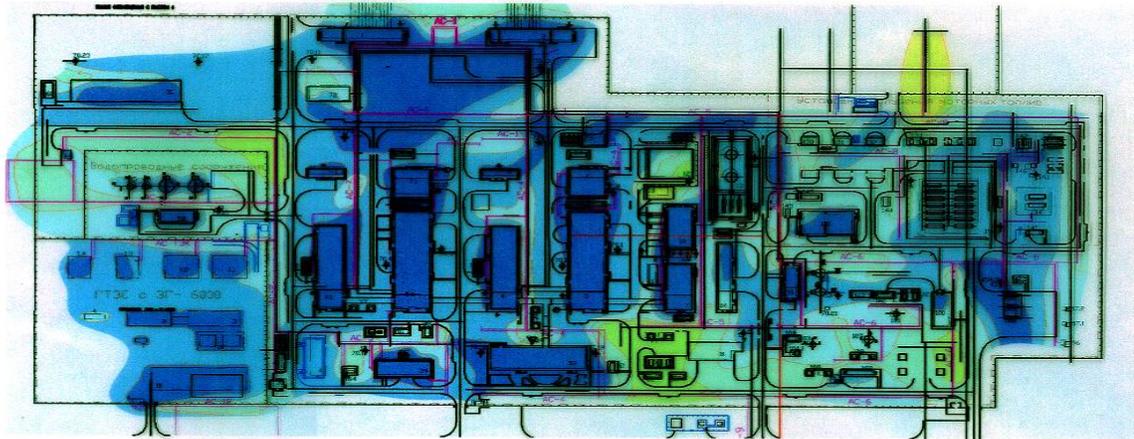


Рис.2. Температуры грунтов основания площадки УКПГ -1с до термостабилизации (внизу) и после 2-х лет работы термостабилизаторов (вверху)

## Статистический анализ индикаторов генезиса позднекайнозойских отложений северо-востока Якутии

Г.Н. Краев

Лаборатория Продуктивности и Биосферных Функций Леса, Центр по Проблемам Экологии и Продуктивности Леса, Российская Академия Наук, Москва, Россия

Д.Г. Шмелёв, И.М. Вагина

Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Е.М. Ривкина, Д.А. Гиличинский

Лаборатория Криологии Почв, Институт Физико-химических и Биологических Проблем Почвоведения, Российская Академия Наук, Пузино, Россия

### Введение

Изучение генезиса отложений невозможно в отрыве от их свойств и состава. Для восстановления условий накопления осадка используется целый ряд параметров и индикаторов: гранулометрический состав, химические свойства, содержание и качество органического вещества, концентрация биогенных газов. Каждый из этих показателей отражает определенные условия формирования отложений.

В ходе изучения Северо-востока Якутии накоплена огромная база по стратиграфии, генезису, составу и свойствам отложений [Шер, 1971; Решения..., 1988; Конищев, Плахт, 1991; Ривкина и др., 1992; Холодов и др., 2003; Ривкина и др., 2007]. Однако статистический анализ имеющегося материала ранее не проводился. Целью работы является выявление наиболее значимых показателей для генетических интерпретаций и стратиграфических построений. Полученные данные позволяют реконструировать условия накопления и промерзания отложений на территории Северо-востока Якутии в плейстоцене.

### Материалы и методы

Из базы данных было выбрано 420 образцов отложений позднекайнозойского возраста, отобранных на территории Северо-востока Якутии в ходе работ палеоэкологической экспедиции «Берингия». Каждый образец имел стратиграфическую привязку и для него определен ряд палеогеографических индикаторов. Для статистического анализа для каждого образца в качестве индикаторов

использовались следующие показатели: содержание фракций песка (1-0,05 мм), пыли (0,05-0,001 мм) и глины (<0,001 мм), соотношение ионов Са/Сl в водной вытяжке [Конищев, Плахт, 1991], сухой остаток, рН, содержание общего углерода и концентрация метана.

Всего было проанализировано 20 образцов тумус-ярской свиты, 100 – олерского надгоризонта, 40 – керемеситского надгоризонта, включая 25 маастакской свиты, 20 – коньковской свиты, 40 – халлерчинской свиты, 130 образцов едомы, 40 – аласов, и 30 образцов современного аллювия. В табл. 1 даны средние характеристика для каждой группы отложений.

Для статистической интерпретации был выполнен пошаговый непараметрический дискриминантный анализ с вводом каждого параметра согласно F-значимости. Для оценки роли каждой переменной использовались критерии Вилкинсон-λ [Пузаченко, 2004].

### Результаты и дискуссии

Общая точность дискриминации (разделения образцов на группы) составляет 50%. Наибольшей изменчивостью из всех параметров обладают содержание фракций пыли и песка, это объясняется экстремальными значениями. Большинство значений (75% всех случаев) лежит в отрезке от 20 до 70%. Большой разброс значений характерен для содержания метана, соотношения Са/Сl и сухого остатка. Важным параметром является рН, так как, несмотря на небольшую изменчивость абсолютных значений, для отложений определенных генетических групп он имеет определенные величины. Общее содержание углерода и фракция глины во всех образцах меняются не значительно

Таблица 1. Характеристика вещественного состава позднекайнозойских отложений Северо-востока Якутии.

Свита	Песок, %	Пыль, %	Глина, %	Са/Сl	С-общ, %	рН	Сухой остаток, мг/л	метан, мл/кг
Тумус-Ярская свита	57,57	34,37	8,06	0,39	0,82	7,33	0,15	6,64
Олерская свита	52,91	37,42	9,67	2,46	2,11	7,36	0,12	7,34
Керемеситский надгоризонт	10,29	76,67	13,05	0,79	1,51	6,9	0,08	2,89
Маастакская свита	91,55	3,24	5,21	0,2	0,48	7,76	0,12	0,33
Коньковская свита	60,94	32,16	6,89	0,22	0,9	7,56	0,35	4,92
Халлерчинская свита	70,67	18,37	10,96	1,49	0,89	7,45	0,06	0,33
Едомный надгоризонт	41,19	51,41	7,39	1,6	1,24	7,84	0,11	0,21
Аласный Комплекс	37,19	54,83	7,98	0,34	1,73	7,17	0,15	5,96
Современный аллювий	46,38	47,86	5,76	0,6	0,84	7,12	0,06	3,21
Все образцы	47,94	43,83	8,24	1,03	1,23	7,38	0,14	3,34

и не обладают достаточной значимостью, поэтому они не используются в дискриминантном анализе. Статистический анализ показал, что различные параметры обладают различной значимостью. Критерии значимости для каждой переменной приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значимость переменных, используемых при дискриминантном анализе

	C(CH <sub>4</sub> )	Ca/Cl	Пыль	Сухой остаток	Песок	pH
Вилкинсон-λ	0.67	0.46	0.32	0.21	0.15	0.11
Точность классификации после ввода параметра, %	28	29	30	38	45	39

Исходя из величины Вилкинсон-λ, наибольшей значимостью обладают концентрация CH<sub>4</sub> и соотношение Ca/Cl. Содержание метана позволяет выделить из общей группы отложений едому, маастахскую и халлерчинские свиты, где он отсутствует или его содержание минимально. Ca/Cl – индикатор морского или территориального генезиса, позволяет вычленить отложения коньковской и маастахской свиты. Фракция пыли и сухой остаток в модели являются избыточными, так как вес одного значения в дискриминации не велик и не может служить безусловным индикатором. Содержание фракции песка позволяют выделить отложений тумус-ярской, маастахской и халлерчинской свит. Последним вводится в модель дискриминации значения pH. Из-за того, что разброс pH невелик (от 6,5 до 8) он понижает точность классификации модели.

Содержание метана позволяет достаточно точно отделить отложения едомы. Для групп отложений по всем используемым параметрам за исключением концентрации метана были рассчитаны расстояния Махалобиса [Пузаченко, 2004], которые показали, что наиболее близкими к едомым в этом случае являются отложения олерского надгоризонта и аласов. Точность разделения этих отложений без использования содержания метана невелика, а результат ошибочен, так 93% аласных и 90% олерских отложений после статистического анализа были отнесены к едоме. После введения в дискриминантный анализ содержания CH<sub>4</sub> ошибка была существенно понижена, до 25% для аласов и 19% для олерских отложений. Для едомых образцов точность классификации после ввода метана составила 100 %.

Полученные в результате дискриминантного анализа уравнения классификации так же подтверждают большую значимость концентрации CH<sub>4</sub>. Коэффициенты для метана для всех групп меняются от 0,7 до 1,2, для прочих же параметров они значительно больше (5,2-27,1). Эти данные подтверждают ранее полученные результаты о роли метана как индикатора палеоусловий [Ривкина, Гиличинский, 1996].

Так же был выполнен дискриминантный анализ для генетических типов отложений [Решения..., 1988]. Всего было использовано 6 групп: синкриогенные аллювиальные, ледовый комплекс, аласный комплекс, эпикриогенные озерные и аллювиальные, эпикриогенные аллювиально-морские, синкриогенные аллювиально-морские. Анализ показал, что концентрация метана так же

является наиболее значимым параметром при дискриминации образцов. Наряду с метаном большим весом обладает и соотношение Ca/Cl. При составлении уравнений классификации значения коэффициентов при показателе содержания CH<sub>4</sub> наименьшие. Для сингенетических отложений они равны 0,27-0,43, для эпигенетических – 0,64-0,69.

Таким образом, концентрация метана может служить наиболее важным показателем при расчленении позднекайнозойских отложений Северо-востока Якутии. Распределение метана по разрезу позволяет отделить отложения едомного надгоризонта от перекрывающих аласов и подстилающих более древних осадков (олерская и коньковская свита). Из-за отсутствия или низких концентраций метана в едомном надгоризонте, он не может использоваться для вычленения в нем горизонтов. Так же метан не может служить надежным индикатором для разделения синкриогенных отложений между собой, таких как едома, маастахская и халлерчинская свиты. Для расчленения разреза в этом случае необходимо использовать другие параметры. Когда едома залегают на бедной метаном маастахской свите, как в среднем течении Чукочьей и Алазеи [Шер, 1971], то разделение может выполняться на основании содержания фракции песка и соотношения Ca/Cl. Эти же показатели позволяют отличить едому от халлерчинской свиты.

## Заключение

Из всех используемых палеогеографических индикаторов, метан, можно считать самым значимым. Содержание метана может указывать на генезис и условия промерзания отложений. При использовании концентрации метана в совокупности с другими параметрами и при представлении о региональной стратиграфии возможно статистически обоснованное расчленение разрезов.

## Литература

- Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. Уч. пособие для студ. вузов. – М.: Академия", 2004 - 416 с.
- Конищев В.Н., Плахт И.Р. Механизм и источники засоления отложений ледового комплекса Якутии // В сб. статей «Денудация в криолитозоне». М., Изд-во Наука, 1991 г. – с.29-37.
- Решения межведомственного стратиграфического совещания четвертичной системе Востока СССР (Магадан, 1982). Объяснительные записки к региональным стратиграфическим схемам четвертичных отложений Востока СССР. Магадан. СВКНИИ ДВО АН СССР, 1988 – 241 с.
- Ривкина Е.М., Самаркин В.А., Гиличинский Д.А. Метан в многолетнемёрзлых породах Колымо-Индигоирской низменности // Доклады АН. – 1992, т. 323, № 3. - С. 559-562.
- Ривкина Е.М., Краев Г.Н., Кривушин К.В., Лауринавичюс К.С., Федоров-Давыдов Д.Г., Холодов А.Л., Щербакова В.А., Гиличинский Д.А. Метан в вечномерзлых отложениях восточного сектора Арктики// Криосфера Земли. т. X, № 4, с. 23–38

## Микробные сообщества метанобразующих торфяных горизонтов болот криолитозоны Сибири

К.В. Кривушин

*Институт Физико-химических и биологических проблем почвоведения, 142290 Пущино, Россия*

С. Хангер, Х. Дрейк

*Отдел экологической микробиологии, Университет Байройта, 95440 Байройт, Германия*

О. Коцюрбенко

*Брауншвейгский технологический университет, 38092 Брауншвейг, Германия*

М. Глаголев, А. Сабреков

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Факультет почвоведения, Москва, Россия*

Северные болота и тундра отвечают за треть эмиссии метана, поступающего в атмосферу из переувлажненных ландшафтов [Fung et al., 1991]. Заболоченные низменности Западной Сибири являются наиболее протяженной зоной распространения болот на Земле [Panikov, 1994]. Болота покрывают 27% территории Западной Сибири [Peregon et al., 2008], в том числе 29% в зоне тундры [Romanova, 1985]. Ввиду огромной протяженности, эти болота занимают несколько климатических зон, каждая из которых характеризуется собственным потоком эмиссии метана [Matthews and Fung, 1987].

Целью нашей работы было провести сравнительное исследование микробных сообществ метанобразующих архей торфяных горизонтов двух болот, расположенных в южной и типичной тундре.

Образцы торфа были отобраны в течение августа 2010 года на ключевых участках в типичной (Гыда) и южной (Ясавей) тундре.

Ключевой участок «Ясавей» (подзона южной тундры; координаты: 67.35° с.ш., 78.91° в.д.) располагался в 15 км к югу от посёлка Тазовский Ямало-Ненецкого Автономного Округа. Этот участок приурочен к левобережной террасе реки Таз. Вечная мерзлота располагается на глубине 30 см. Торфяники мелкозалежные, мощность торфяного слоя не превышает 50 см.

Ключевой участок «Гыда» (подзона типичной тундры; координаты: 70.90° с.ш., 78.53° в.д.) располагался в 5 км на восток от посёлка Гыда Ямало-Ненецкого Автономного Округа. Участок приурочен к водораздельному пространству с очень слабо выраженным рельефом. Мощность торфяных отложений составляла 25-30 см., граница слоя вечномёрзлого грунта располагалась на глубине около 30 см.

Для оценки реакции сообщества метаногенов на добавление субстратов образцы торфа анаэробно инкубировали на среде имитирующей состав поровой воды торфа при +15°C и отсутствии света. Состав газовой фазы контролировали периодическими измерениями посредством газохроматографического анализа. Динамику концентрации ацетата в культуральной среде отслеживали при помощи жидкостной хроматографии высокого разрешения. Реакцию сообщества метанобразующих архей определяли по изменению структуры библиотек клонов фрагмента гена 16S рРНК, полученного путем обратной транскрипции соответствующих рибонуклеиновых кислот, выделенных до и после инкубирования образцов.

Образование метана в анаэробных микросомах участка Гыда стимулировалось добавлением H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> и ацетата. В то же время, эти субстраты не оказывали значимого влияния на метаногенез в образцах участка Ясавей, что свидетельствует об отсутствии субстратного лимитирования для образования метана, а так же о том, что оно происходило из эндогенных субстратов. Анализ библиотек клонов 16S рРНК полученных при разных вариантах инкубирования образцов показал доминирование представителей родов *Methanosarcina* and *Methanosaeta* в образцах торфа типичной тундры. В образцах обоих участков происходил существенный рост концентрации ацетата при добавлении H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>, в особенности в присутствии ингибитора метаногенеза (бромэтансульфоновая кислоты), что свидетельствует о высокой активности ацетогенов.

Таким образом, микробное сообщество, участвующее в образовании метана в образцах типичной тундры по сравнению с образцами торфа болота южной тундры показало значимый отклик на добавление субстратов и большую аккумуляцию метана, что является свидетельством его высокой потенциальной метанобразующей активности.

### Литература

- Fung I., Lerner J.J., Matthews E., Prather M., Steele L.P. & Fraser P.J. 1991. Three-dimensional model synthesis of global methane cycle. *J Geophys Res* 96: 13033–13065.
- Matthews E. & Fung I. 1987. Methane emission from natural wetlands: Global distribution, area, and environmental characteristics of sources. *Global Biogeochem Cycles* 1: 61–86.
- Panikov N.S. 1994. CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emission from northern wetlands of Russia: Source strength and controlling mechanisms. In *Proceedings of the International Symposium on Global Cycles of Atmospheric Greenhouse gases*. Sendai: Tohoku University: 100-112.
- Peregon A., Maksyutov S., Kosykh N., Mironycheva-Tokareva N. 2008. Map-based inventory of wetland biomass and net primary production in western Siberia. *J. Geophys. Res.* 113: G011007.
- Romanova E.A. 1985. Vegetation of wetlands: Vegetation of the West Siberian Plain. *Novosibirsk, Nauka*. 138 p. (in Russian)

## Тепловое взаимодействие подземного газопровода с многолетнемерзлыми породами на участке трассы Бованенково-Ухта

А.В. Крюков

*Газпром трансгаз Ухта, Воркута, Россия*

Г.П. Пустовойт, В.З. Хилимонюк, С.И. Гребенкин

*МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва, Россия*

Трасса газопровода проходит в районе с сложными геокриологическими условиями, встречаются участки как сплошного распространения многолетнемерзлых пород, так и островного и прерывистого.

Рассматриваемый участок трассы подземного газопровода Бованенково-Ухта расположен на территории Большеземельской тундры (Европейский Север России) в зоне с преимущественно сплошным распространением многолетнемерзлых пород, с температурами на глубине годовых нулевых амплитуд от -1 до -3°C, мощностью 300 м [Геокриология... 1988]. Глубина сезонного оттаивания пород на данном участке от 0,5 до 1,6 м. Верхняя часть разреза представлена четвертичными отложениями небольшой мощности, преимущественно суглинками и супесями с большим содержанием валунно-галечного материала (15-20%), а также слоем торфа, мощностью 10-40 см, залегающим с поверхности.

В результате теплового взаимодействия подземного газопровода с многолетнемерзлыми породами возможно развитие опасных криогенных процессов, а также возможно сильное понижение верхней границы многолетнемерзлых пород [Козлов и др., 2001]. Поэтому в каждом конкретном случае необходимо давать прогнозную оценку теплового взаимодействия. Для этого была решена задача математического численного моделирования.

Расчет производился методом конечных разностей по программе "Тепло", разработанной на кафедре

геокриологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Целью моделирования было выявление многолетней динамики развития ореолов оттаивания вокруг «теплого» газопровода, заглубленного (укладка в траншею) в грунт на 1 м (от верхней образующей трубы).

Задача исследовалась в спектре изменения параметров теплоизоляции трубы и температурного режима транспортировки газа.

В результате моделирования получены размеры ореолов оттаивания, достигающие 1,5м, которые в результате годовой пульсации могут привести к негативным процессам.

По результатам прогнозирования выработаны предложения по уточнению мощности теплоизоляции и оптимизации температурного режима транспортируемого газа.

### Литература

- Геокриология СССР, Европейская территория СССР. Под ред. Ершова Э.Д. – М.: Недра, 1988.
- Козлов А.Н., Пустовойт Г.П., Хренов Н.Н. 2001. Газопроводы севера Западной Сибири: всплытие или выпучивание. // Газовая промышленность, Август 2001.

## Техногенное выветривание на рудных месторождениях

В.И. Кузькин

*Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М.Федоровского (ВИМС), Москва, Россия*

Одной из важнейших сторон техногенного воздействия человека на окружающую среду является извлечение из недр Земли полезных ископаемых подземными горными выработками и карьерами.

При этом установлено, что деятельность горнодобывающих предприятий вызывает изменение: гидродинамических, гидрохимических, термодинамических условий; структуры газовых полей; напряженно-деформированного состояния массива горных пород; физико-механических свойств рыхлых и скальных пород; раздробленности массива горных пород; активности экзогенных процессов и явлений, условий разложения породообразующих минералов и образование новых.

Основная цель человека в аспекте учета реакции геологической среды заключается не в том, чтобы не допустить возникновения техногенных инженерно-геологических процессов, а в том, чтобы не дать этим процессам по масштабам своего проявления, по форме, интенсивности и скорости выйти за предусмотренные нормативы.

Анализ проведенных автором работ на месторождениях полиметаллических и др. месторождениях показал, что для решения проблемы техногенного выветривания необходимо решить следующие общие задачи:

- изучить условия и причины возникновения и развития техногенных процессов;
- выявить механизм и закономерности развития процессов;
- разработать принципы прогнозирования методов техногенных процессов и явлений;
- определить мероприятия по предупреждению и ослаблению воздействия техногенных процессов.

Для решения поставленных задач при изучении, оценке и прогнозе процесса техногенного выветривания на сульфидных месторождениях с учетом стадийности их вскрытия необходимо оценить:

- влияние химического состава и pH вод на состояние и свойства пород и руд в массиве и образце;
- изменение микростроения пород и руд под влиянием физико-химических факторов;
- изменение химического состава и pH по результатам полевого гидрохимического опробования и лабораторных испытаний свойств пород и руд;
- оценка окислительно-восстановительного потенциала (Eh) на контакте рудных тел.

Необходимо отметить, что к числу компонентов внешних сред, активно реагирующих с породами и рудами, могут быть отнесены зоны окисления сульфидных месторождений, являющиеся источниками агрессивных растворов.

Таким образом, техногенное выветривание - это процесс, обусловленный техногенным нарушением существовавших в природе условий, приводящий к активизации влияния агентов выветривания (воды, углекислого газа, кислорода и др.), ускорению процессов

взаимодействия растворов с твердыми минеральными веществами.

Достоверный прогноз процесса техногенного выветривания не может быть осуществлен без режимных наблюдений и изучения устойчивости непосредственного массива пород и руд на месторождении, на участках проявления этого процесса. В настоящее время автором разработана методика вещественного лабораторного моделирования процесса техногенного выветривания скальных, полускальных пород и руд сульфидных месторождений. Проведение таких исследований направлено в основном на изучение твердой фазы процесса - изучения его природы и механизма, с позиций механики скальных пород, т.е. в основном снижения прочностных свойств пород и руд, с постановкой специальных задач, поставленных ранее.

Количество месторождений эксплуатируемых в условиях многолетнемерзлых пород постоянно растет. Активность проявления процесса техногенного выветривания в указанных условиях определяется: интенсивностью процесса растепления массива; наличием типа сульфидных минералов (пирита и халькопирита); способом и сроками отработки месторождения (открытый или подземный).

Особая опасность процесса техногенного выветривания, особенно при эксплуатации месторождений в многолетнемерзлых породах будет связана с техногенными зонами, возникающими при подземной и открытой разработке. На этих участках под влиянием буровзрывных работ нарушено состояние и свойства пород в массиве, что обуславливает активизацию процесса техногенного выветривания.

Растепление массива ММП, увеличение сроков эксплуатации, способствует снижению pH возникающих вод, вплоть до агрессивных, что приводит к активизации процесса техногенного выщелачивания на рудных участках. Изменение состояния и свойств пород и руд под влияние техногенного выветривания приведет к необходимости дополнительного крепления подземных горных выработок, а при открытой разработке вызывает необходимость дополнительных расчетов целиков под дном карьера.

Особая активность процесса техногенного выветривания будет наблюдаться на ослабленных участках, т.е. зон пересечения тектонических нарушений различного порядка, имеющих различную степень дробления материала и следовательно разную водопроницаемость при растеплении ММП, возникающую при эксплуатации. Это приведет к необходимости особого внимания при разработке указанных ослабленных зон.

Несоблюдение указанных рекомендаций может привести к активизации проявления неблагоприятных инженерно-геологических процессов, вплоть до обрушения.

В настоящее время комплексные исследования процесса техногенного выветривания, с количественной оценкой факторов на сегодняшний день практически не разработаны.

## Экономическая оценка перспектив освоения углеводородных ресурсов Российской Арктики в контексте направлений развития нефтегазового сектора страны

В.В. Кулешов, В.А. Крюков, В.Д. Маршак

*Институт экономики и организации промышленного производства (ИЭОПП) СО РАН, Новосибирск, Россия*

Любая хозяйственная деятельность - имеющая своей целью достижение политических, социальных и иных (не чисто экономических результатов) в конечном счете оценивается, тем или иным образом, системой финансово-экономических показателей. Система данных показателей, как правило, отражает расходы тех или иных видов ресурсов – материальных, человеческих, природных, финансовых в денежной форме. Сопоставление целевых показателей с экономическими показателями позволяет - тем или иным образом - оценивать эффективность рассматриваемой хозяйственной деятельности.

Освоение регионов с вечной мерзлотой - развитие и интенсификация хозяйственной деятельности, как правило, связано с тремя обстоятельствами:

а) освоением уникальных, неповторимых - по природным и экономическим характеристикам - источников природных ресурсов;

б) реализацией геополитических целей и задач, направленных на достижение целей, как правило, национальной безопасности;

в) поддержанием и обеспечением экологической и биологической устойчивости уникальных экосистем высоких широт.

Не все из данных целей и приоритетов могут быть оценены и проанализированы с позиций собственно-экономической эффективности. Скорее, целесообразно вести речь о создании предпосылок и условий устойчивого социально-эколого-экономического функционирования и развития регионов с вечной мерзлотой.

С экономической точки зрения риски регионов с вечной мерзлотой связаны с такими обстоятельствами, как:

а) повышенные издержки на учет особенностей "поведения" вечной мерзлоты в процессе сооружения и эксплуатации зданий, сооружений и различных объектов;

б) необходимость удлинения научно-производственно-экономических циклов реализации проектов (заблаговременное изучение и наличие специальной системы мониторинга).

Основные риски можно компенсировать за счет:

- разработки новых и уникальных технологических систем и процессов освоения;
- организации системы научного сопровождения;
- интеграции научных и традиционных знаний, навыков и умений ведения хозяйственной деятельности.

Значительную роль в реализации данных направлений играет создание адекватных институциональных условий реализации проектов. К числу таких форм, например, относится тесная международная кооперация и интеграция местных сообществ в процессе оценки и выбора решений (связанных не столько с технологиями аспектами, сколько с результатами реализации проектов).

Как правило, проекты в регионах с вечной мерзлотой отличаются масштабностью и длительностью сроков осуществления. Это в полной мере относится к проектам

освоения всех видов полезных ископаемых и создания инфраструктурных объектов (от строительства дорог до сооружения поселений).

В очень редком числе случаев крупномасштабные проекты в регионах с вечной мерзлотой можно (и, следует добавить, целесообразно) оценивать на основе стандартных методик экономической эффективности (по критериям окупаемости, рентабельности, доходности и проч. и проч.).

Необходимо вести речь при оценке эффективности не столько с позиций окупаемости конкретных проектов (если последняя и обеспечивается, то, как правило, искусственным путем - за счет особых ценовых или налоговых условий), сколько с позиций достижения совокупности эффектов, которые порождают крупномасштабные проекты.

Эффекты необходимо рассматривать в системе внешних связей, таких как: "проект – использование минеральных ресурсов", "проект – развитие смежных и современных отраслей", "проект – создание устойчивых условий для жизни и деятельности населения территории" и проч.

К сожалению, значительная часть проектов, которые были к настоящему времени реализованы в регионах с вечной мерзлотой были ориентированы на достижение краткосрочных чисто экономических эффектов и мало отвечают отмеченным выше требованиям.

Главное направление реализации проектов к регионам с вечной мерзлотой – не столько линейные, сколько синергетические эффекты, обеспечивающие диверсификацию и создание условий устойчивого социально-эколого-экономического развития рассматриваемых регионов [Крюков и др. 1995].

В ИЭОПП СО РАН в течение длительного времени разрабатываются подходы к оценке крупномасштабных проектов с позиций их влияния (для обоснования управленческих решений по развитию экономики регионов Сибири) на экономику территориальных систем.

В рамках проведенных нами пилотных (поисковых) исследований была поставлена задача – определить роль каждого из нефтяных макрорегионов – таких как шельф (включая Арктику), Западная Сибирь (освоение более глубоких горизонтов в районах традиционной добычи), а также Восточная Сибирь и Дальний Восток - в повышении эффективности использования денежных ресурсов страны.

В качестве аппарата исследования данной проблемы была использована оптимизационная модель анализа и прогнозирования денежных потоков, рассмотренная в работах [Кулешов, Маршак 2002, 2006, Крюков, Маршак 2010]. Модель была дополнена условиями прироста добычи по выделенным макрорегионам для каждого расчетного года. В целом, модель рассчитывалась как задача линейного программирования размерности 458 x 533. Критерий оптимальности используемой модели – максимизация эффективности используемых финансовых ресурсов. Причем, все ресурсы финансовой системы, как

собственные, так и привлеченные, используются в соответствии с действующими нормативами Центрального банка.

Расчеты показали, что "в план" решения задачи не вошел ни один вариант, ни по одному региону. Другими словами, возможные направления увеличения добычи углеводородов в среднесрочной перспективе с учетом сроков строительства и освоения проектной мощности, а также значительно более высоких удельных капиталовложений не приводят к увеличению эффективности использования финансовых ресурсов, измеряемой как маржа финансового сектора, образуемая за счет разницы в ценах привлечения и размещения их. Таблица 1 дает представление о соотношении удельных капиталовложений на прирост добычи углеводородов по рассматриваемым регионам.

Таблица 1. Удельные капиталовложения на добычу углеводородов (в ценах 2010 года)

	В среднем по отрасли	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Шельф
Нефть, руб./тонна	926	2085	3500	1830
Газ, руб./1000 куб.м.	316	1070	1450	8612

Следует отметить, что расчет велся в постоянных ценах 2011 года. При увеличении внешних цен в два раза результат не меняется (до 200 долларов США за баррель).

Были проведены расчеты и при задании обязательного выполнения прироста добычи по каждому региону в отдельности.

Таблица 2. Основные макроэкономические показатели развития экономики при обязательном вводе новых месторождений (млрд. руб. в ценах 2011 года)

Годы:	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Валовой внутренний продукт</b>	54363	55533	56147	57916	59427	60719	62365	64412	67436	78072
<i>расходы на конечное потребление</i>	37820	38247	38895	39983	39612	39440	40227	41379	41877	45721
* <i>домашних хозяйств</i>	18205	18570	18941	19320	19706	20100	20502	20912	21331	21757
в т.ч.: * <i>государств. учреждений</i>	19615	19677	19954	20663	19905	19340	19725	20467	20547	23964
<i>валовое накопление</i>	9890	10382	9991	10344	11432	12217	12584	13003	14957	22915
<i>чистый экспорт</i>	6652	6904	7261	7590	8384	9062	9553	10030	10602	9435

Среднегодовой темп роста ВВП составил в данном варианте 4.1%, против 3.17%, в предыдущем случае. Обязательный ввод новых месторождений привел к снижению на 5% ввода новых мощностей в других отраслях народного хозяйства. Однако, как уже отмечалось, вырос объем валового внутреннего продукта, возросли реальные денежные доходы населения и в целом налогооблагаемая база, хотя доход финансового сектора за расчетный период уменьшился на 3.5%.

Результаты расчетов - по весьма сложной (но, вместе с тем, агрегированной модели анализа и прогнозирования денежных потоков в экономике в целом) показывают, что для реализации полученного варианта развития необходимо привлечение для рассматриваемых регионов

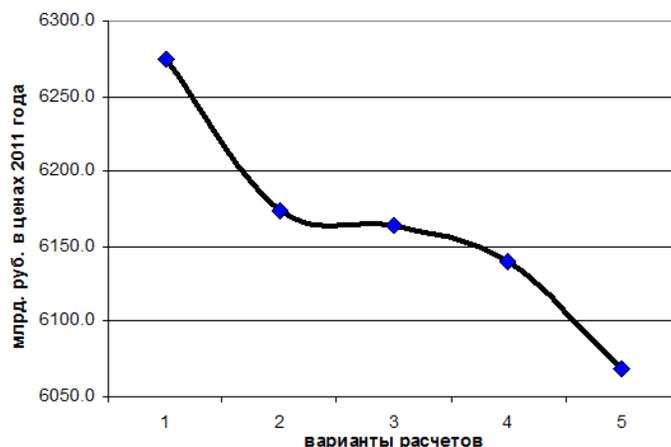


Рис. 1. Динамика маржи финансового сектора по вариантам расчёта  
**Варианты расчетов:** 1 – нулевой вариант, когда не фиксируется добыча ни в одном из регионов, 2 – задано общее ограничение на добычу в каждом году, а в результате решения выбирается доля региона, 3 – прирост добычи только за счет Западной Сибири, 4 – прирост добычи только за счет Восточной Сибири, 5 – прирост добычи только за счет шельфа.

Очевидно, что проблему освоения новых районов добычи, таких как регионы вечной мерзлоты, в среднесрочной перспективе (не говоря уже о долгосрочной) нельзя рассматривать только с точки зрения финансовой эффективности. Необходимо смотреть на данную проблему, как создание дополнительных источников модернизации экономики страны и обеспечения ее стабильного роста.

Поэтому были проведены также расчеты по обязательному вводу новых районов добычи углеводородов. Основные технико-экономические показатели данного варианта приведены в таблице 2.

«длинных денег». Решение данной задачи в обозримом будущем возможно за счет трех источников:

а) прямого участия государства в проектах (широко, например, используется в Норвегии);

б) установление экономических предпочтений (в России также начинает активно использоваться - нулевые ставки НДС и таможенных пошлин на определенный период времени);

в) привлечение иностранных партнеров и, вообще, развитие форм совместного осуществления проектов (успешный опыт - СПП на Сахалине и подписанные соглашения ОАО "Роснефть" и ОАО "НОВАТЭК" с ведущими зарубежными нефтегазовыми компаниями).

Ключевое направление - с позиции обеспечения долгосрочных социально-эколого-экономических интересов регионов вечной мерзлоты - развитие широкомасштабных форм локализации эффектов от реализации новых перспективных проектов.

При этом к числу важнейших направлений локализации относится весь круг проблем и вопросов, возникающих при соприкосновении с вечной мерзлотой.

### Литература

Крюков В.А., Севастьянова А., Шмат В. Нефтегазовые территории: как распорядиться богатством? Текущие проблемы и формирование условий

долговременного устойчивого социально-экономического развития. – Новосибирск: АО "Правовая экономика" (г. Тюмень), 1995. – 370 с.

Кулешов В.В., Маршак В.Д. Финансовые аспекты прогнозирования темпов экономического роста // Вопросы экономики. – 2002, №11, с.31-45.

Кулешов В.В., Маршак В.Д. Моделирование роста российской экономики // Вопросы экономики. – 2006. - №12. – с.54 – 60.

Крюков В.А., Маршак В.Д. Оценка параметров развития российского нефтегазового сектора// Вопросы экономики. – 2010, № 7, с.22-37

## Особенности микростроения синкриогенных отложений

А.Н. Курчатова, Е.А. Слагода

*Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия*

*Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия*

В.В. Рогов

*Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*Тюменский Научный центр СО РАН, Тюмень, Россия*

### Введение

Криогенез как зональный тип литогенеза наиболее ярко проявляется в синкриогенных отложениях, для которых характерно совпадение геологического и криогенного возраста [Романовский, 1993]. Преобразование осадков начинается в деятельном слое при циклическом промерзании – протаивании. Переход отложений в мерзлое состояние на подошве слоя сезонного оттаивания происходит, как правило, в условиях избыточного увлажнения, что обеспечивает их высокую льдистость. Оттаивание отложений над кровлей мерзлой толщи наблюдается не каждый год, что приводит к ритмическому наращиванию мерзлоты и образованию поясковой криотекстуры. Именно в этом слое формируется специфическое строение синкриогенных толщ, которое отражает фациальные условия и геокриологическую историю преобразования пород. В тонкодисперсных отложениях микростроение фиксирует структурные связи между частицами скелета, агрегатами и включениями льда [Микростроение..., 1988; Рогов, 2009] и определяет важнейшие инженерно-геологические свойства грунтов: пористость, проницаемость, размокаемость и др.

### Методика и объект исследований

Наиболее характерным примером синкриогенных отложений является ледовый комплекс, широко распространенный на приморских низменностях северо-востока России. В работе приведены результаты изучения микростроения отложений Колымской низменности и дельты р. Лена. Они отличаются однородностью дисперсного состава (до 75% крупноалевритовой фракции), высокой пористостью, льдистостью и оторфованностью [Конищев, 1981]. Исследование микростроения проводилось в шлифах пород, подготовленных криогенной сушкой, и при помощи реплик мерзлых отложений методами оптической и электронной микроскопии с использованием спектрального микроанализа. Шлифы изготовлены в Национальном Научно-исследовательском центре г. Потсдам (Германия).

### Результаты

Микростроение отложений ледового комплекса, как высокольдистых, так и малольдистых фаций, характеризуется присутствием кольцевых структур, обусловленных дифференциацией минеральных частиц по

ориентировке [Конищев, Рогов, 1985]. Наблюдаются следующие основные типы кольцевых образований:

1) простые образования сложены обломками минералов, радиально ориентированных, удаленных друг от друга или с точечными контактами: скол-скол, базис-скол; трещиноватость зерен кварца, отмечена, прежде всего, у обломков, обращенных к ледяным шпирям (рис. 1а,б);

2) сложные образования представлены агрегатами из обломков с глинистым заполнителем, растительных остатков и более мелких агрегатов; ориентировка зерен меняется от радиальной на периферии до концентрической к центру агрегата; глинистые частицы образуют рубашки на поверхности обломков и заполняют поровое пространство; между зернами с контактами базис-скол выражены клиновидные поры; отмечена цементация агрегатов железисто-кремниевыми и карбонатными соединениями (рис. 1с,д);

3) частично разрушенные образования с глинистым ядром и концентрическими трещинами, согласными строению агрегатов; периферийные части агрегатов и обломки частично утратили старую ориентировку, т.е. захвачены новой дифференциацией (рис. 1е).

Кольцевые структуры являются объемными, поскольку в микростроении пород они наблюдаются в вертикальном и горизонтальном сечениях; образуют одиночные кольца или сопряженные группы внутри более крупных агрегатов (рис. 1ф).

Строение кольцевой микротекстуры отложений обусловлено развитием от простых радиальных форм до концентрических сложных агрегатов. Преобразование структурных связей в синкриогенных отложениях происходит от объемных агрегационных контактов [Микростроение..., 1988] к точечным и затем к наиболее прочным связям: площадным коагуляционным и цементационным, вплоть до образования аутигенных минералов (рис. 1г).

Дифференциация обломков и глинистых частиц определяется интенсивностью, длительностью циклического промерзания и фациальной обстановкой. Максимальная структурированность отложений отмечена в пойменной фации ледового комплекса с высоким содержанием алевритов и растительных остатков.

Структурные связи обеспечивают сохранность кольцевых образований и после протаивания. Кольцевая дифференциация обломков и глинистые конкреции присутствуют в аласных отложениях, в современных, погребенных почвах и склоновых отложениях палеокриогенной области (рис. 1h). Особенности

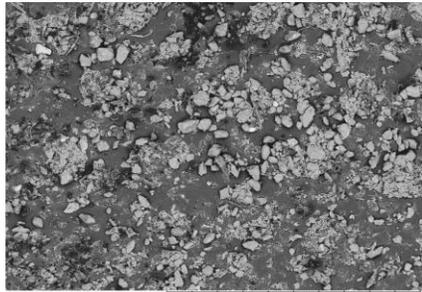
микростроения пород могут служить индикатором синкриогенеза после деградации мерзлоты.

### Благодарности

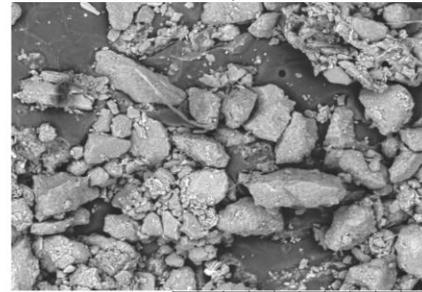
Работа выполнена при поддержке фундаментальных программ ОНЗ РАН 12; Президиума РАН 23.3.

### Литература

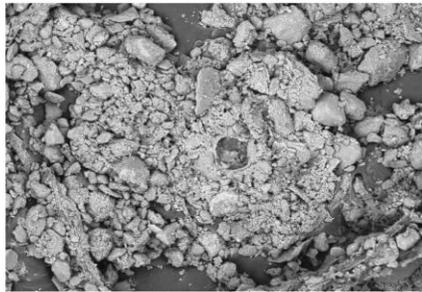
Конищев В.Н. Формирование состава дисперсных пород в криолитосфере. – М.: Наука, 1981.  
 Конищев В.Н., Рогов В.В. Методы криолитологических исследований. Состав и строение мерзлых грунтов. . – М.: Изд-во Московского университета, 1985.  
 Микростроение мерзлых пород / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Изд-во МГУ, 1988.  
 Рогов В.В. Основы криогенеза. – Новосибирск, Академическое изд-во «Гео», 2009.  
 Романовский Н.Н. Основы криогенеза литосферы. – М.: Изд-во МГУ, 1993.



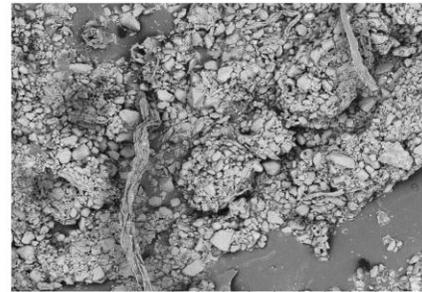
TM3000\_0229 2011.12.28 19:07 N D9.0 x100 1 mm  
 a) Ice Complex, Kolymskaya lowland (*channel facies*)



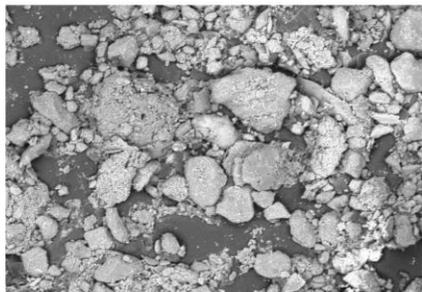
TM3000\_0652 2012.02.07 17:02 N D9.1 x500 200 um  
 b) Ice Complex, Kolymskaya lowland (*channel facies*)



TM3000\_0642 2012.02.06 19:09 N D9.2 x250 300 um  
 c) Ice Complex, Kolymskaya lowland (*flooding facies*)



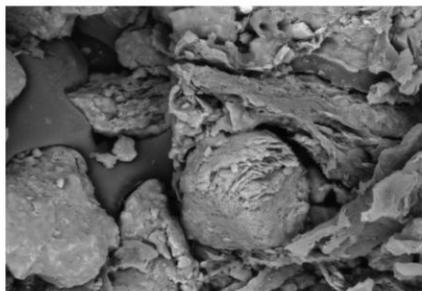
TM3000\_0044 2011.10.24 16:39 N D9.0 1 mm  
 d) Ice Complex, Kolymskaya lowland (*flooding facies*)



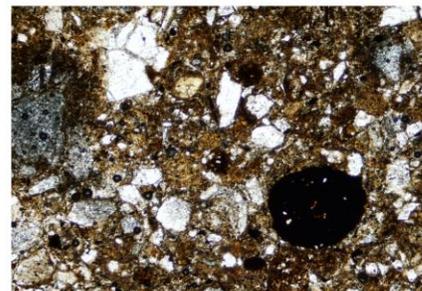
TM3000\_0638 2012.02.08 18:56 N D8.9 x250 300 um  
 e) Ice Complex, Kolymskaya lowland (*flooding facies*)



TM3000\_0653 2012.02.07 18:02 N D7.1 x100 1 mm  
 f) Ice Complex, Kolymskaya lowland (*channel facies*)



TM3000\_0312 2012.01.12 19:13 N D8.7 x1.5k 50 um  
 g) Ice Complex, Kolymskaya lowland (*flooding facies*)



h) Buried soils, Predbaikal Flexure (*Malta*)

Рис.1 . Кольцевые микротекстуры отложений.

## Инженерная защита трубопроводов от опасных инженерно-геологических процессов в условиях северных регионов

Н.Б. Кутвицкая, А.В. Рязанов, А.Е. Скапинцев, А.В. Икан  
ОАО «Фундаментпроект», Москва, Россия

### Введение

При строительстве и эксплуатации трубопроводов и вдольтрассовых площадных объектов в северных регионах, как правило, возникает необходимость разработки проектов инженерной защиты территории от активизирующихся и возникающих при техногенных воздействиях опасных мерзлотно-грунтовых процессов и явлений. Ситуация осложняется существенной изменчивостью по протяженности трассы трубопровода инженерно-геокриологических условий (чередование участков распространения талых и вечномерзлых грунтов, наличием льдистых, сильнопучинистых и разуплотненных грунтов и т.д.). В такой ситуации от качества и объема принятых технических решений существенно зависят и будущие материально-технические расходы, направленные на поддержание эксплуатационной надежности трубопроводов и вдольтрассовых площадных объектов.

Разработка проекта инженерной защиты осуществляется поэтапно, начиная с анализа объекта и заканчивая выбором конкретных технических мероприятий.

### Анализ исходных данных и типизация инженерно-геологических условий трассы трубопроводов

Предварительным этапом работы при разработке проекта инженерной защиты (ИЗ) трубопроводов и вдольтрассовых площадных объектов является анализ исходных данных: профилей по трассе, планов, отчетов о инженерно-геологических изысканиях, данных об архитектурно-строительных решениях и др. документации.

На основании анализа исходных данных проводится типизация трассы трубопроводов по инженерно-геокриологическим условиям с выделением типовых геокриологических разрезов-колонок. Основные параметры, учитываемые при типизации, являются определяющими по влиянию на несущую способность и устойчивость основания трубопровода. Это дифференциация талых и вечномерзлых грунтов (ВМГ), разделение ВМГ на сливающиеся и несливающиеся, выделение участков перелетков, таликов, подземных льдов, выделение разрезов, сложенных льдистыми грунтами, текучими грунтами и т.п.

На начальном этапе работ проводится районирование трассы по геоморфологическим и технологическим особенностям: выделение участков пересечения водотоков, оврагов, существующих трубопроводов, автодорог.

Проводится районирование трассы трубопровода с выделением участков с развивающимися (или потенциально опасными участками) негативными мерзлотно-грунтовыми процессами.

### Разработка технических решений

Основываясь на результатах вышеперечисленных работ предварительного этапа, в зависимости от способа прокладки трубопровода, предусматривается конкретный комплекс мероприятий, направленный на снижение или устранение негативных воздействий определенных процессов.

В ОАО «Фундаментпроект» разработаны различные технические решения и мероприятия инженерной защиты (в том числе и подтвержденные патентами), обоснованные прогнозными теплотехническими, прочностными и деформационными расчетами и опытом эксплуатации по обеспечению устойчивости и эксплуатационной надежности трубопроводов подземной и наземной прокладки и вдольтрассовых площадных объектов от широкого спектра опасных процессов, таких как эрозия и термоэрозия, оползни, курумы и солифлюкция, криогенное пучение грунтов, термокарст, заболачивание, подтопление и др.

Среди широкого спектра технических решений, применяемых при инженерной защите трубопроводов подземной прокладки и вдольтрассовых площадных объектов в различных геоморфологических и геокриологических условиях, наиболее часто возникает необходимость в разработке следующих основных мероприятий:

- Поверхностный водоотвод (в том числе многоуровневый водоотвод на вдольтрассовых площадных объектах с устройством заглубленных автодорог, внутриплощадочной ливневой канализации и внеплощадочных водоотводных канав) с использованием водоотводных лотков и канав различных конфигураций, монтируемых с использованием различных материалов, таких как геосетки, гибкие бетонные маты (УГЗБМ), стальные электросварные прямошовные трубы и дренажные маты;

- укрепление русловых и пойменных частей на пересечениях водотоков с применением различных противозерозионных материалов типа пространственных георешеток и гибких бетонных матов;

- защиты от поверхностной эрозии и суффозионных процессов в грунтах обратной засыпки траншеи трубопровода с применением ряда геотекстильных

материалов, а также рекультивационных материалов типа биоматов;

- термостабилизация грунтов основания трубопровода подземной прокладки на пересечениях с существующими трубопроводами с высокими температурами транспортируемых продуктов. В мероприятиях по термостабилизации используются различные типы сезоннодействующих охлаждающих устройств (СОУ), теплоизоляционные материалы, устраиваются льдогрунтовые завесы для защиты от подтопления межмерзлотными грунтовыми водами.

### **Заключение**

Инженерно-геологические условия в северных регионах характеризуются разнообразием и изменчивостью, поэтому не может существовать универсальной системы при разработке проектов инженерной защиты. Каждый проект разрабатывается индивидуально для конкретного региона со своими геокриологическими, геологическими, климатическими и пр. особенностями.

Основной задачей инженерной защиты является сохранение природного водно-теплового баланса территории. Рассмотренные выше мероприятия позволяют осуществить эту задачу, а также обеспечить устойчивость

и несущую способность оснований трубопроводов на весь срок эксплуатации. Они являются экономически эффективными и надежными, а также экологически безопасными для окружающей среды.

Обязательным является разработка эффективной сети геотехнического мониторинга (ГТМ) с ручным или автоматизированным методом измерений для каждого конкретного случая. На периоды строительства и эксплуатации трубопроводов и вдольтрассовых площадных объектов территория должна быть оборудована необходимым количеством элементов (термометрические скважины, гидрогеологические скважины, деформационные марки и пр.) для обеспечения наблюдения за состоянием объектов и предотвращения аварийных ситуаций.

### **Литература**

- СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения.
- СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.
- СНиП 2.05.06-85\* Магистральные трубопроводы.

## Криогенные структуры конца плейстоцена на юго-западе Западносибирской равнины

С.И.Ларин, В.Л.Гусельников

*Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия*

С.А.Лаухин

*Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства (МГАКХиС), Москва, Россия*

*Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ–РГГРУ), Москва, Россия*

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень, Россия*

### Аннотация

На юго-западе Западной Сибири, в пределах  $57^{\circ}12' - 53^{\circ}55'$  с.ш. и  $62^{\circ}56' - 75^{\circ}20'$  в.д. по данным дешифрирования КС выявлены многочисленные участки проявления полигонального рельефа. Наиболее чётко полигональный рельеф прослеживается на космоснимках, сделанных осенью или весной на участках занятых в момент съёмки под пашни. На космоснимках иногда видно приспособление речной сети к особенностям блочно-полигонального рельефа.

**Ключевые Слова:** Многолетняя мерзлота, полигональный рельеф, псевдоморфо́за по ледово-грунтовой жиле

Разными, независимыми друг от друга методами, неоднократно доказано, что во время последнего плейстоценового оледенения многолетняя мерзлота с севера Западно-Сибирской равнины смыкалась с многолетней мерзлотой горного оледенения Казахстана [Фотиев, 1978; Аубекеров 1990, 1992; Балобаев, 1991; Архипов, Волкова, 1994; Горбунов и др., 1998 и др.]. Причём до  $47^{\circ}$  с.ш. распространялась сплошная многолетняя мерзлота и только южнее этой широты мерзлота была островная. Однако описания самих криогенных структур в упомянутых работах немного, особенно для юго-запада Западно-Сибирской низменности. Поэтому могут представлять интерес следы многолетней мерзлоты наблюдавшиеся авторами этой статьи летом 2011 г в пределах Курганской области и Тюменской области южнее широты Ялоторовска.

Прежде всего надо отметить, что обследованная нами часть юго-запада Западной Сибири отличается очень плохой обнаженностью. Поэтому обнаруживаются следы многолетней мерзлоты, в основном, на космоснимках в виде полигонального рельефа. На площади  $57^{\circ}12' - 53^{\circ}55'$  с.ш. и  $62^{\circ}56' - 75^{\circ}20'$  в.д. (значительно больше территории, обследованной нами в поле) выявлены многочисленные участки проявления полигонального рельефа. Наиболее чётко полигональный рельеф прослеживается на КС, сделанных осенью или весной на участках занятых в момент съёмки под пашни. На них виден пятнистый блочно-полигональный рельеф с полигонами преимущественно квадратной формы. У оз.Горькое (юг Курганской области) виден крупноблочный (блоки около 80 м) полигональный рельеф. У оз.Крутали рисунок блочно-западинного рельефа напоминает полигонально-валиковый рельеф. Можно предположить, что понижение, в котором находится оз.Крутали, является остатком аласа конца позднего плейстоцена. На СВ берегу этого озера рельеф линейно-блочный. Современные озёра в этом районе вложены в межблочные понижения и, вероятно, наследуют термокарстовые понижения. На северозападном берегу оз.Крутали размеры боков до 60-70 м. Здесь и в других частях обследованной территории по космоснимкам иногда видно приспособление речной сети к особенностям блочно-полигонального рельефа. Надо отметить, что раньше [Аубекеров, Челыхьян, 1974] на юго-западе Западно-

Сибирской равнины описывали, в основном, мелкоблочный полигональный рельеф: блоки 8-10 м, реже до 22-40 м. Однако А.П. Горбунов и др. [1998] на Тургайском плато около  $51^{\circ}15'$  с.ш. отмечали полигоны размером до 70 м предположительно позднеплейстоценового возраста. Поэтому полигоны около 80 м и даже больше, которые наблюдались нами на космоснимках в бассейне Тобола и на Ишим-Тобольском междуречьи не кажутся «непозволительно крупными». Плохая обнаженность позволила нам только в одном из заброшенных карьеров ( $55^{\circ}11'12''$  с.ш. и  $64^{\circ}59'58''$  в.д.) вскрыть расчисткой псевдоморфо́зу по ледово-грунтовой (первично-грунтовой ?) жиле, представляющую очевидные следы многолетней мерзлоты на I надпойменной террасе р.Тобол.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 08-11-05-01173а.

### Литература

- Архипов С.А., Волкова В.С. Геологическая история, ландшафты и климаты плейстоцена Западной Сибири. – Новосибирск: ИГиГ СО РАН, 1994. – 106 с.
- Аубекеров Б.Ж. Криогенные структуры и криолитозоны плейстоцена Казахстана // Изв. АН СССР, сер. 4, географ., 1990, с. 102-110
- Аубекеров Б.Ж. Континентальные четвертичные отложения Казахстана // Автореф. докт. диссертации. – Алма-Ата, 1992. – 35 с.
- Аубекеров Б.Ж., Челыхьян Э.В. Кайнозой зоны канала Иртыш-Караганда. – Алма-Ата: Наука, 1974, 107 с.
- Балобаев В.Т. Геотермия мёрзлой зоны литосферы севера Азии. – Новосибирск: Наука, 1991. – 192 с.
- Горбунов А.П., Марченко С.С., Северский Э.В., Титков С.Н. Палеогеокриологические исследования на равнинах и в горах Казахстана // Криосфера Земли, том II, № 2, 1998, с.3-8
- Фотиев С.М. Гидрогеотермические особенности криогенной области СССР. – М.: Наука, 1978. – 236 с.

## О кафедре Криосферы Земли в Российском государственном геологоразведочном университете

С.А.Лаухин,

*Московская государственная академия коммунального хозяйства и строительства (МГАКХиС), Москва, Россия  
Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ–РГГРУ), Москва, Россия  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень, Россия*

Д.С.Дроздов

*Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень, Россия  
Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ–РГГРУ), Москва, Россия*

В.В.Пендин

*Российский государственный геологоразведочный университет (МГРИ–РГГРУ), Москва, Россия*

### Аннотация

Многолетняя мерзлота занимает более 65% территории России – северные и восточные наименее изученные районы России. Это неосвоенные и слабо освоенные территории, где будут разворачиваться поисковые и разведочные работы на многочисленных сырьевых объектах – основе современной экономики России. Уже сейчас активно формируется и развивается производственная, транспортная и социальная инфраструктура, строятся гидротехнические сооружения. Всё это создаёт необходимость подготовки специалистов по ведению исследований и строительству, по поискам и разведке месторождений в сложных, часто экстремально сложных, геологических и горно-геологических условиях криолитозоны. Потребность в кафедре, которая готовила бы таких специалистов, а также давала бы базовое геокриологическое образование геологам и горнякам всех специальностей давно уже назрела. Для решения этой задачи на гидрогеологическом факультете Российского государственного геологоразведочного университета (МГРИ–РГГРУ) создаётся кафедра криосферы Земли.

**Ключевые Слова:** Многолетняя мерзлота, криолитозона, геокриологическое образование, кафедра криосферы Земли МГРИ–РГГРУ

Последние 30-35 лет в экономике России всё больший удельный вес занимает сырьевое направление. При этом последние 20 и более лет добывающая промышленность извлекает запасы полезных ископаемых разведанные преимущественно до 1990 г. Пополнение запасов ведётся незначительно и, главным образом, на флангах месторождений. Многие месторождения близки к истощению. Уже требуется или довольно скоро потребуются быстрое пополнение запасов полезных ископаемых, а значит – расширение поисковых и разведочных работ по всем видам сырья.

Многолетняя мерзлота занимает более 65% территории России – северные и восточные наименее изученные и опосредованные районы России. Поэтому основные поисковые работы развернутся в криолитозоне, т.е. в неосвоенных и слабо освоенных районах. Формируется и развивается производственная, транспортная и социальная инфраструктура.

Всё это создаёт необходимость подготовки специалистов по поискам и разведке в сложных (часто экстремально сложных) горно-геологических условиях многолетней мерзлоты. Потребность в кафедре, которая готовила бы таких специалистов давно уже назрела. Однако, резкое сокращение поисково-разведочных работ, начавшееся ещё в 80-е годы XX века, в XXI веке только усиливалось, что отодвинуло решение этой задачи.

Однако разведанные запасы всё сокращались и необходимость создание такой кафедры в Российском

государственном геологоразведочном университете (МГРИ–РГГРУ) делалась всё очевиднее. В 2011 г. по инициативе директора Института Криосферы Земли СО РАН академика В.П.Мельникова, ректора МГРИ–РГГРУ В.И.Лисова и профессоров Е.А.Козловского, В.В.Пендина, Л.З.Бобровникова и др. было принято решение о создании в МГРИ–РГГРУ кафедры криосферы Земли. Сначала предполагалось создать межфакультетскую исследовательскую кафедру, где планировалось проведение больших НИР с участием студентов, и чтение курсов: основы криогенеза Земли; историческая геокриология; криогенные процессы; физико-химические свойства горных пород и подземных льдов; механика мёрзлых грунтов, подземные воды в криолитозоне; мерзлотная съёмка и прогноз; геокриологический мониторинг; геоэкология криосферы Земли; глобальные изменения климата, реакция криолитозоны и экологические последствия; геофизические методы исследования криолитозоны; ландшафтная криолитозона. Чтение лекций планировалось не только штатными сотрудниками кафедры, но, в основном, ведущими специалистами Института криосферы Земли, Фундаментпроекта, МГУ, других научных, производственных и образовательных учреждений. Понятно, что для восприятия этих курсов студенты должны уже освоить такие дисциплины как тектоника, литология, четвертичная геология и т.д. Т.е. перечисленные курсы кафедры должны преподаваться

студентам 4-5-х курсов. К сожалению, такую кафедру создать не удалось.

Формально кафедра криосферы Земли уже создана, но, увы, в составе факультета с вытекающей отсюда высокой педагогической нагрузкой и без значительных объёмов научно-исследовательских работ и массового участия в них студентов. Более того, для одной из специальностей преподавание началось студентам на 2-м курсе, без необходимой предварительной подготовки. Следовательно, чтение всех курсов кафедры, перечисленных выше, стало невозможно. Один семестр уже было прочитано для 2-го курса «Введение в криосферу Земли», куда вошли не все из 11-и перечисленных направлений. Из того что вошло, многое было существенно урезано. Зато пришлось немало времени, отведенного на криосферу Земли отдать изложению тех вопросов четвертичной геологии, без которых восприятие сведений о криосфере было бы невозможно. Но даже и в этом урезанном виде оказалось необходимо привлечение для чтения лекций специалистов из академических институтов.

Подготовка программ для всех 11-и курсов лекций – дело не быстрое. Возможно, потребуются пилотные варианты и вряд ли создание всех 11-и лекционных курсов может быть завершено за два-три года. Кафедра геокриологии Земли МГРИ–РГГРУ только что начала свою деятельность и есть ещё возможность обсуждать и, может быть, корректировать планы её будущей преподавательской деятельности, которые пока ещё довольно аморфны, и возможна их значительная конкретизация.

На территории развития многолетней мерзлоты в России много десятилетий успешно велись и продолжаются геологоразведочные и горнодобывающие работы. Накоплен огромный опыт, отражённый в нормативных документах и тысячах публикаций. Однако осваивать этот опыт специалистам приходится без достаточной подготовки в ВУЗе. Задача кафедры криосферы Земли – дать базовую подготовку выпускникам МГРИ–РГГРУ для решения проблем, возникающих в условиях многолетней мерзлоты.

Преподавание мерзлотоведения уже давно ведётся в ряде ВУЗов России. Прикладным направлением этих

курсов являются нужды строительства и большое внимание в них уделяется геокриологическому прогнозу на 20-30 (реже – больше) лет, что связано со сроками окупаемости инженерных сооружений. Такой подход важен не только для строительства, но и для горнодобывающей отрасли, хотя и для неё имеется специфика. Для поисков же и геологоразведки важен не столько прогноз, сколько современное состояние мёрзлых пород, геокриологическая обстановка района, а особенно – локальных участков поисковых и разведочных работ в отрезок времени проведения этих работ. Геологоразведка также часто ведётся на флангах обрабатываемых месторождений. В этих случаях важны знания изменений геокриологических условий в результате уже проведенного хозяйственного освоения территории. Особенно ярко видна такая необходимость на примере эксплуатации нефтепроводов. Стоимость поддержания работоспособности трубопроводов и ликвидации деформаций, связанных с мерзлотой, достигает 55 млрд. рублей в год. Ни одно стихийное бедствие не требует на ликвидацию своих последствий таких капиталовложений. И дело тут не в коварстве многолетней мерзлоты, а в недостаточном знании, а чаще – в недостаточном учёте пространственной изменчивости и большой ранимости многолетней мерзлоты как геоэкологической системы. В ходе геологоразведочного бурения важно учитывать силовое воздействие промерзающего грунта на инородные включения и элементы конструкций, в т.ч. на буровые трубы. Внутримерзлотные газоконденсатные скопления могут являться источником повышенной газоотдачи при проходке и эксплуатации скважин. Этим и множеству других особенностей грунтов в многолетнемёрзлом состоянии, важных для поисков и разведки, в курсах упомянутых ВУЗов часто уделяется недостаточное внимание.

### **Благодарности**

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ 08-05-00421а, 08-05-00872а, 11-05-00544а, интеграционных программ Президиума СО РАН, а также Партнёрского интеграционного проекта СО РАН–ДВО РАН № 20.

## Последствия отсутствия достроительного и строительного этапов в системе геотехнического мониторинга на газопромысловых объектах Севера

Н.В. Лашина

*Кафедра геокриологии, геологический факультет, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

В.В. Лашин

*Служба геотехнического мониторинга, Воркутинское линейное производственное управление магистральными газопроводами (ЛПУМГ)*

Газотранспортные сооружения и сопутствующие им объекты инфраструктуры трубопровода «Бованенково – Ухта» строятся в беспрецедентных по сложности геокриологических условиях. Опыт строительства крупных промышленных объектов в столь сложных инженерно-геокриологических условиях в мировой практике отсутствует. В связи с этим особую актуальность приобретает контроль за динамикой геокриологических условий в грунтах оснований и устойчивостью зданий и сооружений на этапе строительства и эксплуатации с целью своевременного выявления процессов дестабилизации, разработка и реализация превентивных мер по их предупреждению, а также наработка опыта в области строительства и эксплуатации оснований и фундаментов в особо сложных геокриологических условиях.

Строительство и последующая эксплуатация газопровода в криолитозоне приведет к новообразованию и активизации геокриологических процессов, развивающихся в грунтах как в зоне непосредственного взаимодействия с трубопроводом, так и на прилегающей к нему территории, нарушенной вследствие строительства газопровода. Эти процессы могут оказать существенное влияние на работоспособность трубопровода и быть причиной его аварий, а также нарушить экологическую устойчивость природной геокриологической среды.

Однако закономерности антропогенной динамики природно-технических систем в разных обстановках до сих пор изучены слабо. Знания их является непременным условием для составления научного обоснования прогноза стабилизации и восстановления инженерно-геокриологической обстановки. Для обеспечения устойчивости и безаварийной эксплуатации газопроводов в таких сложных инженерно-геокриологических условиях необходима организация и постоянно действующая система контроля (инженерно-геокриологического мониторинга). Но существующая практика организации мониторинга обычно сводится к контролю состояния только самой трубы и практически не учитывает природных условий ее проложения и их изменений в ходе строительства и последующей эксплуатации.

Состав, объем, и режим выполнения работ в рамках геотехнического мониторинга должны обеспечивать полноту информации, позволяющую постоянно осуществлять комплексную диагностику ГТС, своевременно выявлять отклонения от проектных решений, строительных норм и правил, которые могут повлечь за собой снижение эксплуатационной надежности

объектов, аварийные ситуации и нанести ущерб окружающей среде.

Инженерно-геокриологический мониторинг является составной частью мониторинга окружающей среды, в задачи которого входит комплексная оценка изменения в атмосфере, гидросфере, биосфере, геологической среде.

При создании и ведении инженерно-геокриологического мониторинга должны учитываться основные технические решения конкретных сооружений, принятые в проекте: принцип использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания; особенности теплового и механического взаимодействия с грунтами оснований; допустимые значения несущей способности основания и деформации сооружений; природоохранные требования и т.д.

Инженерно-геокриологический мониторинг должен начинаться в достроительный период, когда формируется наблюдательная сеть для фоновой оценки геокриологической обстановки. Результаты мониторинга в этот период служат исходными данными для оценки изменений, которые будут происходить при строительстве и эксплуатации геотехнической системы. В строительный период проводится организация наблюдательной сети и выполняются наблюдения на строящихся объектах.

Эксплуатационный период по особенностям освоения территорий и различной степени воздействия во времени техногенной нагрузки может быть подразделен на два этапа: начальный – продолжительностью 3-5 лет и основной – с 3-5 лет до конца эксплуатации сооружения. В начальный период эксплуатации взаимодействие сооружения с окружающей средой происходит наиболее активно и возможны существенные изменения геокриологической обстановки и деформации сооружений. После 3-5 лет эксплуатации сооружений, наступает относительное динамическое равновесие в системе сооружение – природная среда или за это время принимаются соответствующие меры для поддержания стабилизации природной обстановки и устойчивости сооружения [Ершов 2002].

В целом транспортировка газа по подземному газопроводу будет осуществляться при отрицательных температурах. Одной из важных особенностей магистрального газопровода "Бованенково-Ухта", является то, что он будет пересекать акваторию Байдарацкой губы на участке шириной около 70 км. С целью исключения вероятности обледенения труб и их всплытия со дна губы транспортировка газа на этом участке планируется при положительных температурах. Нагревание и охлаждение

газа будет происходить на компрессорных станциях, расположенных на обоих берегах на расстоянии до 3 км от акватории Байдарацкой губы. Побережье Байдарацкой губы отличается сложными геокриологическими условиями.

Экзогенные геологические процессы на территории исследования имеют, как правило, криогенный генезис и развиты довольно широко. При этом в естественных условиях в аспекте планируемого строительства газопроводов степень пораженности территории криогенными процессами и их генетическое разнообразие относительно невелики. Однако, при техногенном преобразовании территории возможна резкая активизация многих экзогенных процессов (рис.1).



Рис.1. Эрозионный размыв супесчаных грунтов СТС при снятии торфяного слоя

Непосредственно на территории распространены процессы морозного пучения грунтов, морозобойного растрескивания пород и развития полигонально-жильных льдов (ПЖЛ), термокарст и дефляция. В отдельных местах отмечаются слабовыраженные формы термоэрозии и солифлюкции. На прилегающей территории морского побережья к перечисленным процессам добавляются процессы волноприбойной термоабразии, активное формирование развитых форм овражной термоэрозии.

Несмотря на всю свою уникальность, проект газопровода Бованенково-Ухта не включает организацию мониторинга в достроительный и строительный период, что в дальнейшем очень осложнит его эксплуатацию. На период эксплуатации система мониторинга газопровода Бованенково-Ухта разработана, но, несмотря на столь широкое развитие неблагоприятных факторов, абсолютно не обоснована: сеть термометрических скважин расставлена не по определенным условиям, а чисто механически по сетке, снегомерная съемка совсем не предусмотрена, еще в комплект входит такое же «сеточное» нивелирование газопровода. Наблюдения за экзогенными геологическими процессами и явлениями (ЭГПЯ) не предусматриваются.

По данным службы геотехнического мониторинга Воркутинского ЛПУ МГ, на данный момент, еще до начала эксплуатации, вдоль полосы строительства наблюдается активное развитие ЭГПЯ. Что в дальнейшем приведет к возникновению опасных или аварийных ситуаций, подобных тем, которые происходят на газопроводах в Западной Сибири.

### Литература

Ершов Э.Д.. Общая геокриология. Изд.: Московского Университета. Москва. 2002г. С. 325-343.

## Предпостроечное оттаивание мерзлых грунтов низковольтными омическими электронагревателями на объектах обустройства Юрубчено-Тохомского месторождения

Д.В. Липихин, П.К. Ким  
ОАО «ТомскНИПИнефть», Россия

При разработке рабочей документации «Комплексного обустройства первоочередного участка Юрубчено-Тохомского месторождения с внешним транспортом нефти» по шифру 1982/5, возникла необходимость в предусмотрении мероприятий по предпостроечному оттаиванию многолетнемерзлых грунтов оснований зданий и сооружений.

Целью предпостроечного оттаивания мерзлых грунтов является ускорение процесса их перехода в талое состояние и уплотнение для максимальной стабилизации деформаций и снижения осадок грунтов, возникающих в процессе деградации, а также техногенных отепляющих воздействий, и последующее использование данных грунтов в качестве оснований зданий и сооружений.

Район проектируемого строительства расположен в Красноярском крае на территории Эвенкийского муниципального района в пределах Юрубчено-Тохомского месторождения. Климатические условия приравнены к условиям районов Крайнего Севера. Мерзлые породы занимают более 50 % площади и имеют прерывистое распространение с островами талых пород.

Хозяйственное освоение территории и строительство объектов промысла сопровождается нарушением естественных покровов, что ведет к изменению теплового режима верхних слоев грунтов и увеличению глубины сезонного оттаивания.

Известно, что при возведении зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах, в нормативной документации предусматривается 2 принципа использования грунтов в качестве оснований:

I принцип – в мерзлом состоянии в течение всего срока эксплуатации здания (сооружения);

II принцип – в оттаявшем (т.е. после предпостроечного оттаивания), либо в оттаивающем состоянии (т.е. с допущением оттаивания в процессе эксплуатации здания (сооружения)).

При прерывистом распространении мерзлых грунтов Юрубчено-Тохомского месторождения и их нестабильном термодинамическом состоянии, грунты в качестве оснований следует использовать по II принципу – в оттаявшем состоянии, но, при этом необходимо учитывать деформации мерзлых грунтов, которые будут возникать в процессе их перехода в талое состояние. Согласно инженерно-геологических изысканий: мерзлые грунты на данной территории после оттаивания, в основном, становятся сильносжимаемыми, что свидетельствует о значительных осадках.

Предпостроечное оттаивание грунтов производится для зданий и сооружений, которые оказывают тепловое воздействие на грунт, тем самым поддерживая его положительную температуру после оттаивания, т.е.

запроектированных по II принципу. Это здания с полами по грунту, вертикальные резервуары, либо здания, имеющие теплое техническое подполье.

При выборе способа прогрева было проанализировано множество вариантов, например, таких как: гидроигловое и пароотаивание, прогрев током высокого напряжения, электродный прогрев переменным током, прогрев электронагревателями (ТЭНовыми, электролитическими и омическими).

Наиболее целесообразным, для разработки и осуществления мероприятий по предпостроечному оттаиванию многолетнемерзлых грунтов Юрубчено-Тохомского месторождения, принимая во внимание инженерно-геологические условия площадок строительства, оказался способ прогрева с применением низковольтных омических электронагревателей. Суть метода очень проста – повышение температуры мерзлых грунтов за счет тепла, выделяемого нагревателем, при преобразовании электрической энергии - в тепловую.

Данный способ, в сравнении с остальными, является наиболее простым и наименее трудоемким, так как сами нагреватели можно изготавливать непосредственно на площадке строительства, кроме того, применяется наиболее распространенный вид энергии – электрическая. Однако данный метод обладает и рядом недостатков, основной из которых – повышенная опасность работ. Также метод характеризуется значительной энергоемкостью и сравнительно небольшой средней скоростью оттаивания, то есть на начальной стадии процесса скорость в несколько раз выше, чем на конечной, это объясняется ростом со временем термического сопротивления спекающегося грунта вокруг нагревателя, как показано на схеме.

Наиболее важными для разработки рациональных проектных решений по предпостроечному оттаиванию грунтов, являются две величины: расчетная глубина и оптимальный радиус оттаивания.

Для исключения неравномерности деформаций и дополнительных осадок, вследствие оттаивания «лишнего» объема мерзлого грунта, расчетную глубину предварительного оттаивания следует определять из условия предельно допустимой осадки здания: как сумму глубины заложения фундамента и положения нижней границы сжимаемой толщи, либо по глубине естественного оттаивания грунта от теплоты, выделяемой зданием, за весь период эксплуатации.

Определение радиуса оттаивания сводится к решению задачи поиска оптимума между затратами на электроэнергию для питания нагревателей за период оттаивания, и затратами на бурение скважин для их установки, при заданном времени прогрева.

Расчет самого нагревателя заключается в определении диаметра греющей ветви, по требуемой погонной мощности, но с таким условием, чтобы в процессе эксплуатации нагреватель не вышел из строя. Требуемая погонная мощность нагревателя определяется по конкретным физико-механическим характеристикам грунта на площадке строительства.

Омический нагреватель (рис.1) изготавливается из двух арматурных стержней диаметром 10...36 мм, выполняющих функцию греющих элементов (1), соединенных между собой, в нижней части, металлической соединительной вставкой (6). Верхняя часть нагревателя является проводником и снабжается дополнительными стержнями (2). Изоляторы (3), по длине нагревателя, располагаются с шагом 1,0...1,5 м, и могут быть выполнены из асбоцемента или фарфора. Контакты омического нагревателя (4) выполняются в виде металлических пластин с отверстиями для крепления тоководов. При необходимости нагреватель оборудуется элементами строповки (5). Установка нагревателей производится в предварительно пробуренные скважины, которые, впоследствии, засыпаются песком (7), для улучшения теплопередачи. Во избежание мероприятий по обсадке скважин, работы по их устройству предпочтительнее производить в конце зимы – начале весны, когда слой сезонного промерзания-оттаивания еще находится в мерзлом состоянии. Питание омических нагревателей производится переменным или постоянным током напряжением 10...40 В.

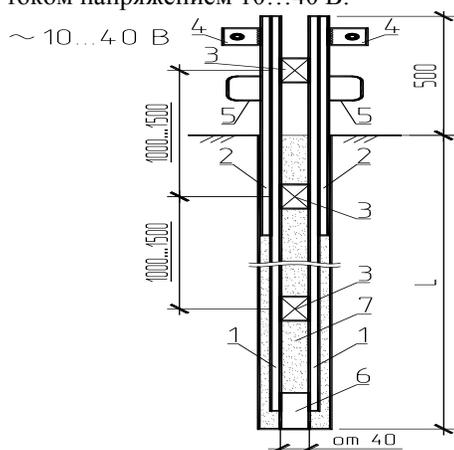


Рис.1. Конструкция омического нагревателя

На строительной площадке нагреватели располагаются в шахматном порядке (рис.2), обеспечивающем равномерность прогрева грунтов при их минимальном количестве. Глубина погружения нагревателя (L) назначается на 1,0 м меньше расчетной глубины оттаивания.

Контроль за процессом оттаивания грунтов осуществляется путем периодических замеров электрических параметров нагревателей и температуры грунтов в термометрических скважинах, глубина которых назначается на 1,0 м больше расчетной глубины оттаивания. Термометрические скважины следует располагать на участках с наиболее неблагоприятными инженерно-геологическими условиями - в центре равностороннего треугольника, образованного нагревателями.

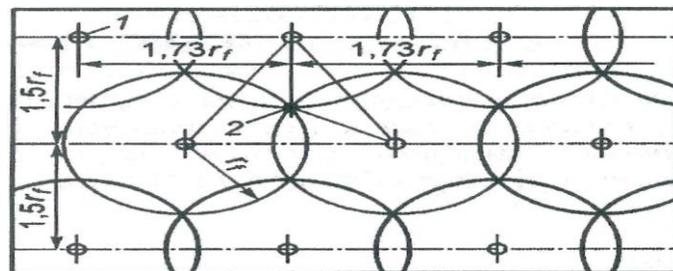


Рис.2. Схема расположения электронагревателей:  
1 - нагреватель, 2 - термометрическая скважина

Опыт работ по предпостроечному оттаиванию в Республике Коми показывает, что в процессе прогрева будет происходить осадка грунта, которая обуславливается выдавливанием образующейся воды и уплотнением частиц грунта под собственным весом массива, а сама вода распределится по водовмещающим слоям за счет их естественного уклона, практически не выходя на поверхность. В период оттаивания ожидается около 60...70 % осадок, остальная часть – в течение 2...3 лет.

Подача электроэнергии прекращается при достижении температуры грунта + 2°С. С целью подтверждения факта оттаивания и определения физико-механических характеристик оттаянных грунтов, производится контрольное бурение с отбором образцов для лабораторных исследований. Контрольные скважины устраиваются в местах с максимальной первоначальной льдистостью, в местах, где нагреватели работали с отклонением от расчетного режима и т.д.

## Заключение

Таким образом, прогрев многолетнемерзлых грунтов оснований зданий и сооружений объектов обустройства Юрубчено-Тохомского месторождения при помощи омических электронагревателей, является наиболее подходящим методом предпостроечной подготовки оснований, сложенных мерзлыми суглинками и щебенистыми грунтами с суглинистым заполнителем.

## Литература

- Вели Ю.Я., Докучаева В.И., Федорова Н.Ф. 1977. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах. Л., Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 552 с.
- Максименко Е.С. 1982. Рекомендации по использованию электронагревателей для оттаивания вечномерзлых грунтов. ВНИИИС Госстроя. – М., 25 с.
- СНиП 2.02.04-88. 1990. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Официальное издание. Госстрой СССР – М.: АПП ЦИТП, 59 с.
- Хрусталева Л.Н. 2005. Основы геотехники в криолитозоне: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 544 с.
- Цитович Н.А. 2010. Механика мерзлых грунтов: Общая и прикладная: Учебное пособие. Изд. 2-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 448 с.

## Геокриологические условия пород «ледового комплекса» и их воздействие на ж/д АЯМ «Беркамит-Томмот-Якутск»

А.В. Литовко

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Россия

### Введение

В докладе дана характеристика геокриологических условий «ледового комплекса», наиболее сложного участка (688 км – 734 км) строительства железной дороги АЯМ. Приведена методика исследований температур пород в годовом цикле их изменений до глубины 10 м. Показаны изменения геокриологических условий на территории ледового комплекса в ходе естественного изменения климата и под воздействием различного типа технической нагрузки. Дана характеристика используемых конструкций земляного полотна для строительства железной дороги по Принципу – I (сохранение многолетнемерзлых пород основания линейного сооружения при строительстве и на период его эксплуатации). Предложена система мероприятий по контролю качества выбранных конструкций для обеспечения эффективной эксплуатации железной дороги на участке ледового комплекса.

Под ледовым комплексом обычно понимают плащеобразно залегающий горизонт сильно льдистых отложений различного генезиса, состава, строения и свойств.

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, в последние десятилетия выполняет комплексные фундаментальные и прикладные исследования геокриологических условий территории строительства железнодорожной магистрали АЯМ. В них принимали участие Н.П. Босиков, И.С. Васильев, С.П. Варламов, М.Н. Железняк, И.П. Константинов, П.Н. Скрябин, А.Н. Федоров, Н.И. Шендер и мн. др. В результате получены дополнительные сведения о закономерностях формирования геокриологических условий «ледового комплекса». Обращено внимание на особенности их изменений от технической нагрузки на ландшафты. Показано, что естественное изменение климата, не окажет на «ледовый комплекс» большого влияния.

### Методика исследований

Исследования геокриологических условий ледового комплекса в мониторинговом режиме выполняются с 1987 г, в связи с трансформацией криогенной среды при воздействии техногенного прессинга [Шестернев, 2011].

Выполненное на начальном этапе ландшафтное районирование территории исследований позволило обосновать границы стационаров и выполнить их оборудование (рис.1).

Первая стационарная площадка расположена между населенными пунктами Качикатцы и ст. Нижний Бестях, вторая - в районе ст. Олень. Обе площадки оборудованы

полигонами и стационарными пунктами исследований температур пород до глубины 10 м.

Изменение основных климатических характеристик отслеживается по данным метеостанции г. Якутска. Для установления закономерностей формирования параметров снежного покрова, ежегодно, в конце зимы, производится снегомерная съемка.

На территории площадок проводится зондировочное бурение, для изучения состава, строения и свойств грунтов в изменяющихся природных условиях трассы АЯМ.



Рис.1 Схема района исследований:

1 – стационары, 2 – полигоны, 3 – площади ландшафтного картографирования.

В 2009-2010 года выполнено дооборудование ключевых участков мониторинговой геодезической и геотермической сети, с учетом используемых строителями конструкций земляного полотна. В состав комплекса инженерно-геокриологических исследований входили следующие виды работ:

- проходка горных выработок на участках распространения высокотемпературных

многолетнемерзлых пород (ММП), на марях, водонасыщенных, мерзлых и льдистых грунтах;

- оборудования геотермических скважин и реперов, глубиной не менее 10 м, установке геодезических марок.

Объектами исследований «ледового комплекса» являлись: криогенная среда - слой сезонного оттаивания и промерзания пород, ММП до глубины годовых колебаний температур;

- снежный покров, как самый мощный теплоизолирующий фактор, оказывающий влияние на формирование верхних граничных условий существования криогенной среды;
- температурное поле грунтов оснований и земляного полотна на участках строительства магистрали по Принципу-I, предусматривающего, сохранение ММП при строительстве и на период ее эксплуатации.

Перечисленные виды исследований были выполнены в соответствии с требованиями нормативных документами (ГОСТ, СНИП, ведомственными нормативами).

### Результаты исследований

В Центральной Якутии в последние 30 лет наблюдается один из наиболее высоких в России трендов повышения среднегодовой температуры воздуха (до  $0,08^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ). Если в 60-70 годы прошлого века потепление климата еще не было таким заметным, то в 80-е годы оно проявилось уже достаточно отчетливо. Последние два десятилетия XX века и первое десятилетие XXI века, были самыми теплыми за всю историю метеорологических наблюдений в Центральной Якутии [Позин и др. 2007] В этот период среднегодовая температура воздуха лишь дважды оказывалось ниже нормы, равной  $-10^{\circ}\text{C}$ . Из работ Ю.Б. Скачкова следует, что повышение среднегодовой температуры воздуха в Якутии связано, в первую очередь, с увеличением числа аномально теплых зим, формирующихся в результате трансформации циркуляции воздуха в атмосфере.

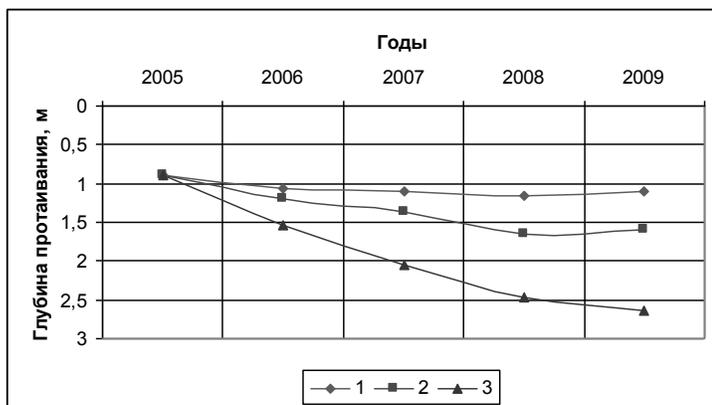


Рис.2 Изменение глубины сезонного протаивания грунтов «ледового комплекса»

1 - поверхность с естественной растительностью; 2 – поверхность с удалением лесорастительного покрова (вырубка); 3 – поверхность с удаленным напочвенным (мощность 10-20 см) и лесорастительным покровами.

Аналогичные исследования, выполненные в пределах «ледового комплекса» на трассе железной дороги АЯМ показали, что изменения температур, увеличения глубин слоя сезонного оттаивания и деформаций оттаивающих грунтов существенно зависят от типов нарушения почвенно-растительных покровов (рис.2).

В комплекс мероприятий, определяющих возможность использования Принципа I входят: 1) вертикальные парожидкостные СОУ в сочетании с теплоизолятором – пенополистиролом на 39 участках (км 693 – км 710, км 730), общей протяженностью 4,9 км (грунты IV категории просадочности); 2) тепловая изоляция из экструдированного пенополистирола толщиной 5 см на откосах и бермах (на км 709 протяженностью 129 м); 3) устройство консольных солнцезащитных навесов на откосах (на км 709 протяженностью 100 м); 4) устройством СОУ (на км 709 протяженностью 100 м). Мероприятия 2, 3 и 4 были использованы на опытном участке, в пределах которого геокриологические условия примерно одинаковы.

### Литература

- Варламов С.П. Инженерно-геокриологические условия территории распространения пород ледового комплекса на строящейся железнодорожной магистрали Томмот-Якутск. – Пробл. инж. мерзлотоведения. Мат-лы VII Межд. Симп.-ма 21-23.11.2007. – Чита, с.77-81
- Васильев И.С., Варламов С.П., Федоров А.Н., Железняк М.Н. Мерзлотно-ландшафтное районирование трассы строящейся железной дороги Томмот-Кердем // Криосфера Земли, 2007, т. XI, № 3, с. 29-34.
- Гаврильев П.П., Угаров И.С. Реакция пород ледового комплекса Центральной Якутии на потепление климата // Криосфера Земли, 2009, т. XIII, № 1.-с. 24-30
- Позин В.А., Лукин И.П., Дедова Н.П. 2007. Проект решения по земляному полотну на участках «ледового комплекса»/Обеспечение надежности строящихся сооружений железнодорожной линии Томмот – Кердем на участке «ледового комплекса». Мат-лы Семинара-совещания 11-12 сентября 2007 г. – Якутск: ООО «Центр Трансстройиздат», 2007. - с. 39-60.

# Экологический Менеджмент Процессов Термоэрозии и Оврагообразования в Криолитозоне

С.А.Лобастова, И.Л.Хабибуллин  
*Башкирский государственный университет, Уфа, Россия*

## Реферат

Рассматривается структура и содержание системы экологического менеджмента процессов термоэрозии и оврагообразования в условиях криолитозоны.

**Ключевые Слова:** база данных; геотехническая система; оврагообразование; термоэрозия; технические управляющие решения; экоменеджмент.

## Введение

Согласно ISO-14001, система корпоративного экологического менеджмента охватывает широкий спектр деятельности: планирование, мониторинг, практическую работу по разработке и реализации экологической политики. В практике хозяйственной деятельности в криолитозоне важнейшей составляющей экоменеджмента является мониторинг и управление экзогенными геокриологическими процессами.

В геотехнических системах (ГТС) месторождений Крайнего Севера ведущими процессами деструктивного техногенеза являются процессы термоэрозии и оврагообразования. Развитие этих процессов снижает устойчивость ГТС и угрожает безопасности функционирования технологических объектов.

В настоящее время такая ситуация сложилась в районе УКПГ-1В Ямбургского НГКМ. Наблюдаются также интенсивное развитие овражных систем и термоэрозионные размывы коллекторов в районе ГП-2В, ГП-5, ГП-8, ГП-9 и ГП-10. В рамках проекта "Реконструкция и техническое перевооружение объектов ЯНГКМ. 2-й этап реконструкции" предусматривается ликвидация 6 овражных систем. По проектным документам затраты на ликвидацию среднего оврага (объем около 6700 м<sup>3</sup>, длина - 200 м), с учетом стоимостей инженерно-геологических изысканий, разработки проектных решений и работ по ликвидации, составляют около 17 млн. руб.

На основе исследований проведенных БашГУ установлено, что объем овражных систем в условиях Ямбургского НГКМ со временем увеличивается по нелинейному закону логистического уравнения. Согласно разработанной экспресс - методике количественного локального прогноза овражной термоэрозии, зависимость коэффициента годового прироста объемных нарушений оврагов от возраста, с точностью 10-15%, описывается по закону логарифмического нормального распределения. Объем нарушений в начальной стадии (1-2 годы развития овражных систем) в среднем составляет менее 1/5 части объема нарушений в развитой стадии оврага (10-15 лет), когда обычно наступает реальная угроза для функционирования технологических систем и начинается реализация мероприятий по ликвидации оврагообразования.

Таким образом, затраты на борьбу с оврагообразованием за счет превентивных технических управляющих решений могут быть снижены в 5-6 раз.

## Структура Системы Экологического Менеджмента

Реализация оптимальных по срокам и содержанию превентивных мероприятий по устранению опасности процессов термоэрозии и оврагообразования предполагает организацию системы экологического менеджмента. При этом необходимо обоснование правовых нормативов системы экоменеджмента на основе стандартов ИСО 14000, как вектора экологической политики.

Основу разрабатываемой системы экологического менеджмента составят методики проведения геотехнического мониторинга склоновых процессов, в том числе термоэрозии и оврагообразования, и система информационно-аналитического обеспечения: базы данных; программы ЭВМ для прогноза теплофизического и гидрологического режимов, устойчивости склонов.

Структурно система экологического менеджмента включает два блока:

- Информационно-аналитический блок.
- Блок управления.

## Информационно-аналитический Блок

Информационно-аналитический блок, по сути, является блоком геотехнического мониторинга и представляет собой систему комплексного контроля и прогнозирования состояния ГТС и включает:

- База данных и программа для ЭВМ по прогнозу температурных полей в деятельном слое криолитозоны.
- База данных и программа для ЭВМ по определению коэффициента устойчивости склонов, сложенных многолетнемерзлыми грунтами при сезонном оттаивании.
- База данных и программа для ЭВМ по прогнозу поверхностного стока на водосборах овражных систем..
- База данных и программа для ЭВМ по прогнозу динамики развития овражных систем и оценки термоэрозионной опасности.

Программы для ЭВМ составлены для реализации физико-математических моделей, описывающих теплофизические, гидродинамические и механические процессы, исследования процессов термоэрозии и

оврагообразования. Эти модели учитывают множество факторов, работа с которыми требует упорядоченного хранения данных, а также представления их в виде, доступном для обработки. Необходимо создание специальной базы данных (БД) для информационной поддержки программного обеспечения.

Информация при исследованиях термоэрозийных процессов проходит три стадии: определение данных путем полевых изысканий; лабораторные исследования; далее структуризация и систематизация данных, что осуществляется при использовании БД. Информация, хранимая в БД, сгруппирована в «метеорологический», «геофизический» и «теплофизический» разделы. В первом — описаны гидрометеорологические и актинометрические данные региона. Во втором — морфометрические параметры, топография и гидрологические данные, а также литография слагающих пород. Геокриологические характеристики содержатся в третьем разделе (теплофизические и механические свойства грунтов).

БД обеспечивает хранение и доступ к результатам исследований. Доступ к данным реализуется через пользовательский интерфейс, позволяющий проводить операции чтения/записи данных и анализ информации, полученной при исследованиях, по результатам соответствующих запросов к системе управления БД.

Источниками информации хранимой в базах данных являются результаты полевых исследований, инженерно-геологических изысканий, научных публикаций, справочно-нормативной литературы.

### Блок управления

Блок управления включает порядок определения содержания и времени реализации технических управляющих решений (ТУР), направленных на стабилизацию термоэрозии и предупреждение оврагообразования. Согласно СТО Газпром 2-3.1-072-2006, ТУР это – метод, способ, технология, не предусмотренные первоначальным проектом на обустройство месторождения или строительство инженерного объекта, разрабатываемое и внедряемое в производственный процесс с целью обеспечения эксплуатационной надежности сооружений.

Учитывается опыт борьбы с оврагообразованием в условиях криолитозоны. По данным БашГУ, с начала освоения Ямбургского НГКМ (1986г.) проведены работы разного уровня и успешности по ликвидации 25 овражных систем, на основе проектов и методических рекомендаций выполненных ОАО ЮжНИИГипрогаз, ПНИИИС, НИИОСП, БашГУ и ООО «Газпромдобыча Ямбург».

Ввиду специфических природных условий криолитозоны ликвидация оврагообразования и предупреждение процессов термоэрозии представляет собой достаточно серьезную инженерно-техническую задачу. Реализуемые ТУР должны быть комплексными и включать

группы методов [Ананенков А.Г., Ставкин Г.П., Лобастова С.А., Хабибуллин И.Л., 2000]:

— регулирование механического и теплового воздействий водного потока на многолетнемерзлые грунты;

— регулирование геокриологической среды развития термоэрозии, состава и свойств грунтов;

— регулирование техногенного воздействия на поверхностный слой криолитозоны.

Принятию ТУР по предупреждению развития термоэрозии предшествует оценка термоэрозийной опасности и экологического (технологического) риска. При составлении методики этой оценки учитываются целый ряд факторов, характеризующих состояние ГТС:

— скорость изменения (в годовых циклах) и абсолютные значения основных характеристик овражных систем (площадь, длина, глубина и объем) на текущий момент времени;

— потенциально возможные значения этих величин;

— технологическая значимость и балансовая стоимость инженерно-технических сооружений, расположенных в зоне развития оврага и др.

Оценка этих факторов производится на основе данных информационно-аналитического блока.

### Заключение

Реализация рассматриваемой системы экологического менеджмента приведет к получению управленческого эффекта за счет снижения издержек в мероприятиях ликвидации техногенного оврагообразования и экологического эффекта за счет уменьшения рисков в сфере промышленной безопасности.

Управленческий эффект проявляется при реализации превентивных мероприятий по предупреждению и ликвидации оврагообразования за счет принятия оптимальных ТУР. Кроме этого, выполнение работ по планированию и внедрению природоохранных мероприятий позволит унифицировать документооборот в части организации изыскательских работ, работ по геотехническому мониторингу, а также сократить затраты времени и труда по разработке, согласованию и утверждению проектной, рабочей и сметной документации, схем и планов мероприятий по предупреждению и ликвидации оврагообразования.

### Литература

Ананенков А.Г., Ставкин Г.П., Лобастова С.А., Хабибуллин И.Л., 2000. Экологические основы землепользования при освоении и разработке газовых и газоконденсатных месторождений Крайнего Севера: Научное издание. – М.: Изд-во ООО «Недра-Бизнесцентр», 316 с. (на русском языке)

## Геокриологические процессы и явления на инженерных объектах Заполярного НГКМ

Д.В. Лукин, О.Г. Кистанов

ООО «Газпром добыча Ямбург», Новый Уренгой, Россия

При проведении геотехнического мониторинга на объектах Заполярного месторождения наблюдаются различные геокриологические процессы и явления. На основании мониторинга были выделены следующие виды проявлений и процессов:

### 1. Деградация мерзлоты в основании сооружений из-за изменения условий снегонакопления.

Как правило, при разработке генплана расположения инженерных сооружений на производственной площадке не учитываются благоприятные условия для снегонакопления. Много низких эстакад внутриплощадочных сетей (высотой до 3 м) проходят вблизи от ограждений. Подобное взаиморасположение влечет за собой обильное снегонакопление в основании эстакад. Мощность снежного покрова здесь может достигать 1,0 – 1,5 м. Повышенное снегонакопление препятствует сезонному охлаждению грунтов и является катализатором процесса деградации мерзлоты с возможной потерей устойчивости фундамента (рис.1).

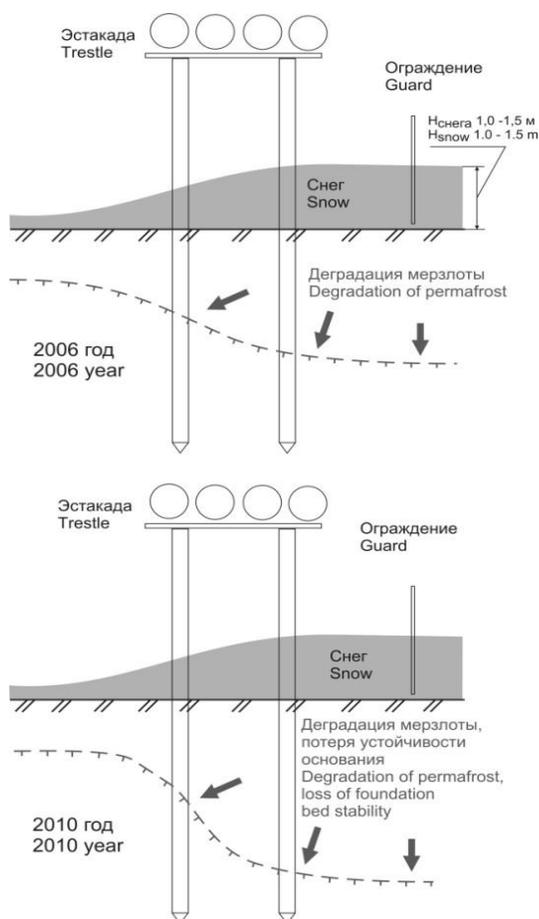


Рис.1. Изменение положения кровли ММП

Исходя из геотемпературных наблюдений, на Заполярном месторождении процесс деградации мерзлоты активизируется при высоте снежного покрова от 0,6 – 0,7 м и выше. Предлагается в дальнейшем при проектировании предусматривать расстояние между ограждением и сооружениями не менее 5,0 м. Это позволит, во-первых, понизить снегозаносимость, во-вторых, выполнять механическим способом снегоуборочные работы на прилегающей к сооружению территории.

### 2. Развитие негативных геокриологических процессов в теле насыпи площадки (формирование сезонных бугров пучения).

Состав мелких песков, обогащенных пылевой фракцией, неровности водоупорного рельефа и разная скорость промерзания отсыпки стали главными факторами формирования локального или площадного зацемячивания грунтовой воды в насыпи площадок инженерных комплексов. В результате сезонного промерзания таких участков нередко фиксируются пучинные формы рельефа в виде бугров и площадей пучения грунтов, сформированных по инъекционному типу. Высота бугра пучения может достигать 0,4-0,5 м, а диаметр до 6 м. Таким образом, пучинообразование может привести к разрушению сооружений с близко расположенными элементами конструкций к грунту. Принятый нормативный зазор между дневной поверхностью насыпи и ближайшим конструктивным элементом в 0,15 м, не гарантирует эксплуатационную надежность сооружения.

По опыту эксплуатации Заполярного месторождения, расстояние между горизонтальным элементом конструкции фундамента и поверхностью грунтового основания должна составлять не менее 0,5 метра.

### 3. Развитие техногенного термокарста

До сих пор существует эксплуатация инженерных сооружений с тепловыделяющими элементами, заглубленными в грунт (насосные, дренажные емкости) при I принципе использования многолетнемерзлых пород (ММП) в строительстве. Как показывает практика, эксплуатация таких сооружений всегда связана с рисками развития деградации мерзлых грунтов на окружающей территории.

При проектировании подобные сооружения должны располагаться в надземном положении. Если реализация такого решения невозможна, то на основе результатов теплотехнических расчетов с обязательным учетом имеющегося опыта эксплуатации, необходимо предусматривать дополнительные меры по обеспечению проектного температурного режима грунтов.

### 4. Развитие негативных процессов внутри сваи

При производстве свайных работ, как правило, предусматривается заполнение внутренней полости сваи и лидерной скважины песчано-цементным раствором. Отдельными авторами упоминается, что при низких зимних температурах воздуха, в верхней части сваи и

лидерной скважины промерзание песчано-цементного раствора опережает его схватывание, а это значит, что раствор становится пучинистым грунтом. Ни в одном проекте свайных работ не прописывается регламент заполнения раствором внутренней полости свай в зависимости от времени года производства работ. На рисунке 2 отображено разрушение и деформации элементов фундаментов, вызванные силами пучения при промерзании песчано-цементного раствора внутри свай в ограниченном объеме. В ситуациях, показанных на фото, сила пучения превысила прочность конструкций надземной части свайных опор.



Рис 2. Отрыв оголовка сваи за счет пучения песчано-цементного раствора внутри сваи диаметром 159 мм.

### 5. Растрескивание в основании сооружений

Под сооружением, возведенном в 2007/08 гг. по I типу строительства, в зимний период 2008/09 гг. произошло растрескивание в плиточном покрытии подполья с раскрытием трещин до 10 см и глубиной до 1 м и отклонением от вертикального положения ряда свай (рис.3).

В естественных условиях грунтовые основания сооружения были сложены тальми, преимущественно суглинистыми грунтами. Мощность отсыпки из мелкого песка 1,7 – 2,0 м. По данным изысканий кровля мерзлоты находилась на глубине от 4,0 до 8,0 м. Исходя из того, что необходимо было проморозить большой объем талых грунтов, проектом была предусмотрена установка около 400 сезонных охлаждающих устройств (СОУ) с шагом 2×2 м и менее, как по осям свайного поля, так и между ними.

Значительное охлаждение грунтов зимой 2008/09 гг., привело к возникновению в грунте напряжений при промерзании талых массивов. В результате возникло растрескивание грунта по центру сооружения по продольной оси.

Теплотехнический расчет при использовании СОУ должен быть основан на определении их достаточного количества, с учетом условий теплообмена на поверхности основания, влагопереноса во время промерзания и состояния грунтовых условий, особенно при высокой влажности талых грунтов.

### 6. Содержание зарезервированных под строительство территорий

На стадии обустройства месторождения после отсыпки площадок под строительство часто в силу различных факторов данные территории консервируются на несколько лет. На Заполярном месторождении данные территории приурочены к установкам дожимных компрессорных станций (ДКС).



Рис 3. Растрескивание грунта вдоль продольной оси в проветриваемом подполье.

Для извлечения максимальной пользы от периода консервации отведенных площадей, целесообразно в проекте предусматривать регламент по содержанию подобных территорий на период их простоя. Где должна быть отражена уборка снежного покрова в зимний период. Это позволит естественным путем, с меньшими затратами средств, повысить несущую способность мерзлых грунтов к началу строительства.

В целом описанные геокриологические процессы и явления приводят к снижению надежности сооружений или к аварийному состоянию во время эксплуатации. Разработка и применение технических решений направленных на предотвращение представленных проблем на стадии проекта является целесообразным и экономически выгодным.

## Почвы Антарктиды в районах расположения российских научных станций: эффекты антропогенного воздействия и возможности ремедиации

А.В. Лупачев, П.И. Калинин

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пуцзино, Россия*

А.А. Ветрова, А.А. Овчинникова

*Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина, РАН, Пуцзино, Россия*

### Введение

Крайне малая площадь распространения антарктических почв, их неоценимая значимость в обеспечении функционирования экосистем и при этом крайняя их уязвимость к антропогенному воздействию определяют главную цель исследований - недопущение сведения почв Антарктиды и исчезновения целой экологической ниши в и без того экстремальных условиях шестого континента.

### Объекты исследования

Почвы антарктических оазисов изучались на восьми ключевых участках в ходе 55-57 Российской Антарктической Экспедиции (2009-2012 гг.) – станции Новолазаревская, Молодежная, Союз, Дружная-4, Прогресс, Мирный, Оазис (Бангера), Ленинградская, Русская и Беллинсгаузен (рис.1).

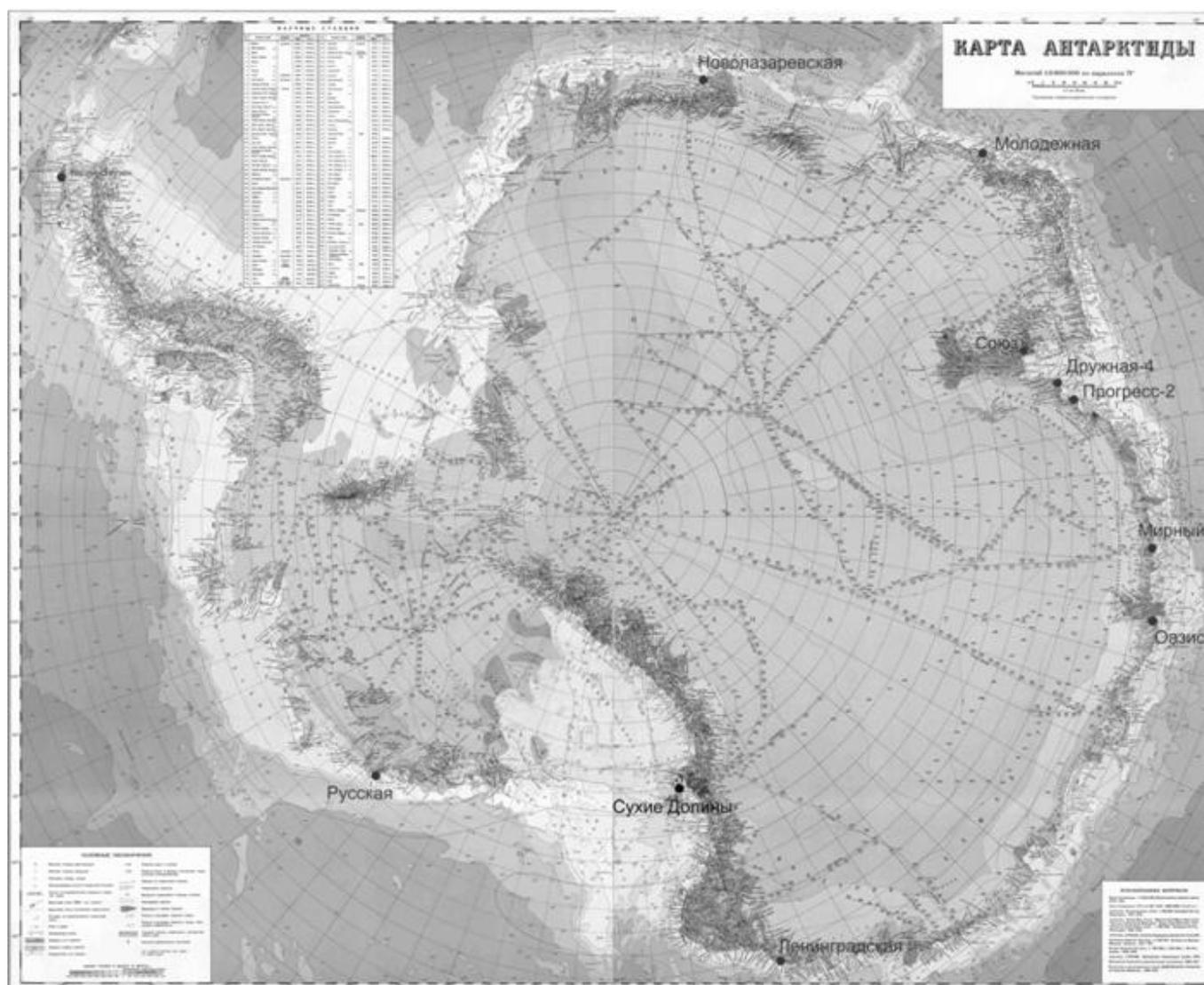


Рис.1. Схема расположения объектов изучения в Антарктиде: российских научных станций и предполагаемого объекта изучения в рамках российско-новозеландского межправительственного соглашения (Сухие Долины).

## Результаты и обсуждение

Антропогенные объекты и сооружения занимают от 10-15% (ст. Прогресс, Новолазаревская) до 80% (обс. Мирный) свободной ото льда территории, а зона активного влияния человека часто перекрывает всю их площадь. Интенсивность антропогенного воздействия хорошо иллюстрирует общепринятый показатель "плотности населения": в пересчете на площадь оазисов и нунатаков в отдельные летние сезоны он может составлять от 24 чел./кв.км (ст. Прогресс-2) до 300 чел./кв.км (обс. Мирный), что сравнимо с плотностью населения США, Китая или стран Западной Европы - и это только учет численности состава российских станций (на территории одного оазиса могут одновременно базироваться от 2-4 (оаз. Холмы Ларсеманна, оаз. Ширмахера) до 7 (о-в Кинг-Джордж) научных станций различных государств).

Вскрыты глубокие и значительные различия между естественными и антропогенно-преобразованными почвами. В ненарушенных почвах содержание мелкозема (<1 mm) от 5-10 до 30%. Вещества-загрязнители в этом случае интенсивно мигрируют вертикально, с дневной поверхности в глубокие слои почв и отложений, а затем и латерально – по поверхности монолитных скальных пород или по верхней границе многолетнемерзлых пород. Почвы, подверженные антропогенному воздействию содержат 40-50, а порой и до 70% мелкозема. Несмотря на слабое оструктурирование и агрегирование материала, загрязняющие вещества способны аккумулироваться на поверхностях отдельных частиц и зерен, где широко распространены пленки вторичных минералов (показатель гигроскопической влажности достигает 3-7%, в отличие от 0,5-1% в ненарушенных почвах). Почвы, подвергшиеся антропогенному влиянию, содержат в 3-10 раз больше As,

Pb, Cd и Cs, чем их фоновые аналоги. Почвы и грунты под линейными объектами и вблизи нефтебаз накапливают также нефтепродукты – от 150 до 600, а в локальных случаях 2200 мг/кг и более, что соответствует среднему и высокому уровням загрязнения (фоновая концентрация – 40-60 мг/кг).

Почвы Антарктиды, как единственная доступная среда обитания для значительной доли живых организмов, регулятор биогеохимических циклов элементов-биогенов и веществ-загрязнителей, источник эмиссии и резервуар стока газов, сфера накопления и превращения органического вещества, требуют детального изучения, восстановления и охраны. Проведенные авторами исследования и результаты работ международных природоохранных комиссий показывают, что современное экологическое состояние российских антарктических станций можно оценить как критическое, а отдельные случаи загрязнения (прежде всего нефтепродуктами и твердыми отходами) указывают на необходимость комплексной оценки экологического ущерба и скорейшего начала мероприятий по экологической ремедиации почв и грунтов оазисов Антарктиды. В настоящее время коллективом авторов ведется работа по выделению аборигенного консорциума микроорганизмов-нефтедеструкторов и, в конечном счете, созданию биопрепарата для ремедиации почв Антарктиды в местах расположения российских научных станций.

## Благодарности

Работа выполняется в рамках гранта РФФИ (№10-05-00079-а) и гранта Президента Российской Федерации (МК-5451.2011.5).

## Газогидратообразование в мерзлых и оттаивающих газонасыщенных породах

М.В. Лупачик, Е.М. Чувиллин

МГУ имени М.В. Ломоносова, Геологический ф-тет, Москва, Россия

### Введение

В природных условиях газовые гидраты (преимущественно гидраты метана) формируются, как правило, на больших глубинах от 250-300 метров в донных отложениях морей и океанов, а также в областях распространения многолетнемерзлых пород перед фронтом многолетнего промерзания горных пород, т.е. при положительных по Цельсию температурах. Однако имеют место случаи, когда формирование газогидратов может происходить и на небольших глубинах (до 250 метров) в толщах мерзлых пород, т.е. при  $t < 0^{\circ}\text{C}$ . Образование газогидратов на небольшой глубине может быть связано с формированием газовых карманов в промерзающих породах и возникновением при этом высоких давлений за счет кристаллизации поровой влаги (кристаллизационный фактор), а также за счет действия внешней нагрузки (барический фактор) на сконцентрированные в результате промерзания газовые скопления в мерзлых породах [Chuvilin et al. 1998].

Барический фактор, способствующий формированию газовых гидратов в поровом пространстве пород, связан в основном с двумя причинами, с трансгрессиями арктических морей, а также с развитием покровных оледенений [Romanovskii 1993; Трофимук и др. 1986]. В результате этого, внутримерзлотные газовые скопления на относительно небольших глубинах могут попадать в ЗСГ и переходить в газогидратное состояние.

Учитывая, что процесс гидратообразования в поровом пространстве льдосодержащих пород изучен на сегодняшний день слабо, нами разработана специальная экспериментальная технология по физическому моделированию условий гидратообразования в газонасыщенных мерзлых и оттаивающих породах,

### Методы

Экспериментальное моделирование процессов гидратообразования в мерзлых и оттаивающих породах основывалось на комплексной оригинальной методике. Она включала определение и расчет комплекса параметров, характеризующих термобарические условия фазовых переходов, а также кинетику гидратообразования в мерзлых и оттаивающих газонасыщенных дисперсных средах.

Для экспериментального моделирования формирования газовых гидратов в мерзлых породах использовалась специальная экспериментальная установка, состоящая из: барокамеры (объемом около  $420\text{ см}^3$ ) с кернодержателем (диаметром 4,6 см и длиной около 10 см), термостата для поддержания необходимых температурных условий, АЦП и компьютера для записи изменения термобарических условий в образце в ходе эксперимента [Chuvilin & Kozlova 2010].

В качестве объектов исследования использовались песчано-супесчаные образцы грунтов, в том числе отобранные из газосодержащих горизонтов в районе распространения ММП на севере Западной Сибири.

Эксперименты выполнялись при постоянных отрицательных температурах в интервале от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $-9^{\circ}\text{C}$ . Гидратообразующими газами служили метан (99,98%) и  $\text{CO}_2$  (99,99%). Приготовленная к эксперименту барокамера с образцом замораживалась при температуре  $-8^{\circ}\text{C}$ , а затем насыщалась холодным газом. Начальное давление составляло 4-6 МПа для  $\text{CH}_4$  и до 2,5-3 МПа для  $\text{CO}_2$ . После подачи давления устанавливалась отрицательная температура, которая поддерживалась постоянной в течение всего эксперимента продолжительностью 10-15 дней.

Анализ изменения термобарических условий в барокамере в процессе гидратообразования позволяет определить параметры фазовых переходов в грунтовых образцах [Chuvilin et al. 2011]. Гидратонасыщенность (Sh), объемное гидратосодержание (Hv) и коэффициент гидратности (Kh-доля поровой влаги, перешедшей в гидрат) были определены из полученных опытных данных P-T параметров при расчете поглощения газа по формуле рекомендованной Госстандартом России с учетом сжимаемости и растворимости газов в поровой воде.

### Результаты

Эксперименты показали, что накопления газовых гидратов в поровом пространстве пород активно происходит не только в охлажденных (при положительных температурах) породах, но и в мерзлых, находящихся при отрицательных температурах (до  $-8^{\circ}\text{C}$ ). Так, при снижении отрицательной температуры от  $-3,7$  до  $-8^{\circ}\text{C}$  на начальной стадии эксперимента наблюдается уменьшение скорости гидратонакопления, однако в дальнейшем при более низкой отрицательной температуре ( $-8^{\circ}\text{C}$ ) затухание процесса гидратообразования происходит медленнее (рис.1).

Эксперименты показали, что наибольшее гидратонасыщение пористой среды происходит при оптимальных значениях льдонасыщенности (рис.2).

Наиболее благоприятной является степень заполнения пор льдом в диапазоне 45-65%. При большей льдонасыщенности, пористых сред гидратообразование снижается в силу сокращения площади контакта «газ-лед». При высокой степени заполнения пор льдом более 80% процесс гидратонакопления внутри образца практически полностью подавляется вследствие незначительного содержания гидратообразующего газа внутри образца и резкого падения газопроницаемости.

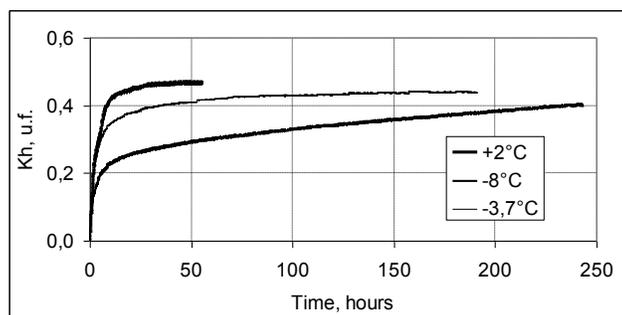


Рис.1. Кинетика образования гидрата метана в поровом пространстве супеси ( $Si=69\%$ ) при различных температурных условиях

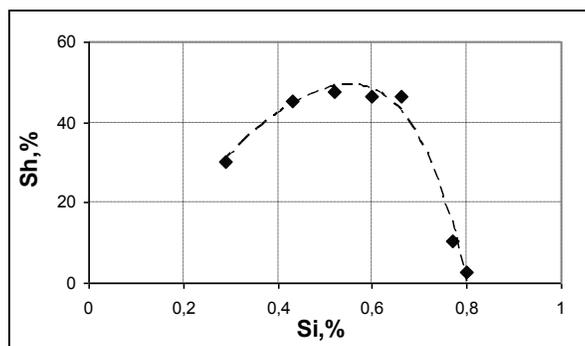


Рис.2. Влияние начального льдонасыщения ( $Si$ ) на накопление ( $Sh$ ) гидрата метана в образце супеси 2 при температуре  $-2,9^{\circ}C$ .

В ходе экспериментов было отмечено, что повышение дисперсности снижает долю порового льда, перешедшего в гидрат. Так, при температуре  $-8^{\circ}C$  доля порового льда, перешедшего в гидрат, на 30% выше в песчаном образце, чем в супесчаном.

Проведен сравнительный анализ кинетики гидратообразования в поровом пространстве метанонасыщенных и  $CO_2$ -насыщенных образцов. Показано, что скорость образования гидрата  $CO_2$  и количество накопившегося гидрата в мерзлом песке ( $W=17\%$ ) при отрицательной температуре  $-3,8^{\circ}C$  выше в 1,5 раза, чем  $CH_4$ . Это может быть обусловлено реакционной способностью  $CO_2$ , которая значительно выше, чем метана, а также энергетическими характеристиками, поскольку образование гидрата  $CO_2$  – более энергетически выгодный процесс, чем образование гидрата метана.

Экспериментальные данные показывают, что после затухания гидратообразования в мерзлых породах возможна значительная активизация процессов гидратонакопления в результате таяния остаточного порового льда, не перешедшего в гидрат. Так, в образце тяжелой супеси ( $Si=66\%$ ), после 270 часов эксперимента при постоянной отрицательной температуре  $-3^{\circ}C$  степень заполнения пор гидратом была равна 17%. Затем в процессе нагревания от  $-3^{\circ}C$  до  $+4,1^{\circ}C$  за 17 часов экспериментов образовалось 54% от всего накопленного гидрата и к концу опыта гидратонасыщенность составляла 43%. (рис.3).

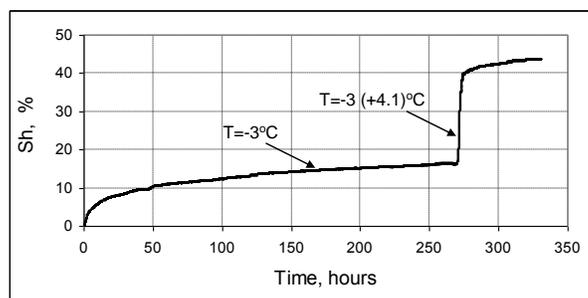


Рис.3. Кинетика накопления гидрата метана в образце супеси ( $Si=66\%$ ) при постоянной температуре  $-3^{\circ}C$  и при повышении температуры от  $-3$  до  $+4,1^{\circ}C$ .

Причем, выявлено, что чем выше исходная степень заполнения пор льдом, тем большая доля гидрата образуется на стадии таяния порового льда. Возможно, это может быть связано с тем, что таяние порового льда приводит к структурно-текстурным изменениям и появлению новых газо-водных контактов в поровом пространстве грунта. В результате имеет место вторичное гидратообразование на фоне таяние порового льда.

На основе экспериментальных исследований и анализа литературных данных были предложены возможные геологические модели гидратообразования на относительно небольших глубинах в толщах мерзлых пород криолитозоны при трансгрессии Арктических морей, а также в период материковых оледенений.

В целом, выполненные экспериментальные исследования свидетельствуют, что в толщах мерзлых пород при наличие благоприятных условий (высокая газонасыщенность, возникновения зон стабильности газовых гидратов, и др.) возможно значительное гидратонакопление.

## Литература

- Chuvilin, E.M., Yakushev, V.S. & Perlova, E.V. 1998. Gas and gas hydrates in the permafrost of Bovanenkovo gas field, Yamal Peninsula, West Siberia. *Polarforschung*, 68: 215-219.
- Chuvilin E.M. & Kozlova E.V. 2005. Research of formation of frozen gas hydrate-saturated sediment. *Earth Cryosphere Journal*, 9(1), 73-80, (in Russian).
- Chuvilin E.M., Lupachik M.V. & Guryeva O.M. 2011. Kinetics research of ice transition into gas hydrate in porous media. In: *Physics and Chemistry of Ice*. Hokkaido University Press. p. 127-132.
- Romanovskii N.N. 1993. Fundamentals of lithosphere cryogenesis. *Moscow*, (in Russian).
- Trofimuk A.A., Makogon Yu.F. & Yakushev V.S. 1986. Influence of hydrate formation zones dynamics into temperature regime of permafrost rocks. *Russian Geology and Geophysics Journal*. (11): 3-10 (in Russian).

## Прогнозная оценка геоэкологической ситуации в зоне деятельности ООО "Газпром добыча Ямбург"

Е.О. Луценкова, А.К. Арабский, Д.С. Николаев, О.В. Маклюк  
*ООО "Газпром добыча Ямбург"*  
В.Н. Башкин  
*ООО "Газпром ВНИИГАЗ", Россия*

Добыча углеводородного сырья в условиях Крайнего Севера, как и другие виды хозяйственной деятельности, сопровождаются изменениями природной среды. Масштабы

и характер этих изменений зависят от интенсивности и специфики осуществляемых воздействий, определяя на локальном и региональном уровнях ту или иную техногенную геоэкологическую ситуацию, причем от природных геоэкологических условий в зонах освоения месторождений (например, от устойчивости почвогрунтов к оттаиванию, определяемую, в том числе и видом растительного покрова) зависят успешная эксплуатация технологического оборудования и состояние инфраструктуры. При этом критерии оценки создавшейся геоэкологической ситуации должны включать показатели, отражающие вероятность наступления и значимость ее возможных неблагоприятных изменений.

К таким критериям относятся показатели риска, рассчитываемые с использованием международной методологии критических нагрузок (КН) и данных по объемам эмиссии загрязнителей, прежде всего, оксидов азота, поскольку эти соединения обуславливают

вероятность проявления как эвтрофирующих, так и подкисляющих эффектов в экосистемах. Ранжирование и последующий анализ суммарной информации о рисках позволяет на основе данного критерия выполнить ретроспективную, текущую и/или прогнозную оценку геоэкологической ситуации в зоне хозяйственной ответственности предприятия.

При оценке параметров рисков учитывается статус природно-территориальных комплексов). Так, на особо охраняемых природных территориях удовлетворительная прогнозная оценка геоэкологической ситуации в зоне деятельности ООО "Газпром добыча Ямбург" может быть только при низком уровне риска, т.е. вероятность превышений КН от 5 до 25%. На землях традиционного природопользования (оленьи пастбища и охотничьи угодья и водно-болотные угодья) - удовлетворительная прогнозная оценка может быть при среднем уровне риска - вероятность превышений КН также не должна превышать 25%. Более высокие величины риска допустимы в пределах санитарно-защитных зон – до 75 – 95%.

## Образование газовых гидратов в режиме термоциклирования на основе эмульсии вода/масло

М.Ш. Мадыгулов, А.Г. Заводовский

*Институт криосферы Земли СО РАН, г. Тюмень*

В.А. Власов

*Институт криосферы Земли СО РАН, г. Тюмень*

*Тюменский государственный университет, г. Тюмень*

В.П. Щипанов

*Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень*

### Аннотация

Методом ДТА исследовано образование и рост газовых гидратов фреона-12 в эмульсии вода/масло в режиме термоциклирования образца с переводом его через точку плавления льда.

**Ключевые Слова:** Газовые гидраты; ДТА метод; Эмульсия.

### Введение

При добычи нефти в районах Крайнего Севера наличие воды, растворенного газа и отрицательная температура окружающей среды способствуют образованию газовых гидратов. Газовые гидраты приводят к снижению пропускной способности трубопроводов и скважин вплоть до их полной остановки. Наиболее вероятными участками образования являются нефтедобывающие скважины и трубопроводы с сырой нефтью [Sloan, Koh 2007, Макогон 1985].

Для улучшения эффективности существующих технологий предотвращения и разрушения техногенных газовых гидратов на сегодняшний день актуальна задача получения дополнительных знаний об условиях их возникновения, кинетике роста и диссоциации. Существенный сдвиг в этом направлении возможен с привлечением в сферу исследований газогидратов нетрадиционных экспериментальных методов, одним из которых является метод ДТА. Перспективность данного метода зависит от его возможностей в изучении процессов образования и роста газовых гидратов.

В данной работе, учитывая высокую вероятность зарождения газовых гидратов в водонефтяных эмульсиях, исследуется процесс образования гидрата в модельной дисперсной системе.

### Материалы и методы исследования

Эксперименты по апробированию метода ДТА применительно к изучению процессов гидратообразования выполнены на установке, описание которой подробно изложено в работе [Власов и др. 2011]. При этом весь комплекс запланированных ДТА исследований проведен с использованием эмульсии вода/масло, моделирующую реальную водонефтяную систему. Исходными компонентами эмульсии являлись дистиллированная вода и масло Castrol. В качестве гидратообразующего газа использован фреон-12 ( $\text{CCl}_2\text{F}_2$ ).

Эмульсии с 15% содержанием воды в масле получали при интенсивном перемешивании необходимого количества воды и масла Castrol с помощью диспергатора IKA T10 basic при скорости вращения мешалки 20450 об/мин в течение 120 секунд. В результате диспергирования исходных компонентов, получены образцы эмульсии со средним диаметром капель воды 1,5 мкм. Определение среднего диаметра и полуширины распределения капель воды в эмульсионных образцах производили по классической методике [Фридрихсберг 1984], анализируя линейные размеры не менее 300 визуально наблюдаемых частиц эмульсии.

Для повышения эффективности гидратообразования исследуемых образцов, применяли циклический режим изменения температуры с переводом через точку плавления льда [Stern et al. 1996]. В соответствии с разработанной технологией приготовления гидратов и для проведения полноценных ДТА измерений в ходе проведения эксперимента создавались условия для реализации фазовых переходов вода ↔ лед. Учитывая маленькие размеры капель воды в эмульсии, температуру образцов варьировали в интервале от  $-42^\circ\text{C}$  до  $+2^\circ\text{C}$  и, выставляя при данных краевых значениях температур в течение 30 и 40 минут, что гарантировало завершение соответствующих фазовых переходов. Общая продолжительность температурного цикла составила 158 минут. В процессе изменения температуры образцов со скоростью 0,5 К/мин методом ДТА регистрировались характерные тепловые пики, свидетельствующие о кристаллизации воды и плавлении льда [Егунов 1996].

Исходное давления гидрат образующего газа при температуре  $+2^\circ\text{C}$  составляло  $\sim 300$  кПа. В процессе получения образца газогидрата по мере необходимости компенсировали понижение давления газа над образцом на начальном этапе цикла.

### Обсуждение результатов

На начальном этапе приготовления эмульсионных образцов газогидрата была установлена высокая поглощательная способность фреона-12 маслом Castrol. Это позволило скорректировать технологию получения газогидратных образцов. В частности, для более быстрого насыщения масла гидрат образующим газом на начальных этапах

образования гидрата применяли кратковременное сжижение фреона-12.

В процессе термоциклирования образца эмульсии в атмосфере фреона-12 и воздуха методом ДТА регистрировались характерные эндотермические пики плавления непрореагировавшего льда (рис.1). Из анализа полученных термограмм следует, что увеличение цикличности приводит к заметному уменьшению площади пиков плавления, что свидетельствует о росте гидрата. По результатам экспериментов также установлено, что имеющие место при циклировании образца эмульсии процессы выделения и поглощения газа не влияют на основные параметры регистрируемых ДТА пиков плавления непрореагировавшего льда.

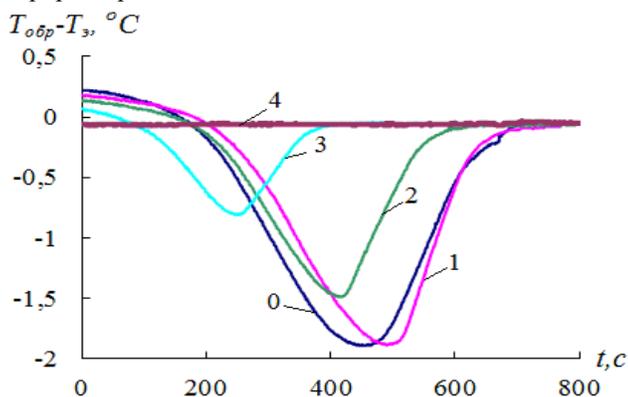


Рис.1. Регистрируемые ДТА пики плавления непрореагировавшего льда в атмосфере фреона-12 соответственно в 1,2,3 и 4 –м термоцикле. 0 – пик плавления льда в атмосфере воздуха.  $T_{обп}$ ,  $T_э$  – температура образца и эталона соответственно.

Согласно [Brown 2001] площадь пика плавления пропорциональна количеству льда в образце. С учетом этого степень гидратообразования образцов эмульсии рассчитывали по формуле  $P = S_n/S_0 \cdot 100\%$ , где  $S_n$  – площадь пика плавления непрореагировавшего льда в  $n$  –ом цикле ( $n=1,2,3,\dots$ ),  $S_0$  – площадь пика плавления льда, полученного для исходного образца эмульсии вода/масло в атмосфере воздуха. В итоге на основе полученных ДТА данных построена зависимость величины  $P$  от  $n$  (рис.2).

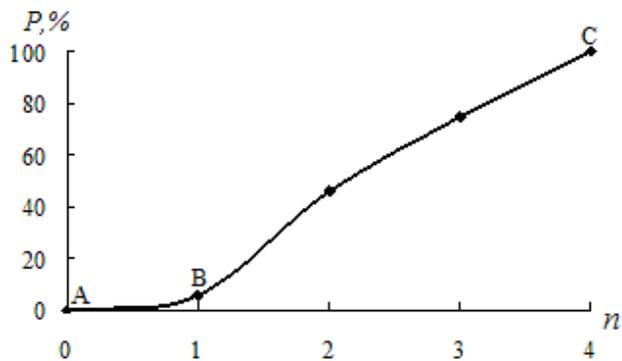


Рис.2. Рост степени гидратообразования образца эмульсии вода/масло с увеличением количества циклов замораживание/оттаивание.

На данном рисунке наблюдается ожидаемый рост исследуемого гидрата с увеличением цикличности образца. Низкую скорость гидратообразования на участке АВ связываем с замедлением диффузии молекул фреона-12 к фронту гидратообразования в результате поглощения газа маслом Castrol. В дальнейшем масло насыщается фреоном и на участке ВС гидрат интенсивно растет практически с постоянной скоростью. Отметим, что при повышении исходного давления скорость гидратообразования на участке АВ заметно увеличивалась. Также установлено, что сжижение фреона-12 на начальном этапе получения гидрата ускоряет процесс гидратообразования.

Из полученных результатов следует, что разработанная методика ДТА анализа динамики роста гидрата позволяет уверенно фиксировать процесс гидратообразования в эмульсии вода/масло. Однако прежде чем перейти к изучению образования гидрата в реальных водонефтяных эмульсиях планируем оценить чувствительность метода ДТА путем уменьшения содержания воды в эмульсии. При этом имеет смысл в увеличении размера капель воды, а получаемые пики плавления в атмосфере воздуха прокалибровать по известному содержанию в них льда.

### Заключение

Значимым результатом данной работы является разработанная ДТА методика регистрации процесса роста гидрата в эмульсионных образцах. Предварительные результаты по степени гидратообразования эмульсионных образцов носят оценочный характер и требуют дополнительных исследований.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект 10-05-00270-а), программы фундаментальных исследований Президиума РАН (проект 13.7.4) и междисциплинарного проекта № 62 СО РАН.

### Литература

- Власов В.А., Заводовский А.Г., Мадыгулов М.Ш. 2011. Исследование метастабильных состояний газовых гидратов фреона-12 методом ДТА. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Якутск, 24-28 август 2011 г. – Якутск: Ахсаан: 36-40.
- Егунов В.П. 1996. Введение в термический анализ. – Самара: СамВен., 270 с.
- Макогон Ю.Ф. 1985. Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование. – М.: Недра, 232 с.
- Фридрихсберг Д.А. 1984. Курс коллоидной химии. Учеб. для вузов.-2е изд., перераб. и доп. Л.: Химия. 368 с.
- Stern L.A., Kirby S.H., Durham W.B. 1996. Peculiarities of methane clathrate hydrate formation and solid-state deformation, including possible superheating of water ice // Science.. V. 273: P. 1843-1848.
- Sloan E.D., Koh C.A. 2007. Clathrate Hydrates of Natural Gases, third ed. Boca Raton: CRS Press, Taylor & Francis Group. 721p.
- Brown M.E. 2001. Introduction to thermal analysis: techniques and application. 2<sup>nd</sup> ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.- P.264.

## Аэровизуальные обследования как источник геокриологической информации

Е.М. Макарычева, Ю.В. Станиловская, Д.О. Сергеев, Г.З. Перльштейн, А.Н. Хименков

*Лаборатория геокриологии, ИГЭ РАН, Москва, Россия*

А.Н. Угаров

*Научно-образовательный центр исследований экстремальных ситуаций МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Россия*

### Введение

Инженерно-геологические изыскания недостаточного качества и ошибки проектирования протяжённых трубопроводных систем перекладывают задачи обеспечения их безаварийной эксплуатации на эксплуатирующие организации. В условиях ограниченности средств и быстро меняющейся геокриологической обстановки необходимы методы оперативного анализа ситуации для проектирования и реализации компенсирующих или защитных мероприятий по снижению воздействия геокриологических процессов на трубопровод.

Аэровизуальное обследование является одним из немногих методов, позволяющих в короткие сроки и с относительно небольшими затратами получить обзорную, актуальную информацию о распространении и динамике ареалов проявления геокриологических процессов на протяженных линейных объектах, которые пересекают несколько ландшафтно-климатических зон.

### Технологические и методические особенности аэровизуального обследования

Для получения информации о распространении и динамике ареалов проявления геокриологических процессов решаются следующие задачи: разработка методики обнаружения геокриологических явлений, определения их характеристик и границ распространения. В ходе аэровизуальных работ разрабатывается перечень морфологических признаков геокриологических процессов с учётом их разнообразия в различных ландшафтно-климатических зонах, и определяются технологические требования к проведению работ. Перспективная фотосъемка трассы трубопровода осуществляется группой экспертов-геологов с одинаковым, заранее выбранным приближением. Выбор приближения зависит от детальности описания геокриологических явлений и процессов и ориентации их ареалов на местности. Протяженность фотографируемого участка трассы должна быть не менее 100 м, обязательно должны фиксироваться ориентиры для привязки на местности. При съемке протяженных геокриологических явлений (например, термоэрозионного оврага) обязательна фиксация начала и конца проявления. Дополнительно осуществляется перспективная съемка природного ландшафта, развитие природных процессов в зоне которого может оказать влияние на трубопроводную систему. Этот вид съемки ранее успешно использовался в ходе составления Ландшафтной карты СССР (м-б 1:2500000) для создания

эталонов каждого из выделенных видов ландшафта. Он позволяет более точно ориентировать криогенные явления на местности, дает возможность выявить взаимоотношения между элементами ландшафта. Он позволяет отображать явления в их натуральном виде. Получаемый в результате фотоматериал репрезентативен и легок для понимания даже не профессионалов.

В ходе проведения аэровизуальных работ выявлена целесообразность осуществления полета дважды (по ходу и против хода нефти). Двойной облет обеспечивает ширину исследуемого коридора трассы до 1 км, что позволяет сравнивать нарушенные и ненарушенные ландшафты. В результате такого облета уменьшается вероятность пропуска криогенных явлений. На участках трассы трубопровода с густым лесом, где деревья закрывают обзор полосы землеотвода, принято увеличивать высоту полета и удаленность от оси трубопровода для улучшения обзора. Над отдельными крутыми поворотами трассы трубопровода совершаются развороты и двойной облет, что позволяет обеспечить их полный обзор.

Помимо фотосъемки на протяжении всего обследования ведется видеосъемка и запись GPS трека. Определение границ протяженных геологических явлений по фотоматериалам не обеспечивается достаточной точностью. В этом случае фиксацию границ ареалов проявлений процессов предлагается проводить с использованием материалов видеосъемки.

Синхронизация навигационной и съемочной аппаратуры осуществляется методом фотографирования экрана компьютера с выведенным на него значением мирового времени. Такая синхронизация выполняется дважды – перед началом и в конце полета.

Для точной фиксации необходимых элементов наблюдения создаются электронные карты максимальной детальности, содержащие слои с техногенными объектами, элементами ландшафта и зонами ранее выделенных геологических опасностей. Эти карты отображаются в GPS приёмниках геологов для акцентирования внимания на проблемные участки трассы.

Аэровизуальные работы проводятся дважды в год. Весной, после схода снежного покрова, и в конце лета, в период максимального протаивания многолетнемерзлых пород. Основной целью весеннего облета является фиксация распространения и динамики ареалов проявления сезонных геокриологических процессов, таких как, наледообразование и пучение.

## Обработка результатов и использование полученной информации

На основе GPS трека осуществляется привязка точек фотографирования в электронной топографической карте, реализованной с помощью программы MapInfo, средствами которой разрабатывается специализированная программа, позволяющая назначать и хранить характеристики ареалов проявления геокриологических процессов, а также формировать отчётные табличные формы, необходимые для последующего анализа информации об изменении ситуации со временем.

Характеристики проявления геокриологических процессов включают в себя информацию об условиях развития процесса. Фиксирование участков с уже проведенными компенсирующими мероприятиями позволяет судить об их эффективности в разных инженерно-геологических условиях. Однако аэровизуальное обследование не дает детальной характеристики территории и геокриологических процессов. Некоторые характеристики, например ширина геокриологического явления, определяются экспертно и должны быть уточнены в процессе наземных полевых работ.

Для анализа динамики процессов важным является рассмотрение каждого проявления геокриологического процесса в отдельности. При этом основной базой для анализа являются табличные формы и фотографии, получаемые в результате ежегодных облетов.

## Заключение

На линейных объектах большой протяженности наблюдается высокое разнообразие геокриологических, климатических, геоморфологических, гидрологических и других видов природных условий. Одним из перспективных способов анализа информации, полученной в результате аэровизуального обследования, представляется сопоставление распространения и интенсивности экзогенных геологических процессов, в первую очередь геокриологических, с ландшафтно-геологическими характеристиками территории, полученными с использованием существующих систем районирования, с целью выявления роли природных и техногенных факторов в их активизации на различных территориях.

Недостатками аэровизуального обследования являются:

1. Аэровизуальное обследование не может обеспечить точной привязки объекта на местности и его необходимо использовать в комплексе с другими дистанционными методами (космосъемка, аэрофотосъемка).
2. Этот вид обследований не несет детальной информации об объекте исследования и на отдельных участках требует уточнения в ходе наземных полевых работ.
3. Анализ динамики некоторых протяженных криогенных явлений, например термоэрозии, затруднен в связи с невозможностью поместить его на одном кадре. О его активизации можно судить лишь по косвенным признакам.

Преимуществами аэровизуального обследования являются:

1. Аэровизуальные обследования являются одним из наиболее экономически выгодных методов, позволяющих в короткие сроки предоставить актуальную информацию о распространении геокриологических и других экзогенных геологических процессов на протяженных линейных объектах.

2. Этот метод позволяет, оценив динамику развития геокриологических и других экзогенных геологических процессов, выделить участки, на которых необходимо проведение полевых работ, компенсирующих или защитных мероприятий. Это позволит заранее предупредить эксплуатирующие организации о возможности возникновения экстремальных ситуаций.

3. Разработанная методика аэровизуального обследования, предполагающая однотипность описания экзогенных геологических процессов, позволяет получать информацию об их распространении, пространственной ориентации, интенсивности и динамики в различных ландшафтно-геологических условиях.

Авторы рекомендуют использовать аэровизуальные обследования в качестве оперативного метода для актуализации информации о наличии и местоположении проявленных геокриологических процессов. Эта информация используется для ранжирования выделенных ареалов по желаемому критерию для обоснования объемов и очередности последующих детальных наземных исследований.

## Возможности гляциохимического, диатомового и палинологического анализа ледниковых толщ

Н.С. Малыгина, Е.Ю. Митрофанова, Т.С. Папина  
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

В настоящее время в качестве одного из основных способов получения палеоклиматической и палеоэкологической информации с высоким временным разрешением выступает керновое бурение ледниковых толщ. При этом предполагается, что осадки, поступившие на поверхность ледника, последовательно погружаются вглубь с консервацией их изотопно-геохимического и газового состава, а так же микровключений [Михаленко, 2008]. В полученных ледниковых кернах в первую очередь выделяют разновозрастные горизонты на основе визуального, изотопно-геохимического стратифицирования и включениям биологического материала, горизонтам загрязнения. Затем проводят датирование ледниковых толщ, которое основано на стратиграфических методах, использовании реперных горизонтов (повышенной радиоактивности и кислотности, dust- слоев), методах абсолютной геохронологии (по радиоактивным изотопам  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{39}\text{Ar}$ ,  $^{81}\text{Kr}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ) и по моделям растекания.

Ледниковые керны содержат в себе информацию о термическом, влажностном и циркуляционном режиме, газовом и химическом составе атмосферы, биологической продуктивности, вулканизме, солнечной активности, антропогенной деятельности и др. При интерпретации гляциохимических результатов для целей климатических и экологических палеорекоstructions полученной информации порой оказывается недостаточно. Поэтому дополнительно привлекают данные палинологического и диатомового анализа ледниковых кернов. Но, при этом учитывают особенности интерпретации полученной каждым из методов информации. Так растения и водоросли имеют сезонную цикличность в своем распространении. Например, диатомовые и цисты наиболее многочисленны в марте-июне и сентябре-ноябре, в то время как хвойные деревья дают максимум пыльцы только в марте-апреле, а лиственные породы и травы – в мае-июле. Учитывают также и дальность заноса пыльцы. Так, *Larix*, может распространять пыльцу лишь на несколько сот метров, в то время как *Picea* и *Betula* на 250 - 400 км, *Abies* на 1250 - 1300 км, а *Pinus* уже на 500 - 1700 км [Сладков, 1967]. Совместное использование этих трех методов для палеорекоstructions на внутриконтинентальных территориях впервые было применено на основе данных алтайских ледниковых кернов.

Ледниковый керн седловины г. Белуха (Алтай, Катунский хребет,  $49^{\circ}48'26.3''$  с.ш.,  $86^{\circ}34'42.8''$  в.д., высота 4062 м) был отобран в 2001 году совместной Российско-Швейцарской экспедицией. Затем керн в замороженном виде доставлен в лабораторию радиохимии и химии

окружающей среды Института Поля Шеррера (Швейцария), где датировался и послойно анализировался с участием сотрудников ИВЭП СО РАН. По аналогичной схеме в июле 2009 г. был отобран и доставлен в лабораторию ледниковый керн длиной 72 м, отобранный на массиве Цамбагарав (Монгольский Алтай  $48^{\circ}39.338'$  с.ш.,  $90^{\circ}50.826'$  в.д., на высоте 4148 м). В настоящее время большая (поверхностная) часть керна датирована и послойно проанализирована. Фрагментарно (из-за не большого количества материала) в обоих кернах проводили палинологический и диатомовый анализ. В результате исследований ледниковых кернов были обнаружены различные биологические объекты, а именно панцири диатомовых водорослей, цисты золотистых водорослей, споры низших и пыльца высших растений (рис.1).

### Ледниковый керн Цамбагарав

Всего в пробах керна выявлено 25 видов (29 видов, разновидностей и форм) диатомовых водорослей. Преобладали донные формы и обрастатели, присущие литорали различного типа водоемов или альгонаселению камней горных рек. По всему керну была распространена *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun., пресноводный вид, убиквист. Отличительной особенностью этого вида, как и другой диатомеи, *Pinnularia borealis* (Ehr.), является распространение их не только в водных, но и наземных местообитаниях в ассоциациях с мохообразными [Егорова и др., 2011]. Обнаруженное значительное количество створок диатомовых водорослей в верхнем слое уменьшалось к глубинным слоям керна и варьировало от 810 до 8114 тыс. ств./м<sup>3</sup>, при средних значениях –  $1828 \pm 305$  тыс. ств./м<sup>3</sup>. Резкое уменьшение количества диатомовых водорослей уже на некотором углублении от поверхности ледника, возможно, связано с негативным влиянием толщи льда на сохранность панцирей диатомей.

Изменение количества цист, спор папоротников и пыльцы хвойных и лиственных пород растений от верхних слоев льда к нижележащим слоям происходит не так кардинально. Учитывая, что анализируемые пробы покрывают почти 70-летний период, можно предположить, что в предыдущем столетии перенос пыльцы с территорий, занятых хвойными лесами, был значительно выше, чем на современном этапе. Тем самым для Алтая соотношения диатомовых водорослей (в верхних слоях ледника), цист золотистых, спор и пыльцы растений (на всю глубину залегания ледника) может быть использовано в качестве биомаркеров при климатических реконструкциях по данным ледниковых кернов.

### Ледниковый керн Белуха

Исследованные образцы ледникового керна Белуха охватывают период с 1961 по 2001 гг. Постоянно в образцах присутствуют пыльца хвойных растений и цисты или споры низших растений, диатомовые водоросли и пыльца лиственных пород растений в некоторых образцах отсутствовали вообще. Отличительной чертой исследованного керна было повсеместно высокое содержание в пробах пыльцы высших растений, в основном, пыльцы хвойных растений, количество которой колебалось от 32 до 150 тыс.шт./м<sup>3</sup>, среднее 80±4 тыс.шт./м<sup>3</sup>. Максимальное количество пыльцы хвойных растений приходилось на 1983 год, минимальное – на 2000. Кроме этого, во льду постоянно можно было найти некоторое количество цист золотистых водорослей или спор папоротников, которых иногда очень трудно различить визуально. Вдоль по керну их количество колебалось от 5 до 62 тыс.шт./м<sup>3</sup>, среднее 26±3 тыс.шт./м<sup>3</sup>. Максимальное количество цист выявлено в слое, сформированном в 1999 году. Цисты золотистых водорослей и споры низших растений мало разнообразны по составу, отмечены в основном гладкие шаровидные формы, которые встречаются практически во всех исследованных слоях обоих ледниковых кернов.

Таким образом, проведенные исследования показали, что биологические объекты, обнаруженные в ледниковых кернах, могут быть использованы в качестве биомаркеров при палеоклиматических реконструкциях в Алтайском регионе, причем для каждого ледника выделяются свои наиболее предпочтительные индикаторы. Так, для ледника Белуха таким маркером, или биоиндикатором, может быть пыльца хвойных растений, так как этот ледник находится под влиянием западного атмосферного потока, часть воздушных масс которого прежде чем пройти над Белухой, проходит над Западной Сибирью. Учитывая, что пыльца некоторых хвойных растений может переноситься на значительные расстояния, можно предположить, что пыльцевые зерна, захороненные на леднике Белуха, могут быть «продуктом» обширной лесной территории Западной Сибири. Напротив, диатомовые и пыльца березы – более предпочтительны для анализа и реконструкций на леднике Цамбагарав в Монголии. Зная, что пыльца березы переносится по воздуху на незначительные расстояния, можно предположить, что ее нахождение в ледовой толще массива Цамбагарав является локальным «продуктом» (например, продуцироваться высокогорными стланиковыми формами березы), как и диатомовые водоросли, которые могут попадать на ледник из литоральной зоны многочисленных небольших по площади озер горной территории Монголии.

### Литература

Егорова И.Н., Дударева Н.В., Коновалов М.С., Казановский С.Г. 2011. Водоросли в ассоциациях с мохообразными каменистых субстратов. Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Сб. науч. статей по мат. X Междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул: АРКТИКА: 40-43.  
 Михаленко В.Н. 2008. Глубинное строение ледников тропических и умеренных широт. – М.: Издательство ЛКИ, 320 с.  
 Сладков А.Н. 1967. Введение в споро-пыльцевой анализ. – М.: Наука, 275 с.

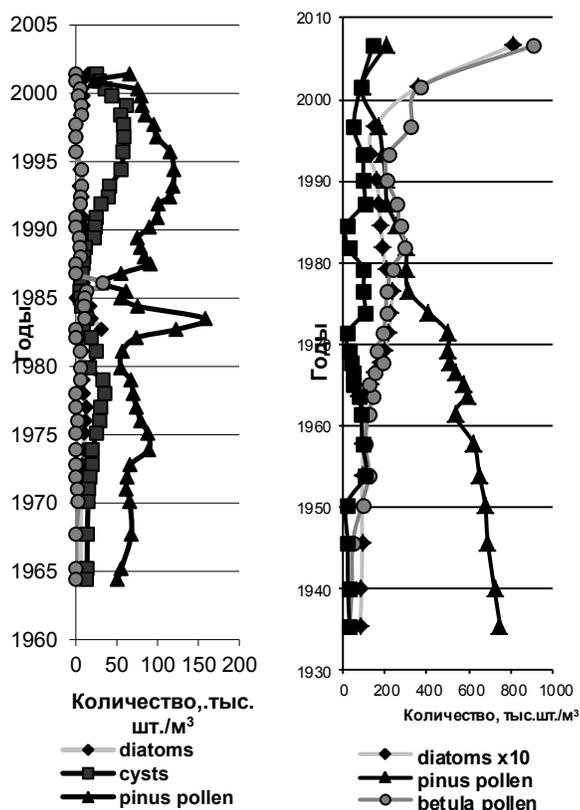


Рис 1. Число диатомовых (“diatoms”), цист золотистых водорослей и спор низших растений (“cysts”), пыльцы хвойных (“pinus pollen”), травянистых и лиственных (“betula pollen”) растений в ледниковых кернах с горных массивов Белуха (А) и Цамбагарав (Б) (на рис.Б количество диатомовых x10).

## PR-технологии в пропаганде мерзлотных исследований и профильного высшего образования

О.И. Малышкина

*Кафедра социальных технологий, Гуманитарный институт, ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень, Россия*

О необходимости популяризации науки, продвижения научных достижений, пропаганды научных исследований говорили и говорят многие выдающиеся ученые современности: Гинзбург В.Л., д.физ.-мат.н., академик РАН; Алфимов М.В., д.физ.-мат.н., академик РАН, директор Центра фотохимии РАН; Дебабов В.Г., д.биол.н., директор ГНИИ генетики и селекции промышленных микроорганизмов, член-корр. РАН; Акопов А.И., д.филол.н., зав.кафедрой средств массовых коммуникаций Южного федерального университета; Сергеев А.Г., научный редактор журнала «Вокруг света», модератор «Клуба научных журналистов». Среди возможных механизмов популяризации называют рекламу, паблик рилейшнз (PR) и журналистику. Заявлена необходимость создания пресс-служб или, по крайней мере, введения штатной единицы специалиста по связям с общественностью в научно-исследовательских институтах (НИИ), предположительно определен функционал такой службы, формы работы [Сергеев, 2007]. В данных тезисах осуществлена попытка структурировано представить возможности PR в популяризации науки, в частности, в пропаганде исследований криосферы Земли и профильного высшего образования. Привлечение новых научных кадров и убеждение общественности в том, что минимизировать риски антропогенного воздействия на уникальную экосистему возможно с помощью криологии, – это те задачи, которые могут быть решены средствами PR.

При таком подходе можно выделить шесть целевых аудиторий для профильных вузов или НИИ в организации связей с общественностью:

1. Средства массовой информации (СМИ). Цель работы – установить благоприятные взаимовыгодные отношения.

2. Общественность – объяснить суть наук о криосфере Земли, убедить в необходимости учитывать результаты научных исследований в промышленном освоении Севера (общая популяризация).

3. Органы муниципальной, региональной, государственной власти – сформировать благоприятную конъюнктуру для принятия решений, касающихся НИИ, специализированных кафедр, мерзлотных исследований, освоения Крайнего Севера России и Арктики.

4. Научное сообщество – поддержать взаимопонимание между учёными разных специальностей и привлечь в науку новые кадры (специальная популяризация).

5. Студенты профильных вузов – мотивировать выпускников вузов остаться в науке, вселить веру в значимость своей профессии.

6. Школьники – сформировать интерес к исследованию криосферы земли, привлечь в профильные вузы.

Современные практики PR позволяют разделить его на информационный и устроительный (событийный). В одной

из последних авторитетных работ по теории PR выделены: медиарилейшнз, специальные мероприятия, спонсоринг и франдрайзинг [Кривоносов, Филатова, Шишкина 2011].

### 1. Информационный PR

Информирование общественности о работе учреждения, его достижениях и перспективах развития – важнейшее условие доброжелательного отношения к нему и, как следствие, положительных поведенческих установок. Некоторые НИИ уделяют значительное внимание информационному сопровождению своей деятельности. Например, Институт криосферы земли СО РАН обеспечивает публикации в печатных СМИ от регионального до международного уровня (L'observateur russe – Русский очевидец), в интернете, сюжеты на региональном телевидении. Публикуются материалы о научных достижениях, предстоящих конференциях, имиджевые статьи о сотрудниках института, интервью.

Специализированные научные журналы охватывают узкую целевую аудиторию – ученое сообщество («Криосфера Земли» (ИКЗ СО РАН), «Наука и техника Якутии» (ИМЗ им. П.И. Мельникова СО РАН)). Научно-популярные издания в большей мере способствуют формированию устойчивого интереса к науке у широкой общественности. Институт криосферы земли СО РАН выпускает единственный в мире научно-популярный журнал о криологии «ХолодОК!». Ученые Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН опубликовали сборники биографических очерков о своих коллегах, в 2010 г. вышла книга «Якутская геокриологическая научная школа» под редакцией Р.В. Джан, в 2011 г. увидела свет научно-популярная книга В. Алексеева «Мы живем на вечной мерзлоте».

НИИ и профильные вузы используют возможности интернета. Собственный сайт есть у каждого института. У Института криосферы земли СО РАН есть группа в социальной сети.

СМИ сами могут инициировать научно-популярные сюжеты. Неоценимое значение для популяризации науки сыграли передача А. Гордона «Вечная мерзлота» с участием Конищева В.Н., д-ра геогр.н., зав. кафедрой криологии и гляциологии МГУ (2002); фильм телеканала «Моя планета» «Тикси – территория вечной мерзлоты» (2010). И хотя самый большой охват аудитории все еще принадлежит телевидению, важную роль в популяризации исследований криосферы играют интернет-ресурсы: Геовикипедия – все о геологии, Геология – энциклопедия для всех, Агентство нефтегазовой информации, ВОО Русское географическое общество.

Существуют и другие формы информационного PR, которые можно было бы применять для пропаганды мерзлотных исследований и профильного образования. Выпуск корпоративного издания, рассчитанного и на внутреннюю, и на внешнюю аудиторию. Публичные страницы или группы в социальных сетях, блоги выдающихся ученых привлекут молодежную аудиторию, ориентированную на интерактивное общение.

## 2. Медиарилейшнз

Результатом эффективного взаимодействия со СМИ становится позитивное общественное мнение о субъекте, оптимальная информационная среда, эффективное и регулярное паблисити (поддержание внимания). Многие формы взаимодействия со СМИ уже реализуются вузами и НИИ. Институт криологии земли СО РАН организует встречи с журналистами, где ученые рассказывают, над чем работают, демонстрируют чудеса науки. Сотрудники Института дают комментарии для научно-популярных статей. Институт отслеживает публикации о себе в СМИ. Институт мерзлотоведения им П.И. Мельникова СО РАН использовал форму пресс-релиза в интернете при подготовке празднования 10-летнего юбилея журнала.

Для эффективного взаимодействия со СМИ необходимы специалист или служба, ответственные за регулярное информирование СМИ о деятельности субъекта. Формы работы: пресс-релизы и ньюс-релизы, мероприятия для журналистов (пресс-конференции, круглые столы, деловые обеды, дни открытых дверей, пресс-туры и экскурсии, семинары, стажировки, экспедиции), помощь в организации интервью и выступлений выдающихся ученых, помощь журналистам в подготовке научно-популярных текстов (консультирование, предоставление иллюстративных материалов), мониторинг СМИ. Современная практика PR позволяет предложить и другие формы взаимодействия со СМИ: клуб журналистов, пишущих о мерзлоте, конкурс на лучший материал о криологии, информационная поддержка рубрик или передач и др.

## 3. Специальные мероприятия

Они способствуют налаживанию коммуникаций субъекта с целевыми аудиториями и приращению его паблицитного капитала. Поскольку число естественных событий в жизни учреждения ограничено (научное открытие, юбилей, получение награды, профессиональные праздники), проводят специально организованные мероприятия.

В 2010 году Институт мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН праздновал 50-летний юбилей, и вполне эффективно реализовал потенциал естественного события, освещая торжественные мероприятия в прессе. Сотрудники Института не упускают возможности поздравить коллег с юбилеем на сайте и в региональных

СМИ. Надо отметить, что некрологи тоже способствуют тому, чтобы общественность узнавала об институте и его сотрудниках. Кафедра криолитологии и гляциологии географического факультета МГУ праздновала 65-летие со дня основания. Кафедра геокриологии земли геологического факультета МГУ – 40-летие Звенигородской практики.

Специальные мероприятия, традиционно проводимые вузами и НИИ, также способствуют привлечению внимания ученого сообщества и широкой общественности к наукам о криосфере Земли (если они освещаются в СМИ): научно-практические конференции, семинары (в т.ч. видеоконференции и вебинары), научные чтения, симпозиумы, форумы, презентации научных разработок и монографий, конкурсы научных работ, олимпиады.

Мероприятия могут проводиться как для ученых, так и для студентов, школьников. Специализированные кафедры проводят конкурсы на именные стипендии, дни научного творчества студентов, фестивали науки, ярмарки вакансий для выпускников, дни открытых дверей. Геологический факультет МГУ организует для школьников Геологическую школу и группу «Популярная геология». Можно провести конкурс школьных сочинений «Каникулы в Арктике», конкурс среди студентов «Лучший стажер», в котором определять победителя будут работодатели. Формы специальных мероприятий ограничены только фантазией и возможностями организатора: совещания, круглые столы, выставки, ярмарки, постоянно действующие выставки и музеи в рамках вуза (в т.ч. виртуальные), публичные лектории. Например, флеш-моб на День геолога или роад-шоу с презентацией специальностей вуза.

## 4. Спонсоринг и франдрайзинг

Франдрайзинг – поиск и привлечение спонсоров мероприятия – включает в себя следующие виды работ: разработка спонсорского пакета, разработка рекламной и PR-поддержки проекта, оценка заинтересованности представителей бизнеса (потенциальных спонсоров), работа по привлечению спонсоров. Несмотря на то, что 8-9 предложений из 10 отклоняются, сами мероприятия по сбору денег способствуют тому, что общественность узнает о направлениях деятельности вуза или НИИ.

## Литература

- Кривоносов А.Д., Филатова О.Г., Шишкина М.А. 2011. Основы теории связей с общественностью. – СПб, Питер, 384 с.
- Сергеев А.Г. 2007. Стратегии научной популяризации в России. Здравый смысл. 3 (44). <http://www.atheizmru.ru/humanism/journal/44/sergeyev.htm>

## Строение плейстоцен-голоценовых отложений IV Казанцевской озерно-аллювиальной террасы, Надым-Пуровское междуречье

Д.С. Манджиев, А.Г. Матюхин

Кафедра криолитологии и гляциологии, Географической факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

### Введение

Приведено описание искусственного обнажения плейстоцен-голоценовых отложений в районе Нового Уренгоя, Север Западной Сибири. Вычленены основные литогенетические пакки, соответствующие основным событиям в позднечетвертичное время. Особое внимание уделено широко представленным в обнажении псевдоморфозам/

В предлах Надым-Пуровского междуречья на водораздельных поверхностях широко развит озерно-хасырейный тип местности, а также древние полигональные системы с мощными псевдоморфозами по повторно-жильным льдам. В истории развития многолетнемерзлых толщ Западной Сибири выделяются 4 основных этапа [Баулин и др., 1989]:

- 1) до окончания казанцевского(микулинского) термохрона;
- 2) начиная с зырянского времени и до начала голоцена;
- 3) голоценовый оптимум;
- 4) от конца голоценового оптимума до современного времени.

На 1-ом этапе на территории Западной Сибири было похолодание. На 2-ом этапе выделяются две крупных эпохи похолодания и нечетко выраженная эпоха потепления. На 3-ем этапе был климатический оптимум голоцена. 4-ый этап развития многолетнемерзлых толщ - от конца голоценового оптимума до современного времени.

### Методика исследования

В ходе полевых работ в 2007-2009 гг. было выполнено описание искусственного обнажения, простирающегося с востока на запад на 14,5 метров. Мощность обнажения достигает 7 м. Описание производилось по 2 профилям, что позволило получить более полную картину о строении вскрываемых отложений. Обнажение было описано под руководством кандидата географических наук А.Н. Курчатовой.

### Результаты и дискуссия

Во время полевых исследований были изучены верхнеплейстоценовые и голоценовые отложения в обнажении карьера по правому борту долины реки Седяха в 10 км к северо-востоку от жилого комплекса газового промысла «Юбилейное» (40 км западнее г. Новый Уренгой). Карьер расположен на IV Казанцевской озерно-аллювиальной террасе [Горальчук и др., 1989]; здесь отмечены древние полигонально-жильные структуры позднплейстоценового возраста, имеющих заметное отражение в рельефе местности. Это, в основном, четко выраженные четырехгранные приподнятые полигоны,

имеющие между собой одинаковую ориентацию. По простиранию с востока на запад на расстоянии 150 м находясь 7 псевдоморфоз по повторно-жильным льдам. Псевдоморфозы расположены с интервалом в 6-8 м, размеры полигонов достигают 10-12 м. По простиранию с юга на север на 130 м также находится 7 псевдоморфоз, расположенных с интервалом в 5-7 м.

В центральной части обнажения на удалении 7 м от западного края была сделана точка и произведено описание (рис.1). Обнажение вскрыло 5 основных литогенетических комплексов (снизу вверх):

1. Мощная пакка слоистых криотурбированных аллювиальных песков казанцевского возраста;
2. Переслаивание тонкозернистых песков, супесей и суглинков с отчетливой слоистой текстурой;
3. Покровные суглинки;
4. Оподзоленные пески;
5. Торф и биогенные отложения сверху.

Глубина вскрытых и описанных отложений составила 6,2 м. До глубины 6 м находился светло-серый песок с сизоватым оттенком, плотный, относительно влажный. Следующий горизонт располагался с 6 до 3,7 м и состоял из светло-серого песка, местами рыжеватого оттенка, за счёт рыжеватых субгоризонтальных полос (от 2-3 мм до 1,5-2 см). К верхней части горизонта ожелезнение увеличивалось. Местами ожелезненные слои подчёркивались криотурбацией. Кроме того, встречались отдельные прослои типичной русловой фации аллювия – крупнозернистого хорошо промытого песка с незначительными включениями гравия. На глубине 4,4-4,3 м прослеживался сильно ожелезненный горизонт, который на удалении 2-3 см от оси псевдоморфозы выклинивался, что свидетельствует о связи горизонта с жильной структурой.



Рис.1. Центральная часть обнажения.

С глубины 3,7 до 2,6 м начинался горизонт мелкозернистого светло-жёлтого песка, в некоторых местах доходящего до белёсого цвета. Слоистость, подчёркиваемая цветом, менялась в зависимости от степени ожелезнённости: от тёмно-охристого до белого цвета. Это - Казанцевские пески. Начиная с глубины 3,1 м и до конца горизонта, наблюдалось заметное изменение в субгоризонтальном простираии слоёв: наклоны, которые увеличивались от 1-2° до 30-40° кверху горизонта. Этот изгиб обусловлен процессами морозобойного растрескивания. Происходило смятие и изгибание слоистых песков в верхней части горизонта. Фактически, это – структура, облегающая в данное время тело псевдоморфозы.

На глубине 2,6 - 1,3 м следовал горизонт перемешивания песков разной зернистости и суглинистого материала. Следующий горизонт находился на 1,3 – 0,2 м и состоял из светло-сизого песка. Он заполнял псевдоморфозу по повторно-жильным льдам более молодой генерации. Далее и до поверхности, следовал торф и биогенные отложения.

На удалении 2,5 м от восточного края обнажения была сделана вторая точка и произведено описание. Глубина в этом месте составила 4,1 м. До 2,3 м шёл песок от светло-серого до белого цвета, в котором встречались горизонты ожелезнения, мощностью до 3 см и имеющих косослоистое падение. Возможно, это более молодая генерация жильных структур, приуроченная своим образованием к более холодному Сартанскому криохрону, когда в результате увеличения амплитуды температур произошло уменьшение расстояния между жилами и, соответственно, их образование. Этот песок есть продолжение горизонта казанцевских песков, встреченного в предыдущей точке на глубине 3,7 – 2,6 м.

С глубины 2,3 м и до 0,55 м шло чередование тонко-мелкозернистых песков, супесей и суглинистых горизонтов, образовавшихся в условиях поймы, при откладывании более тонких суглинистых разностей. К ним были приурочены лимонитовые и марганцевые конкреции. Границы слоёв волнистые и хорошо выдержанные. Следующий горизонт находился на глубине 0,5 – 0,2 м и был представлен опесчаненным суглинком с отдельными включениями железистых конкреций. Это – покровные суглинки, образовавшиеся в результате сильного криогенного выветривания в Зырянско-Сартанском криохроне. В данном слое наблюдались многочисленные криотурбации, фиксируемые более сложными формами образований и в верхней части заполненные торфяно-гумусовым материалом. Далее и до конца, следовал торф и биогенные образования.

Жильная клиновидная структура представляет собой псевдоморфозу по повторно-жильным льдам, образовавшаяся в Зырянско-Сартанское время. Глубина вскрытой части – 3,4 м. Ниже шёл слоистый песчаный горизонт казанцевского времени образования.

Максимальная ширина на глубине 0,5 м составила 4,5 м. Формировалась в три этапа:

1. Жильная структура образовалась, вероятно, в зырянский криохрон, когда происходило увеличение её мощности. Далее, в относительно тёплый каргинский термохрон, началось частичное оттаивание жилы сверху и заполнение грунтовым материалом.

2. Очередное увеличение мощности жилы произошло в более холодный Сартанский криохрон. В этот период были наиболее суровые климатические условия. Амплитуды температур увеличились, что спровоцировало уменьшение расстояния между жилами и образование новых жильных структур на полигонах. Подтверждением этого может служить псевдоморфоза по повторно-жильным льдам, находившаяся в восточной части обнажения и имевшая заметное изменение в субгоризонтальном простираии слоёв: наклоны, которые увеличивались от 1°-2° до 35°-30° кверху горизонта

В голоценовое время, вероятно, произошло полное протаивание и формирование псевдоморфоз. В поздний голоцен произошло повторное промерзание отложений, заполнивших жильные структуры, свидетельство этому – посткриогенные текстуры суглинка, заполнившего псевдоморфозы (ржаво-охристые сетчатые текстуры).

## Выводы

Проведя описание и анализ 3 точек, мы можем говорить о 3 генерациях повторно-жильных льдов: самые большие жильные структуры, образовавшиеся в Зырянский криохрон; чуть более мелкие и более молодые - сартанские жильные структуры и, наконец, самые молодые – позднеголоценовые жильные структуры/

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Ведущие научные школы РФ», НШ – 32.71.2010.5 и компании «КонакоФиллипс Россия Инк».

## Литература

- Баулин В.В., Васильчук Ю.К., Трофимов В.Т., Чеховский А.Л., Историко-геологические закономерности формирования геокриологических условий // В кн. Геокриология СССР / Под ред. Трофимова В.Т., Гречищева С.Е., Баулина В.В. – М.: Изд-во «Недра», 1989.- С. 20-38.
- Горальчук М.Н., Чекрыгина С.Н., Адрианов В.Н., Крицук Л.Н., Надым-Пуровская область // В кн. Геокриология СССР /Под ред. Трофимова В.Т., Гречищева С.Е., Баулина В.В. – М.: Недра, 1989.- С. 292-295.

## Полигон для испытания свай в сезонно-мерзлых грунтах

К.П. Мандровский, Н.К. Тагиева, И.К. Растегаев

Кафедра Дорожно-строительные машины, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук (ИМЗ СО РАН) совместно с Московским автомобильно-дорожным государственным техническим университетом (МАДИ) проводит испытания свай с конструкцией адаптирующегося типа, позволяющей стабилизировать несущую способность при изменении температурного режима грунтов.

Представляет собой систему скважин, пробуренных по схеме, представленной на рисунке 1. Центральная скважина предназначена для измерений температуры. Предполагается, что значение температуры одинаково для всех скважин полигона. Для обеспечения этого предположения выбрано круговое расположение скважин, а расстояние между ними сделано минимально возможным. Для создания вдавливающей нагрузки используются грузы, размер которых ограничивает расстояние между соседними скважинами.

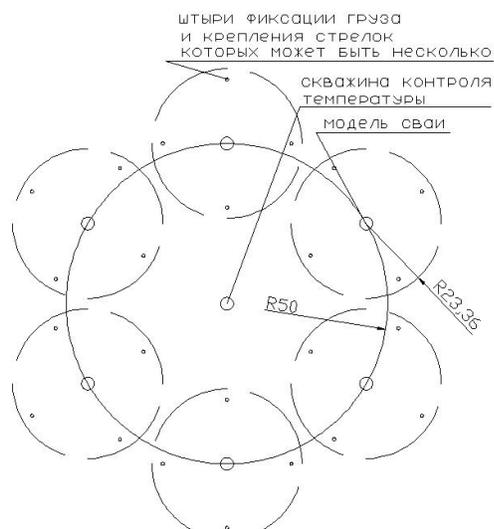


Рис.1. Схема расположения скважин

На рисунке 2 представлена фотография пробуренных скважин. Скважины пробурены в талом грунте, устья закрыты заглушками с целью изоляции от попадания влаги в период положительных температур.

Для обеспечения удобства доступа и предохранения от засыпания снегом предусмотрен откидной купол, который хорошо видно на рисунке 3.

Контроль температуры осуществляется при помощи устройства с датчиком, внешний вид которого представлен на рисунке 4.

Датчик реагирует на изменение температуры соответствующей величиной аналогового сигнала, в результате в течение 3 минут устройство определяет температуру в зоне расположения датчика. Для объективной оценки температуры по глубине необходимо

производить замеры минимум на трёх высотных отметках – внизу, посередине и наверху скважины.



Рис.2. Скважины



Рис.3. Полигон в закрытом состоянии



Рис.4. Устройство для измерения температуры

Контроль вертикального смещения (осадки) свай осуществляется с помощью индикатора часового типа.

Скважины имеют диаметр 4 см и глубину 100 см, при использовании масштабного коэффициента 1/20 это означает, что моделируется свая диаметром 80 см и длиной 20 м.

В результате создан полигон, имеющий наименьшие размеры из возможных, позволяющий без больших экономических и трудовых затрат оценить несущую способность уменьшенных моделей свай произвольной конструкции в сезонно-мёрзлых грунтах.

## Использование имитационного моделирования процесса расхода топлива при движении автомобиля в условиях низких температур

С.А. Маняшин, А.В. Маняшин  
Кафедра ЭАТ, ТюмГНГУ, г. Тюмень, Россия

Базовые нормы расхода топлива, используемые на автомобильном транспорте, предусматривают корректировку в зависимости от обозначенного в этом документе ряда факторов, к числу таких относятся и природно-климатические условия. Главной характеристикой природно-климатических условий является температура окружающей среды. Однако действующая методика предлагает лишь предельные значения надбавок, в зависимости от региона эксплуатации, для Тюменской области установлено значение надбавки к базовой норме в 15%. Между тем среднегодовой уровень температуры зимнего периода подвержен значительным колебаниям, еще большие отклонения от средних значений наблюдаются в течение самого зимнего периода см. рис. 1.

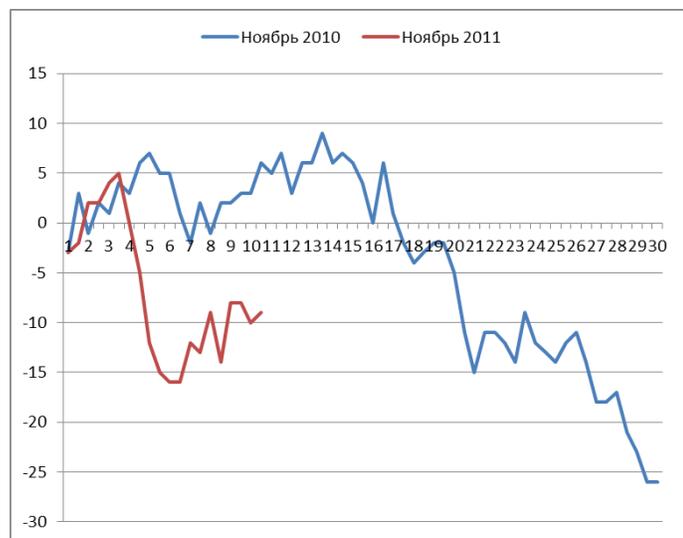


Рис. 1. Ход температур ноября за последние два года по г. Тюмени.

Использование предельных зимних надбавок, как правило, не соответствует реальной потребности в топливе и ведет к его перерасходу. Наиболее эффективно с целью экономии топлива и уменьшения вредных выбросов

ежедневное корректирование линейных норм расхода топлива.

Такое корректирование требует наличия математических моделей зависимости расхода топлива автомобилем от температуры воздуха.

Для определения величины нормы с учетом низкой температуры предлагается использовать имитационную модель расхода топлива автомобилем по типичному циклу движения.

Экспериментально подтвержден одинаковый вид закономерностей влияния температуры окружающего воздуха на параметры и показатели работы двигателя автомобиля и путевого расхода топлива, для случая ДВС с распределенным впрыском. Для того чтобы использовать математические модели описывающие эти закономерности для конкретных марок и моделей автомобилей, необходимо определить численные значения их параметров в ходе эксперимента для данной марки и модели автомобиля. Этот эксперимент полностью автоматизирован, данные снимаются с диагностического разъема автомобиля с помощью Bluetooth адаптера Check-Engine.

Имитационная модель построена на базе программы «Stamm» (рис.2), ее возможности позволяют без использования программирования получать новые модели для различных марок и моделей автомобилей путем простого копирования и редактирования уже реализованных.

С помощью такого подхода получены имитационные модели для ряда марок и моделей автомобилей, оснащенных двигателем с распределенным впрыском – Форд Фокус, Тойота РАВ4, Тойота Корола, Ниссан Теана. Полученные модели используются как для имитации расхода топлива при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур, так и определения времени прогрева двигателей автомобилей при различных внешних условиях. Результаты имитации использованы для разработки дифференцированных в зависимости от температуры воздуха и условий эксплуатации и хранения автомобилей норм расхода топлива, которые можно использовать для ежедневного использования (см. табл. 1).

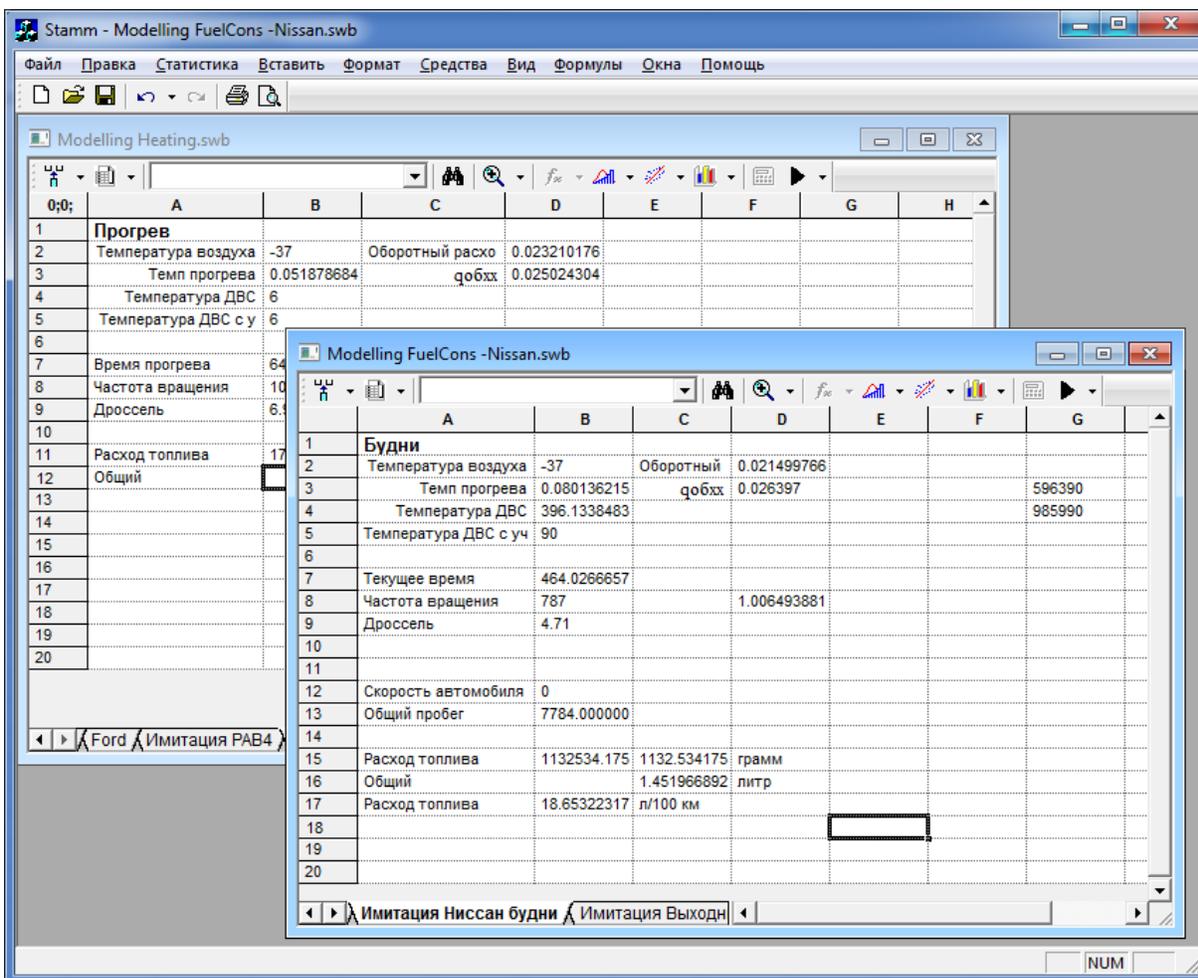


Рис.2. Имитационная модель процесса расхода топлива при прогреве работающим двигателем и движении автомобиля. Система «Stamm»

Таблица 1. Дифференцированные нормы расхода топлива для автомобиля «Ниссан Теана», в зависимости от температуры воздуха и длительности стоянки с неработающим ДВС (для города Тюмень).

Время стоянки, мин	Интервал температур, °С									
	0...-5	-5...-10	-10...-15	-15...-20	-20...-25	-25...-30	-30...-35	-35...-40	-40...-40	Ниже -45
0	14.93	15.09	15.25	15.41	15.57	15.73	15.89	16.05	16.20	16.36
15	14.94	15.12	15.31	15.50	15.70	15.91	16.13	16.36	16.60	16.84
30	15.00	15.19	15.39	15.60	15.82	16.05	16.28	16.52	18.00	17.03
60	15.14	15.35	15.58	15.81	16.35	16.60	17.32	18.18	19.20	18.32
90	15.26	15.49	15.73	16.27	16.87	17.54	18.30	19.19	20.24	20.49
120	15.36	15.72	16.23	16.78	17.41	18.10	18.88	19.71	20.86	22.20
150	15.44	16.05	16.58	17.15	17.78	18.49	19.29	20.00	21.28	22.64
180	15.83	16.32	16.86	17.44	18.08	18.80	19.61	20.53	21.63	22.99
210	16.04	16.53	17.07	17.67	18.32	19.04	19.86	20.79	21.90	23.26
240	16.23	16.74	17.29	17.89	18.55	19.28	20.10	21.04	22.15	23.53

## Влияние техногенных факторов на гидрогеологическое поле севера Западной Сибири

В.М. Матусевич, Т.В. Семенова

*Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия*

За прошедшие полвека из недр Западной Сибири добыто свыше 10 млрд. тонн нефти и 11 триллионов кубометров газа, пробурены сотни тысяч поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин, построены десятки новых городов, сотни нефтепромысловых поселков, тысячи километров различных трубопроводов.

Отъем из геофлюидальных систем (ГФС) Западно-Сибирского мегабассейна (ЗСМБ) огромного количества природных углеводородов потребовал восстановления падающих пластовых давлений и закачки в продуктивные пласты еще больших объемов «чуждых вод» (апт-альб-сеноманского, олигоцен-четвертичного комплексов и поверхностных вод) [Матусевич и др. 2005]. Естественно, полностью восстановить природные пластовые давления в недрах не удалось и не удастся. Происходит непоправимое оседание земной поверхности, что подтверждается как инструментальными замерами, так и при дешифрировании аэрокосмических материалов (увеличение заболоченных территорий).

К этому следует добавить все нарастающий процесс деградации многолетней мерзлоты. По данным нефтяных компаний за последние полвека интенсивной разработки месторождений углеводородного сырья граница сплошной мерзлоты продвинулась в северном и северо-восточном направлениях более чем на сто километров. Данное обстоятельство представляет собой дополнительный допинг в резком ухудшении экологических условий, приобретающих уже геологические масштабы, которые в значительной степени нарушают естественный ход процессов массопереноса вещества и энергий в недрах бассейна, вплоть до его поверхности.

По В.И.Вернадскому планетарный перенос вещества и энергий осуществляется путем функционирования компонентов равновесной системы: твердое тело ↔ вода ↔ газы ↔ органическое (живое и fossilized) вещество. Эта система проявляется в категориях *естественных* физических полей. К ним относятся гравитационное, геотемпературное, геогидродинамическое, электрическое, магнитное и концентрационное поля. Особенностью всех естественных физических полей является их автономность и характерный, присущий для данного поля параметр (температура, гидростатическое и геостатическое давление, концентрация вещества и т.д.). С другой стороны, опыт интенсивного освоения земных недр за последние полвека показал, что его последствия привели к техногенной трансформации естественных полей, выразившейся в формировании нового - *техногенного* поля. Его отличительной чертой от перечисленных выше естественных физических полей являются гетерогенность и полиморфность. Это значит, что техногенное поле

включает в себя все признаки существующих физических полей в зависимости от способов воздействия человека на недра и, соответственно, на трансформацию естественных полей.

Из достаточно изученных физических полей в аспекте данной конференции можно говорить о наиболее ощутимом воздействии техногенного поля на трансформацию геотемпературного, гравитационного и связанного с ними гидрогеодинамического, а также концентрационного полей.

Геотемпературное поле трансформируется, с одной стороны, путем охлаждения недр за счет привноса всевозможных промывочных растворов при бурении нефтяных скважин, а также закачки воды, имеющей более низкую температуру: а с другой, наоборот, повышения температуры приповерхностных горизонтов при «работе» нагретых глубинными флюидами (нефть, газ, пластовая вода) скважин и различных трубопроводов. Последнее обстоятельство приводит, кроме прочих негативных последствий и к усилению процессов деградации мерзлоты.

Гидрогеодинамическое поле, как поле геофильтрации геофлюидальных систем (ГФС), тесно связано с гравитационным полем и представлено в ЗСМБ изученными нами ранее водонапорными системами (ВНС) [Матусевич и др. 1986, Карцев и др. 1986] определяется параметрами фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пород (пористость, проницаемость, водопроводимость). Здесь техногенная трансформация в большинстве случаев связана с процессами снижения упругости продуктивных и водоносных пластов, происходящих за счет неправильных подходов к разработке и эксплуатации месторождений углеводородов (увеличение флюидоотборов при фонтанном режиме эксплуатации - 1 этап эксплуатации). На характер поля, кроме фильтрационных процессов, большое влияние оказывают капиллярные давления, развивающиеся в продуктивных пластах при техногенном воздействии (системы ППД, захоронение промышленных сточных вод и др.), которые определяются, главным образом, особенностями литологии осадочных пород ЗСМБ. Наличие полимиктовых (кварцево-полевошпатовых с глинистым материалом, а не чисто кварцевых) коллекторов делят последние на две основные группы – гидрофильные и гидрофобные. Гидрофильность и гидрофобность поверхности поровых каналов определяют знаки капиллярных давлений в контактирующих водной и углеводородной фазах. Если порода гидрофильна, то капиллярное давление положительное, а в гидрофобной породе оно отрицательное. Существенное влияние характер смачиваемости оказывает на электрические свойства поровой среды (электрическое естественное

поле), так как смачиваемость коллектора контролирует распределение в нем пластовой воды и углеводородов, обладающих резко различной электропроводностью. В гидрофильной породе для нефти энергетически выгоднее занимать относительно крупные поры, а для воды - мелкие. Противоположная картина наблюдается в гидрофобных коллекторах, когда нагнетаемая вода отторгается поверхностными силами твердой фазы и фильтруется под воздействием гидравлических сил только через наиболее крупные поровые каналы и трещины, увлекая за собой случайные объемы нефти. При этом она разрушает монолитность залежи, прорываясь через фронт вытеснения «кинжальным» образом. Именно так происходит обводнение многих крупных нефтяных месторождений Западной Сибири (Самотлорское, Федоровское и другие) и резкое снижение нефтеотдачи продуктивных пластов.

Концентрационное естественное поле является отражением геологически длительных процессов литогенеза, нашедших свое выражение как в формировании гидрогеохимической зональности по минерализации и ионно-солевому составу (классической для инфильтрационных и инверсионной для элизионных ВНС); а по микроэлементам и воднорастворенному органическому веществу – в отражении стадийности нефтегазообразования [Вассоевич 1968]. Последнее обстоятельство знаменательно тем, что главная стадия нефтеобразования (ГСН) характеризуется максимальными концентрациями микроэлементов-органов (никель, кобальт, ванадий, германий и др.) и воднорастворенных органических микрокомпонентов (органические кислоты, бензол, толуол, фенолы и др.). Повышенные концентрации перечисленных компонентов обнаруживают четкую связь с интервалами инверсионной гидрогеохимической зональности. Это, что касается естественного концентрационного поля. Трансформация данного поля под воздействием техногенеза выражается, прежде всего, в загрязнении интервалов гидрогеологического разреза, происходящем в результате бурения, работы систем ППД и захоронения промышленных сточных вод. Техногенное поле здесь также влияет, кроме концентрационного, а

точнее, через него и на геогидродинамическое поле путем кольматации пород-коллекторов при взаимодействии «чуждых вод» с пластовыми, приводит к ухудшению параметров их фильтрационно-емкостных свойств.

Возникает вопрос о глубине проникновения техногенного поля в геологическую среду. Средняя глубина буровых скважин в ЗСМБ составляет 2500-3000 м. Однако в последние годы происходит неуклонное увеличение их глубины. В настоящее время скважин, переваливших за четырехкилометровую глубину, насчитывается 211, в том числе 165 - в Ямало-Ненецком и 19 - в Ханты-Мансийском автономных округах. В ближайшие годы количество таких скважин будет возрастать, а, значит, воздействие техногенного поля на трансформацию естественных полей усилится, что вызовет изменение геологической среды, последствия которого непредсказуемы и, скорее всего, ничего хорошего не сулят, если не предпринимать новых технологических подходов к освоению Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна.

## Литература

- Вассоевич Н.Б. 1968. Генетическая природа нефти в свете данных органической геохимии. – М.: Наука, с.25-53.
- Карцев А.А., Вагин С.Б., Матусевич В.М. 1986. Гидрогеология нефтегазоносных бассейнов. – М.: Недра, 220 с.
- Матусевич В.М., Бакуев О.В. 1986. Геодинамика водонапорных систем Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. // Советская геология, № 2, с.117-122.
- Матусевич В.М. Рыльков А.В., Ушатинский И.Н. 2005. Геофлюидальные системы и проблемы нефтегазоносности Западно-Сибирского мегабассейна. – Тюмень, Изд-во ТюмГНГУ, 224 с.

## **Тенденции изменения состояния земляного полотна на основе результатов мониторинга железнодорожной линии Обская – Бованенково**

И.Г.Мацкепладзе, Г.И.Нак  
*ОАО «Ямалтрансстрой», г. Лабытнанги, Россия*  
Т.В.Шепитько, А.М.Черкасов  
*МИИТ*

Многолетние наблюдения состояния земляного полотна железнодорожной линии Обская – Бованенково позволяют прогнозировать его состояние, а также – объемы работ по текущему содержанию в процессе эксплуатации.

С этой целью ОАО «Ямалтрансстрой» и МИИТ в течение 2008-2011 гг. на экспериментальном участке разезд Хралов – станция Сохонто выполняют режимные регулярные наблюдения с измерением температуры грунтов, геометрических характеристик земляного полотна. В результате проведенных работ

получены графики изменения температур грунта на разной глубине по высоте насыпи, которые обработаны и проанализированы с использованием ранее разработанной в МИИТе интеллектуальной системы мониторинга земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах. На основе полученных результатов даны рекомендации по обеспечению безопасной эксплуатации земляного полотна в криолитозоне с использованием базы данных, обрабатываемых с использованием системы искусственного интеллекта, являющейся составной частью системы мониторинга.

## Полевые исследования криогенных процессов в Норильском регионе

П.Э. Мельник, А.А. Маслаков

Кафедра криолитологии и гляциологии, Географической факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

### Введение

Криогенные процессы весьма широко распространены в районах Игарки и Норильска. В первую очередь, это - процессы термокарста и пучения, которые оказывают максимальное воздействие на устойчивость зданий и сооружений, а также объектов инфраструктуры.

### Методика исследования

Исследования представляли собой полевые маршруты, в ходе которых описывались криогенные процессы, проводились линейные замеры образованных ими форм рельефа, оценивалось влияние на инженерно-геокриологическую обстановку, также измерялся слой сезонного протаивания в зоне действия процессов мерзлотным шупом, проводилось профилирование этих зон, термометрические работы при помощи термометров и логгеров.

### Результаты и дискуссия

В основном криогенные процессы в зоне хозяйственного освоения территорий проявляются в виде просадок зданий, выпучении свай, столбов. На рис. 1. высота сваи на момент её забуривания (1989 г.) составляла всего около 2,5 м. Это хорошо отражает скорость протекания такого процесса. Другой опасный криогенный процесс – термокарст - широко распространён и в пригородах – на месте бывших лагерных огородов г. Норильска. При рыхлении верхних слоёв почвы нарушается теплообмен с атмосферой – усиливается приток влаги и тепла в СТС. В результате, происходило разрастание термокарстовых озёр и, в конечном счёте, многие огороды были ликвидированы. Развитию термокарста способствовала высокая природная льдистость грунтов, характерная для центральной части долины р. Норильская. Термокарст проявляется также и в придорожных зонах. Из-за неправильного дренажа (а зачастую и из-за его отсутствия), атмосферная и талая вода застаивалась близ авто- и железнодорожных насыпей и способствовала протаиванию мерзлоты под собой. Следует отметить, что при устройстве полотна под дороги практически не учитываются каналы подземной фильтрации воды в пределах сезонно-талого слоя.

В природе термокарст и пучение встречается довольно часто и не является показателем какой-либо нарушенности ПТК [Общее мерзловедение, 1978]. В Норильском регионе термокарст представлен небольшими, часто спускаемыми озерцами и блюдцеобразными хасыреями. Пучение представлено в основном буграми пучениями, высотой до 2-3 м и полигональными распученными торфяниками.

Важным криогенным процессом на территории Средней Сибири является термоэрозия. Она наблюдается, как правило, на льдистых берегах рек и водоёмов. Этот процесс весьма важен при строительстве береговых сооружений, так как их существование определяется присутствием и активностью термоэрозии [Общее мерзловедение, 1978].

Ещё одним характерным криогенным процессом в тундровой области является образование пятен-медальонов, которое происходит в результате морозной дифференциации фракций грунта.

В результате экспедиции в низовья р. Енисея авторами были исследованы ведущие криогенные процессы, обуславливающие динамику природных систем в этом регионе и влияющие на геотехническую стабильность.



Рис.1. Сваи, выпученные за счет морозного пучения в деятельном слое при отсутствии нагрузки. Оганер (пригород Норильска), июль 2010 г.

Пятна-медальоны были описаны на площадке CALM №32 вблизи Талнаха. Примечательно, что помимо новых, зарождающихся пятен, наблюдались также и старые, зарастающие растительностью, что говорит о весьма значительном времени их существования на этой территории [Zepalov et al., 2008]. Также следует упомянуть об образовании полигонов на тундровых участках. Это происходит в результате того, что верхняя часть почвы после начала сезона промерзания становится твёрдым мёрзлым телом и при существующем температурном градиенте оно растрескивается. С течением времени

трещины растут, и образуется полигонально-жильный рельеф [Мудров, 2007].

Одним из наиболее опасных (с точки зрения инженерной геокриологии) процессов является криогенное выветривание твёрдых предметов (например: камень, железобетон сваи или асфальто-бетонные покрытия дорог). Этот процесс представляет собой чередование замерзания и оттаивания воды в микротрещинах материала, которые сопровождаются увеличением или уменьшением её объёма. В результате трещины увеличиваются в числе и размерах, происходит уменьшение прочностных свойств материала. Детальное обследование надземных частей (в подпольях трёх 9-ти этажных жилых домов на северо-западной окраине г. Норильска) около 200 свай со сроком эксплуатации 25 – 30 лет выявило практически 100-% поражение т.н. «морозной деструкцией» (криогенное выветривание материала): наблюдаются трещины и микротрещины в защитном бетонном слое, многочисленные каверны, разрушение защитного бетонного слоя до арматуры и ее коррозия.

### **Выводы**

Криогенные процессы в Норильском районе многочисленны и активны, являются рельефообразующими; они влияют также на биоту,

почвообразование, аккумуляцию или денудацию отложений и на устойчивость различных инженерных сооружений.

### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Ведущие научные школы РФ», НШ – 32.71.2010.5 и компании «КонакоФиллипс Россия Инк».

### **Литература**

- Мудров Ю. В., Мерзлотные явления в криолитозоне равнин и гор. Основные понятия и определения. Иллюстрированный энциклопедический справочник. – М.: Научный мир, 2007 г.
- Общее мерзлотоведение, изд. 2, переработанное и дополненное. Учебник // под ред. В. А. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 1978г.
- Zepalov F.N., Grebenets V.I., Streletsky D.A. and Shiklomanov N.I. Active layer monitoring at a new CALM site, TaimyrPeninsula, Russia, Ninth International Conference on Permafrost, Volume 2, 2008, p 2037 – 2042.

## О необходимости разработки критериев учета интенсивности выветривания грунтов во времени при строительстве линейных сооружений (на примере Амуро-Якутской железнодорожной магистрали)

А.Е. Мельников, С.С. Павлов

ТИ (ф) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Россия, г. Нерюнгри

### Аннотация

Отражена проблема разрушения грунтов, слагающих железнодорожную насыпь, под воздействием криогенного выветривания на примере Амуро-Якутской железнодорожной магистрали, необходимость изменения нормативной базы в области строительства линейных сооружений в сложных природно-климатических условиях.

**Ключевые Слова:** железнодорожный транспорт, криогенное выветривание, районирование, нормы, надежность

Задача обеспечения прочности и устойчивости земляного полотна железных дорог в Якутии сегодня, как никогда, имеет огромное значение. В частности, завершение строительства, ввод в строй железнодорожной линии Беркамит-Якутск (рис.1), позволит ускорить реализацию программ освоения и развития Востока страны, освоение месторождений, поступление средств в бюджеты всех уровней от реализации конечного продукта этих проектов и, самое главное, обеспечит повышение качества жизни населения.

северных железных дорог и автомобильных коридоров, сооружение транспортных подходов к крупным месторождениям природных ресурсов Сибири осуществляется в экстремальных климатических условиях [Белозеров 1998, Кондратьев и др. 1997].

Наиболее эффективным методом изучения и оценки природно-географических и природно-климатических условий для дорожного строительства, обеспечивающим повышение надежности проектирования, строительства и эксплуатации дорог является дорожное районирование. Но, при этом предусмотренная нормами схема дорожного районирования территории России не учитывает региональные особенности отдельных территорий, к числу которых относится и республика Саха (Якутия). Практика и опыт эксплуатации построенных дорог свидетельствует о том, что объединенные в границах существующих зон территории неоднородны, а рекомендуемые в целом для зоны нормативы проектирования не всегда обеспечивают надежность работы дорожных конструкций и транспортных сооружений.

Так, значительная роль в разрушении горных пород в Якутии, используемые в качестве строительного материала, как и во всех регионах с суровым климатом, принадлежит процессам криогенного выветривания [Виркин 1983, Забелин, Павлов 2000]. Тем не менее, до сих пор нормами и правилами строительства линейных сооружений не отражены количественные критерии учета интенсивности выветривания горных пород во времени. Отсюда - несоответствие требований к грунтам для отсыпки полотна железной дороги и методов определения их физико-механических свойств, сроков эксплуатации протяженных сооружений.

Таким образом, высокий уровень генерализации территорий, в пределах выделенных дорожно-климатических зон, определяет необходимость нового подхода к детализации существующей схемы дорожно-климатического районирования.

Новые принципы переработки существующей и формирование новой нормативной базы может быть оптимальным вариантом обеспечения эффективной работы железнодорожного транспорта, а также снижения затрат на ремонт и содержание существующей сети дорог, особенно в сложных природно-климатических условиях Якутии.

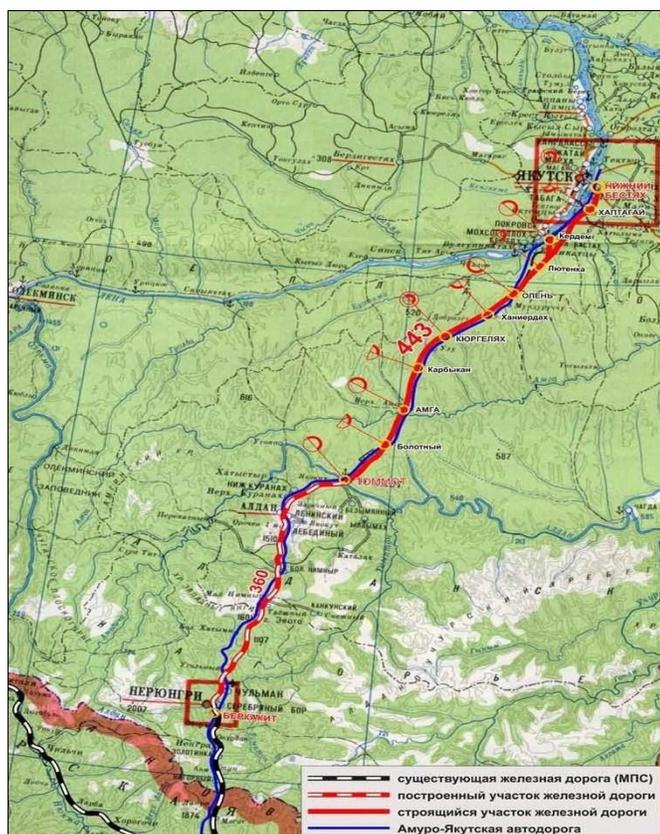


Рис.1. Схема прохождения железнодорожной линии Беркамит-Томмот-Кердем.

Однако, строительство линии железной дороги до Якутска и ее дальнейшее продолжение на Магадан,

Исходя из вышесказанного, согласно проведенным авторами в 2010-2012 гг. рекогносцировочных и инженерно-геологических исследованиям в полосе строительства АЯМа на участке железной дороги Томмот-Кердем, отмечается ряд особенностей, характеризующих надежность устойчивости железнодорожного пути:

1. Поскольку при строительстве столь масштабного объекта как АЯМ не маловажную роль играет финансовый аспект (надо отметить, что в общей сложности за время строительства активные работы приостанавливались из-за недофинансирования 20 раз), одним из доминирующих факторов при выборе грунтов для отсыпки полотна является дальность возки строительного материала, обычно не превышающая 15 км. Таким образом, практически вне зависимости от геокриологических условий строительства того или иного участка железнодорожной линии для отсыпки железнодорожного полотна используется узкий спектр природного камня в качестве строительного материала – это местные грунты, целесообразность использования которых, в виду слабой устойчивости к процессам криогенного выветривания, на некоторых участках линии Томмот-Кердем ставится под сомнение [*Тектоника, геодинамика... 2001, Геология Якутской АССР 1981*].

2. Степень разрушенности применяемого одного и того же типа горной породы в качестве строительного материала существенно различалась уже через первые десятки километров. Большинство наблюдавшихся последствий негативного влияния выветривания на устойчивость железнодорожной насыпи приурочены главным образом к участкам пути проходящие в пределах долин рек и ручье, и их «частота» увеличивалась с продвижением железной дороги на Север.

3. Применяемые на рассматриваемом отрезке железнодорожной линии технические решения из-за недостаточного внимания к процессам криогенного выветривания грунтов, слагающих насыпь, малоэффективны.

Таким образом, решение проблемы разрушения грунтов под воздействием выветривания в суровых климатических условиях Якутии авторами ведется в следующих направлениях:

а) Разработка Методики лабораторных испытаний образцов горных пород по определению их физико-механических свойств с учетом устойчивости к криогенному выветриванию в зависимости от инженерно-геологических, геокриологических и др. условий территории строительства.

Подразумевает следующие новые подходы:

- заключение о соответствии горных пород для использования в качестве строительного материала обязательно должно учитывать механизмы азрального (породы находящиеся в естественных условиях без подтока воды), аквального (породы находящиеся в водонасыщенном состоянии) и невального (занимающие промежуточное положение между аквальными и азральными, характерные условиям у снежников и наледей в весенне-летний период) разрушений грунта. Данные

особенности важны ввиду значительного прохождения линии АЯМа по долинам рек и ручьев.

- обоснованное изменение циклов замораживания-оттаивания по определению морозостойкости грунтов в сторону увеличения. Так, рекомендации ГОСТов по определению морозостойкости после 25 циклов замораживания-оттаивания не соответствуют требованиям к грунтам, применяемым при строительстве железных дорог в условиях резко-континентального климата, так как в Якутии в год поверхность железнодорожной насыпи может испытывать более 75 циклов замораживания-оттаивания.

Тогда, вводится жесткое ограничение по использованию горных пород в качестве строительного камня, тем самым позволяя повысить надежность инженерно-технического сооружения во время его эксплуатации.

б) Составление схемы районирования Амуро-Якутской железнодорожной магистрали по степени устойчивости к процессам криогенного выветривания.

Районирование трассы позволит спрогнозировать опасность возникновения аварийных ситуаций, обусловленных взаимодействием технической системы с криолитозоной.

в) Составление детализированной схемы дорожно-климатического районирования республики Саха (Якутия), учитывающая влияние процессов выветривания на устойчивость линейных сооружений, которая позволит планировать и разрабатывать более рациональные мероприятия по строительству и содержанию железнодорожной системы.

## Литература

- Белозеров А.И. Проблемы и методы достройки железнодорожного участка Томмот-Нижний Бестях Амуро-Якутской магистрали. – Новосибирск: НИИЖТ, 1998.
- Выркин В.Б. Климатические факторы криогенного выветривания горных пород в Сибири и на дальнем Востоке // Гляциология Восточной Сибири.- Иркутск: Изд Ин-та географии СО РАН, 1983.
- Забелин А.В., Павлов С.С. Влияние криогенного выветривания на геотехнические системы Южно-Якутского региона // Горнодобывающая Якутия на рубеже 111-го тысячелетия. Сборник научных трудов. – Якутск: Изд-во Якутского ун-та, 2000.
- Кондратьев В.Г., Позин В.А., Шолин В.В. Об эксплуатационной надежности земляного полотна железнодорожной линии Беркакит - Томмот - Якутск на вечномерзлых грунтах // Трансп. стр-во. - 1997. - № 11.
- Тектоника, геодинамика и металлогения территории республики САХА (Якутия). – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001.
- Геология Якутской АССР / Под ред. Л.И. Красного – М.: Недра, 1981.

## Обеспечение надежности оснований и фундаментов объектов добычи и транспорта газа на севере Западной Сибири в условиях потепления климата и деградации многолетнемерзлых грунтов

С.Н. Меньшиков, А.Б. Осокин, И.С. Морозов  
ООО «Газпром добыча Надым»

Исследования климатологов и геокриологов свидетельствуют о наличии многолетней тенденции повышения среднегодовых температур воздуха и многолетнемерзлых грунтов (ММГ) в пределах большей части территории Российской Федерации. Повышение среднегодовой температуры воздуха за период с 1976 по 2010 гг. в среднем по территории России составила  $0,52^{\circ}\text{C}/10$  лет. Для Западносибирского региона по данным Росгидромета потепление за последние 30-35 оценивается величиной  $0,42^{\circ}\text{C}/10$  лет.

Данные режимных наблюдений немногочисленных мерзлотных стационаров, функционирующих в регионе, подтверждают наличие тренда повышения среднегодовых температур ММГ в среднем  $0,03^{\circ}\text{C}/\text{год}$ .

В 2003-2010 гг. в связи с проектированием обустройства новых месторождений на п-ове Ямал и реконструкции объектов месторождений Надым-Пуровском междуречье, на Бованенковском, Харасавэйском и Медвежьем месторождениях, выполнен большой объем инженерно-геологических изысканий, что позволило сделать оценку современного фона температур ММГ и выполнить сопоставительный анализ с данным о тепловом состоянии мерзлоты в регионе по результатам исследований 1970-1980-х гг.

Результаты анализа, полученные с использованием данных измерений температуры более чем в 1000 скважин, свидетельствуют о том, что за последние 35-40 лет под воздействием потепления климата температурный режим многолетнемерзлых грунтов на Севере Западносибирского региона претерпел существенные изменения. Фоновые значения среднегодовой температуры ММГ повысились на величину от  $1,0$  до  $2,5^{\circ}\text{C}$ , на отдельных участках – до  $4,0^{\circ}\text{C}$ , что вполне закономерно с учетом наблюдаемого тренда повышения среднегодовой температуры воздуха и укладывается в рамки ранее выполненных прогнозов. Наиболее значительное повышение среднегодовых температур ММГ отмечено в пределах п-ова Ямал. В Надым-Пуровском междуречье повышение температур ММГ выражено в меньшей степени.

Имеющиеся данные об изменениях теплового режима ММГ в пределах 10-15-метрового приповерхностного слоя инженерно-геологического разреза, подтверждаются результатами измерения температуры более чем в 70-и скважинах глубиной 50-450 м, пробуренных на территории Бованенковского и Харасавэйского месторождений. Повсеместно в пределах интервала от поверхности до 40-

60 м отмечено либо отсутствие градиента температуры, либо отрицательный градиент температуры пород (рис. 1).

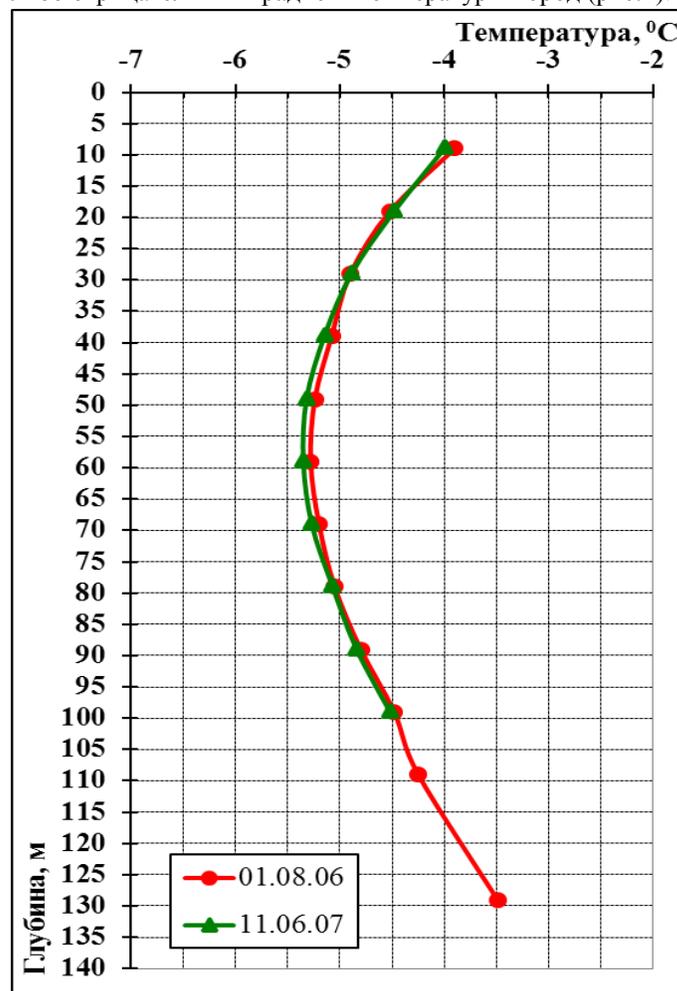


Рис. 1. Бованенковское месторождение. Результаты термокаротажа параметрической мерзлотной скважины 29-П-1 (по материалам ООО НТФ «КРИОС»).

С учетом имеющихся результатов исследований изменения температурного режима ММГ в регионе, прогнозов потепления климата и локальных техногенных воздействий, при проектировании обустройства крупнейшего на п-ове Ямал Бованенковского газоконденсатного месторождения, осуществляется резервирование надежности оснований и фундаментов. В проектных решениях по основаниям и фундаментам заложены резервы, предусматривающие обеспечение несущей способности при повышении среднегодовых температур воздуха в регионе на  $2,0^{\circ}\text{C}$  за период

существования объектов. Достигается резервирование главным образом за счет принудительного охлаждения ММГ с использованием парожидкостных систем термостабилизации. Разработка технических решений по термостабилизации осуществляется с использованием прогнозных теплотехнических расчетов.

### Литература

- Анализ динамики климатических и геокриологических условий Надым-Пур-Тазовского и Ямальского регионов и прогноз их изменения до 2050 года. Отчет Института геоэкологии РАН им. Е.М.Сергеева о НИР по договору № 2007/04/0394. 2008, 150 с.
- Баулин В.В., Данилова И.С., Павлова О.П. Мерзлотная карта Медвежьего газового месторождения. Масштаб 1:100 000. Приложение к отчету по теме 388. ЗапСибНИГНИ п/о «Главтюменьгеология» Министерства геологии РСФСР, 1976.
- Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов. / Под ред. Е.С. Мельникова и С.Е. Гречищева. Колл. авторов. – М.: ГЕОС, 2002, 402 с.
- Геокриологическая карта СССР. Масштаб 1:500 000. Под редакцией Э.Д.Ершова. Кафедра геокриологии МГУ им. М.В. Ломоносова и ПГО «Гидроспецгеология». – М., 1991.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2008 г. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. – М.: Росгидромет, 2009. <http://meteorf.ru>.
- Израэль Ю.А., Анохин Ю.А., Мяч Л.Т., Шерстюков А.Б. Оценка и прогноз возможного изменения климата и состояния вечной мерзлоты на территории Российской Федерации в 21 веке. Криогенные ресурсы полярных регионов: Материалы международной конференции. Т.1. – Салехард, 2007, с. 127-129.
- Павлов А. В., Ананьева Г. В. Современные изменения климата и криолитозоны в нефтегазоносных районах севера России. // Криосфера Земли, 2005, т. IX, № 1, с. 89-95.
- Перльштейн Г.З., Павлов А.В., Буйских А.А. Изменения криолитозоны в условиях современного потепления климата. // Геоэкология (инженерная геология, гидрогеология, геокриология), 2006, № 4, с. 305-312.
- Трофимов В.Т. Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-сибирской плиты. – М.: Изд-во Московского университета, 1977, 278 с.
- Неопубликованные работы:

## Прогноз изменения геокриологических условий участка проектируемой плотины (Западный Ямал)

Т.Е. Миронова, С.Ю. Пармузин

*Кафедра геокриологии, МГУ им.М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

### Введение

Площадка проектируемой плотины водохранилища находится на территории Харасавэйского газоконденсатного месторождения, в семи километрах от вахтового поселка Харасавэй, который расположен на западном побережье полуострова Ямал. Создаваемое водохранилище будет предназначено для водоснабжения Бованенковского и Харасавэйского ГКМ.

### Природные условия

#### *Климат*

Исследуемый район характеризуется довольно суровыми климатическими условиями и чрезвычайно сложными геокриологическими условиями. Анализ метеорологических данных показал, что средняя многолетняя температура воздуха в данном районе составляет  $-9,5^{\circ}\text{C}$ . Минимальная средняя месячная температура воздуха наблюдается в январе-феврале и составляет  $-23...-24^{\circ}\text{C}$ , а максимальная  $+6...+7^{\circ}\text{C}$  характерна для июля-августа.

#### *Геологическое строение*

В геологическом строении площадки изысканий в пределах изученной глубины 15 м участвуют:

- голоценовые отложения аллювиального генезиса (а IV), представленные песками пылеватыми, супесями, суглинками, глинами и ледогрунтами;

- верхнеплейстоценово-голоценовые морские и лагунно-морские отложения (m, Im III-IV), представленные песками мелкими, песками пылеватыми, супесями, суглинками, глинами и ледогрунтами).

#### *Геокриологические условия*

На всех геоморфологических элементах Харасавэйского месторождения многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение с поверхности.

Средняя годовая температура грунтов на глубине нулевых годовых амплитуд в зависимости от ландшафтных условий изменяется от  $-1,1$  до  $-7,1^{\circ}\text{C}$ .

Мощность ММП на рассматриваемой территории составляет 200 м, ниже залегают охлажденные породы, с учетом которых мощность криолитозоны в данном районе составляет 370 м.

Борта долины р. Хар-Де-Яха сложены мерзлыми льдистыми и сильнольдистыми грунтами, вмещающими залежи ледогрунтов (толщиной 0.3-4.4м) и пластовых льдов. Грунты имеют различную по разрезу засоленность, также для данной территории характерно наличие криопэгов [Отчет 2006]. Любые нарушения поверхностных условий (отепляющее влияние водохранилища, термоабразионная переработка береговой линии со стороны верхнего бьефа, нарушение почвенного покрова строительной техникой и т.

п.) могут привести к интенсивному термоденудационному разрушению массива высокольдистых грунтов в основании плотины и на прилегающих участках, которые по интенсивности могут носить катастрофический характер. В таких условиях принятие грамотных проектных решений по безаварийной эксплуатации сооружений невозможно без научно обоснованного геокриологического прогноза.

### Математическое моделирование геокриологической обстановки в теле плотины и грунтах основания.

Математическое моделирование теплового взаимодействия проектируемого водохранилища с многолетнемерзлыми грунтами было выполнено с использованием программы «Тепло» [Емельянов и др. 1994], предназначенной для решения нестационарных нелинейных задач теплопроводности с распределенными теплоисточниками и подвижными фазовыми границами в одно- и двумерных областях, методом конечных разностей с заданием начальных и граничных условий. Начальные условия описывают температурное поле в некоторый момент времени, принимаемый за начало отсчета. Граничные условия описывают теплообмен рассматриваемой системы с внешней средой.

#### *Параметры плотины*

На рассматриваемой территории проектируется земляная плотина, которая будет выполнена из местного песчаного грунта, с противодиффузионной диафрагмой из стального шпунта. Отметка НПУ 7,00 м, отметка гребня 9,50 м. Высота плотины 9,0 м, ширина по гребню 10 м, длина 402,0 м. Вдоль гребня плотины с шагом 2м планируется установка сезонно-охлаждающих устройств для обеспечения прочностных характеристик грунта плотины в летний период.

#### *Назначение граничных условий, состава и теплофизических свойств грунтов*

При выполнении математического моделирования геологический разрез принимался с использованием инженерно-геологических разрезов участка и литературных данных [Баулин и др. 2003].

Среднемесячные значения среднемесячной температуры воздуха, термическое сопротивление снежного покрова, необходимые для расчета, принимались по литературным данным и калибровочным расчетам.

Для исключения влияния боковых и нижней границ области на процессы теплообмена в исследуемой зоне, расчетная область была принята размером 170м по горизонтали и 100м по вертикали, что значительно превышает размеры тела плотины.

Разбивка расчетной области на блоки производилась в соответствии с реальной геометрией и геологическим строением объекта.

На поверхности пород выделялось 8 областей с различными граничными условиями. Это - участок дорожного полотна на поверхности плотины с резко нарушенным снежным покровом (участок 1); субэральные участки дамбы и поверхности пород в нижнем бьефе с нормальным снегонакоплением (участок 2); область смерзания льда с верховым откосом плотины (участки 3,4,5,6), разделена на 4 группы граничных условий в зависимости от приращения мощности льда; дно водоема с постоянным обводнением на глубинах от 2м до 6м (участок 7) и от 6м до 8м (участок 8).

На нижней и боковых границах расчетной области задавался постоянный во времени тепловой поток, равный  $0,02 \text{ Вт/м}^2$  на нижней границе и нулю на боковых границах.

Теплофизические характеристики пород, необходимые для расчета, назначались по нормативным документам [СНиП II. 02. 04 – 88].

### Анализ полученных результатов

Анализ результатов моделирования на 50 лет вперед с момента создания водохранилища показывает, что даже без принятия мер по инженерной защите тело плотины промерзает достаточно быстро. Чрезвычайно важным является тот факт, что плановая граница талика не выходит за урез воды в направлении тела плотины. Таким образом, многолетнее оттаивание не затронет основную часть инженерного сооружения. Наблюдается лишь незначительное повышение температуры пород насыпи под осевой ее частью по мере развития талика, однако температура пород здесь ни в какой момент времени не поднимается выше  $-2^\circ\text{C}$ , что для песчаных пород является гарантией их твердомерзлого состояния. Но следует отметить, что в первые годы эксплуатации сооружения, в теле плотины существует ядро, которое имеет температуру близкую к нулю и за первые годы не промерзает полностью, поэтому для повышения надежности сооружения и для предотвращения фильтрации в первые годы эксплуатации можно предусмотреть установку сезонно-охлаждающих устройств (СОУ) по гребню плотины, как это было предложено в одном из вариантов проекта. Также можно рекомендовать заполнение водохранилища водой через год, чтобы тело плотины, находясь в более суровых условиях, промерзло быстрее.

Проведенное математическое моделирование геокриологической обстановки ложа водохранилища показал, что в процессе эксплуатации водохранилища произойдет многолетнее оттаивание мерзлых пород под дном водохранилища с образованием талика и незначительное общее повышение температур пород относительно естественных на прилегающей к водохранилищу территории за счет бокового теплового потока от дна водохранилища. Глубина ореола оттаивания на конечный расчетный момент времени (через 50 лет эксплуатации) составит 13,6м (рис 1).

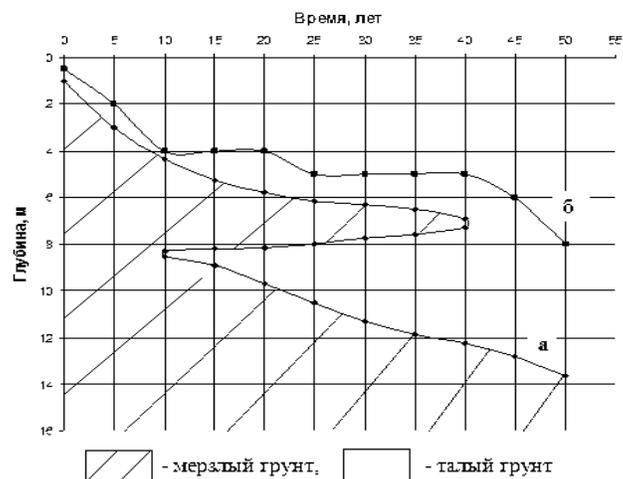


Рис 1. Динамика формирования ореола оттаивания грунтов под центром проектируемого водохранилища (а) и температуры грунтов (б).

Поскольку грунты имеют разную по разрезу засоленность, а как следствие и различную температуру начала замерзания, то нулевая изотерма не совпадает с границей многолетнемерзлых и талых и охлажденных грунтов. На начальный момент времени нулевая изотерма под центром водохранилища располагалась на глубине 0,5м, а к конечному расчетному сроку она опустилась на глубину 8м (рис 1). По этой же причине в процессе эксплуатации, по данным моделирования, будет формироваться прослой мерзлых грунтов, который через 50 лет полностью протает.

На конец расчетного периода (50 лет), исходя из результатов моделирования, по причине наличия ледогрунтов и отложений с повышено льдистостью, осадка пород дна может составить до 2,5м, по методике [Шур 1988].

### Литература

- Баулин В.В., Дубиков Г.И., Аксенов В.И. и др. Геокриологические условия Харасавэйского и Круzenshtерновского газоконденсатных месторождений (полуостров Ямал). – М.: ГЕОС, 2003
- Емельянов Н.В., Пустовойт Г.П., Хрусталеv Л.Н., Яковлев С.В. Программа расчета теплового взаимодействия инженерных сооружений с вечномерзлыми грунтами (WARM). Свидетельство №940281 от 12.07.1994. Рос АПО
- Отчет о мерзлотных инженерно-геологических изысканиях на площадке под строительство Плотины водохранилища. Водозаборные сооружения на реке Хар-Дэ-Яха. Харасавэйское ГКМ. Стадия проектирования – Рабочая документация. 8087-МИГИ, 2006.
- СНиП II. 02. 04 – 88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Госстрой СССР, -М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990
- Шур Ю.Л. Верхний горизонт толщи мерзлых пород и термокарст. – Новосибирск: Изд-во Наука, 1988.

## Геокриологические условия северо-восточной части Западно-Сибирской плиты

И.Е.Мисайлов, М.Н.Железняк, О.А.Казанский, Ф.Н.Зепалов  
Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Россия

### Введение

Глубокое промерзание земной коры – явление не только пространственное, но и временное. Мерзлые горные породы возникали на определенном этапе развития Земли не одновременно в разных районах. Возникнув, мерзлые толщи непрерывно изменялись как по площади, так и по мощности. С изменением условий на поверхности в недрах Земли идут процессы промерзания или протаивания, влияющие на морфологию и мощность мерзлой толщи. Такой режим мерзлых горных пород называется нестационарным. Нестационарные мерзлые толщи имеют широкое развитие в Западно-Сибирской низменности и некоторых районах Восточной Сибири. Исследование этих толщ, в том числе их теплового режима и мощности является одной из задач мерзлотоведения и имеет огромное значения при палереконструкциях природной среды регионов.

В 2007-2010 годах авторами были выполнены мерзлотно-геотермические исследования в северо-восточной части Западно-Сибирской низменности, в среднем течении р. Большая Хета – левого притока р. Енисей (рис.1). В комплекс работ входили оценка глубины сезонного протаивания, характеристика экзогенных процессов и изучение температурного режима горных пород. Геотермические исследования были выполнены в 20 инженерно- геологических (до глубины 15м) и 8 глубоких (до 1300м) скважинах.

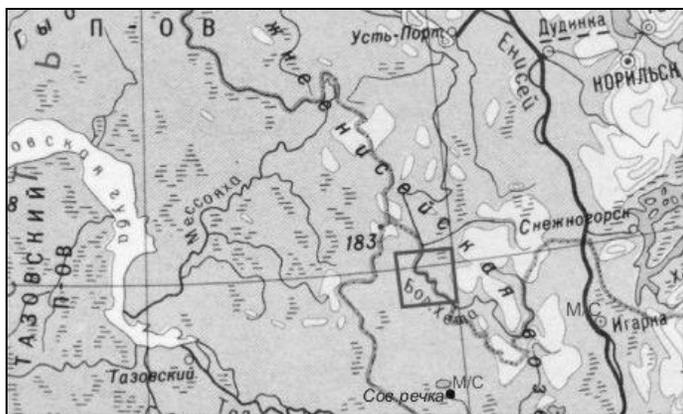


Рис.1 Обзорная карта участка работ

### Природные условия

По данным метеостанций Игарка и Советская речка (рис.1) климат района резко континентальный, с большими амплитудами температур теплого и холодного сезонов года, и среднегодовой температурой воздуха  $-8...-9^{\circ}\text{C}$ .

Среднегодовое количество осадков составляет 480-

540 мм, в холодный период года выпадает 260 – 330 мм, в теплый - 200 – 260 мм. Максимальная высота снежного покрова довольно устойчива из года в год и составляет в марте-апреле более 0,8 м. В понижениях, ложбинах, полосах стока его мощность достигает 1,5 м и более [Климат России, 2001].

### Геокриологические условия

В геокриологическом отношении на территории Западно-Сибирской плиты развиты нестационарные многолетнемерзлые толщи (ММТ) с реликтовой мерзлотой [Баулин, 1971; Балобаев, 1971].

Высокоширотное положение территории, история ее развития и региональные факторы обусловили условия формирования ММТ практически сплошного распространения. Сквозные талики здесь развиты только под крупными озерами, с радиусом не менее 1000м.

Глубина сезонного протаивания грунтов здесь варьирует от первых десятков сантиметров до 1,5 м. Минимальные глубины сезонного оттаивания (10 – 20 см) характерны для торфяных и суглинистых грунтов, приуроченных к слабодренированному плоским бугристо-западным участкам первой надпойменной террасы рек и озер с кустарничково-травяно-моховой растительностью. Максимальные глубины сезонного оттаивания (до 1,5м) наблюдаются на относительно сухих песчаных и супесчаных грунтах полого-холмистых, ровных и западно-бугристых, дренированных, иногда с березово-лиственничными и кустарничково-лишайниковыми рединами. Некоторые данные о максимальной глубине сезонного оттаивания грунтов разного состава в 2007-2009 г.г. приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характерные глубины сезонного протаивания грунтов

Геоморфология	Состав грунтов	Напочвенный покров	Глубина, м
Долины	Суглинки пылеватые	Кустарничково-лишайниковый	0,9
Склоны, водоразделы	Суглинки в пятнах-медальонах	Отсутствует	1,5
Склоны, долины	Супеси пылеватые	Мохово-разнотравно-лишайниковый	1,2
Водоразделы	Пески мелкие	Кустарничково-лишайниковый	1,5
Долины	Торфа	Мохово-лишайниковый с кустарничком	0,4

В пределах исследуемой территории широко развиты экзогенные (наиболее распространённые криогенные и эоловые) процессы и явления. Среди криогенных процессов здесь развиты: термокарст, заболачивание, солифлюкция, криогенное растрескивание и криогенное пучение. На водоразделах широко и интенсивно проявляется дефляция.

Температура пород на глубине годовых теплооборотов (ГТ) изменяется от  $-0,25^{\circ}\text{C}$  - в долинах и подножьях склонов до  $-1,9^{\circ}\text{C}$  – на водоразделах.

По данным геотермических измерений в глубоких скважинах установлено, что мощность ММТ в большинстве случаев варьирует от 465 до 490 м и лишь в одной скважине она зафиксирована на глубине 630 м (рис.2).

Температура пород на глубине 500 м изменяется от  $-0,2$  до  $+1,4^{\circ}\text{C}$ , на глубине 1000 м - от  $+8,9$  до  $+13,5^{\circ}\text{C}$ . На абсолютной отметке - 1500 м температура пород варьирует от  $+23$  до  $+26^{\circ}\text{C}$ . Однако, несмотря на большую мощность ММТ в среднем течении р.Хета, уже в 140 км на юго-восток в районе г. Игарка отмечаются островной и прерывистый характер распространения многолетнемерзлых пород мощностью 20-50 м.

Температурное поле горных пород и мощность многолетнемерзлой толщи во многом зависит от состава и теплопроводности горных пород. Определение теплофизических свойств горных пород проводилось на кернах в лабораторных условиях и расчетными методами. В лабораторных условиях определения проводились посредством теплового компаратора УИТ-1. Измерялись значения коэффициента теплопроводности влагонасыщенных образцов горных пород в мерзлом и талом состояниях, объёмная теплоёмкость образцов находилась расчётным путём. По данным полученных исследований коэффициент теплопроводности песчаников в зависимости от состава цементного материала изменяется в пределах от 1,93 до 2,74 Вт/(м·К) в талом и от 2,21 до 2,82 Вт/(м·К) в мерзлом состояниях. Меньшие значения  $\lambda$  обусловлены преобладанием в цементе хлоритового состава.

Используя полученные данные, сведения справочного пособия [Гаврильев, 1998, 2004]. Р.И.Гаврильевым выполнены расчеты эффективных теплофизических свойств и физических параметров основных свит разреза.

По результатам геотермических измерений в глубоких скважинах и оценке эффективной теплопроводности горизонтов горных пород по скважинам выполнен расчет величины внутриземного теплового потока, которая в ММТ меняется от 0 до  $15 \text{ мВт/м}^2$ , в подмерзлом горизонте от 46 до  $62 \text{ мВт/м}^2$ . Столь высокая разница полученной величины теплового потока подтверждает нестационарность теплового поля в мерзлой толще и её деградацию. На глубинах более 850 метров величина определенного теплового потока варьирует в пределах  $54\text{-}57 \text{ мВт/м}^2$ .

Многолетнемерзлые толщи в пределах рассматриваемой территории характеризуется ярко выраженным нестационарным тепловым режимом, связанным с её деградацией. Современное положение нижней границы ММТ определяется климатическими условиями прошлой холодной эпохи Сартанского периода и внутриземным тепловым потоком. По данным исследований геотермический градиент в мерзлой толще варьирует от  $0,0$  до  $0,5^{\circ}\text{C}$ , в некоторых случаях изменяя свой знак. На всех геотермических кривых (скважине Вн-4, пробуренная более 20 лет назад), при переходе через фазовую границу резко скачкообразно изменяется градиент температуры и в талой зоне достигает  $3^{\circ}\text{C}/100\text{м}$  (рис.2). Это указывает на то,

что весь тепловой поток, поступающий из недр Земли к подошве ММТ, идет на фазовые переходы «лед-вода» и сокращение мощности мерзлоты.

В подмерзлотной толще выделяется несколько горизонтов, отличающихся величиной геотермического градиента, что обусловлено различием в литологическом составе пород. В пределах яковлевской и долганской свит коэффициент теплопроводности ( $\lambda$  эф) равен  $2,27 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{К)}$ , а геотермический градиент ( $g$ ) изменяется в пределах  $2,45\text{-}2,55^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ . В толще насоновской и дорожковской свит  $\lambda$  эф =  $2,0 - 2,15 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{К)}$ , а  $g = 2,23 - 2,50^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ ; в малохетской и суходудинской свитах -  $\lambda$  эф =  $2,23 - 2,42 \text{ Вт/(м}^{\circ}\text{К)}$ , а  $g = 2,35 - 2,50^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ .

По данным геотермических исследований и тепловым расчетам, построен мерзлотно-геотермический разреза до глубины 1600 м (рис.3).

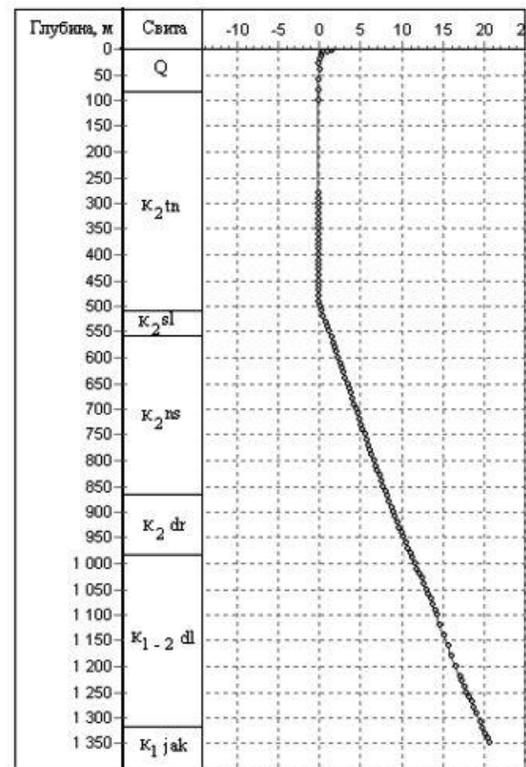


Рис.2. Температурная кривая скв. Вн-4

### Литература

Баулин В.В. и др. Распространение вечноммерзлых пород в районе широтного течения р. Оби // Мерзлотные исследования. Изд-во МГУ, 1971. Вып.11- с.65-77.;

Балобаев В.Т. Особенности геотермических процессов в районах с многолетнемерзлыми породами // Геокриологические исследования. – Як.: кн. изд-во, 1971. - С. 9-18.

Гаврильев Р.И. Теплофизические свойства компонентов природной среды в криолитозоне: Справочное пособие. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 146 с.

Гаврильев Р.И. Теплофизические свойства горных пород и напочвенных покровов криолитозоны. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998, 280 с.

Климат России / Н.В. Кобышева, Е.М. Акентьева, Э.Г. Богданова и др. – СПб.: Гидрометеоздат, 2001, 656 с.

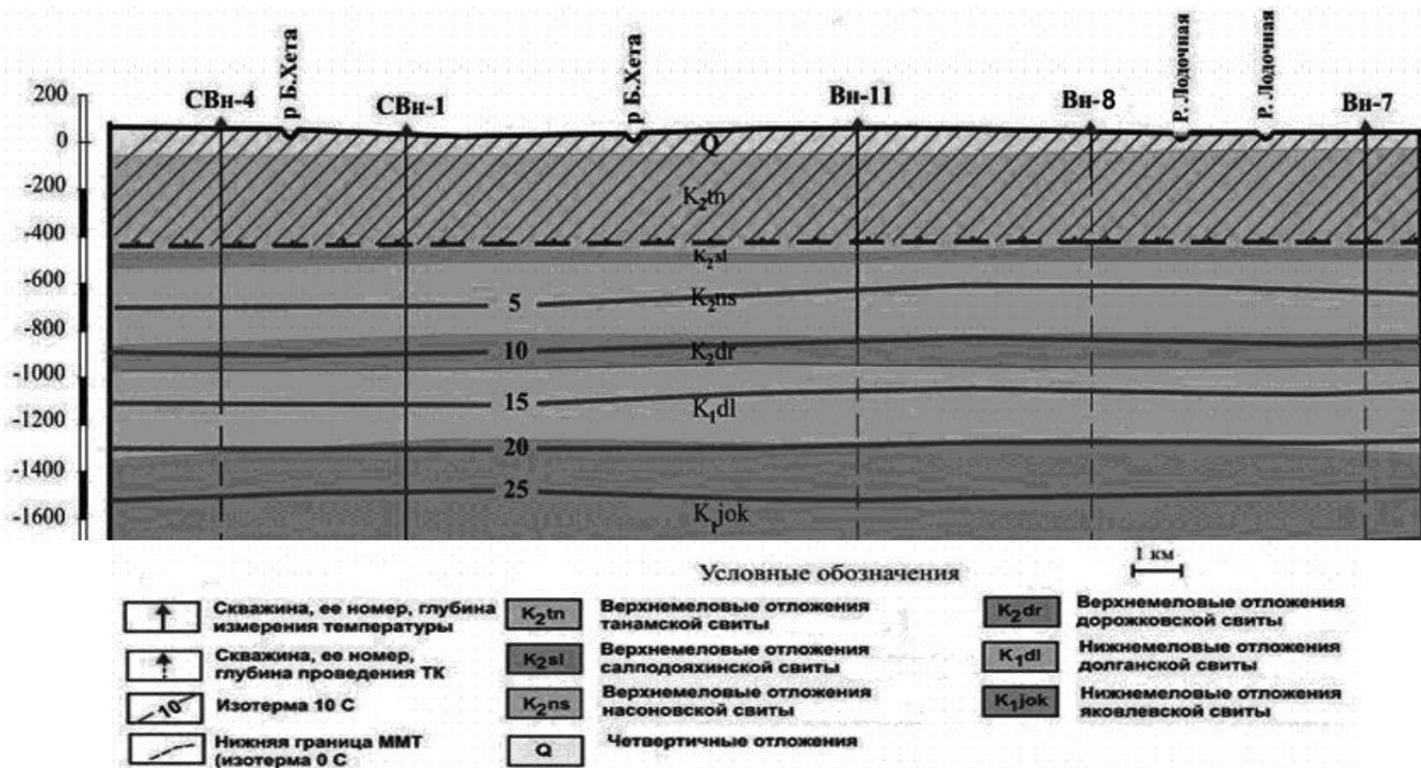


Рис.3 Геолого-геотермический разрез в среднем течении р.Б.Хета

## Динамика береговой криолитозоны

М.М. Михайлова

*Институт Геологии и Нефтегазодобычи, ТГНГУ, Тюмень, Россия*

### Аннотация

Исследование закономерностей динамики морских берегов Российской Арктики представляет собой актуальную научную и практическую проблему в связи с тем, что прибрежная зона арктических морей является высокодинамичной природной системой, особенности которой определяются взаимодействием океана и суши в условиях криолитозоны. К настоящему времени сравнительно хорошо изучены условия формирования и эволюции континентальной криолитозоны, а так же закономерности процессов на арктическом, шельфе. Прибрежная же зона остается недостаточно изученной как с точки зрения особенностей взаимодействия суши и моря так и с позиций геокриологии и геоэкологии. В силу особенностей прибрежно-морской зоны арктических морей как сложной системы, ее динамика определяется климатическими, гидродинамическими и геокриологическими факторами.

Основными природными факторами, определяющими динамику береговой криолитозоны, являются термические и циркуляционные характеристики климата, гидродинамическая активность, колебания уровня моря, мерзлотно-геологическое строение и морфология берегов, объемная льдистость и особенности состава толщ, вмещающих подземные льды.

**Ключевые Слова:** Криолитозона; береговая линия; мерзлота; геоморфология берегов.

### Современное состояние исследований динамики морских берегов

Исследования морских берегов и льдов в Арктике всегда привлекали внимание полярных путешественников и исследователей. Начиная с первой трети 18 века, при проведении плаваний и путешествий, так или иначе, отмечались характер и сложение берегов, присутствие мерзлых пород, льдов и т.п., давались первые характеристики прибрежных условий. Здесь следует назвать имена Дмитрия и Харитона Лаптевых, М.М. Геденштрёма и П.Ф. Анжу, А.Э. Норденшельда и др. Позднее, огромный вклад в изучение Русской Арктики внесли Э.В. Толль и А.В. Колчак и многие другие.

В истории исследований динамики береговой зоны Арктических морей можно выделить несколько крупных этапов.

Первый из них охватывает время с 20-х годов 19 века до 1930-х годов. Вероятно, первые инструментальные наблюдения за разрушением морских берегов в Арктике выполнил полярный исследователь П.Ф. Анжу в 1823г на островах Васильевский и Семеновский [*Соломатин и др., 1998*]. С этого времени начинается период накопления первичных данных о динамике и криологии морских берегов, морских и придонных льдах. Преимущественно, эти сведения не имели систематизированного характера, как правило, не основывались на инструментальных наблюдениях. Иногда это были исторические свидетельства. Тем не менее, очень важно отметить, что на основе проведенных исследований сформировалось представление о морских арктических берегах как нестабильных и быстро разрушающихся.

Второй этап продолжался с 1930 до конца 1990-х г. Начало второго этапа характеризуется как время формирования общегеографических и общегеологических описательных научных подходов к проблеме и как этап

накопления первых инструментальных научных данных о динамике береговой зоны Арктических морей. По времени второй этап в значительной мере совпадает с становлением геокриологии (мерзловедения) как науки, разработки методологии, теории и научных подходов, которые на долгие годы определили основные черты исследований динамики береговой зоны, криолитологии (геокириологии) морских берегов и океанической криолитологии.

### Мерзлотно-геологические условия

Особенности геологического строения берегов арктических морей сложились в результате совокупности природно-исторических событий, главными из которых являются: формирование геологической структуры Северного Ледовитого океана, крупномасштабные изменения климата всей высокоширотной области и эвстатический подъем уровня Мирового океана в голоцене. Северный Ледовитый океан представляет собой молодую геологическую структуру, наложенную на северные окраины разновозрастных континентальной и переходной коры трех материков. Его формирование началось с погружений на рубеже раннего и позднего мела а в палеогене произошло раздвижение глыб континентальной коры. Погружения носили неравномерный характер. Менее интенсивно погружались молодые (герцинские и мезозойские) складчатые или горно-складчатые системы, разделяющие разновозрастные платформы. Платформенные прогибы (плиты) и впадины молодых складчатых зон с утонченной континентальной или переходной корой погружались с большей скоростью. В связи с этим молодая и сравнительно узкая океаническая впадина Северного Ледовитого океана оказалась окруженной широким шельфом с корой континентального типа, разделенной морфотектоническими поднятиями на отдельные моря.

Мерзлотно-геологическое строение и состав отложений криолитозоны побережья в горных районах и приморских низменностях резко различаются. Они представлены в основном плоскогорно-привершинным и горно-склоновым типами с соответствующими стратиграфогенетическими комплексами.

### **Изменение мерзлотно-климатическ условий**

Активность берегоформирующих процессов зависит от теплового ресурса сезона протаивания, циркуляции атмосферы, положения границы сплоченных дрейфующих льдов, глубины моря на линии разгона волн, мерзлотно-геологических характеристик берегов. Наиболее весомое влияние на эти процессы оказывают дрейфующие льды и повторяемость разрушительных штормов. Их совместный вклад в динамику берегов составляет приблизительно 70 % от общего влияния всех основных факторов. Вместе с тем необходимо учитывать, что пространственное положение границы дрейфующих льдов, абразионная активность моря, продолжительность безледного времени, а также устойчивость льдистых берегов зависят от летних температур воздуха в прибрежных районах Арктики.

### **Вывод**

Усовершенствованная функциональная структура модели динамики льдистых берегов в нестационарных климатических условиях включает количественное описание воздействия вариаций повторяемости штормов, сопряженных с колебаниями средней летней температуры воздуха, на

динамику береговой криолитозоны и имеет прогностический выход. Это позволяет, во-первых, прогнозировать темпы эрозии берегов восточных арктических морей России в связи с предполагаемыми изменениями климатических условий в XXI в., во-вторых, повысить достоверность оценок интенсивности берегоформирующих процессов для сравнительно небольших интервалов лет на 23 %. Полученная цифра близка к оценке реального, зафиксированного вклада повторяемости штормов в эти процессы.

### **Литература**

- Алексеев Г.В., Александров Е.И., Священников П.Н., Харланенкова Н.Е. О взаимосвязи колебаний климата в Арктике и в средних широтах // Метеорология и гидрология, 2000, № 6, с. 5–17
- Павлов А.В. Закономерности формирования криолитозоны при современных изменениях климата // Известия РАН, серия геогр., 1997
- Арэ Ф.Э. Основы прогноза термоабразии берегов. – Новосибирск, Наука, 1985, 172 с.
- Грищенко В.Д. Исследования подводного рельефа дрейфующих льдов // Тр. XXIII Междунар. географической конф. “География полярных стран”. Л., 1976, с. 75–76.
- Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Бардин М.Ю. и др. Изменения климата 2001. Обзор состояния и тенденций изменения климата России. – М.: ИГКЭ РАН, 2002, 30 с.

## Гидрометеорологические условия периодов массового селеобразования на острове Сахалин

П.В.Михайловский

*Институт геологии и Нефтегазодобычи ТюмГНГУ. Тюмень, Россия*

### Введение

Рассматривается влияние максимальных значений выпавших жидких осадков на процесс формирования периодов массового селеобразования на острове Сахалин.

### Рассмотрение проблемы

Атмосферные осадки, выпадающие на территории острова, являются результатом активной циклонической деятельности. Годовые суммы осадков в днищах долин и на морском побережье в южных районах колеблются в пределах 800-1100 мм (в горах средние значения сумм выпавших осадков в зависимости от высотной зоны составляют 1500-2000 мм и в отдельные годы могут превышать 3000 мм). Это хорошо видно на сравнительном графике многолетнего хода осадков, приведенного на рис.1.

В теплый период выпадает 65-80% годовой нормы. Суммы осадков по данным гидрометеорологической станции (ГМС) в потенциально селеопасный период (июнь- октябрь) в среднем составляют 300-600 мм, в maximum достигая 1100 мм. Надо отметить следующее, что подавляющая часть наблюдательной сети Росгидромета расположена вдоль побережий, либо в днищах речных долин острова. В условиях когда, 3/4 территории занято горами, с абсолютными отметками 350-1600 м. использование только данных об осадках, полученных на ГМС, приводит к недоучету параметров гидрометеорологических явлений данные их наблюдений не могут использоваться для составления селевого прогноза.

Циклон, прошедший над территорией Сахалинской области 18-19.09.1970 охватил большую территорию острова. Суточные максимумы осадков составили в районах селеобразования: ГМС Макаров - 80 мм, ГМС Невельск - 80 мм, в горах юга (снеголавинная станция Перевал, абс. высота 300 м) за 12 часов выпало 121 мм. Выпадение такого количества осадков привело к массовому селеобразованию в Невельском, Холмском, Макаровском районах Сахалинской области.

Следующий рассматриваемый период сентябрь-октябрь 1972 года, когда прохождение ряда циклонов привело к выпадению значительного количества осадков, увлажнению территории и вызвало массовый сход селей в вышеназванных районах. Суточные максимумы осадков составили: ГМС Макаров - 148 мм, ГМС Невельск - 91 мм, ГМС Южно-Сахалинск - 68 мм (за 9 часов). В горах юга (снеголавинная станция Перевал) за 12 часов выпало 121 мм.

Еще один период массового формирования селей охвативший большую часть острова - август 1978 года. Суточные максимумы колебались от 76 мм (гидрометеорологическое бюро Холмск) до 116 мм (гидрометеорологическая обсерватория Поронайск), в горах острова интенсивность осадков была еще выше (снеголавинная станция Перевач) - 40 мм за 3 часа. При прохождении тайфунов «Оджин» и «Филлис» 2-7 августа 1981 г. сумма осадков на ГМС «Южно-Сахалинск» (абс. высота 22 м) составила 220 мм. За тот же период в Сусунайском хребте по данным суммарных осадкомеров в интервале абсолютных отметок от 400 до 600 м суммы осадков составили более 1200 мм.

Во всех вышеперечисленных периодах селеобразования, выпавшие осадки обуславливали активное образование селевых потоков.

Однако не всегда выпадение значительного количества осадков приводит к массовому сходу селей. Так, в сентябре 1982 года, при прохождении циклона суточное количество осадков по ГМС Макаров составило 124 мм. Расход воды по р.Макарова составил 850 м<sup>3</sup>/с, данный расход по своей величине, является вторым за весь период наблюдений и уступает только катастрофическому расходу воды 1722 м<sup>3</sup>/с (август 1981 года). Но массового селеформирования в районе отмечено не было. Это обусловлено тем, что годом ранее, после прохождения тайфуна «Филлис», сошедшие селевые потоки полностью очистили селевые очаги от потенциальных селевых массивов накопления. То есть отсутствовало обязательное условие схода селей в низкоромье о. Сахалина - критический объем материала в селевых очагах.

### Заключение

Суммы осадков в Центральных и Южных районах Сахалина (в долинах и на морских побережьях) в потенциально селеопасный период (июнь-октябрь) в среднем составляют 300-600 мм, в maximum достигая 1100 мм. В горных частях острова за явление может выпасть (в зависимости от высоты места) более 1200 мм осадков.

В горах острова интенсивность осадков может составлять более 40 мм/ч. При прохождении тайфунов разница между осадками, отмечаемыми за явление в прибрежной, долиненной частях острова и осадками в горах может составлять 1000 мм, за явление.

Селеобразующая сумма осадков на острове Сахалин превышает 50 мм при интенсивности осадков 20-50 мм/сутки.

Для массового селеформирования необходимо накопление в селевых очагах критического объема

потенциального селевого массива толщиной 0,5-1,0 м.

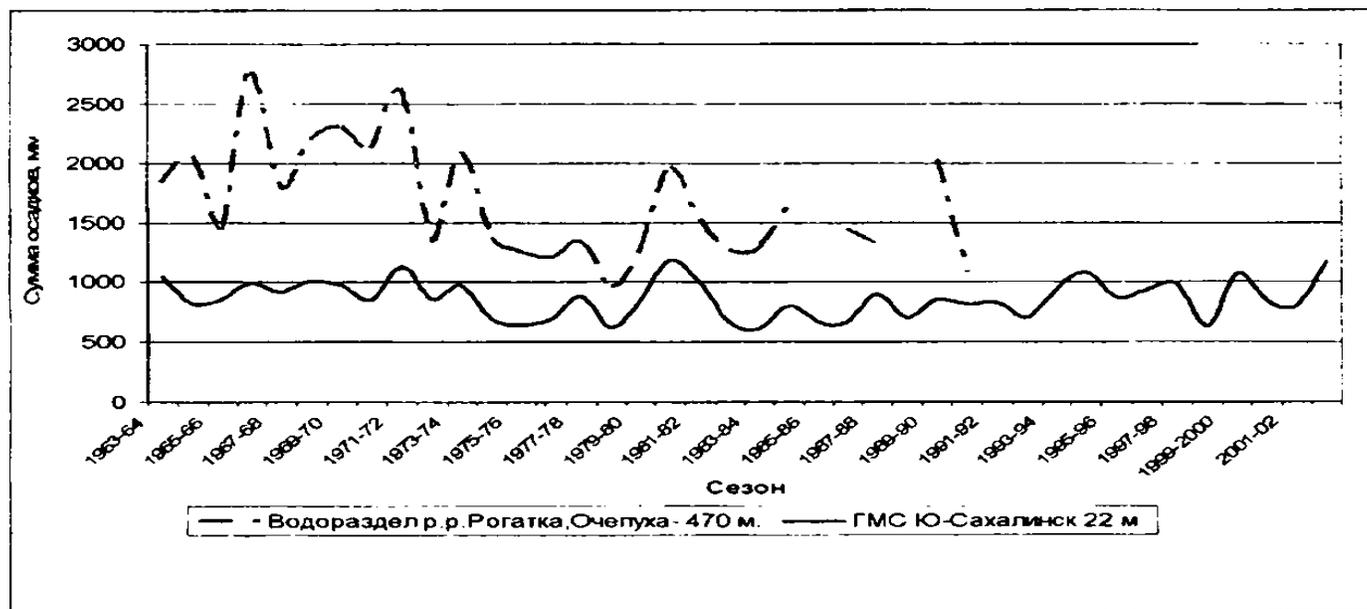


Рис.1. Сравнительный график хода осадков по гидрометеорологической станции Южно-Сахалинск и суммарному осадкомеру, находившемуся на водоразделе рек Рогатка и Очепуха в окрестностях г. Южно-Сахалинска.

## Исследования прочностных свойств оттаивающих грунтов

Ю.В.Молчанова

Кафедра геокриологии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

### Аннотация

**Ключевые Слова:** прочностные свойства, эквивалентное сцепление, прибор шарикового штампа, концентрация порового раствора.

Распространение многолетнемерзлых грунтов, в том числе засоленных, создают значительные трудности при освоении природных ресурсов районов Европейского Севера России. Использование мерзлых грунтов в качестве оснований требует оценки несущей способности грунтов оснований и её прогноза с учетом влияния всего комплекса факторов как природных, так и техногенных. Достоверность указанного прогноза обусловлена точностью определения прочностных характеристик мерзлых грунтов и закономерностью их развития во времени. ГОСТ 12248-96 запрещает испытания засоленных грунтов в связи с тем, что они, являясь пластично-мерзлыми, не достигают условной стабилизации. Рекомендованный для твердомерзлых грунтов коэффициент 0,8, снижающий  $C_{eq}$ , полученное за 8ч., до предельно-длительного значения ( $C_{eq\infty} = kC_{eq}$ ), справедлив для твердомерзлых грунтов массивной криогенной текстуры, а для перечисленных видов грунтов, которые находятся в пластично-мерзлых состояниях, является завышенным. Как показано данными многочисленных исследований, например, для засоленных грунтов коэффициент (k) может уменьшаться до 0,4-0,6.

Для исследований применялся следующий подход, который включал пятикратное определение на каждом образце  $C_{eq}$  за 8-часовой период, шестое испытание продолжается до условной стабилизации осадки шарика, равной 0,01 мм за 12 часов по которой рассчитывается  $C_{eq\infty}$ . Все данные за 8-часовой период подвергаются статистической обработке, получаем среднее значение  $\overline{C_{eq8}}$ . По результатам опыта, выполненного до условной стабилизации осадки, определяется коэффициент k как отношение  $C_{eq\infty}$ , полученного по значению условно-стабилизированной осадки, к  $C_{eq8}$ .

Затем среднее значение  $\overline{C_{eq\infty}}$  для испытанного образца вычисляется:

$$\overline{C_{eq\infty}} = C_{eq8} * k \quad (1)$$

Следует отметить, что условная стабилизация может наступить через весьма длительный срок испытания - 1,5-2 недели.

Эквивалентное сцепление  $C_{eq}$ , которое учитывает влияние на прочность, как сцепления, так и трения вычислялось по следующей формуле:

$$C_{eq} = \frac{0,18P}{\pi d St}, \quad (2)$$

где P-постоянная нагрузка на штамп; d-диаметр штампа; St -осадка штампа за период времени t.

Схема установки для проведения испытаний приведена на рис.1.

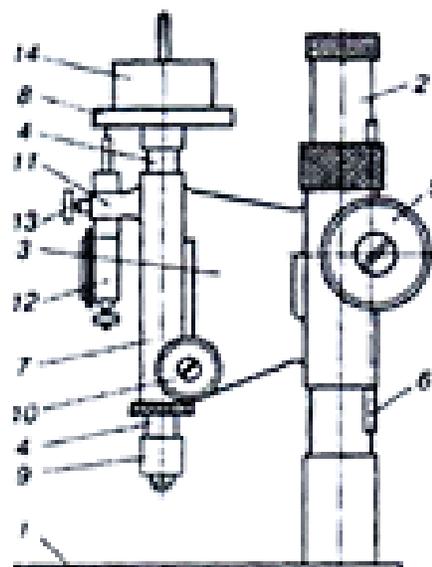


Рис.1. Одноштоковый сферический штамп конструкции НИС «Гидропроект»: 1 - опорная плита; 2 - направляющая стойка; 3 - консоль; 4 - верхний конец штока; 5 - нивелировочный винт; 6 — зубчатая рейка; 7 - направляющая муфта; 8 — площадка для размещения груза; 9 - шариковый штамп; 10 - стопорный винт; 11 - держатель индикатора; 12 - индикатор для измерения деформаций; 13- зажимной винт; 14 — груз.

Нами выполнена серия испытаний образцов песка и суглинка, отобранных в районе Лек-Харьгинского нефтяного месторождения до условной стабилизации осадки. Для выявления влияния физических свойств, засоленности и температуры, исследования проводились на искусственно подготовленных образцах нарушенной структуры.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась в соответствии с ГОСТ 20522-96.

В результате исследований установлено, что доминирующим параметром, влияющим на прочность мерзлого грунта является концентрация порового раствора, которая существенно влияет на температуру начала замерзания грунтов. На рис.2 показаны зависимость

температуры заморзания  $T_{bf}$  от концентрации порового раствора соли с учетом влажности грунта.

Соль NaCl имеет большую растворимость и низкую температуру эвтектического состояния, она сильно расширяет диапазон активных фазовых переходов в область отрицательных температур. Так, у суглинков, засоленных NaCl в диапазоне от 0,5 до 1,5 %, количество незамерзшей воды изменяется от 4,5 до 12,0%.

Результатом проведения опытов является получение предельно-длительного эквивалентного сцепления. Опыты проводились при температурах -1, -4 и -10 °С.

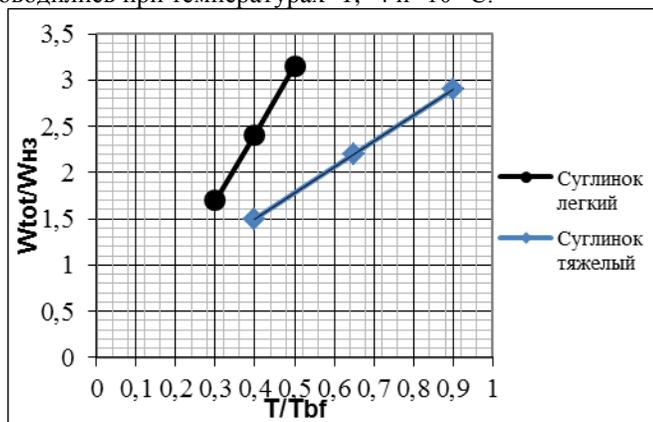


Рис.2. График зависимости температуры заморзания  $T_{bf}$  от концентрации порового раствора соли с учетом влажности грунта

Анализ результатов показывает, что общий характер зависимостей снижения эквивалентного сцепления при увеличении влажности и засоленности для исследованных нами мерзлых грунтов аналогичен для исследуемых грунтов.

## Литература

ГОСТ 12248-96 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформированности грунтов.

ГОСТ 20522-96 Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний.

Роман Л.Т. Механика мерзлых грунтов. – М., 2004;

Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М., 1973.

# Качество воды и основные антропогенные процессы в озерах Русской Арктики

Т.И. Моисеенко

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН, Москва, Россия*

А.В. Соромотин

*Тюменский Государственный Университет, Тюмень, Россия*

## Аннотация

В статье представлены современные тенденции изменения качества воды в озерных системах Российской Арктики на примере Кольского Севера и Северо-Западной Сибири. Было установлено, что ухудшение качества вод связано с процессами эвтрофикации, закисления и загрязнения воды токсичными веществами, вызванными антропогенными воздействиями.

**Ключевые слова:** Арктические озера, эвтрофикация воды, токсичность воды, закисление воды.

## Введение

Арктический регион – это часть планеты, где расположено великое множество озер. Хорошая обеспеченность арктического региона водой до недавнего времени не вызывало опасений по поводу ее качества. В настоящее время интенсивное развитие богатых запасов минеральных ресурсов, включая нефтегазовое производство, трансграничный перенос загрязнителей привели к резким нарушениям экологического равновесия хрупких водных экосистем и качественному истощению водных ресурсов уже во многих урбанизированных и промышленных Арктических регионах.

Русская Арктика - Кольский Север и Западная Сибирь являются наиболее густонаселенными и промышленно развитыми регионами. Спектр антропогенного воздействия на озера широк: горнодобывающая, металлургическая, нефтегазовая, химическая промышленность, атомные электростанции и т.д. Крупные водные системы служат приемниками и утилизаторами сточных вод производств, малые, отдаленные от промышленных центров озера – отражают потоки загрязняющих веществ. Для понимания современных тенденций изменения качества вод в условиях региональных и глобальных антропогенных воздействий в Российской Арктике были проведены масштабные исследования озерных систем в Мурманской области и на Севере Тюменской области с использованием современного аналитического оборудования и международных требований к химическому анализу природных низкоминерализованных вод.

половодья вода быстро проникает в водосборные бассейны. Во время таяния снега верхний слой почвы остается в замороженном состоянии, поэтому ее верхний слой остается непроницаемым в течение всего периода таяния снега. Слабое развитие растительного покрова и слабо развитая почва обеспечивают хороший дренаж осадков в летний период.

Преобладание осадков над испарением и медленная минерализация органического вещества являются причиной формирования большого числа малых озер, характеризующихся высоким содержанием гумуса и кислыми водами (заболоченные пруды). Формирование поверхностного стока в условиях избытка увлажнения приводит к низкой минерализации воды и олиготрофному характеру озер вследствие слабого выщелачивания коренных пород. Четвертичные породы интенсивно вымываются, верхний слой почвы является примитивным. Низкая среднегодовая температура воздуха ослабляет процессы водной эрозии, что приводит к низкой минерализации воды. Слаборазвитый верхний слой почвы приводит к тому, что геохимический состав подстилающих пород является основополагающим фактором, влияющим на формирование солевого состава вод.

В условиях низкой минерализации миграционная способность загрязнителей высока, и их круговорот в водных объектах, ионное равновесие является неустойчивым и токсическое воздействие на гидробионты в слабоминерализованных водах проявляется значительно сильнее.

Таким образом, в Арктике формируются преимущественно олиготрофные, пресные и ультрапресные воды. Для больших озер (с площадью более 100 км<sup>2</sup>) исходные гидрохимические параметры состава воды очень просты. Эти озера, как правило, ультрапресные и олиготрофные с низкими концентрациями взвешенных частиц (0,7 - 1,0 мг/л), микроэлементов (<1 мг/л) и элементов питания. Концентрации общего фосфора составляют менее 2 мкг/л; фосфаты в течение вегетационного периода практически полностью используются в производстве живого вещества. Прозрачность воды составляет примерно 8 м.

## Исходные условия и уязвимость арктической воды

Климатические условия арктического региона определяют ряд специфических закономерностей формирования химического состава воды, создавая ее уязвимость к антропогенным нагрузкам [Moiseenko, 2008]. Пополнение озер и рек в большей степени определяется осадками: до 75-90% годового стока обеспечивается весенним половодьем и летне-осенними паводками. Накопление осадков в снежном покрове происходит во время долгой зимы (6-8 месяцев), а за короткий период весеннего

Для малых озер (с площадью 4-10 км<sup>2</sup>) химический состав воды имеет более высокую вариабельность. В гористых местностях озера характеризуются низкими концентрациями органического углерода, солей и элементов питания. Однако вода во многих озерах имеет высокую степень цветности и высокое содержание растворенного органического углерода (DOC). На заболоченных участках высокая насыщенность воды гуминовыми кислотами является индикатором дистрофии озер. Судя по вышеуказанным данным, можно сделать вывод о том, что, большинство озер характеризуется как олиготрофные и дистрофные.

### Антропогенные воздействия

Наибольшее влияние на состояние озер в русской части арктического региона оказывают горнодобывающие и металлургические предприятия, нефтегазодобывающие компании, теплоэлектростанции, а также сосредоточенные в этом регионе атомные электростанции, объекты туризма и т.д. Сточные воды металлургических и горнодобывающих производств, содержащих тяжелые металлы, нефтепродукты, фенолы, фтор, мелкодисперсные взвеси, продукты флотации руд и т.д. [Moiseenko, 2008; Soromotin, 2011]:

- загрязнение атмосферного воздуха (оксиды серы и азота, бенз(а)пирен, никель, ртуть, фторуглерод, алюминий, стронций, радионуклиды, пыль, нефтепродукты и др.);
- хранилища остаточных отходов, депозитариев, отвалы обнаженных пород, шламы, сброс неочищенных сточных вод;
- загрязнение поверхностных вод (органические вещества, нефтепродукты, тяжелые металлы, флотационные реагенты, взвешенные вещества, сульфаты, хлориды);
- загрязнение земель (брошенное оборудование, несанкционированные свалки), возможно – радиоактивные.

### Основные антропогенные процессы в озерах

Технологии, используемые в действующих горных, металлургических, химических предприятиях и нефтегазовой промышленности в Русской Арктике, приводят к загрязнению озер сточными водами, а также загрязнителями, переносимыми по воздуху. В результате прямого сброса сточных вод в озера и загрязнения их водосборов воздушным путем, в гидрохимическом составе вод Русской Арктики проявились некоторые негативные процессы:

#### *Токсичное загрязнение воды*

Токсичное загрязнение воды тяжелыми металлами (Ni > 20 мг /л, Cu > 10 мг/л, Cd > 1 мг /л) является характерной чертой больших озер, таких как Имандра, Пясино, Куецдjarви в которые поступают сточные воды с заводов. Подобная же ситуация наблюдается в малых озерах, расположенных в радиусе 30 км вокруг производственных комплексов. В Кольском регионе в радиусе до 30 км зоны

воздействия загрязнителей концентрация этих элементов равны токсичным уровням. Озера, окруженные горами Хибин и Ловозеро, характеризуются высоким содержанием Sr. Здесь большие уровни добычи апатитов и нифелинов привела к увеличению содержания Sr, Al и других элементов. В сибирской Арктике большая часть озер имеют низкие концентрации металлов и нефти (за исключением района Норильска). Мониторинг качества поверхностных вод на территории субарктических газовых месторождений не выявили никаких углеводородных загрязнений (ГРН анализ), значения концентраций (от <0,02 – 0,30 мг/л, 35 объектов) находятся в пределах фонового уровня (от <0,02 – 0,24 мг/л, 55 объектов). Увеличение концентрации тяжелых металлов, также не выявлено. В некоторых озерах выявлено превышение качества воды по ПДК для Mn.

#### *Защеление воды*

Уязвимость территории вследствие защеления воды сохраняется даже за пределами влияния выбросов пыли (на расстоянии более 30-100 км от заводов), когда количество серы в выбросах составляет более 1 г/м<sup>3</sup> в год. На Севере Западной Сибири выявлены защеленные озера, в которых в ионной композиции доминируют нитраты, что очевидно обусловлено длительным периодом сжигания попутного газа и загрязнения атмосферных выпадений окислами азота. Защеление воды приводит к увеличению подвижности многих микроэлементов, в первую очередь Al. Высокий уровень концентраций Al является характеристикой защеленных озер (главным образом, в восточных частях Кольского полуострова).

#### *Эвтрофикация воды*

Эвтрофикация воды в субарктических районах имеет локальный характер в озерах, где наблюдается приток муниципальных сточных вод или нагретых вод атомных электростанций. Аккумуляция биогенных элементов (P > 20 мг/л, N > 200 мг/л) в арктических озерах не приводит к развитию водорослей существенных для этих концентраций из-за низких температур воды и интенсивного водообмена. Лишь в некоторых мелких хорошо прогреваемых озерах и бухтах развитие фитопланктона может достигнуть уровня мезотрофных или эвтрофных озер.

#### *Интегральное загрязнение*

Негативные факторы могут одновременно развиваться во всех в индустриально развитых районах (зонах воздействия) Русской Арктики (Норильский и Кольский горно-металлургический комплекс, производства Северодвинска), т.е. токсичное загрязнение, изменение содержания солей и эвтрофикация. В паводковый период в арктическом регионе пульсирующие содержания металлов в сочетании с низкими значениями pH может иметь доминирующее негативное воздействие на животный мир после долгой полярной ночи. Опасность также заключается в быстром вымывании тяжелых металлов из водосборных бассейнов и появления их ионных форм в виде кислой талой воды. В течение долгого подледного периода арктической зимы в эвтрофных озерах и озерах, богатых гумусом, наблюдается критическая ситуация,

связанная с бескислородными условиями придонных слоев и рециркуляции металлов на окислительно-восстановительной границе. Эвтрофикация усугубляет неблагоприятный эффект от токсичных металлов.

Таким образом, в холодных регионах загрязнители обладают более выраженным негативным эффектом. В то же время, озера здесь имеют особое значение в связи с высоким качеством водных ресурсов и хорошей рыбной продукцией.

Основные принципы охраны арктических озер должны заключаться в следующем: приоритет чистой воды и рыбной продукции; отказ от неограниченного использования арктических вод из-за их высокой уязвимости и антропогенных нагрузок; дифференцированные подходы к охране озер в зависимости от природных условий и целей использования; профилактика источников загрязнения вместо борьбы с последствиями: изъятие токсичных веществ из промышленных стоков, предупреждение чрезвычайных ситуаций связанных с захоронениями промышленных и радиоактивных отходов, профилактика

состояния трубопроводов для предупреждения разливов нефти, локализация рассеянных загрязненных стоков от горнодобывающей промышленности.

### **Благодарности**

Эта работа была проведена в рамках гранта от правительства России (№ 11G34.31.0036).

### **Литература**

- Moiseenko T.I. Pollution Impacts and Key Anthropogenically Induced Processes in Lakes of the Russian Euro-arctic Region // *Lake Pollution Progress* (eds Miranda F.R & Bermard L.M.) 2008. Nova Science Publishers Inc. P. 148-175.
- Soromotin A. V. Ecological Consequences of Different Stages of the Development of Oil and Gas Deposits in the Taiga Zone of the Tyumen' Region // *Contemporary Problems of Ecology*, 2011, Vol. 4, No. 6, pp. 601–608. (Springer, DOI 10.1134/S1995425511060063).

## Построение 3D моделей ММП на основе комплекса сейсмических и скважинных данных с целью прогноза геокриологических опасностей при освоении месторождений полуострова Ямал

Б.В.Монастырев, Л.В. Шишканова, А.Г.Кошеев, С.Б.Монастырев

*ОАО «СибНАЦ»*

Ю.Б.Баранов, Е.В.Перлова

*ООО «Газпром ВНИИГАЗ»*

Проблемы геолого-геофизического изучения и освоения полуострова Ямал в значительной степени связаны со сложными приповерхностными инженерно-геологическими условиями этой территории и, в частности, широким развитием многолетнемерзлых пород (ММП). Их наличие обуславливает специфику методики и методов инженерных, геолого-геофизических исследований, способы рационального размещения, возведения и эксплуатации инженерных сооружений.

Для решения задач освоения полуострова Ямал, обусловленных геокриологической обстановкой района, и прогноза реакций геологической среды на техногенное воздействие необходимо знать основные закономерности строения и распространения мерзлых пород. В этой связи нами выполняются работы по созданию комплексных моделей строения верхней части разреза, включая ММП, на основе сейсмических и скважинных данных. В основе моделей лежат как результаты предшествующих геокриологических исследований, имеющих обобщающий характер, так и результаты интерпретации геофизических методов, в частности площадной сейсморазведки и ГИС, позволяющих детализировать построения.

Интерпретация промыслово-геофизических скважинных данных выполняется для интервала глубин включающих ММП. Применяемый для анализа комплекс ГИС (в зоне ММП) включает стандартный каротаж (З зонда, ПС), кавернометрию (КВ), радиоактивный каротаж (ГК, НК) и термометрию.

Модель ВЧР является составной частью глубинно-скоростной модели, характерной для севера Западной Сибири. В этом смысле выполняемые нами работы по построению моделей ММП, являются частью работ по интерпретации сейсмических данных.

Экспериментальные сейсмические исследования свидетельствуют, что для терригенных пород на глубине до 500 м при отсутствии мерзлоты характерны скорости продольных волн порядка 1700 – 1800 м/с. Скорости упругих волн в мерзлых толщах осадочных пород достигают 3500 - 4000 м/с, т.е. возрастают более чем в 1.5-2 раза по отношению к растепленным породам. При

изменении мощностей ММП от 0 до 500-600 м это создает значимые аномалии в кинематических параметрах отраженных волн. При этом только часть этих аномалий устраняется из времен  $T_0$  в процессе ввода статических поправок, остаточные компоненты аномалий сохраняются во временном поле и могут использоваться в процессе интерпретации материалов МОВ ОГТ.

Это создает реальные предпосылки для извлечения информации о скоростных неоднородностях из сейсмических кинематических параметров ( $T_0$ ,  $V$ ,  $H$ ) и формирования на её основе модели верхней части разреза, включая ММП.

Поскольку решение этой задачи невозможно только на основе аналитических преобразований, в основу технологии положен принцип последовательного усложнения модели. Начальное приближение при этом формируется расчетным способом, с использованием имеющихся априорных данных о строении модели ВЧР. Оптимизация построений выполняется на основе учета дополнительных факторов модели (в частности - рельефа, уровня грунтовых вод) и результатов скважинных измерений. Все расчеты выполняются по площади, т.е. на уровне числовых поверхностей параметров.

Результаты построений - это цифровые комплексные 3D многослойные модели строения толщ ММП, согласованные в точках бурения скважин с одномерными (скважинными) моделями и представляющие чередование в разрезе сильнольдистых, льдистых и слабольдистых пород.

Выполненные построения 3D моделей многолетнемерзлых пород послужили основой для геокриологического районирования территорий Крузенштернского, Западно-и Северо-Тамбейских, Малыгинского, Тасийского месторождений и разработки рекомендаций по размещению площадных и линейных объектов на этих участках, а также прогноза газоопасности криолитозоны в пределах Бованенковского газоконденсатного месторождения.

## Обеспечение стабильности оснований, как условие устойчивого развития городской среды в условиях вечной мерзлоты Северо-Востока России

С.С.Морозов

*Институт геологии и нефтегазодобычи ТюмГНГУ, г.Тюмень, Россия,*

### Введение

Город Якутск является уникальным городом на многолетнемерзлых грунтах – столицей самого крупного субъекта Российской Федерации и самой крупной административной единицы в мире. Территория распространения многолетнемерзлых пород составляет 60% территории Российской Федерации. Город расположен в области развития сплошных многолетнемерзлых пород, находящихся в основании всех объектов городской инфраструктуры.

Вся территория Якутска имеет недостаточно влажный климат с умеренно теплым летом и суровой малоснежной зимой. Температура воздуха выше 0° С наблюдается здесь на протяжении пяти месяцев в году. Устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0° С отмечается весной в начале мая, а осенью – в начале октября. Амплитуда годовых колебаний температуры воздуха достигает почти 100° С, от -55° С до +35° С. Среднегодовая температура воздуха за период непрерывных метеонаблюдений (1883–2010 гг.) варьирует в пределах -7,2...-12,1°С.

Техногенное воздействие на экосистемы приводит к очень серьезным последствиям, к нарушению природных равновесий, к осложнению хозяйственной деятельности. К сожалению, имеющийся опыт развития городской среды на северо-востоке России показывает огромное негативное влияние человека на природу вообще, и особенно на природу вечной мерзлоты в частности. С начала многоэтажного строительства в г. Якутске — с 50-х годов XX века и до настоящего времени, мы наблюдаем значительное повышение температуры грунта на глубине до 10 метров и увеличение глубины сезонного оттаивания. Повышение среднегодовой температуры многолетнемерзлых грунтов в сочетании с увеличением с повышенной влажности и засоленности грунтов сезонноталого слоя приводит к дестабилизации оснований в г. Якутске. Анализ карты обводнения городской территории составленной на основе оценки космических снимков последних лет свидетельствует о дальнейшем и весьма активном ухудшении обстановки, зафиксированные ранее разрозненные очаги обводнения, окаймленные полосами избыточно увлажненных грунтов, превратились в обширные водоемы застойного типа, находящиеся на разных гипсометрических уровнях. Неравномерное размещение насыпного грунта при планировке территории под застройку привело к перераспределению поверхностных и грунтовых вод, формированию новых обширных участков техногенного обводнения, перешедшего со временем в стадию интенсивного переувлажнения грунтов с постепенным заболачиванием.

С 70-х годов прошлого века наблюдается осадка зданий вплоть до их частичного разрушения. По наблюдениям, факторами неравномерных осадок являются старые технологии строительства фундамента (образование чаши оттаивания под такими зданиями вплоть до 10 метров), нарушения технологии эксплуатации инженерных сетей (протечки и, как следствие, повышение засоленности грунтов) и дороги (нарушение естественных стоков поверхностных и грунтовых вод, приводящие к локальному заболачиванию территории).

### Решение задачи

По первому фактору были достигнуты значительные успехи. Строительство на сваях, в условиях вечной мерзлоты, на наш взгляд, исключает негативное влияние непосредственно зданий на структуру оснований. Там, где строительство велось без нарушения технологий и горизонтальных отметок мы наблюдаем понижение температуры и стабилизацию оснований.

Строительство на сваях ведется уже свыше 50 лет и ни одно здание, построенное на сваях, не было разрушено. На настоящий момент можно отметить положительный опыт применения свай различных типов.

В связи с этим целесообразно, на наш взгляд, использовать сваи для строительства комплексов зданий, кварталов или целых городских районов (промышленных, спальных, развлекательных и т.д.), размещая их на единых платформах, соединенных между собой, дорогами на опорах (путепроводами) в разных уровнях. Все системы жизнеобеспечения (энерго- и теплогенерирующие станции, системы водоснабжения и канализации, гаражи и парковки) можно разместить в первом (техническом) этаже такой платформы. На поверхности платформы размещаются жилые, административные, производственные и другие здания. Таким образом, мы исключаем многие факторы техногенного влияния на мерзлые грунты оснований.

Проект «Земля олонхо» представляет собой высокотехнологический комплекс – кластер: территориальное образование внутри Якутска, представляющее собой относительно автономную единицу и обеспечивающее полный набор городских функций (жилиую, административно-деловую, торгово-развлекательную, рекреационную). В южной части расположена группа сооружений – инновационные поселения, выполненные под куполами и соединенные крытыми пешеходными переходами и проездами для городского транспорта. Территория комплекса окружена основным путепроводом на опорах с примыкающими второстепенными дорогами и съездами на поверхность земли. Каждое здание, как маленький квартал, будет

автономным. Первый — технический этаж, предназначен для эксплуатационных служб (котельная, инженерные сети, очистная система и др.), возможно размещение электрогенерирующих станций для аварийного обеспечения электроэнергией здания, гаражей и парковки. Здесь мы должны наработать опыт устройства и эксплуатации таких автономных комплексов, их доработки, возможной модернизации. В дальнейшем, при положительном опыте, возможно строительство платформ более большого размера, вплоть до размеров нескольких городских кварталов.

Следующим шагом должно быть, накрытие таких платформ куполом. Причем идеи города под куполом уже были озвучены еще в 1970 году. Германская компания Hochtief спроектировала «Город в Арктике» (City in the Arctic), накрытый надувной плёнкой-полусферой диаметром два километра и высотой 240 метров. В то время это выглядело некоторой авантюрой, но сегодня это вполне решаемые с технической точки зрения задачи.

В 2006 году Александр Болонкин (Alexander Bolonkin), специалист по космосу, и Ричард Кэткарт (Richard Cathcart), географ, предложили возводить бескаркасные «Вечнозелёные полярные купола» (Evergreen Polar Zone Dome — EPZD), поддерживаемые в расправленном состоянии небольшим избыточным давлением внутри поселения, а не внутри двойных стенок, как часто делается для надувных архитектурных конструкций. Под купол могут поместить такой город как Хьюстон в США. Купола

могут быть различной формы и конструкции. Нам кажется, что они должны иметь съёмные или сдвижные секции, для вентиляции или просто для открытия каких-то секций кластера, чтобы не терять связь с природой. Возможно, на них могут быть размещены солнечные батареи, системы сбора осадков, фильтрации солнечного света и другие функции, о которых мы сейчас не имеем представления, но которые могут быть важными в таких конструкциях. Для того чтобы выяснить это, и предлагается предложение к реализации проекта «Олонхолленд».

### **Заключение**

Таким образом, мы подходим к созданию городских кластеров с заданным микроклиматом. Обеспечив такие образования системой очистки вод, сброса стоков и кондиционирования воздуха мы переходим к городским системам замкнутого типа. Мы можем полностью исключить негативное влияние человека на окружающую среду и агрессивной среды на человека. Это может привести нас к строительству зон, пригодных для работы и проживания в любых экстремальных условиях, существующих на нашей планете. В будущем, такой опыт, безусловно, пригодится при решении задач освоения Луны и других планет.

## Газогидраты в криолитозоне

Л.Морозова

*Тюменский Государственный Нефтегазовый Университет, Тюмень, Россия*

### Актуальность темы

В настоящее время интерес к нетрадиционным источникам природного газа растет во всем мире, что обусловлено такими факторами, как:

Во-первых, истощение традиционных месторождений вблизи основных регионов-потребителей газа, огромными прогнозными ресурсами газа нетрадиционных источников и их широким распространением в земной коре.

Во-вторых, большинство базовых уникальных по запасам газовых месторождений на севере Западной Сибири вступили в стадию падающей добычи. Существующая в их ареалах добывающая и транспортная инфраструктура может быть использована еще длительное время при условии загрузки новыми объемами газа.

В-третьих, скопления газогидратов могут быть индикаторами интенсивных перетоков газа, связанных с глубокозалегающими нефтегазовыми месторождениями.

И, наконец, при освоении месторождений в северных регионах изучение гидратонасыщенности отложений имеет важное значение для предотвращения аварийных ситуаций, связанных с разложением пластовых газогидратов.

Поэтому оценка перспектив гидратоносности отложений севера Западной Сибири является актуальной темой исследований.

### Суть вопроса

При детальном рассмотрении проблемы выяснилось, что, несмотря на повсеместные прямые и косвенные указания на газоносность интервала криолитозоны при разбуривании северных газовых и нефтяных месторождений, имеются крайне ограниченные сведения о генезисе, распространенности, ресурсах и формах существования природных газов в указанном интервале.

Другая проблема, связанная с внутримерзлотными газами – внезапные газопроявления и даже газовые выбросы при проходке скважинами и подземными выработками интервала криолитозоны. Причем газопроявления различной интенсивности фиксируются как в нефтегазоносных провинциях, так и за их пределами.

Третья проблема, связанная с внутримерзлотными газами имеет экологический характер: Мощность, площадь распространения и чувствительность к изменению условий окружающей среды внутримерзлотных – газовых и газогидратных скоплений сейчас практически неизвестны. В то же время эти скопления – наиболее близкое к поверхности естественное хранилище парниковых газов в вечной мерзлоте. Отсюда возникает вопрос: как поведут себя эти скопления при глобальном потеплении климата; и оттаивании многолетнемерзлых пород (ММП)?

Основной целью работы является обоснование закономерностей формирования, распространения и эволюции газовых и газогидратных скоплений в криолитозоне. Для достижения поставленной цели последовательно решались следующие основные задачи:

- Систематизация известных данных по газопроявлениям из интервалов криолитозоны,

теоретическое обоснование условий и форм существования газовых гидратов в криолитозоне.

- Разработка методики экспериментального моделирования мерзлых гидратосодержащих пород,
- Разработка методики опробования мерзлых естественных кернов на присутствие газа и газогидратов.
- Обоснование генезиса и форм залегания природного газа в криолитозоне
- Обоснование механизмов формирования, распространения, эволюции и масштабов газовых и газогидратных скоплений в криолитозоне.

### Практическая значимость

Разработана комплексная методика исследования мерзлых газо- и гидратосодержащих пород с целью моделирования происходящих в них процессов миграции и аккумуляции газа, которая используется в настоящее время для моделирования возможности гидратонакопления в извлеченных кернах из потенциально-гидратоносных пластов как на суше, так и на море, позволяет получать параметры условий образования и существования газовых гидратов в породах различного генезиса и состава.

Также разработана методика полевого и лабораторного определения наличия газовых гидратов в мерзлых кернах позволяет определять такие параметры, как газосодержание и наличие гидратов в мерзлых кернах при геологоразведочных работах.

Построены геологические модели формирования газовых и газогидратных скоплений в криолитозоне позволяют уточнять геологическое развитие регионов распространения криолитозоны в неогенчетвертичное время при палеореконструкциях.

Разработаны методические рекомендации по поиску внутримерзлотных газовых и газогидратных скоплений, оценке количества газа в них позволяют использовать их при поиске и разведке промышленных скоплений газа в области распространения криолитозоны.

Разработаны методические рекомендации по бурению интервалов криолитозоны, содержащих газовые и газогидратные скопления, позволяют прогнозировать выбросоопасные интервалы при разбуривании криолитозоны.

### Литература

- Тер-Саркисов Р.М., Якушев В.С. Направления исследований газогидратов в газовой промышленности // Современное состояние газогидратных исследований в мире и практические результаты для газовой промышленности: Материалы совещ. – М.: ООО “ИРЦ Газпром”, 2004, с. 5–16.
- Чувилин Е.М., Перлова Е.В., Дубиняк Д.В. Экспериментальное моделирование условий существования газовых гидратов в морских отложениях п-ва Ямал // Мат. II конф. геокриологов России. – М.: МГУ, 2001, т. 1, с. 169–173.

## Геотехнические проблемы эксплуатации подземного нефтепровода в криолитозоне севера Западной Сибири

Д.Р. Муллануров

*Институт криосферы Земли СО РАН,*

В.В. Самсонова

*Тюменский государственный нефтегазовый университет*

### Аннотация

Для подземной части Ванкорского магистрального нефтепровода, где после введения его в эксплуатацию развивается комплекс негативных инженерно-геологических процессов, выявлены типы участков, имеющих различия в разрезе, характеристиках и свойствах грунтов деятельного слоя и многолетнемерзлых пород. Для каждого из типов участков на основе прогнозных расчетов показано и оценено тепловое воздействие природно-технической системы трубопровод - средства термостабилизации на вмещающие породы.

**Ключевые Слова:** криолитозона; многолетнемерзлые породы; инженерно-геологические процессы; температурное поле

### Введение

Проблема эксплуатации магистрального нефтепровода в районах распространения льдистых многолетнемерзлых пород (ММП) заключается в том, что при подземной прокладке и температуре перекачиваемого продукта 70°C он оказывает отепляющее воздействие на вмещающие грунты. Как результат – активизация термокарста, потеря несущей способности грунтового основания и неравномерное перемещение трубы в вертикальной плоскости с угрозой разрыва.

Для устранения этой проблемы на участках развития ММП вдоль оси трассы Ванкорского нефтепровода на отрезке Седельниково-Пурпе запроектированы и используются сезонно-действующие охлаждающие установки (термостабилизаторы), расстояние между которыми составляет 2500 мм. Эффективность их работы на некоторых участках не подтверждена. Это относится в основном к участкам понижений в рельефе, на которых развиты плоско-бугристые торфяники, торфяные болота, подстилаемые сильнольдистыми суглинками. Большая часть трубопровода проходит именно по таким участкам. Для оценки теплового воздействия теплоизолированного трубопровода на ММП с учетом работы термостабилизаторов выполнены прогнозные расчеты.

В течение первых лет эксплуатации в зоне прокладки нефтепровода активизировались негативные инженерно-геологические процессы: осадка и заболачивание поверхности. Обследование линейной части в конце теплого сезона 2010 года показало, что аккумуляция грунтовых вод в траншее привела к формированию линейно-вытянутых техногенных водоемов.

### Объекты и методы исследований

Проведена типизация грунтовых условий теплообмена вдоль оси рассматриваемого отрезка нефтепровода Ванкор-Пурпе в районе между рекой Таз и городом Тарко-Сале. Протяженность подземной части нефтепровода, расположенного в зоне прерывистого распространения ММП, составляет около 325 км. Выделены сходные по

геологическому строению и развитию ММП участки. Преобладают три типа участка, каждый из которых характеризуется определенным типом разреза.

Для первого типа разреза характерно наличие торфяного слоя мощностью 0,5 м и слоя мерзлого суглинка. Торф сильно- и среднеразложившийся, нормальнозольный, реже высокозольный, пластичномерзлый, сильнольдистый с порфировидной, сетчатой, слоистой и атакситовой криотекстурами. Суглинок легкий пылеватый, льдистый, просадочный, криотекстура слоистая, в талом состоянии текучий. Второй тип разреза представлен только суглинком торф отсутствует. По характеристикам этот суглинок аналогичен суглинку первого типа разреза. Третий тип разреза представлен песком, который перекрыт торфом, средней мощностью 0,5 м, по характеристикам аналогичным торфу первого типа разреза. Песок мелкий и пылеватый, твердомерзлый, слабольдистый, непросадочный, криотекстура массивная. Включение гальки и гравия от 5 до 10 %. Количество участков развития ММП по типам разрезов составляет: 1-й тип – 63 (общая протяженность – 28,5 км), 2-й тип – 10 (3 км), ), 3-й тип – 19 (13,5 км), в сумме составляя 45 км. Расчет отепляющего воздействия нефтепровода на вмещающие горные породы производился для 1-го и 2-го типов разреза в программной среде «WARM», разработанной на кафедре геокриологии МГУ.

Расчетная область математической двухмерной модели представляет собой вертикальную полуплоскость, перпендикулярную оси трубы, ограниченную сверху поверхностью Земли. В силу симметричности тепловой задачи относительно вертикальной плоскости симметрии, проходящей через осевую линию трубы, расчетная область составляет половину полупространства грунтового массива.

Размер расчетной области представляет модель массива грунтов 25 м шириной и 50 м глубиной. Глубина заложения теплоизолированной трубы до верхней образующей составляет 1,5 метра. Диаметр трубы 820 мм. Соответственно, нижняя образующая трубы находится на

отметке 2,32 м. Теплоизоляция трубы толщиной 200 мм выполнена из «пеноплекса».

На верхней границе расчетной области задавались условия типа «СНЕГ» На боковых поверхностях задавались условия II рода с нулевым теплотокотом. На нижней границе области задавались условия I рода с постоянной температурой грунта. Модель трубопровода была задана квадратами размером 0,1x0,1 м в форме, описывающей полуокружность с условиями теплообмена третьего рода.

Температура флюида составляет 70°C. Коэффициент теплообмена для теплоизоляции «Пеноплекс» толщиной  $\sigma = 200$  мм рассчитывался по формуле 1

$$\alpha = \frac{\lambda}{\sigma}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности «Пеноплекса», равный 0,03 Вт/(м·°C). Отсюда получаем:

$$\alpha = \frac{0,03}{0,20} = 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$$

Коэффициент теплообмена трубопровода с учетом изоляции равен 0,15 Вт/(м<sup>2</sup>·°C). Пространственная модель термостабилизатора задавалась в виде квадратов размером 0,2x0,2 м с глубины заложения нефтепровода. Между квадратами имелось расстояние, так как нельзя перекрывать полностью расчетную область по причине того, что термостабилизатор не является границей расчетной области. Квадраты задаются условиями третьего рода. При прогнозных расчетах в качестве характеристик исходного теплового поля использовались данные температуры грунта на разных глубинах, полученные в первый год эксплуатации при замерах в термометрических скважинах сети геотехнического мониторинга. Эти скважины располагались в 1500 мм от оси трубопровода и на расстоянии в 500 мм от термостабилизатора, который установлен в 1500 мм от оси трубопровода (рис.1). Значения температур воздуха задавались по данным метеостанции Тарко-Сале. Влияние техногенных водоемов не учитывалось.

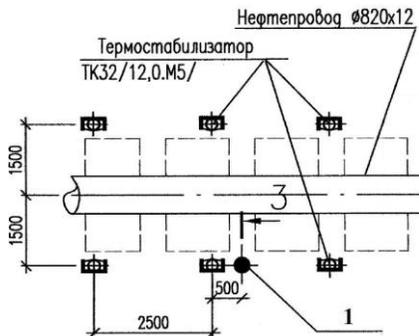


Рис.1. Схема расположения термометрической скважины (1) относительно нефтепровода и термостабилизатора

### Обсуждение результатов

По результатам прогнозных расчетов для всех типов разреза после 30 лет эксплуатации нефтепровода грунтовое основание останется в мерзлом состоянии, даже на участках с суглинистым без торфа типом разреза (рис.2).

Лишь непосредственно под трубой сформируется талая зона мощностью 0,2-0,3 м. Таким образом, работа термостабилизаторов обеспечивает устойчивость мерзлого состояния грунтов основания нефтепровода. Причиной развития негативных инженерно-геологических процессов (осадка грунтов, обводнение траншеи и т.д.) явилось неприменение технических решений, использующих тепловые экраны, т.е. учета влияния сезонных теплооборотов и динамики гидрогенных процессов на устойчивость сооружения при проектировании рассматриваемого трубопровода.

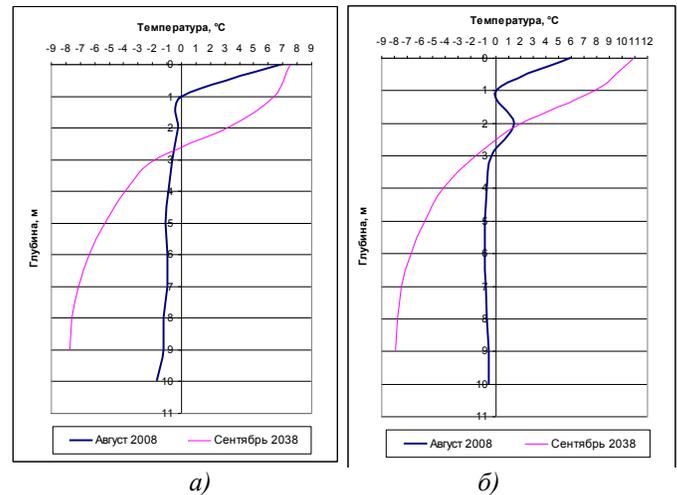


Рис.2. Температура вмещающих грунтов основания трубопровода в точке расположения наблюдательной геотермической скважины в первый год - фактические данные, и 30-й год эксплуатации трубопровода - результаты прогнозных расчетов (а, б соответственно для 1-го, 2-го типа разрезов).

### Литература

Надымгазпром: геотехномониторинг в криолитозоне. – М.: ИРЦ Газпром, 2001. с. 148.  
СНиП 23-01-99 Строительная климатология. Госстрой России. 2000 г.

## Психобиологическая характеристика качества жизни у жителей северных городов

А.Г. Наймушина

ФГБУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень, Россия

С.В. Соловьева

ГОУ ВПО «Тюменская государственная медицинская академия», г. Тюмень, Россия

**Ключевые Слова:** качество жизни, сердечно-сосудистые заболевания, стресс-индуцированные состояния.

Понятие «качество жизни» как социальный индекс и значимая характеристика жизнеобеспечения человека возникло в 60-е годы в США. По мнению группы экспертов ВОЗ (1999 г.): «качество жизни – это индивидуальное соотношение целей человека в обществе, его планов и возможностей с положением индивида в жизни общества в контексте культуры и систем ценности этого общества». Другая группа экспертов ВОЗ даёт несколько иное определение: «качество жизни – это степень восприятия отдельными людьми или группами людей того, что их потребности удовлетворяются, а необходимые для достижения благополучия и самореализации возможности представляются». Из этого определения следует, что сущность качества жизни имеет преимущественно социально-психологическую природу. Как считает Ю. В. Крупнов [2005], качество жизни, характеризуя и описывая объективную субъектность, определяется рефлексивными практиками и знаниями, т.е. принципиально строящимися на основе анализа субъектом средств организации своего мышления и деятельности. В биомедицинских исследованиях качество жизни (КЖ) определяется как интегральная характеристика физического, психологического, эмоционального и социального функционирования больного, основанная на его субъективном восприятии.

### Цель исследования

Основной целью исследования стала сравнительная оценка данных субъективного восприятия КЖ, полученных на основании опросников SF-36, Л. Ридера, А. Jones и клинико-anamnestического метода исследования у субъективно здоровых лиц и пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями и хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ).

Качество жизни жителей Севера – г. Ханты-Мансийск, г. Сургут (общее число обследованных – 1859 человек) оценили по опроснику SF-36 и экспресс методу Л. Ридера, у жителей г. Тюмени (общее число обследованных 5274 человек, 1822 женщины и 3452 мужчины, в экспериментальной группе – 1345 человек) определяли уровень самоактуализации личности [Jones 1986]. Всем респондентам провели комплексное клинико-лабораторное обследование по стандартной программе (клинический минимум, измерение артериального давления (АД), вычисление индекса массы тела (ИМТ), осмотр терапевта). Эхокардиографическое обследование проводилось на аппаратах «TOSHIBA». Spiroграфическое исследование у жителей Севера проводилось на Spirosoft SP - 5000 «Fucuda

Deushi». Результаты исследования подвергнуты статистической обработке и определению t-критерия Стьюдента.

### Результаты исследования.

Среди жителей северных городов 25-55 лет диагностирована артериальная гипертензия I степени (АГ) у 128 мужчин и 135 женщин, дисфункция дыхательной системы – у 133 мужчин и 150 женщин, сочетание АГ I степени и ХОБЛ – у 128 мужчин и 141 женщины.

В ходе многолетних исследований компенсаторно-приспособительных реакций человека к условиям длительного психоэмоционального напряжения и хронического стресса повседневной жизни выявлена большая группа субъективно здоровых мужчин и женщин 25-55 лет, проживающих и работающих в г. Тюмени. При углубленном обследовании которых (СМАД и холтеровское мониторирование, Эхо-КГ, биохимическое исследование крови) в зависимости от уровня АД впервые диагностирована АГ I-II степени у 443 мужчин и 199 женщин. У 72 мужчин и 309 женщин выявили пограничные психические расстройства (ППР) невротического, депрессивного и психосоматического уровней. У мужчин с ППР зарегистрированы самые высокие показатели уровня общего холестерина ( $6,49 \pm 0,12$  ммоль/л), сочетавшиеся с повышенной эхогенностью аорты у 48% пациентов. Ведущим клиническим синдромом у 80% пациентов с ППР и доминирующим стрессором стала эректильная дисфункция (ЭД). Клинико-лабораторное обследование 153 мужчин и 169 женщин не выявило функциональных и морфологических отклонений в состоянии организма у данной категории лиц, но именно в этой группе наблюдали тщательно скрывающиеся психоэмоциональные нарушения, соответствующие картине неспецифического астенического синдрома (АС).

При сравнительной оценке антропометрических данных и кардиогемодинамических параметров у практически здоровых лиц в возрасте от 25 до 55 лет в зависимости от пола, возраста и места проживания достоверных различий не получено. Биологические показатели и расчетные индексы органов дыхания и кровообращения у здоровых лиц, проживающих на Севере, в большинстве соответствовали возрастным и находились вблизи верхней или нижней границ нормы. У лиц с ХОБЛ и дисфункцией дыхательной системы имело место удовлетворительное или сниженное состояние основных изученных объёмных параметров и снижение скоростных.

В зависимости от места проживания у женщин с АГ I степени достоверных различий показателей морфофункционального состояния сердца не обнаружили. В то время, как у мужчин г. Тюмени, зарегистрированы достоверно более высокие показатели САД (от 146,0±1,13 мм рт.ст. до 148,0±0,72 мм рт.ст.) и ДАД (от 90,74±1,46 мм рт.ст. до 97,80±0,78 мм рт.ст.) в сравнении с уровнем артериального давления у жителей Севера (САД – от 140,19±2,07 мм рт.ст. до 141,3±1,18 мм рт.ст.; ДАД – 92,85±2,36 мм рт.ст.). У всех курящих мужчин г. Тюмени вне зависимости от характера дисфункции и у некурящих мужчин при АГ существует равный 10-летний риск смерти от ССЗ по оценке «SCORE». Сочетание высокого уровня базовой тревожности, эректильной дисфункции и акцентуации невротических черт личности по ипохондрическому типу предопределило основной патогенетический механизм развития пограничных психических расстройств у мужчин. Практически все жители г. Тюмени при первичном осмотре предъявляли жалобы, характерные для неспецифического АС: повышенную утомляемость, нарушения сна, высокую метеозависимость, неприятные ощущения или боли различной локализации, низкое или высокое артериального давления (АД), головную боль и головокружение.

Общей закономерностью явилось снижение КЖ жителей Севера с увеличением возраста. Наибольшие баллы зарегистрированы по шкалам «физические функции», «социальные функции» и «боль». В Законе о качестве жизни ХМАО отмечено, что те льготы и возможности, которые обеспечиваются уровнем жизни в нефтегазовом регионе, человек обязан ценить и хранить. Об этом же свидетельствует и высокая шкала собственной оценки с позиций ценности для других сограждан – социальные функции. Боль – важнейший биологический защитник, и понимание его роли – одна из гарантий раннего обнаружения и избегания опасности. Реальная оценка собственной значимости социальной роли довольно высока. «Эмоциональная функция» выше «физической» у лиц женского пола. ХОБЛ и дыхательная дисфункция существенно снижает значения большинства шкал, но сохраняет на первых местах «физические функции», «ролевые функции», «ролевые эмоциональные функции».

Обращают на себя внимание более низкие баллы у женщин Севера. Женщины вообще менее охотно участвовали в заполнении опросников, отличались большей чувствительностью к смене обстановки, среди них больше метеотропов, у них завышена самооценка в ответах на вопросы прямого опроса. Объективность пока состоит в том, что, несмотря на сравнительно, с другими территориями, большие социально-экономические возможности женщины в обществе, способность к самообеспечению у них ниже: у женщин ниже уровень заработной платы, им труднее устроиться на работу, особенно в пенсионный период. Заболевание ими, естественно, воспринимается более негативно. Не

исключен эффект психологической защиты. При анализе факторов риска, который проводился после сбора информации путём прямого опроса установлено, что наиболее вероятными являются пол, возраст, резкие смены климатических параметров, метеотропия, состояние неудовлетворённости сном, нарушение его, одышка, курение, малоподвижность, холод, внутреннее напряжение, утомляемость. Первые три фактора выявлялись с равной частотой во всех группах, а такой фактор как одышка достоверно чаще в группе лиц с дыхательной дисфункцией и ХОБЛ.

У всех мужчин и женщин г. Тюмени, вне зависимости от характера дисфункции уровень самоактуализации был выше 45 баллов и свидетельствовал о высоком КЖ респондентов. Клинический метод исследования и метод прямого опроса выявили значимые личностные проблемы у всех жительниц г. Тюмени – внутриличностный конфликт работающей женщины. У здоровых женщин с АС и пациенток с АГ доминировали субъективные симптомы нарушения деятельности ССС в виде выраженного болевого синдрома, высокой метеочувствительности и разнообразных неспецифических обшемозговых симптомов на фоне плохой переносимости физической нагрузки. У мужчин г. Тюмени отличительной особенностью оценки состояния здоровья явилось становление субъективного чувства страха потери доминирующей роли в социуме.

## Заключение

Результаты исследования и анализ данных опросника SF-36 показал, что качество жизни здоровых лиц и пациентов с дисфункциями бронхолёгочной и сердечно-сосудистой систем, проживающих на Севере существенно снижено, хотя жители северного региона Западной Сибири обладают лучшей социальной поддержкой, так как в 2006 г. Правительство ХМАО приняло «Закон о качестве жизни населения ХМАО». Напротив, детальное клинико-анамнестическое обследование позволило выявить значимые личные проблемы у лиц с высоким уровнем самоактуализации, которые свидетельствуют о худшей социально-психологической адаптации жителей г. Тюмени.

Не следует забывать о том, что основным методом оценки КЖ является мнение самого пациента, так как качество жизни – объективный критерий субъективности. Субъективные симптомы, полученные при тщательном сборе анамнеза также достоверны, как и результаты клинико-лабораторных и инструментальных методов обследования поскольку являются ощущениями пациента, связанными с патологическим процессом и имеют особое значение для диагностики преморбидных состояний. Согласно постулату А. А. Ухтомского: «субъективные показатели объективны для тех, кто умеет их понимать и расшифровывать».

## Результаты развития инновационной инфраструктуры криологических исследований Тюменского государственного нефтегазового университета

В.В.Новоселов

*Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия*

Тюменский государственный нефтегазовый университет, созданный 55 лет назад, стал основным поставщиком кадров для нефтегазодобывающей отрасли. Необходимость создания университета была продиктована потребностью обеспечения инженерными кадрами развивающейся промышленности региона. С поставленной задачей вуз успешно справляется и сегодня. Тюменский государственный нефтегазовый университет является крупнейшим научно-образовательным комплексом с хорошей материальной базой, высококвалифицированным профессорско-преподавательским составом, среди которых 725 кандидатов наук и 213 докторов наук. Университет реализует 642 образовательные программы, по которым количество обучающихся превышает 60 тысяч человек.

Подготовка кадров для обеспечения эффективного природопользования в нефтегазодобывающем регионе на основе интеграции образования, науки и инновационной деятельности в университете реализуется через инновационную программу «Внедрение и развитие криологического аспекта в основные образовательные программы университетского комплекса».

В целом вопросы криологии являются сквозными для исследований разных кафедр Тюменского государственного нефтегазового университета: геологических, технических, экономических и гуманитарных. Это отражено в вопросах строительства автомобильных дорог и борьбы с гололедными явлениями, топографической съемки в условиях Крайнего Севера и водоснабжения в северной климатической зоне, социальных аспектах здоровья и здорового образа жизни в северных условиях, технологии производства сварочных работ и монтаже трубопроводов при низких температурах, при изучении особенностей пуска двигателей в условиях низких температур. За последние годы проведены серьезные исследования по оценке воздействий нефтегазовых и инфраструктурных объектов на хрупкие криосистемы, разрабатываются инновационные технологии их сохранения.

В вузе созданы специализированные структурные подразделения, где ведутся активные научные исследования по изучению влияния низких температур на процессы технических, социальных, экологических и биологических систем.

В 2002 году в ТюмГНГУ создана кафедра криологии Земли. В 2003 г. совместными усилиями Института криосферы Земли СО РАН и Тюменского государственного нефтегазового университета организован Субарктический научно-учебный полигон.

Уникальность Субарктического полигона, как единственного в Западно-Сибирском регионе межвузовского научно-образовательного центра, заключается в организации мониторинговых исследований изменчивости климатических и геокриологических условий территории на многолетнюю перспективу. К настоящему времени создана сеть наблюдательных площадок, расположенных на территории месторождений ООО

«Газпром добыча Надым», обустроенных по единым принципам и расположенных как в южных районах прерывистого распространения многолетнемерзлых грунтов в пределах Надым-Пуровского междуречья, так и на полуострове Ямал со сплошным развитием вечной мерзлоты и широким распространением засоленных грунтов.

Основой всех наблюдательных площадок являются геотемпературные скважины глубиной 30 м, оборудованные автономными автоматизированными системами для регистрации и накопления информации о температурном режиме пород по всей глубине. Комплекс исследований включает проведение снегосъемки, т.е. пространственное распределение мощности и плотности снежного покрова, его структуры; определение динамики сезонной глубины протаивания–промерзания. Геотемпературные скважины внесены в базу данных Совета по криологии Земли Президиума РАН и Международной ассоциации по мерзлотоведению (IPA).

В течение Международного полярного года (2007 — 2008 гг.) на базе Субарктического полигона впервые в России проведены Международные полевые курсы по мерзлотоведению по форме Летних студенческих школ совместно с университетом Гамбурга (Германия), университетами Делавэра и Монтаны (США), при участии Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. В последние годы подобные студенческие образовательные центры получили широкое распространение. Деятельность таких центров осуществляется при финансовой национальной поддержке и участии международных научных сообществ организацией конкурсов научно-учебных программ среди ведущих ученых, которые привлекаются для проведения полевых и лабораторных курсов.

Современная научно-исследовательская деятельность, как и подготовка квалифицированного специалиста в университете, невозможна без интеграции в международное научное сообщество, участия сотрудников полигона и активной молодежи из числа студентов и аспирантов в международных научно-исследовательских проектах. В рамках европейского проекта INTAS Infrastructure Action в 2005 г. совместно с университетом Гамбурга и Институтом полярных и морских исследований им. А. Вегенера (Германия) получен грант «Developing and maintenance of the observational network of the Subarctic Scientific Center as the base for educational and scientific activity in environmental studies in Western Siberia», по которому была приобретена автоматическая почвенно-климатическая станция международного образца, установленная на территории ГМ Бованенково (п-ов Ямал). Основные параметры измерения – это температура и влажность воздуха, направление и скорость ветра, давление, актинометрические показатели: солнечная радиация, а также длинноволновое излучение, количество атмосферных осадков, а также мощность снежного покрова в зимнее

время. Почвенный модуль включает в себя измерение температуры и влажности грунта основных литологических горизонтов слоя сезонного протаивания (7 горизонтов).

Сложное строение криолитозоны на севере Западной Сибири ставит перед исследователями не только практические задачи оценки и прогноза состояния мерзлых пород, но и фундаментальные вопросы происхождения удивительного феномена — пластовых льдов, наиболее широко распространенных на полуострове Ямал. С 2009 г. сотрудники полигона участвуют в реализации проекта «Подземные льды как среда обитания микроорганизмов» по гранту Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ). Для решения поставленной задачи предлагается оригинальный подход — изучить жизнедеятельность микроорганизмов непосредственно в их среде обитания — подземных льдах разного генезиса с использованием методов оптической и электронной микроскопии.

Деятельность Субарктического научно-учебного центра способствует не только улучшению качества образования, но и развитию взаимодействия между российскими учеными и международным научным сообществом в решении фундаментальных проблем современности, в частности, пониманию тенденций глобальных климатических изменений в системе «КЛИМАТ-КРИОСФЕРА».

В феврале 2005 года на базе кафедры «Криология Земли» создан институт прикладного профиля — НИИ криогенных ресурсов.

Основная цель НИИ — развитие ресурсного подхода в криологии Земли, а также реализация инновационного потенциала перспективных к внедрению научных разработок и прогрессивных форм интеграции вузов, профильных научных учреждений, проектных и производственных организаций, решающих практические вопросы, связанные с различными аспектами криологии как науки и сферы деятельности.

Основными научными направлениями института являются криоэкологическое ресурсоведение и геофизиология, криогеотехнологии, физика, химия и механика криогенетических систем, геоэкологический мониторинг в криолитозоне. Изучаются механизмы саморегуляции и предельные состояния криогенетических систем, влияние криогенных факторов на динамику возобновляемых ресурсов, закономерности изменчивости потенциала криосферы Земли. Разрабатываются и совершенствуются технические средства и способы рационального использования возобновляемых криогенных ресурсов, технологии улучшения строительных свойств грунтов и строительства для обеспечения надежности геотехнических систем в криолитозоне, системы фонового криосферного и геоэкологического мониторинга на промышленных и гражданских объектах.

Институт осуществляет свою деятельность в тесном сотрудничестве со специализированными подразделениями ОАО «Газпром», подразделениями РАН, профильными предприятиями, организациями и кафедрами вузов.

В структуре института на момент создания было семь научно-исследовательских лабораторий: криоэко-

логического ресурсоведения; фонового криосферного мониторинга; криогеотехнологий; технического ледоведения; геоэкологического мониторинга в криолитозоне; геофизиологии; биогеохимии мерзлых почв. Кроме этого имеются аналитическая лаборатория физики, химии и механики мерзлых грунтов, деятельность которой сертифицирована в 2006 году, лаборатория микробиологии криолитозоны. В институте имеются три крупногабаритные климатические камеры, специальная аппаратура и установки для проведения теплофизических и геотермических исследований, снаряжение для выполнения полевых геофизиологических исследований, оборудование для отбора проб, изучения и определения свойств грунтов в полевых условиях.

В рамках научно-исследовательских работ с 2006 года и по настоящее время проводятся комплексные исследования на площадках фонового криосферного мониторинга, расположенных в районах Ханты-Мансийска, Сургута, Когалыма, Ноябрьска, Приозерного, Правой Хетты, Харасавэя, Тюрин-то, Западно-Таркосалинского и Бованенковского месторождений и в окрестностях Тюмени.

В 2006 году выполнены работы по исследованию особенностей развития опасных криогенных процессов по трассе МГ на участке км 0 – км 115 и площадке КС Байдарацкая, прогнозу влияния техногенных нагрузок на состояние геологической среды площадок 1В и 2В Заполярного газоконденсатного месторождения.

В изучении ресурсов особняком стоят исследования НИИ общей и прикладной криологии, посвященные воздействию на скорость репаративных процессов живых организмов и биомедицинских свойств древней жизнеспособной микробиоты криолитозоны.

Экспериментально установлено, что локальное кратковременное воздействие температурного фактора способно оказывать системное влияние и целенаправленно модулировать деятельность различных физиологических систем организма — иммунной, нервной, мышечной, пищеварительной и терморегуляторной. Локальное воздействие холода способно оказывать позитивное влияние на скорость репаративных процессов.

Одним из направлений исследований микробиоты криолитозоны является изучение влияния криогенных микроорганизмов, выделенных из вечной мерзлоты Якутии, на скорость репаративных процессов ран и цитогенетические нарушения в клетках. Криогенные микроорганизмы способствуют ускорению процессов заживления ран и их эпителизации.

В настоящее время начато биологическое тестирование полученных соединений, что является основой для развития биотехнологических технологий получения фармакологической субстанции с иммуномодулирующими и геропротекторными свойствами.

Направленность и объем выполняемых работ, а также обеспеченность научных исследований позволяют считать Тюменский государственный нефтегазовый университет совместно с Институтом криосферы Земли СО РАН одним из самых активных исследователей в области криологии.

## Позднеплейстоценовый криолитопедогенез и почвы центра Восточно-Европейской равнины

А.Ю. Овчинников, Л.А. Гугалинская, И.М. Вагапов

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушчинский государственный естественно-научный институт, г. Пушкино Московской области, Российская Федерация

**Ключевые Слова:** криолитопедогенез; палеокриогенез; погребенные блоки и межблочья; сгущения языков-клиньев; структура почвенного покрова.

Проблема взаимоотношения почвы и окружающей среды является одной из актуальных в современном почвоведении, и особенно она важна в исследованиях, касающихся изучения строения почв и структуры почвенного покрова. Лессовидные суглинки позднего плейстоцена в качестве почвообразующих пород для голоценовых почв являются объектом исследования почвоведов. Особый интерес суглинкам придают существующие в них многочисленные реликты палеокриолитогенеза и перигляциального педогенеза, которые, по нашим материалам, оказывают существенное влияние на современное (голоценовое) почвообразование. К числу наиболее информативных мы относим разнообразные разновозрастные реликтовые палеокриогенные признаки и явления, а из них к числу наиболее заметно влияющих на голоценовое почвообразование относим реликтовые полигонально-жильные структуры.

Докладываются результаты исследования серых лесных почв и черноземов центра Восточно-Европейской равнины. Черноземы изучались в Тульской (ключевой участок «Венец») и Воронежской областях (заказник «Каменная степь»). Серые лесные почвы изучались в Московской области (ключевой участок «Пушино»).

Исследования, осуществляющиеся на разных типах почв в больших разрезах-траншеях, показали, что почвообразующие породы и погребенные в них почвы представляют собой циклически построенные толщи, сформировавшиеся под действием процессов литогенеза, криогенеза и педогенеза. Из признаков палеокриогенеза в этих толщах чаще всего встречаются криотурбации, солифлюкционное течение грунтов, морозобойные трещины разных генераций, в том числе выявленные нами неоднородности пространственного распределения языков-клиньев (их сгущения). [Овчинников 2009, Алифанов и др. 2010]. Полигоны, формирующиеся сгущениями языков-клиньев высотой 1-1,5 м, имеют несколько меньшие размеры (микрорельеф с размерами блоков 15-20 м), чем полигоны с псевдоморфозами по ледяным жилам или изначально грунтовыми жилами высотой 2-3 м, которые создают микрорельеф с размерами блоков 25-40 м [Алифанов 1995].

Полигоны с псевдоморфозами по ледяной жиле или грунтовыми жилами высотой 2-3 м формировались в центре позднеплейстоценовой перигляциальной зоны: псевдоморфозы по ледяным жилам изучены на севере Среднерусской возвышенности (Московская область,

54.8323 с.ш., 37.6272 в.д.), грунтовые жилы – на востоке Смоленско-Московской возвышенности (Владимирская область, 56.1780 с.ш., 40.5077 в.д.). Сгущения языков-клиньев формировались на юге этой зоны (заказник «Каменная степь», Воронежская область, 51.0361 с.ш., 40.7359 в.д.). Возможно, что здесь климатические условия были менее суровыми, морозобойное растрескивание не было столь глубокими, а в зонах пересечения трещин происходило более активное морозное выветривание пород под воздействием промерзания-оттаивания (см. рис.1)

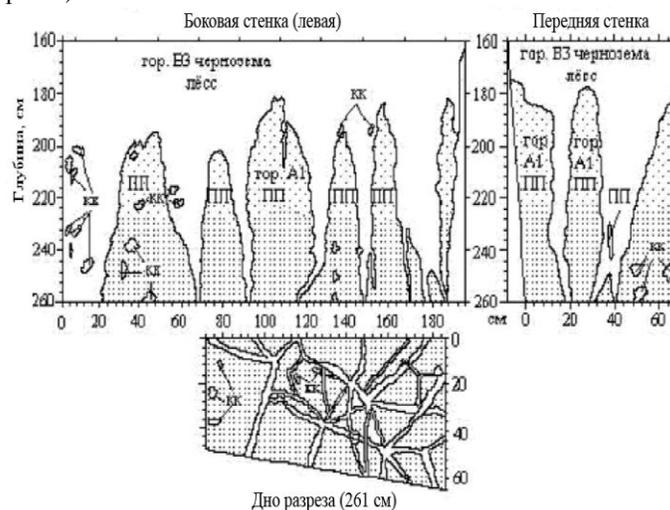


Рис. 1. Схема сгущений языков-клиньев в профиле чернозема в межблочье. Разрез 6-2005. Заказник «Каменная степь», Воронежская область

Созданный реликтовыми полигональными структурами на современной дневной поверхности микрорельеф оказывает заметное воздействие на формирование почвенных профилей голоценовых почв. В результате процессов криолитопедогенеза образуется неоднородность строения генетических горизонтов: проявляющиеся на дневной поверхности понижения над палеокриогенными трещинами существенно трансформируют морфологию почв. Генетические горизонты могут сильно изменять свою мощность и даже исчезать из профиля почвы, происходит дифференциация физических и физико-химических характеристик почв над погребенными блоками и межблочьями, что вызывает пространственную неоднородность почвенного покрова на типовом и подтиповом уровнях (см. рис.2).

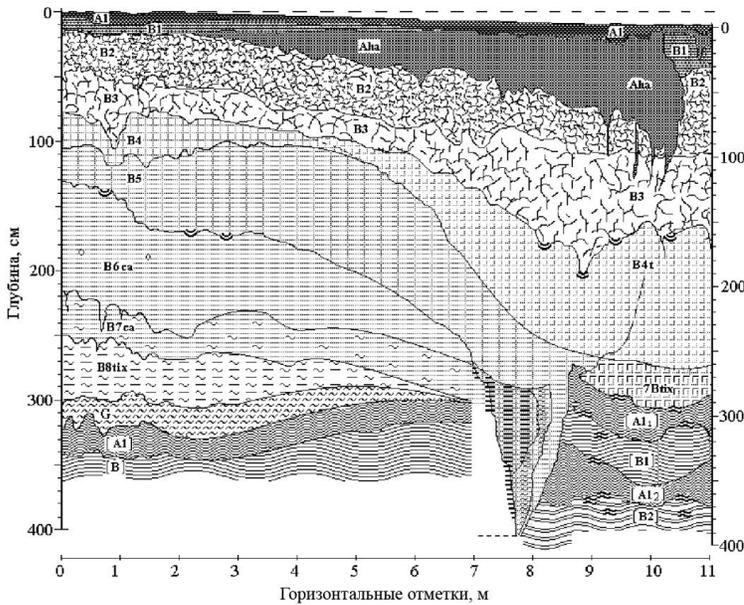


Рис.2. Схема строения профилей серых лесных почв на разных элементах микрорельефа (блок – разрез 1АГ-2007 (слева); межблочье – разрез 2АГ-2007 (справа). Ключевой участок «Пушино». Московская область.

Кроме реликтовых полигональных крупных структур в почвенных профилях часто присутствуют мелкие реликтовые полигональные структуры (см. рис.3). Их формирование происходило во время погребения крупных полигональных структур. По-видимому, отложение нового материала было прерывистым, каждый из вновь отложенных слоев какое-то время существовал на дневной поверхности и прорабатывался процессами криолитогенеза. Факт существования на дневной поверхности этих слоев подтверждают присутствующие в почвенном профиле чернозема выщелоченного слабо выраженные гумусовые горизонты.

По последним данным коллектива палеогеографов, давно изучающих крупные реликтовые полигональные структуры, их формирование происходило в ярославский криогенный этап в конце позднего плейстоцена примерно 20-18 тыс. л. н. [Палеоклиматы..., 2009]. Наши предварительные исследования возраста этих структур позволяют считать, что более ранняя датировка ярославского криогенного этапа, предложенная этим коллективом (17-15 тыс. л.н.) более вероятна.

### Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 11-04-01083).

### Литература

- Алифанов, В.М. 1995. Палеокриогенез и современное почвообразование. – Пушино: Издательство ОНТИ ПНЦ Российской академии наук, 318стр. (на русском языке)
- Алифанов, В.М., Гугалинская, Л.А., Овчинников, А.Ю. 2010. Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины. – М.: ГЕОС, 160 стр., + вкл. (на русском языке)
- Овчинников, А.Ю. 2009. Палеокриогенез как фактор дифференциации современных почв и почвенного покрова центра Восточно-Европейской равнины. Автореферат диссертации к.б.н. – М., 24 стр. (на русском языке)
- Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен. 2009. Атлас-монография под редакцией А.А. Величко. – М.: ГЕОС, 120 стр. (на русском языке)

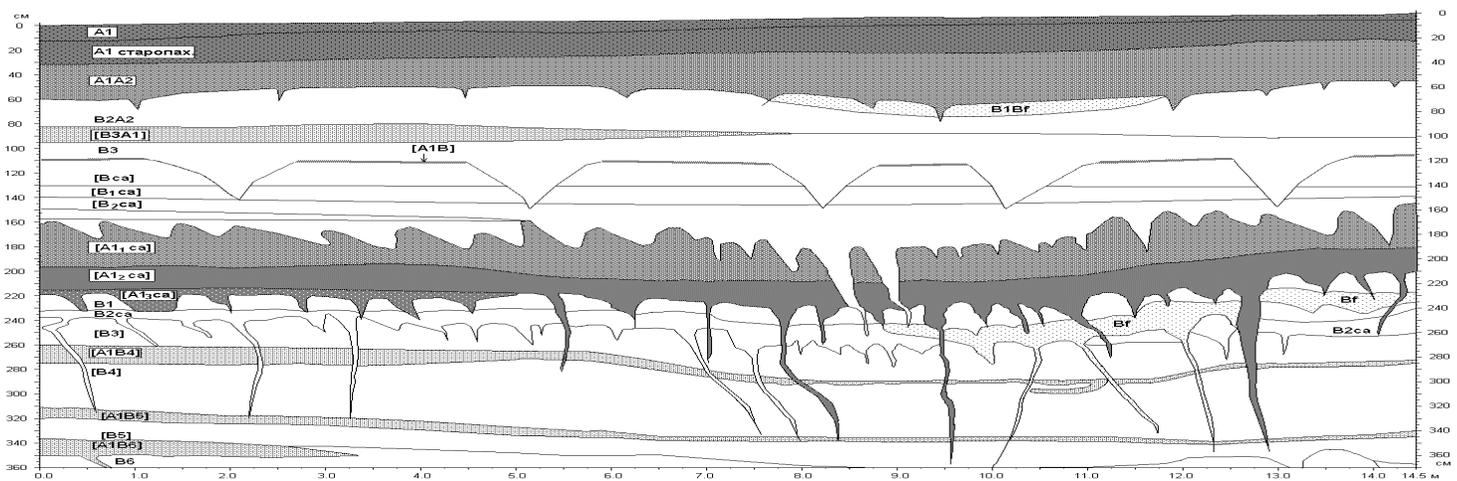


Рис.3. Схема строения профиля и палеокриогенных структур в северных подтипах черноземов. Разрез охватывает блок (слева) и межблочье (справа). Разрез 1-2009. Ключевой участок «Венев». Тульская область

## Каменные глетчеры Алтая и их современное состояние

О.В. Останин

*Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия*

Каменные глетчеры на Алтае распространены довольно широко, однако в настоящее время они исследованы недостаточно. О географическом распространении, некоторых особенностях формирования можно узнать из немногочисленных работ [Агатова, 2002; Заморьев, 1963, 1981; Ивановский 1977 и др.].

В ходе наших исследований проводилось выявление пространственного расположения каменных глетчеров, определялось их современное состояние, развитие термокарстовых процессов, проводилось наблюдения за движением фронтов и их поверхности, и термическим режимом верхней части толщи (до горизонта многолетней мерзлоты).

По генетическо-морфологическому признаку на Алтае нами выделяются – каменные глетчеры (скопление в горах грубообломочного материала сцементированного льдом глетчерного происхождения, обладающее способностью к самостоятельному движению; в верховье которых располагаются современные ледники, в отдельных случаях имеющие «связь» с ними) и каменные потоки (или неледниковые каменные глетчеры – скопление в горах грубообломочного материала (преимущественно лавинно-осыпного и обвального происхождения) сцементированного гольцовым (конжеляционным) льдом, обладающее способностью к самостоятельному движению). В рамках данной работы данные образования нами называются под общим термином «гляциально-мерзлотные каменные образования».

Идентификация гляциально-мерзлотных каменных образований производилась с помощью стандартных дистанционных и полевых методов гляцио-геоморфологического анализа и картографирования. К основным морфологическим признакам гляциально-мерзлотных каменных образований были отнесены следующие: в плане подковообразная выпуклая натечная формы, фронтальный уступ заканчивающиеся осыпным шлейфом, напорные и ударные валы у его основания, натечные ступени, придающий характерный ложбино-грядовый рельеф, наличие во фронтальной их части множества ручьев и ключей и маргинальных каналов между коренным склоном и боковым уступом (у некоторых каменных глетчеров и бронированных ледников).

При описании гляциально-мерзлотных каменных образований выявлялись следующие параметры: местоположение, высоты расположения фронтов, активность, тип образования, его экспозиция, метрические параметры (длина, ширина, площадь), литературная информация об объекте. Это позволило заложить основу ГИС «Гляциально-мерзлотные каменные образования Алтая», включающая карты расположения гляциально-мерзлотных каменных образований и их каталог. Основой

данных картосхем послужили: космическая съемка со спутника LANDSAT (пространственное разрешение 28 и 14 м/пикселе) на весь район исследования, со спутника ALOS (пространственное разрешение 10 и 2,5 м/пикселе) на отдельные территории, а также литературные материалы и материалы наших полевых исследований. Космические снимки LANDSAT использовались – разновременные и разносезонные. Это позволило контролировать правильность выделения гляциально-мерзлотных каменных образований из-за разного отображения растительности, освещенности склонов на космических снимках, а также геоморфологической выраженности этих объектов на зимних снимках, за счет их «текстурирования» снежным покровом. Особый интерес представляет использование, для целей выявления этих объектов, цифровой модели рельефа (ЦМР). Нами она была построена на основе стереопар снимков ALOS, с шагом 10 м, путем интерполирования по методу минимальной кривизны. По ЦМР были построены горизонталы с сечением в 5 м, что позволило выявлять гляциально-мерзлотные образования с большей вероятностью. Данный подход выгодно отличается тем, что объекты, включая гидрографическую сеть, можно картографировать в трехмерном виде. При этом получаются ортотрансформированный космический снимок высокого качества.

Наибольшее количество гляциально-мерзлотных образований на Алтае отмечено на Южно-Чуйском, Северо-Чуйском, Катунском хребтах Центрального Алтая, хребте Южный Алтай и плоскогорье Укок – Юго-Западного Алтая. На данной территории было выделено 1210 гляциальных каменных образований общей площадью более 398 кв. км. Широтное простираение хребтов, господство западных и юго-западных ветров создают условия для экспозиционной зависимости развития каменных образований. Почти 70% этих образований имеют северную, северо-западную и северо-восточную экспозицию, что так же определяется их более благоприятными условиями для существования многолетней мерзлоты на северных склонах, чем на южных. Наименьшее число гляциально-мерзлотных образований располагается на юго-западных, южных и юго-восточных склонах. Зависимость от экспозиции наблюдается и в формировании типа гляциально-мерзлотных каменных образований. Так, например, каменные глетчеры в основном формируются на склонах северных и северо-восточных экспозиций (затененных подветренных), а каменные потоки и комплексы – на северных и северо-западных (затененных наветренных). Это указывает на различные условия их формирования и генезиса. Следует отметить также и то, что каменные потоки находятся на большем удалении от крупных

современных центров оледенения (1200 м), чем каменные глетчеры. Высотные пределы расположения гляциально-мерзлотных каменных образований определены нами в интервале от 2000 до 2600 м на ур.м.

С 2003 года нами периодически проводятся инструментальные наблюдения за движением гляциально-мерзлотных каменных образований в долине р. Аккол (Южно-Чуйский хребет) на высоте 2550 м на ур.м. (за двумя потоками) и на высоте 2300 м на ур.м. (за тремя потоками). Для этого используются GPS геодезического класса (сантиметровой точности) и тахеометр. За период с 2003 по 2011 гг., контрольные точки на поверхности наблюдаемых каменных потоков сдвинулись вниз по склону от 0,32 до 1,56 м, со средней скоростью 3-7 см/год. Съемка последних двух лет показала, что средняя скорость течения каменных потоков незначительно увеличилась (на 0,9-2,1 см). Было выявлено, что каменные потоки, кроме самостоятельного движения (течения вниз по склону) испытывают поступательное давление

вышерасположенных молодых генераций, из-за чего они не просто стекают вниз, но и расползаются в стороны.

Нами были продолжены ранее начатые, в 2003 г. в Акколе и 2006 в Мульте, круглогодичные температурные наблюдения с помощью автоматических самописцев (с временным разрешением 1 час), в различных ландшафтно-климатических условиях высокогорий, в том числе и на поверхности каменных глетчеров и рядом с ними. Наблюдения были организованы в долине р. Мульта (Катунский хребет) за температурой воздуха (на высоте 2 м от поверхности земли) в интервале абсолютных высот 2150-2350 м на ур.м и в долине р. Аккол (Южно-Чуйский хребет) за температурой воздуха (на высоте 2 м от поверхности земли) и за температурой грунтов – на их поверхности и на разных глубинах (до 2 м), в высотном интервале – 2300-2570 м на ур.м.

### **Благодарности**

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ (МК-349.2010.5).

## Результаты натурных исследований влияния ландшафтных условий на динамику сезонно-талого слоя в Игарском регионе

Е.А. Остроумова

*Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова Географический факультет кафедра криолитологии и гляциологии, Москва, Россия*

### Введение

Взаимодействие ландшафтных условий и глубины залегания верхней границы многолетнемерзлых толщ в условиях их близкого залегания является одной из актуальных проблем мерзлотоведения. С целью выявления взаимосвязи неоднородного распространения различных растительных сообществ, разнообразных форм рельефа (а также нанорельефа) и развития верхнего, наиболее динамичного слоя мерзлых пород – сезонно-талого слоя (СТС) – в июле 2011 г. проводились натурные измерения мощности СТС в пределах различных природно-территориальных комплексов в районе г. Игарки. В рассматриваемом регионе влияние растительного покрова и других ландшафтных условий на многолетнемерзлые породы (ММП) неодинаково из-за существенных различий растительности по видовому составу и высоте, наличия разнообразных форм рельефа и нанорельефа. Параллельно изучая растительный покров территории, рельеф, глубины СТС, климатических факторов можно проследить зависимость этих параметров друг от друга.

В результате исследований, выделено 7 участков различных по ландшафтным условиям, глубине залегания верхней границы вечномерзлых пород, температурному режиму, степени увлажненности и антропогенному вмешательству.

### Методика

В пределах исследуемых территорий описывалось наличие всех основных элементов нанорельефа: нанополигнов различных уровней и степени зарастания, трещин, небольших повышений различного происхождения. Для каждого выбранного для исследования участка были описаны соответствующие растительные сообщества.

На участках с точностью до 1 см с помощью мерзлотного щупа, а также посредством раскапывания шурфов и небольших траншей (с целью наиболее подробного изучения свойств грунта), проводились измерения глубины залегания кровли многолетнемерзлых пород от дневной поверхности. Измерение глубин протаивания на каждом участке проводились не менее трех раз, в каждой точке – не менее двух раз с целью достижения наибольшей точности. Шаг этих измерений соответствовал исследованиям, проводимым для характеристики мезорельефа и описания растительных сообществ.

### Район исследований

Район исследования расположен в Игарском регионе, который относится к прерывистому распространению

вечномерзлых толщ. Глубины протаивания грунта изменяются от 0,5-0,7 (в торфяных грунтах) до 1,5-1,7 (в минеральных).

Климат исследуемого района – субарктический. Среднегодовая температура воздуха составляет  $-9,5^{\circ}\text{C}$ , количество осадков 500 мм/год. Данные по основным климатическим характеристикам представлены в таблице 3.1.

Основной район исследований приурочен ко второй надпойменной (Каргинской) террасе и затрагивает как территорию распространения тундровых, лесотундровых природно-территориальных комплексов (ПТК), так и северотаежных ассоциаций.

### Результаты и дискуссия

В результате ландшафтных исследований выделено 7 природно-территориальных комплексов. В таблице 1 представлено описание микрорельефа и растительных сообществ, характерные для данных ПТК.

Таблица 1. Ландшафтное описание ПТК.

ПТК	ПТК
I	Участок Северной тайги с ровной поверхностью, слегка осложненной отдельными маленькими водотоками и биогенными бугорками, занятый березово-еловый лесом
II	Хорошо дренированная бугорковая поверхность, занятая березово-лиственничным лесом
III	Лиственничное редколесье на бугорковой поверхности
IV	Бугристо-бугорковая, распущенная поверхность с термокарстовыми понижениями, кустарничково-кустарничковая тундра
V	Бугор пучения с кустарничково-осоково-моховыми сообществами.
VI	Бугристо-волнистая поверхность бывшего березово-лиственничного леса с многочисленными рытвинами, кочками подвергшегося пожару, с большим числом поваленных, частично обгорелых деревьев; злаково-хвощевые сообщества
VII	Бугристо-бугорковая, подвергшаяся пожару кустарничковая тундра

Ниже представлены фотографии всех описанных природно-территориальных комплексов (рис.1 – рис.5).



Рис.1. ПТК №I. Рис.2. ПТК №IV, обрамленный ПТК №II.



Рис.3. ПТК №VII, Рис.4. ПТК №VI, обрамленный ПТК №III.



Рис.5. ПТК №V.

Для каждого выделенного ПТК была измерена глубина СТС. Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. Значения глубины СТС в различных ПТК.

№ ПТК	I	II	III	IV	V	VI	VII
Ср.глубина СТС,см	-	-	93	35	32	77	34
Макс.глубина СТС,см	-	-	150	46	58	138	44

Как видно из таблицы 2, в пределах Северной тайги на 2.07.2011г. верхняя граница многолетнемерзлых пород не обнаружена (залегает на глубине >217 см). В условиях сгорания лесной растительности (по сведениям местных жителей, в 2004 году) на территории Каргинской террасы и постепенного восстановления здесь в настоящее время злаково-хвощевых сообществ наблюдается увеличение мощности ММП. В отличие от показателей сохранившегося березово-лиственничного леса (зона лесотундры), где мерзлота не была обнаружена (верхняя граница залегает на глубине >160 см), здесь средняя мощность СТС на 7.07.2011г. составила 77 см. Безусловно, во время пожара температурный режим грунтов был сильно нарушен. Со сменой растительности изменилось

термическое сопротивление напочвенного покрова. Учитывая постоянный температурный режим воздуха, количество летних осадков, можно утверждать, что в настоящее время отсутствие лесной растительности, из чего также следуют изменения значений мощности и плотности снежного покрова, способствует постепенному увеличению мощности многолетнемерзлой толщи на данных участках и, соответственно, уменьшению мощности СТС.

На бугре пучения в пределах южной тундры, сверху перекрытым торфом (по результатам бурения за 7.07.2011г. мощность торфа составила 2 метра), максимальная глубина СТС обнаружена вблизи его основания, которое занимают кустарничковые сообщества. Здесь наблюдалась повышенная увлажненность участков, вследствие стекания атмосферной влаги по верхней границе ММП (которая выступает в качестве водоупора) от вершины бугра к его основанию. Наименьшие глубины протаивания (19 см) соответствуют участкам, прилегающим к вершине бугра с мохово-лишайниковым покровом.

В целом, растительные ассоциации оказывают на температурный режим грунтов прямое и косвенное влияние.

Прямое влияние связано с теплоизоляционными свойствами напочвенных покровов таких, как мох, лишайник, лесная подстилка и дернина. Косвенное – осуществляется посредством затенения поверхности, снежный покров, увлажненность поверхности пород протаивающего слоя.

### Выводы

На мощности СТС, прежде всего, отражаются климатические характеристики района и их взаимодействие с растительным покровом и приповерхностным слоем почвы. Прямой зависимости глубины сезонного протаивания от характера растительности и рельефа на данный период не выявлено.

### Благодарности

Автор благодарит кафедру криолитологии и гляциологии Географического факультета МГУ за предоставленную возможность проведения исследований.

### Литература

Шевелева Н.С., Хомичевская Л.С. Геокриологические условия Енисейского Севера. – М.: Наука, 1967 г – 126 с.  
 Фельдман Г.М. Прогноз температурного режима грунтов и развития криогенных процессов. – Новосибирск: Наука, 1977-189с.

## Оценка эффективности дренажных систем для решения гидрогеоэкологических проблем города Якутска

Н.А. Павлова, М.В. Данзанова, В.С. Ефремов  
 Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия  
 Ф.Е. Попенко  
 ООО Научно-внедренческий центр «Геотехнология», г. Якутск, Россия

### Введение

Как показывает опыт строительства в г. Якутске, большая часть строительных площадок, в особенности на участках снесенного ветхого и аварийного жилья, а также на заболоченных, свободных от застройки территориях, характеризуется сложными инженерно-геологическими и мерзлотно-гидрогеологическими условиями. Особенностью этих площадок является повышенное обводнение грунтов оснований в местах, наследующих чаши протаивания под домами и сливные ямы. Нередко на подобных участках засоленные пластичномерзлые песчано-глинистые грунты с температурой близкой к 0°C содержат надмерзлотные и межмерзлотные криопэги. В таких мерзлотно-гидрогеологических условиях эксплуатационная надежность оснований и фундаментов без проведения специальных геотехнических мероприятий весьма низка.

Одним из способов мелиорации слабых грунтов и улучшения их строительных свойств является водоотведение подземных вод несквозных надмерзлотных таликов с помощью устройства различных видов дренажа. К сожалению, отсутствие методик выполнения водопонизительных работ в сложных мерзлотно-гидрогеологических условиях, малая изученность фильтрационных свойств пород зоны аэрации и водовмещающих рыхлых аллювиальных отложений сдерживают внедрение на территории г. Якутска дренажных систем, широко применяемых вне криолитозоны. Для оценки возможности применения дренажей и их эффективности при строительном освоении территорий, были выбраны экспериментальные участки, на которых смонтированы дренажные сооружения и проведены опытно-фильтрационные работы.

### Обсуждение результатов

#### *Вертикальный дренаж скважинного типа*

Апробация вертикального дренажа скважинного типа проведена на участке сноса старой застройки в черте г. Якутске в 2010-2011 гг. На проектируемой под строительство площадке перед проведением экспериментальных работ талые водонасыщенные грунты залегают с глубины 1,5-4,2 м. Мощность обводненного слоя изменялась от 0,7 до 4,5 м, а на отдельных участках достигала 7,4 м. Водовмещающие отложения – суглинки, пылеватые и мелкие пески. Подземные воды надмерзлотного талика имели минерализацию 1,8-2,3 г/л и хлоридно-гидрокарбонатный натриево-магниево-кальциевый состав.

Для изучения фильтрационных свойств грунтов и оценки возможности применения скважинных дренажей на участке с максимальной мощностью водоносного талика (интервал залегания 1,8-9,2 м), был заложен опытный куст из 4 совершенных скважин. Комплекс опытно-фильтрационных работ был выполнен дважды: в январе, когда инфильтрационное питание надмерзлотных грунтовых вод отсутствует, и в августе, после протаивания сезонномерзлого слоя. В результате интерпретации данных кустовых откачек были рассчитаны водопроводимость грунтов, радиус влияния откачки, оценены водопитоки в дренажную выработку в разные сезоны года. После завершения опытных работ из гидрогеологических скважин проводились производственные откачки для осушения грунтов оснований с последующим их промораживанием сезонно-охлаждающими устройствами. В результате искусственного охлаждения грунтов с опережающими водопонизительными работами за два года удалось сократить объем гравитационных вод в талике в 8,8 раз.

#### *Дренажный колодец*

Дренажный колодец устроен на одном из типовых участков с криопэгами. Необходимо отметить, что борьба с техногенными криопэгами является часто трудно выполнимой задачей. Это связано со специфическим мерзлотно-гидрогеологическим строением аллювиальной толщи, когда линзы отрицательно-температурных высокоминерализованных вод разделены прослоями засоленных твердомерзлых или пластичномерзлых пород. В настоящее время основным методом борьбы с криопэгами и закрепления грунтов оснований является установка под зданиями «холодных» свай и охлаждающих термосифонов. Однако задачу промораживания водонасыщенных грунтов естественным или искусственным холодом значительно осложняет миграционная способность криопэгов, а при минерализации порового раствора выше 20 г/л эти методы неэффективны.

На экспериментальном участке надмерзлотные криопэги залегают в интервале 2,0-4,5 м, минерализация их составляет 14-18 г/л, химический состав сульфатно-хлоридный магниевый-натриевый, температура – -0,6...-1°C. Дренажный колодец установлен в 2010 г., он заглублен до кровли многолетнемерзлых пород, имеет перфорированные стенки и дно. Наблюдения за развитием воронки депрессии во время опытных работ, которые были выполнены в августе 2010 г и июне 2011 г., проводились по 5 специально оборудованным скважинам. Комплекс проведенных исследований позволил определить радиус влияния водопонизительного колодца, рекомендовать

дебиты откачек, при которых наиболее рационально выполнять подобные мелиоративные работы и показал принципиальную возможность применения откачек на локальных участках с неглубоким залеганием криопэггов. Было установлено, что наибольшие водопритоки в дренажную выработку отмечаются в конце весны-начале лета, что связано с высокой криогенной водоотдачей пород талика при максимальном его сезонном промерзании.

#### *Трубчатый дренаж*

Трубчатый траншейный дренаж с водоприемным колодцем смонтирован в заболоченном понижении – фрагменте древней ложбины стока. Литологический состав грунтов представлен до глубины 1,0-1,5 м супесями и суглинками, которые подстилаются мелкими и пылеватými песками. Глубина сезонного протаивания пород составляет 1,5 м. В состав дренажно-осушительной системы входит перфорированная труба диаметром 30 см, уложенная в траншею глубиной 1,5 м на слой щебня толщиной 30 см. Поверх трубы до дневной поверхности также отсыпан щебень. Вода из перфорированной трубы поступает в приемный водосборный колодец, имеющий глухое дно и стенки через специальное отверстие.

Экспериментальные работы, выполненные на данном участке, показали малую эффективность применения данного вида дренажа для осушения грунтов сезонноталого слоя. Слабый водоприток связан как с небольшим оттаиванием пород СТС на заболоченном участке, так и значительно меньшими коэффициентами фильтрации супесчано-суглинистых отложений по

сравнению со щебенистой отсыпкой, заполняющей траншею. Тем не менее, трубчатый траншейный дренаж может быть рекомендован для регулирования и отвода поверхностных вод.

### **Заключение**

В целом, выполненный объем исследований подтверждает принципиальную возможность устройства дренажных систем в черте г. Якутска. При выборе типа дренажа необходимо изучить мерзлотно-гидрогеологические условия дренируемых участков и их возможную трансформацию при технической мелиорации грунтов. Для этого при освоении территории в состав инженерно-геологический исследований должны быть включены гидрогеологические исследования с определением фильтрационных параметров грунтов в полевых условиях откачками.

Проблемой при производстве водопонижительных работ является отвод откачиваемых высокоминерализованных вод. Если при откачке пресных надмерзлотных вод сброс их может осуществляться в городской канал или поверхностные водоемы (при этом должен быть предварительно рассчитан максимально допустимый уровень воды в них), высокоминерализованные воды в открытые водоемы сбрасывать недопустимо, а их прием в коммунальную канализационную сеть требует согласования с соответствующими контролирующими органами.

## Определение плотности мерзлых грунтов в лабораторных условиях

О.О. Паньков

*Институт криосферы Земли Сибирского Отделения Российской академии наук*

С.В. Якушкин

*Научно-исследовательский институт криогенных ресурсов Тюменского государственного нефтегазового университета - Тюменского научного центра Сибирского Отделения Российской академии наук*

### Аннотация

Определение физических характеристик мерзлых грунтов является одним из ключевых этапов комплекса определений физико-механических характеристик при инженерных изысканиях. В настоящей работе предлагаются новые методы определения плотности мерзлых грунтов, представлены некоторые результаты лабораторных экспериментов.

**Ключевые Слова:** плотность грунта; ледовая рубашка; вакуумирование; физические свойства; физико-механические свойства.

Определение физических характеристик мерзлых грунтов является одним из ключевых этапов комплекса определений физико-механических характеристик на этапе инженерных изысканий. Неверное определение физических характеристик приводит к искажению механических характеристик. Соответственно, точнее определив физические характеристики мерзлых грунтов на этапе изысканий, мы также уменьшим ошибки на этапе проектирования и возможные негативные последствия на этапах строительства и эксплуатации зданий и инженерных сооружений. В настоящей работе представлены некоторые результаты авторских лабораторных экспериментов по определению такой физической характеристики, как плотность мерзлых грунтов.

В настоящее время, по экономическим и техническим соображениям изучение большинства свойств мерзлых грунтов и определение их характеристик происходит в лабораторных условиях. ГОСТ 5180-84 предлагает определение плотности мерзлых грунтов, в зависимости от их вида и состояния, двумя способами: режущим кольцом и взвешиванием в нейтральной жидкости.

Метод определения плотности грунта режущим кольцом заключается в определении массы грунта, помещенного в режущее кольцо-пробоотборник, отнесенной к внутреннему объему этого кольца. При определении плотности мерзлых грунтов данный метод имеет ряд недостатков, а именно:

Согласно требований табл.2 ГОСТ 5180-84 кольцо-пробоотборник для сыпучемерзлых песчаных грунтов и мерзлых пылевато-глинистых грунтов должно иметь внутренний диаметр не менее 70мм и 80мм соответственно, при толщине стенки кольца-пробоотборника от 2мм до 4 мм. Учитывая продольный срез грунта по длине монолита толщиной 15мм и более, для изучения текстуры мерзлого грунта, метод режущего кольца допускается применять в монолитах мерзлого грунта диаметрам не менее 85мм и 99мм соответственно.

Требования ГОСТ 5180-84 не допускают применять метод режущего кольца в мерзлых грунтах с крупнообломочным заполнителем и крупнообломочных.

Применение метода режущего кольца существенно искажает результаты исследований при изучении мерзлых льдистых и сильно льдистых грунтов, а также с включениями льда более 2мм, т.к. показывают многочисленные эксперименты, включения льда неравномерно распределены по монолиту.

Метод режущего кольца искажает результаты исследований при изучении трещиноватых мерзлых грунтов, а также грунтов с большим значением пористости.

Метод определения плотности грунта взвешиванием в нейтральной жидкости (керосине, лигроине и др.) заключается в определении массы мерзлого грунта на воздухе и в нейтральной жидкости, с учетом плотности нейтральной жидкости. При определении плотности мерзлых грунтов данный метод имеет также ряд недостатков, таких как:

Для исследований применяют образцы мерзлого грунта массой от 100г. до 150г., что существенно искажает результаты при изучении мерзлых льдистых и сильно льдистых грунтов, а также с включениями льда более 2мм., т.к. используются образцы малого объема.

Метод существенно искажает результаты исследований при изучении мерзлых грунтов с крупнообломочным заполнителем и крупнообломочных.

Для исследований используют только образцы мерзлого грунта без открытых пор и с отсутствием трещин.

При исследовании пористых грунтов (заторфованных грунтов, торфов, крупнообломочных и др.), нейтральная жидкость, впитываясь в образец, может повлиять на механические, теплофизические и химические свойства грунтов.

Существуют также и другие лабораторные способы определения плотности мерзлых грунтов, но все они или трудоемки, или требуют специального оборудования. Приведенных выше недостатков лишены методы определения плотности мерзлых грунтов, предлагаемые автором данного материала, а именно:

1) метод определения плотности мерзлого грунта в ледовой рубашке.

2) метод определения плотности мерзлого грунта при помощи вакуумирования.

1) *Метод определения плотности мерзлого грунта в ледовой рубашке*, заключается в определении массы всего монолита грунта, последовательном краткосрочном намораживании ледовой рубашки на монолит и определении полного объема монолита грунта за счет вытесненной жидкости в мерном сосуде. В качестве жидкости может использоваться нейтральная жидкость, а также вода в соответствующем температурном диапазоне. Многочисленные авторские эксперименты, показали, что краткосрочное намораживание ледовой рубашки на монолит грунта и последующее определение его объема, приводит к изменению текстуры на поверхности монолита на глубину от 0,3мм до 1,5мм. Данное изменение текстуры является незначительным и им можно пренебречь, т.к. оно не приводит к каким либо существенным изменениям при изучении других свойств. Предлагаемый метод может использоваться при определении плотности мерзлых песчаных грунтов, пылевато-глинистых грунтов, грунтов с крупнообломочным заполнителем и крупнообломочных, заторфованных грунтов и торфов, правильной или неправильной геометрической формы и различного объема.

2) *Метод определения плотности мерзлого грунта при помощи вакуумирования*, заключается в определении массы всего монолита грунта, последующей герметичной упаковке монолита и определении его полного объема за счет вытесненной жидкости. В качестве жидкости может использоваться нейтральная жидкость, а также вода в соответствующем температурном диапазоне. Авторские эксперименты, показали, что определение объема монолита грунта, приводит к изменению текстуры на поверхности монолита на глубину от 0,1мм до 1,0мм. Данное изменение текстуры является незначительным и им можно пренебречь, т.к. оно не приводит к каким либо существенным изменениям при изучении других свойств. Данный метод может использоваться при определении плотности мерзлых песчаных грунтов, пылевато-глинистых грунтов, грунтов с крупнообломочным заполнителем и крупнообломочных, трещиноватых

грунтов и с открытыми порами, заторфованных грунтов и торфов, правильной или неправильной геометрической формы и различного объема.

В результате проведенных экспериментов было выяснено, что величина плотности грунта, полученная с помощью предлагаемых методов, отличается от величин, полученных стандартным способом от 2% до 12% как в большую, так и в меньшую сторону. Данный диапазон плотности грунта изменяет механические и теплофизические свойства на 3% - 9%. Например: образец глинистого грунта, отобранный с глубины 9 метров, имеет плотность грунта, полученную методом режущего кольца  $\rho_f=1,75\text{г/см}^3$ , а по предлагаемому методу (в ледовой рубашке)  $\rho_f=1,59\text{г/см}^3$ . Учитывая нормативные данные из таблицы 3 (Приложение 1) СНиП 2.02.04-88 коэффициент теплопроводности мерзлого грунта изменится с величины  $\lambda_f=1,96\text{Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  на  $\lambda_f=1,78\text{Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , разница при этом составит около 9%.

В результате проведенных экспериментов по предложенным методам определения плотности мерзлого грунта было установлено, что данные методы могут являться альтернативой существующим, а в некоторых случаях и единственно возможным вариантом при изучении свойств мерзлых грунтов в лабораторных условиях. Предлагаемые методы позволяют сократить сроки проведения работ в 1,5-2 раза, определяя плотность грунта не нарушая целостность монолита, а также определять плотность на монолитах меньших размеров и объемом, по сравнению с общепринятыми способами.

## Литература

- ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартинформ, 2005.
- ГОСТ 2.02.04-88 СНиП Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М.: Госстрой, 1990.

## Физическая суть нового подхода к технологии термолюминесцентного датирования при определении абсолютного возраста многолетнемерзлых пород

Д.А. Панюков, В.С. Шейнкман, А.Д. Писарев  
ИКЗ СО РАН, Тюмень, Россия

### Введение

Абсолютное датирование многолетнемерзлых пород (ММП) – один из важнейших инструментов геокриологического исследования. На сегодня работы по определению абсолютного возраста объектов криолитозоны чрезвычайно востребованы, поскольку в плане возрастной привязки изучение мерзлых толщ на ключевых участках часто затруднено. Термолюминесцентный (ТЛ) метод определения абсолютного возраста пород по кварцу хорошо подходит для решения задачи датирования образцов отобранных из четвертичных толщ в области криолитозоны. Максимальное значение возраста породы, которое можно определить данным методом, составляет примерно 300 тыс. лет, что вполне достаточно для изучения геокриологических объектов, значительная часть которых формировалась в позднем квартере. У большинства объектов криолитозоны отсутствует материал, пригодный для датировки другими методами, поэтому ТЛ-датирование, используя широкое распространение кварца, применяемого в данном случае как минерал-таймер, часто становится единственным возможным средством возрастной диагностики. А по сравнению с другими методами ТЛ датирование – относительно простой и дешёвый прием возрастной диагностики, способный давать результаты с малыми погрешностями.

В традиционной технологии ТЛ-датирования прочно закрепились методики экстраполяции ТЛ сигнала по упрощенной зависимости дозового выхода ТЛ и модели, основанные на уравнениях кинетики первого порядка для процессов электронных переходов на энергетических ловушках. Тем не менее, такой подход часто приводит к погрешности, которая в разы превышает заявленные в традиционной процедуре 10%, в первую очередь из-за нелинейности дозовой зависимости ТЛ сигнала для кварца, в котором [Шлюков, 2005; Шейнкман, Мельников, 2011], доминирует второй порядок кинетики.

Авторы преследуют цель теоретически проанализировать новые физические подходы, которые в минерале-дозиметре учитывают более тонкие механизмы электронных переходов, связанные с кинетикой второго порядка.

### Физическая основа метода

Песчинки кварца, содержащиеся в исследуемых образцах породы, в ТЛ датировании играют основную роль – стабильного минерала-таймера. Они хорошо сохраняются, поскольку кварц является твёрдым минералом, устойчивым к внешним воздействиям со стороны окружающей породы. Возрастной параметр определяется через поглощенную ими энергию естественного радиационного поля в виде возбуждённых электронов, захваченных энергетическими ловушками. Кварц подходит к роли стабильного минерала-таймера; потому, что кристалл SiO<sub>2</sub> содержит и сохраняет в неизменном виде в себе достаточное количество энергетических ловушек на протяжении интервала времени, превышающего максимальный период датирования определённый на

практике значением 10<sup>13</sup> с (300 тыс. лет). Оценка скорости диффузии молекул в кварце (с учётом коэффициента диффузии равного 10<sup>-20</sup> см<sup>2</sup>/с) имеет значение около 1 мкм за 10 миллион лет и даёт основание полагать, что диффузия не приводит к значительному смещению и утрате энергетических ловушек. А удаление диффузионного слоя толщиной около 1 мкм все равно происходит при очистке кварцевых песчинок выделенной фракции, размерами 100-200 мкм, травлением в кислоте.

Концентрацию электронов захваченных ловушками определяют путём лабораторного исследования ТЛ. Прибор регистрирует кривую термовысвечивания, которая отражает зависимость скорости счёта фотонных импульсов от температуры для исследуемого образца. Задача интерпретации экспериментальных данных заключается в том, чтобы по величине ТЛ выплеска определить значение концентрации электронов захваченных на ловушках и перейти к определению возраста образца.

Таким образом, необходимо рассматривать два физических процесса: накопления электронов на энергетических ловушках кварцевых песчинок в отложениях и ТЛ высвечивание в лабораторных условиях.

### Накопление электронов

Процесс накопления электронов на энергетических ловушках можно представить с помощью графика показанного на рис.1. Вначале песчинка кварца, находящаяся на поверхности Земли, под действием солнечного света или высокой температуры подвергается отбеливанию (рис.1, В), в результате которого происходит опустошение электронных ловушек до некоторой остаточной концентрации (рис.1, С). После этого, находясь в толще новообразованных отложений, песчинки кварца будут изолированы от действия солнечного света. В течение датированного интервала времени (рис.1, D) они находятся только под действием естественного радиационного облучения с постоянной, обычно составляющей 15-20 мкР/ч, мощностью экспозиционной дозы  $E$  гамма-излучения. В результате песчинки каждый год поглощают дозу  $D$ , равную примерно 0.5 Гр [Вагнер, 2006]. Накопление электронов ловушками описывает зависимость  $n$  от  $D$ , которая является нелинейной (рис.1, D) и в научной литературе её принято называть дозовой функцией [Pagonis, 2006].

Интервал датирования (рис.1, D) имеет физическое ограничение по времени (рис.1, E) около 10<sup>13</sup> с, что является предельным насыщением электронных ловушек. Однако при предельном насыщении не все ловушки кварцевой песчинки оказываются заполненными, а только их малая часть [Шлюков, 2005]. При предельном насыщении концентрация всех электронных ловушек минерала кварца гораздо больше, чем концентрация заполненных ловушек. Учитывая представленные экспериментальные факты

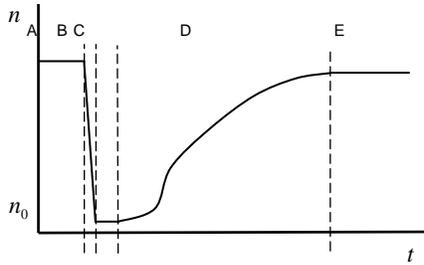


Рис.1. Процесс накопления электронов на энергетических ловушках.

можно заключить, что насыщение (рис.1, E) наступает вне зависимости от концентрации ловушек в кристалле SiO<sub>2</sub> и достигается при динамическом равновесии притока/оттока электронов на данном энергетическом уровне.

Приток электронов на энергетический уровень ловушки осуществляется как следствие естественного гамма-излучения. Концентрация захваченных электронов  $n$  увеличивается пропорционально сечению реакции захвата  $\xi$ , концентрации свободных ловушек  $(N-n)$  и мощности экспозиционной дозы  $E$ .

К спонтанной утечке электронов с энергетической ловушки приводят тепловые флуктуации, которые осуществляются распределением Больцмана. Для энергетической ловушки с энергией активации 1,6эВ расчёт по уравнению Больцмана для температуры 273К дает характерное время  $10^{20}$ с, что превышает время насыщения в  $10^7$  раз. Основываясь на этой оценке можно полагать, что тепловые флуктуации не влияют на насыщение электронных ловушек и не являются сколь значимым фактором, способным изменить вид дозовой зависимости (рис.1, D).

Таким образом, отток электронов из ловушек может происходить только как следствие естественного гамма-облучения. Высвобождение электронов пропорционально вероятности утечки  $w_E$  электронов из ловушек за счёт экспозиционной дозы и квадрату концентрации  $n$  вследствие того, что процесс носит рекомбинационный характер и описывается уравнениями кинетики второго порядка [Chen, McKeever, 1997].

Дозовая функция является решением дифференциального уравнения кинетики:

$$dn/dt = -w_E n^2 + \xi E(N-n), \quad (1)$$

где  $t$  – время процесса накопления;  $N$  – концентрация ловушек. В момент времени  $t=0$  концентрация электронов  $n=n_0$ , которая определяется остаточной концентрацией после отбеливания. Максимальное время датирования  $t=t_\infty$  соответствует предельному насыщению ловушек  $n=n_\infty$ , по-видимому, этот момент наступает, когда скорость захвата электронов равна скорости их утечки за счет гамма-облучения. Решением этого дифференциального уравнения является s-образная функция тангенциального насыщения (рис.1, D).

### ТЛ высвечивание

Концентрацию накопленных электронов  $n$  определяют по ТЛ высвечиванию кварца в лабораторных условиях на специальном оборудовании. Традиционно мерой накопленной концентрации электронов считают общую

светосумму, которую сложно точно измерять. Авторы используют предложенный в работе [Шлюков, 2005] способ определения  $n$  по температуре  $T$  максимума элементарного ТЛ пика на графике выхода ТЛ, который для ловушек с энергией активации  $\varepsilon$  смещается с уменьшением  $n$  в сторону высоких температур. Естественные образцы кварца имеют стабильный тип ловушек с энергией активации около 1,6эВ, ответственных за доминирующий 300°С пик. Для данного типа ловушек в работе [Шлюков, 2005] по естественным образцам различного возраста экспериментально была получена функция тренда, представленная как:

$$n = n_\infty \left( \frac{T_\infty}{T} \right)^2 \exp(\varepsilon/k(1/T - 1/T_\infty)), \quad (2)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,  $n_\infty$  – концентрация электронов предельно насыщенного минерала-таймера;  $T_\infty$  – температура максимума предельно насыщенного минерала-таймера;  $\varepsilon$  – энергия активации.

Предлагаемый новый физический подход позволяет проводить расчет концентрации захваченных ловушками электронов, предварительно измерив  $T_\infty$  и  $n_\infty$  для предельно насыщенного образца. Достаточно как можно точнее измерить температуру максимума доминирующего ТЛ пика и через функцию тренда (2) рассчитать концентрацию захваченных на ловушках электронов. Затем по обратной дозовой функции, полученной из уравнения (1) перейти к поглощённой дозе, чтобы вычислить возраст образца по простой формуле  $t = D/E$ .

### Выводы

На данном этапе исследований авторами выполнена задача постановки проблемы по совершенствованию ТЛ метода датирования в плане его использования для изучения ММП. Записано дифференциальное уравнение дозовой зависимости и представлена функция тренда, описывающая сдвиг максимума ТЛ пика от концентрации электронов на ловушках для естественных образцов кварца. Показано, что по природному ТЛ сигналу можно определить концентрацию накопленных электронов в ловушках используя не оптические, а термические свойства минерала-таймера. Основное преимущество нового физического подхода заключается в том, что он не требует сложной калибровки и точных спектрометрических измерительных приборов.

### Литература

- Вагнер Г.А. Научные методы датирования в геологии, археологии и истории. – М., Техносфера, 2006, 576 с.  
 Шейнкман В.С., Мельников В.П. Новый подход к датированию мерзлых толщ: использование технологии термостимулированной люминесценции последнего поколения. // Криосфера Земли, 2011, Том XV, № 4, 114-119 с.  
 Шлюков А.И. Способ определения абсолютного времени образования геологических и археологических объектов. Патент: RU 225 3103 С1, Бюллетень № 15, 2005, 18 с.

## Использование минеральных сорбентов при рекультивации Шламовых Амбаров на Крайнем Севере

В.Н. Пермяков, В.Г. Парфенов, Г.Л. Петров, С.В. Александров  
Тюменский государственный Нефтегазовый университет, Тюмень, Россия

### Аннотация

Проанализированы перспективы развития добычи нефти и газа в криолитозоне Тюменской области. Изучены воздействия на литосферу, химическое загрязнение рельефа местности, буровых шламов, в частности вопросы их детоксикации с использованием кремниевых сорбентов: диатомита и глауконита. Предложена технология производства работ по детоксикации бурового шлама сорбентами.

**Ключевые Слова:** буровой шлам; глауконит; детоксикация; диатомит; криолитозона; сорбенты.

Хозяйственное значение области вечной мерзлоты, или криолитозоны, как её называют мерзлотоведы, трудно переоценить, тем более она занимает 65 % территории современной России. В пределах криолитозоны России сосредоточено более 30 % разведанных запасов всей нефти страны, около 60 % природного газа, неисчислимы залежи каменного угля и торфа, большая часть гидроэнергоресурсов, запасов цветных металлов, золота и алмазов, огромные запасы древесины и пресной воды.

Разведанные запасы углеводородов Северо-Западно-Сибирского узла, месторождения Ямало-Ненецкого автономного округа и шельфа Карского моря, составляют около 27 млрд. т.у.т., из них разведанные запасы газа на суше составляют 74 %. Несомненно, Западно-Сибирский узел является основным по добыче газа. Уровень добычи газа с этих месторождений может полностью обеспечить предполагаемую мощность газопроводной системы в 100 млрд. м<sup>3</sup>. Добыча жидких углеводородов составит 50 млн т в год [Аренс, Гридин 2000].

Обеспечение геоэкологической безопасности природно-технических комплексов при освоении ресурсов углеводородного сырья Крайнего Севера базирующаяся на комплексном анализе состояния нефтегазовой отрасли, нормировании уровней техногенного воздействия на геосистемы и оценке воздействия на окружающую среду на всех стадиях разработки месторождений.

Одним из факторов экзогенного (техногенного) воздействия на литосферу Крайнего Севера являются буровые шламы при освоении месторождений углеводородов. Негативное воздействие буровых шламов на окружающую среду обусловлено наличием в них нефти и химреагентов, в частности, тяжелых металлов.

Для снижения содержания в буровых шламах нефти, токсичных и канцерогенных элементов перед проведением биологического этапа рекультивации целесообразно использовать кремнистые породы – диатомиты и глауконит, которые обладают высокой сорбционной активностью [Григоренко 2008, Каменщиков, Богомольный 2005].

Диатомит - осадочная горная порода, состоящая преимущественно из раковин диатомовых водорослей;

обычно рыхлая или слабо сцементированная, светло-серого или желтоватого цвета. Химически диатомит на 96 % состоит из водного кремнезёма (опала). Диатомит обладает большой пористостью, способностью к адсорбции, плохой тепло- и звукопроводностью, тугоплавкостью и кислотостойкостью.

Глауконит (моноклиальная диоктаэдрическая железисто-магнезиальная слюда) состоит: до 28 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, до 9,5 % K<sub>2</sub>O, 8,6 % FeO, 4,5 % MgO. Сорбционная активность глауконита связана с ионообменными свойствами и развитой удельной поверхностью.

Детоксикация шлама состоит из следующих этапов.

1. Взятие проб загрязненного субстрата, определение наличия и концентраций загрязняющих веществ в пробах и пределов превышения допустимых концентраций (далее - ПДК) в соответствии с нормативными документами, регламентирующими объем лабораторных исследований и их оценку.

2. Расчет количества кремнистой породы для обработки объекта и доведения концентраций загрязняющих веществ до норм ПДК, проводится в соответствии с разработанным алгоритмом, который предусматривает определение точного количества необходимого для детоксикации шлама сорбента путем исследования проб загрязненного шлама, а также шлама, смешанного с кремнистыми материалами в различных пропорциях.

При детоксикации загрязненного шлама в него вносят природный сорбент до достижения заданной концентрации загрязняющего вещества в шламе. Перед внесением в шлам сорбента определяют тип загрязняющего вещества и его концентрацию в пробе загрязненного шлама. Затем производят замеры концентраций загрязняющего вещества при смешении проб загрязненного шлама с сорбентом. После чего определяют массу сорбента, необходимого для смешения со шламом, загрязненным определенным ранее загрязняющим веществом с известной концентрацией, и достижения в шламе заданной концентрации загрязняющего вещества

3. Подобранный состав шлама с кремнистыми породами перемешивается в смесителе принудительного

действия объемом 250 л до однородного состояния в течение 10 - 15 минут.

Результаты исследований водорастворимых, подвижных, валовых форм загрязнителей показывают, что сорбенты хорошо связывают и удерживают тяжелые металлы и нефть, предотвращая их миграцию по почвенному профилю и далее в грунтовые воды.

Температурный диапазон производства работ с использованием сорбентов от 5 до 50 °С.

Изъятие сорбента из грунта после детоксикации не осуществляется. Детоксицированный грунт может использоваться для проведения рекультивационных работ, пересыпки твердых бытовых отходов на полигонах захоронения отходов и т.п.

## Литература

- Аренс В.Ж., Гридин О.М. Проблема нефтяных разливов и роль сорбентов в ее решении // Нефть, газ и бизнес. – 2000. - № 5 – С.34-36.
- Григоренко Ю.Н. Прогноз крупных месторождений УВ – основа стратегии освоения регионов. Проблемы геоэкологии при проведении ГРП и освоении УВ сырья // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2008. № 3: С. 22-25.
- Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Нефтяные сорбенты. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. 2005. – 268 с.

## К вопросу о датировании мерзлых толщ: разработка новых подходов, методики и аппаратуры при проведении термолюминесцентного датирования

А.Д. Писарев, В.С. Шейнкман, Д.А. Панюков  
Институт криосферы Земли СО РАН, Россия

### Введение

Для осуществления новых подходов при решении задач абсолютного датирования мерзлых толщ необходима соответствующая аппаратура, разработка методики и принципов работы с ней. Эта задача решается в ИКЗ СО РАН при поддержке со стороны гранта президента РФ НШ-5582.2012.5. в настоящее время создается прибор нового поколения, предназначенный для определения абсолютного возраста образца многолетнемерзлых пород (ММП) по термолюминесценции (ТЛ) осадков мелкопесчаной фракции, содержащей кварц. Метод ТЛ в геологии для датирования применяется уже давно, принципиальная суть метода хорошо описана в научной литературе [Вагнер, 2006]. Однако необходимость создания прибора нового поколения весьма актуальна. Она продиктована требованием к развитию новых подходов в технологии ТЛ датирования [Шейнкман, Мельников, 2011], а также отсутствием доступной аппаратуры для ТЛ исследований на Российском рынке. В предлагаемой статье авторами, по результатам проведённых научно-исследовательских и конструкторских работ, освещаются первые полученные результаты и содержатся сведения, предназначенные для ознакомления с устройством и основными характеристиками создаваемой ими аппаратуры для ТЛ датирования.

В представленном приборе реализована технология определения возраста, основанная не на вычислении общей светосуммы, получаемой из исследуемых образцов, как принято в традиционных методах дозиметрии, а на использовании зависимости температуры доминирующего ТЛ пика от полученной дозы гамма-излучения кварцевыми песчинками. Под доминирующим пиком понимается высокотемпературный элементарный пик на графике выплеска ТЛ минерала-дозиметра, используемый в технологии датирования. Для кварца этот пик проявляется при температуре около 300<sup>0</sup>С и связан с электронной ловушкой с энергией активации примерно 1,6 эВ [Shlukov, Sheinkman, 2007; Шейнкман, Мельников, 2011].

### Принцип работы

На первом этапе технологии ТЛ датирования выполняют пробоподготовку. Из отобранного образца выделяют мелкопесчаную фракцию с размером крупиц 0,1-0,2 мм, методом ситового просеивания. Затем осуществляют их промывку и травление в соляной и плавиковой кислоте для экстрагирования песчинок кварца и удаления у них загрязнённого поверхностного слоя толщиной несколько микрометров.

Пробу тонким слоем размещают на подложке экспериментальной ячейки прибора. Электронная система в автоматическом режиме осуществляет технологический процесс с выплеском и фиксацией ТЛ, нагревая с постоянной скоростью песчинки кварца до температуры 400<sup>0</sup>С и регистрируя свечение путём подсчета фотонных импульсов с фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) в единицу времени.

Результатом работы является кривая термовысвечивания, которая отражает зависимость скорости счёта фотонных импульсов от температуры для исследуемого образца. Компьютерная программа рассчитывает возраст образца по характеристикам кривой термовысвечивания с использованием модели интерпретации.

### Конструкция прибора

Блок-схема прибора показана на рис.1. Прибор содержит следующие основные узлы и детали:

- 1 – экспериментальная ячейка (ЭЯ);
- 2 – микропроцессор (МК);
- 3 – фотоэлектронный умножитель (ФЭУ);
- 4 – высоковольтный импульсный блок питания (ИБП);
- 5 – усилитель (У);
- 6 – дискриминатор (Д);
- 7 – светофильтры (СФ);
- 8 – нагреватель (Н);
- 9 – транзисторный ключ нагревателя (ТКН);
- 10 – датчик температуры (ДТ);
- 11 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- 12 – светонепроницаемый кожух (СК);
- 13 – компьютер (К).

Экспериментальная ячейка представляет собой латунную капсулу с окном из кварцевого стекла, внутрь которой помещают зерна кварца, предварительно прошедшие пробоподготовку. С одной стороны экспериментальная ячейка крепится на нагреватель (рис.1), другая сторона с окном ориентируется в сторону ФЭУ.

Спай дифференциальной термопары (медь-константан тип Т или хромель-алюмель тип К) размещён внутри капсулы экспериментальной ячейки, является основным высокоточным датчиком температуры (ДТ, рис.1) в конструкции данного прибора. В таком расположении спай имеет наилучший тепловой контакт с частицами кварца и может обеспечить погрешность не более 0,1<sup>0</sup>С. Опорный спай термопары помещен в термостат. Термо-ЭДС дифференциальной термопары оцифровывается модулем АЦП. Цифровой код с АЦП поступает на микропроцессор, который осуществляет расчёт температуры по полиномиальной зависимости с индивидуальными калибровочными коэффициентами.

Нагреватель (Н, рис.1) изготовлен из калийной свечи (фирма изготовитель NGK), применяемой в автомобильных дизельных двигателях. Свеча способна нагреваться до температуры почти 1000<sup>0</sup>С за время 30 секунд, при этом максимальная потребляемая электрическая мощность составляет около 100Вт. В приборе свеча является нагрузкой транзисторного ключа (ТКН, рис.1). Транзисторным ключом управляет микропроцессор (МК), который путём широтно-импульсного модулирования тока, проходящего через калийную свечу, плавно регулирует потребляемую нагрузкой мощность от 0 до 100%.

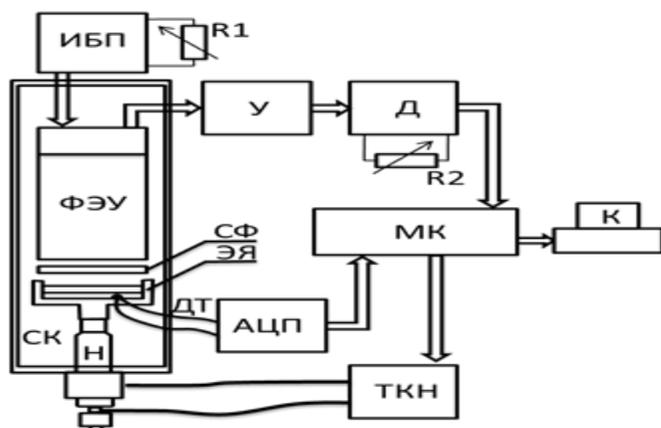


Рис.1. Функциональная схема прибора для регистрации ТЛ.

Микропроцессорное регулирование обеспечивает практически постоянную скорость нагревания экспериментальной ячейки, при этом отклонение временной зависимости роста температуры от линейного закона составляет не больше 0,5% при скоростях нагревания от 1 до 15<sup>0</sup>С/с. Питание нагревателя осуществляется от трансформатора мощностью 150Вт с постоянным выходным напряжением 12В. Максимальная температура регистрации ТЛ составляет 400<sup>0</sup>С. При большей температуре регистрация ТЛ невозможна, поскольку фоновое инфракрасное излучение от латунной экспериментальной ячейки значительно превышает полезный сигнал.

Электронная схема прибора включает в себя следующие модули: модуль АЦП, модуль управления нагревателем, усилитель (У) и дискриминатор (Д) импульсов ФЭУ, микропроцессорный блок. Для питания электронной схемы прибора предусмотрен отдельный источник стабилизированного электрического напряжения +20В.

Между окном экспериментальной ячейки и ФЭУ установлены сине-зелёные светофильтры (СФ тип СЗС-21 и СЗС-25), которые предназначены для подавления теплового излучения нагревателя в красной части спектра и выделения сигнала люминесценции кварца с длиной волны излучения в диапазоне 300-400 нм.

В приборе ФЭУ работает в режиме счёта однофотонных импульсов [Hamamatsu Photonics, 2005], из которых состоит ТЛ сигнал. Питание ФЭУ осуществляется от импульсного преобразователя с выходным постоянным стабилизированным электрическим напряжением с возможностью регулировки до 2кВ. Рабочее напряжение ФЭУ устанавливается на середине «плато» счётной характеристики с помощью резистора R1 (рис.1).

Импульсный сигнал с ФЭУ поступает на модуль усилителя-дискриминатора, который осуществляет необходимое

усиление, амплитудную селекцию и формирование импульсов по амплитуде и длительности. Установка уровня срабатывания дискриминатора осуществляется резистором R2 (рис.1), при регистрации счётной характеристики фотонов приёмного преобразователя.

Импульсы с дискриминатора поступают на вход счётчика микропроцессора. Микропроцессор выполняет счёт импульсов за единицу времени и вычисление максимумов скорости счёта по периоду их следования. Микропроцессорный блок транслирует на компьютер температуру, скорость счёта фотонов и отметки моментов максимумов скорости счёта. Данные на компьютер поступают через USB порт в цифровом виде. Дискретность записи данных по времени составляет 100 точек за секунду, что соответствует дискретности 0,1<sup>0</sup>С/с по температуре на кривой термовысвечивания. Приём и обработку данных осуществляет компьютерная программа, реализованная в операционной системе WINDOWS. Расчёт возраста образца производят по зависимости, полученным путём решения дифференциальных уравнений моделирующих дозовую функцию [Pagonis et al., 2006].

## Заключение

Принципиальное решение – отойти от абсолютных оптических измерений и перейти к тепловым характеристикам минерала-дозиметра позволяет значительно упростить конструкцию прибора для ТЛ датирования и минимизировать инструментальные ошибки, поскольку новый подход не требует процедуры калибровки оптического канала и контроля массы образца. На оптическом канале достаточно выполнить относительные измерения интенсивности свечения для выделения положения максимума пика на графике кривой термовысвечивания. Но на канале температуры измерения необходимо производить с высокой точностью, что достигается в приборе индивидуальной калибровкой системы нагрева образца и конструктивным обеспечением хорошего теплового контакта спая термодпары с исследуемыми песчинками. Прибор нового поколения более компактный, поэтому его можно изготовить в переносном исполнении и применять для проведения измерений непосредственно в полевых условиях.

## Литература

- Вагнер Г.А. Научные методы датирования в геологии, археологии и истории. – М: Техносфера. 2006, 576 с.
- Шейнкман В.С., Мельников В.П. Новый подход к датированию мерзлых толщ: использование технологии термостимулированной люминесценции последнего поколения. // Криосфера Земли. 2011, Том XV, № 4, с. 114-119.
- Pagonis V., Kitis G. & Furetta C. 2006. Numerical and practical exercise in thermoluminescence. *Springer*, 208 pp.
- Photon Counting. Using Photomultiplier Tubes. // Hamamatsu Photonics. Japan. 2005. URL:[http://sales.hamamatsu.com/assets/applications/ETD/PhotonCounting\\_TPHO9001E04.pdf](http://sales.hamamatsu.com/assets/applications/ETD/PhotonCounting_TPHO9001E04.pdf)
- Shlukov A.I. & Sheinkman V.S., 2007. Dating the highest sediments of the Dead Sea Late Pleistocene. *Quatern. Intern.*, № 167–168, p. 382.

## Анализ временной структуры состояний на территории Уренгойского месторождения, на примере южной лесотундры

К.А. Попов, П.Т. Орехов, Н.Г. Украинцева  
Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия

### Аннотация

Проведен предварительный анализ данных метеостанции г Новый Уренгой. По методике Н.Л. Беручашвили, для изучения вклада суточных состояний в годовой режим функционирования ПТК (природно-территориального комплекса) на основе первичных данных выявлены суточные состояния характерные для южной лесотундры.

**Ключевые Слова:** ПТК (природно-территориальный комплекс), стек, временная структура

В настоящее время различают следующие аспекты структуры природно-территориального комплекса (ПТК):

- морфологическая (горизонтальная) структура – упорядоченные системы ПТК более низкого ранга, входящих в состав более крупного;
- вертикальная структура – ярусное расположение слагающих ПТК компонентов;
- временная структура – суточные и сезонные ритмы и многовековые изменения состояний природы [Пашканг и др., 1986, Беручашвили, 1986].

Суточная динамика. Смена дня и ночи влечет за собой изменения в температуре, влажности и движении воздуха на протяжении суток. Смена освещения и погодных условий определяет суточную динамику биоты ландшафта. У животных, в отличие от растений, она не ограничивается физиологическими изменениями в организме, но во многих случаях дополняется суточными миграциями. Суточная ритмика присуща также геоморфологическим процессам, протекающим в ландшафтах. Наиболее заметна она в районах с преобладанием физического выветривания, но в том или ином виде проявляется и в других зонах. [Хромых, 2006].

Методика изучения вклада суточных состояний в годовой цикл функционирования ПТК была изначально предложена Н.Л. Беручашвили для Большого Кавказа. В криолитозоне годовой цикл (спектр) суточных состояний ПТК во многом зависит от таких параметров как температура воздуха, температура и режим увлажнения. Гидротермический режим в приземном слое (воздух – почвенно-растительный покров – СТС) определяет интенсивность биологического круговорота, энергетический баланс ПТК и его развитие (смену состояний). А это в свою очередь существенно влияет на характер распространения многолетнемерзлых пород (ММП), их температурный режим и глубину сезонного оттаивания, а также на интенсивность проявления криогенных процессов. Высокая степень внутриландшафтных связей позволяет использовать годовой цикл (спектр) состояний ПТК как индикатор динамики сезонного протаивания и состояния мерзлоты в условиях криолитозоны.

В.В. Братков для изучения временной структуры ландшафтов Большого Кавказа предложил на опыте ранее

проведенных стационарных исследований методику Н.Л. Беручашвили, позволяющую на основе данных опорных метеостанций провести моделирование суточных состояний – стексов, которые являются узловыми в познании динамики ПТК [Бурьм, 2010].

Н.Л. Беручашвили под состоянием ПТК понимает некоторое соотношение параметров, характеризующих его в какой-либо промежуток времени, в котором конкретные входные воздействия (солнечная радиация, осадки и т.п.) трансформируются в выходные функции (сток, некоторые другие гравигенные потоки, прирост фитомассы и т.д.).

Теоретический интерес представляют результаты анализа временной структуры ПТК, которые позволят сравнить временную структуру ПТК данного района с ПТК других районов с целью выявления черт сходства и различия. Еще одной важной задачей, имеющей теоретический и практический интерес, является оценка устойчивости ландшафтов.

Для того, что бы иметь возможность фиксировать и анализировать качественно и количественно пространственно-временную изменчивость состояний ПТК нужно иметь представление о процессах в нём протекающих. Для решения поставленной цели нужно понять структуру ПТК. Поэтому в 2011 г. были продолжены полевые работы на полигонах по измерению мощности сезонно-талого слоя (СТС) и температуры многолетнемерзлых пород (ММП) на территории Уренгойского месторождения. В понимании структуры ПТК, мы попробуем применить и адаптировать методику, предложенную Н.Л. Беручашвили.

Выделение и обозначение стексов должно проводиться с учетом градаций: 1) термического режима, 2) условий увлажнения и 3) тенденций изменения вертикальной структуры.

Стексы, характеризующиеся на основе одинаковой тенденции изменения вертикальной структуры, общности протекающих процессов функционирования и максимальной продолжительности в течение месяца, объединяются в группы. Предварительный анализ метеорологических данных делался для южной лесотундры, со станции в городе Новый Уренгой. Он позволил выделить примерный набор стексов и объединить их в следующие группы. Группы летнего

сезона были выделены по условиям увлажнения: Izb – группа с избыточным увлажнением, Dos – с достаточным, Um – умеренным, N – недостаточным, Sk- скудным. U – группы переходного периода, выделяются по температуры: от 0 до +15°, функционирование связано с созданием и/или усложнением фитогенной структуры (весенний период, U+), либо с ее разрушением и/или упрощением (осенний период, U-). Группы зимнего сезона: Z – бесснежные состояния холодного периода; Н – нивальные.

В качестве первичных материалов использованы метеорологические данные о среднесуточной и среднемесячной температуре, осадках, количеству дней со снегом и высота снежного покрова за период 2006 – 2011 гг. Для обработки исходных материалов применялся офисный программный продукт MS-Excel, которые позволили выделить состояния.

Средние значения показывают, что большую часть года занимают нивальные (Н) состояния, около 60% и переходный период примерно 35% (рис 1)

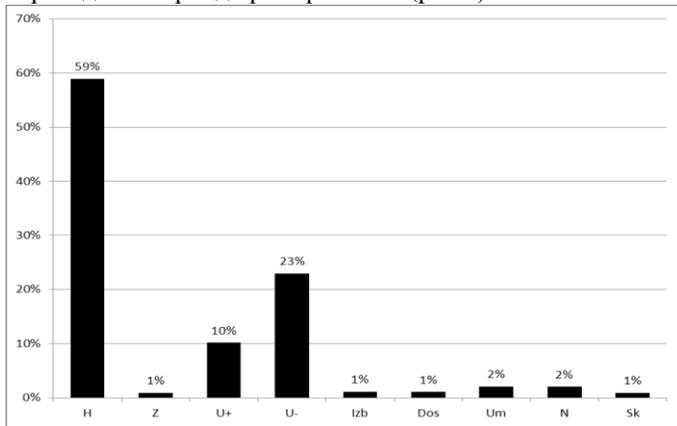


Рис.1. Средняя встречаемость групп состояний в южной лесотундре (р-он г. Новый Уренгой).

Условные обозначения: Z – бесснежные состояния холодного периода; Н – нивальные, U – группы переходного периода, Izb – группа с избыточным увлажнением, Dos – с достаточным, Um – умеренным, N – недостаточным, Sk- скудным.

Хотя анализ графика групп по годам позволяет сказать о достаточно большой подвижности этих состояний, кроме весеннего переходного периода, он относительно стабилен и занимает 8-11%. Наибольшей вариативностью отличается летний сезон, который, как правило, самый короткий по длительности – от 2% до 11% (рис.2, 3.)

Предварительный анализ показал, что методику правомочно применять для территории криолитозоны и получить достоверные результаты, для чего нужно провести полевые исследования, увеличить количество метеостанций и брать большие промежутки времени.

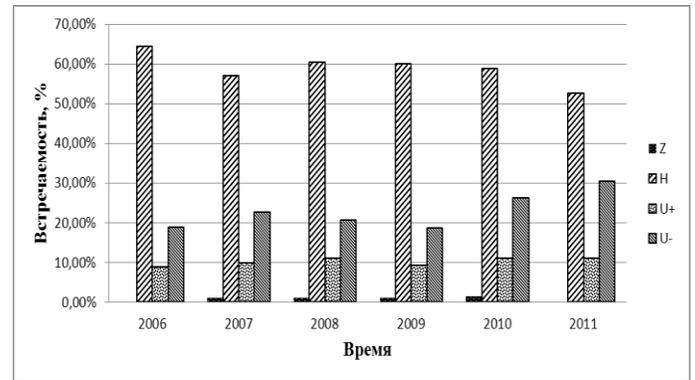


Рис.2. Встречаемость групп состояний нивального, бесснежного холодного и переходных периодов в южной лесотундре (р-он г. Новый Уренгой) с 2006 по 2011 гг. Z – бесснежные состояния холодного периода; Н – нивальные, U – группы переходного периода

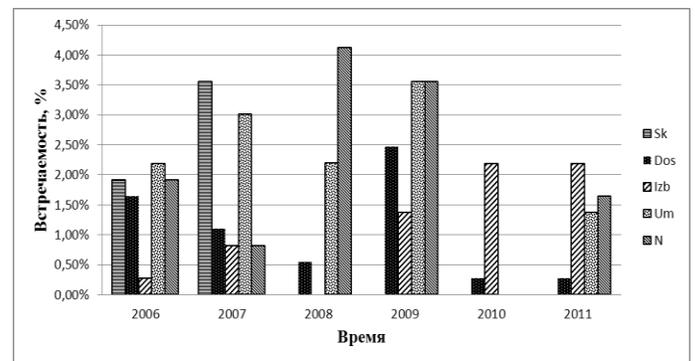


Рис.3. Встречаемость групп летних состояний в южной лесотундре (р-он г. Новый Уренгой) с 2006 по 2011 гг. Izb – группа с избыточным увлажнением, Dos – с достаточным, Um – умеренным, N – недостаточным, Sk- скудным

### Литература

Берущавили Н.Л., Четыре измерения ландшафта – М.: Мысль, 1986. – 182 с.  
 Хромых В.С. Некоторые теоретические вопросы изучения динамики ландшафтов. Статья представлена кафедрой географии геолого-географического факультета Томского государственного университета, поступила в научную редакцию «Науки о Земле» 27 ноября 2006 г., принята к печати 4 декабря 2006 г.  
 Бурым Ю.В. Анализ временной структуры равнинных ландшафтов ставропольского края с использованием ГИС-технологий. // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. 2010 №3 (24)

## Физико - механические свойства многолетнемерзлых грунтов на территории Чаяндинского НГКМ

В.В.Протодьяконов, С.П.Дмитреева, А.Н.Цеева  
ОАО «ЯкутПНИИС», г. Якутск, Российская Федерация

В последние годы идет бурное развитие юго-западной части Якутии в освоении месторождений нефти, газа, угля, драгоценных металлов. Одним из таких месторождений является Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение.

Территория Чаяндинского НГКМ характеризуется залеганием многолетнемерзлых грунтов, в основном делювиальных, элювиальных отложений осадочного происхождения. Современный делювиальный слой представлен в основном глинистыми грунтами, подстилаемыми более древними элювиальными отложениями такими как доломиты, мергели различной степени выветрелости.

Многолетнемерзлые грунты слабоблистые ( $i_i < 0,20$  д.е.), имеют преимущественно массивную криогенную текстуру. Местами встречаются льдистые грунты, имеющие слоистую криогенную текстуру ( $i_i = 0,30 - 0,40$  д.е.).

Основной задачей стало изучение физических и механических свойств грунтов лабораторными методами для определения расчетных характеристик. Особое внимание уделялось гранулометрическому составу грунтов для дальнейшего определения механических свойств грунтов.

Выполнены следующие виды лабораторных определений комплекса физических свойств грунтов:

- плотность грунта, г/см<sup>3</sup>;
- суммарная влажность мерзлого грунта, влажность на границе текучести и раскатывания, д.е.;
- гранулометрический состав грунтов, %;
- степень засоленности, %;
- относительное содержание органического вещества, д.е.;
- определены расчетные характеристики.

Плотность грунтов определялась методом обратного взвешивания в нейтральной жидкости (керосин), плотность нейтральной жидкости равнялась 0,78 г/см<sup>3</sup> при температуре жидкости -1,5°С. Плотности мерзлых грунтов в большинстве случаев варьируют в интервале от 1,95 до 2,40 г/см<sup>3</sup>. Высокая плотность данных грунтов объясняется

их элювиальным происхождением, содержащих в своем составе крупных обломков (> 10 мм) менее 15 - 20 %.

Суммарная влажность мерзлых грунтов колеблется от 0,10 до 0,30 д.е., в некоторых образцах грунта (скважина №31,60,65,67) суммарная влажность составляет 0,54 – 0,72 д.е. Данные образцы грунта были отобраны в деятельном слое. Высокая степень суммарной влажности свидетельствует о наличии в момент промерзания грунтов грунтовых вод в деятельном слое.

По гранулометрическому составу содержание частиц менее 0,1 мм составляет более 80 %. По степени засоленности и относительному содержанию органического вещества грунты относятся к слабозасоленным или незасоленным, к слабозаторфованным. Данные виды лабораторных определений были проведены выборочно.

Все определения физических свойств грунтов проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 5180-84 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик».

Механические свойства многолетнемерзлых грунтов определены на основе гранулометрического состава грунтов. Грунты содержанием частиц размерами не более 10 мм испытаны методом компрессионного сжатия, шариковым штампом и методом одноплоскостного среза в мерзлом состоянии при температуре -1,5°С.

Прочные полускальные, скальные грунты испытаны методом одноосного сжатия в водонасыщенном и воздушно – сухом состоянии. В результате высокой степени трещиноватости скальных и полускальных грунтов, некоторые образцы горных пород испытаны методом одноосного сжатия в мерзлом состоянии при температуре -1,5°С.

Все определения механических свойств грунтов проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 12248-96 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости».

Все результаты определений физических характеристик многолетнемерзлых грунтов приведены в таблице №1.

## **Формирование температурного режима грунтов оснований и оценка устойчивости инженерных сооружений заполярного месторождения при современных колебаниях климата**

Е.А. Пульников

*ООО «Газпром добыча Ямбург, Новый Уренгой, Россия»*

Стандартная схема производства режимных геотемпературных наблюдений при выполнении геотехнического мониторинга (весна, осень) позволяет дать оценку состояния грунтовых оснований на момент производства геотемпературной съемки, но в условиях развивающихся климатических колебаний недостаточна для своевременного выявления и прослеживания тенденции развития теплового состояния грунтов в многолетнем цикле.

Для решения данной задачи на Заполярном месторождении с 2004 года на крупных промышленных площадках, характеризующихся наиболее сложными геотехническими системами, организованы ежемесячные геотемпературные наблюдения в фоновых скважинах разных типов инженерных сооружений.

За методологическую основу выбора мест проведения наблюдений, принят принцип аналогичный выбору ключевых участков при производстве мерзлотной съемки территорий. Для этой цели было выбрано 28 термометрических скважин с определенным набором природных и техногенных факторов.

Анализ результатов текущих исследований по фоновым скважинам показал, что по характеру формирования температурного режима грунты оснований делятся на два основных типа:

**1) Грунты оснований инженерных сооружений площадочного типа с проветриваемым подпольем** (цеха по очистке и осушке газа; служебно-эксплуатационные здания; гаражи; склады).

Условия теплообмена на поверхности грунтов оснований данного типа сооружений являются самыми оптимальными для ежегодного максимального охлаждения грунтов.

**2) Грунты оснований инженерных сооружений с различной степенью снегонакопления на их поверхности** (мачты; эстакады; открытые площадки, с оборудованием различного типа).

Решающим фактором в формировании температурного режима грунтов таких сооружений является характер снегонакопления на его поверхности.

В зависимости от проектных решений по использованию сезоннодействующих охлаждающих устройств (СОУ) с целью повышения несущей способности грунтов, выше перечисленные типы грунтов оснований делятся на подтипы:

- «а» без применения СОУ.
- «б» с применением СОУ.

На основании текущих результатов исследований определен характер развития температурного режима, дана оценка эксплуатационной надежности (устойчивости) выделенных типов инженерных сооружений:

**1а) Грунты оснований инженерных сооружений площадочного типа с проветриваемым подпольем, без применения СОУ, рисунок 2.**

Температурный режим грунтов характеризуется амплитудными сезонными колебаниями. Минимальные  $t_{cp.min} = -4,0...-6,0^{\circ}C$  апрель-май и максимальны  $t_{cp.max} = -1,5...-3,5^{\circ}C$  ноябрь. Геотемпературный режим за период наблюдений характеризуется как стабильно удовлетворительный.

**1б) Грунты оснований инженерных сооружений площадочного типа с проветриваемым подпольем, с применением СОУ, рисунок 3.**

Температурный режим грунтов характеризуется ярко выраженными амплитудными сезонными колебаниями. Минимальные  $t_{cp.min} = -7,0...-10,0^{\circ}C$  март-апрель и максимальны  $t_{cp.max} = -2,5...-3,5^{\circ}C$  ноябрь. Эксплуатационная надежность оснований и фундаментов данных типов сооружений очень высокая, с дополнительным запасом холода в грунтах, потенциал по аккумуляцию холода в грунтах не исчерпан.

**2а) Грунты оснований с различной степенью снегонакопления на их поверхности, без применения СОУ, рисунок 4.**

При мощности снежного покрова более 0,5 метра большая часть зимних теплооборотов экранируется, грунты ежегодно испытывают дефицит охлаждения. На таких участках, из-за отсутствия ежегодного охлаждения, грунты основания могут переходить в состояние параметрического отказа. Геотемпературный режим характеризуется как потенциально не стабильный.

**2б) Грунты оснований с различной степенью снегонакопления на их поверхности с применением СОУ или с возможностью зачистки территорий от снега, рисунок 5.**

С уменьшением мощности снежного покрова за счет выполнения регулярной зачистки территории от снега или применения СОУ, температурный режим приобретает выраженный амплитудный характер. Колебания  $t_{cp}$  варьируют в широком диапазоне от  $1...5^{\circ}C$ . Грунты оснований ежегодно в зимний период получают порцию холода, необходимую для поддержания проектного температурного режима.

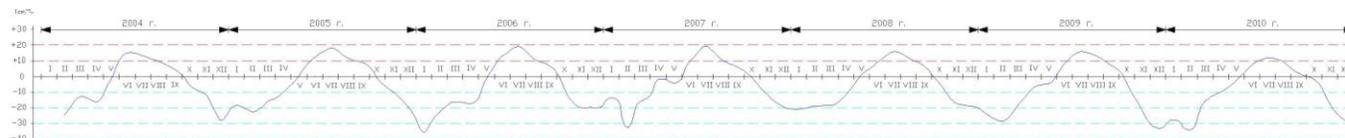
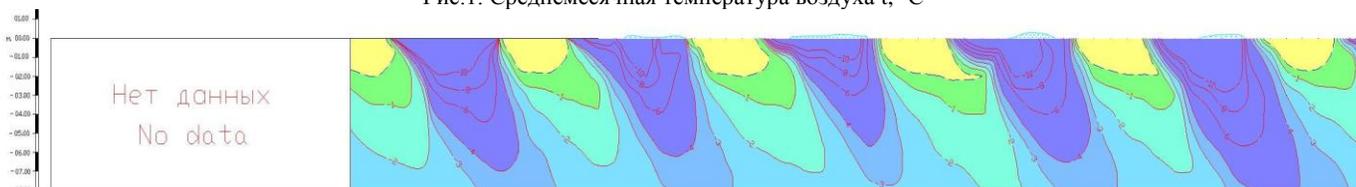
Рис.1. Среднемесячная температура воздуха  $t$ , °C

Рис.2. Грунты оснований инженерных сооружений площадочного типа с проветриваемым подпольем, без применения СОУ, тип - 1а

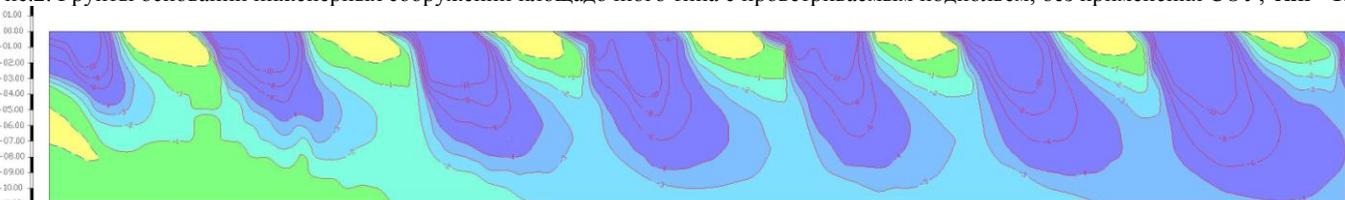


Рис.3. Грунты оснований инженерных сооружений площадочного типа с проветриваемым подпольем, с применением СОУ, тип - 16.

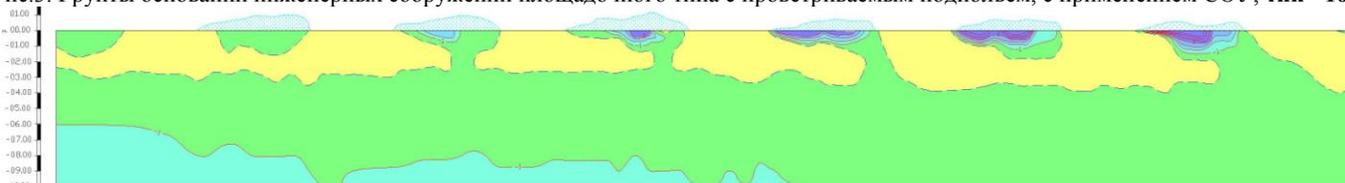


Рис.4. Грунты оснований инженерных сооружений с различной степенью снегонакопления на их поверхности, без применения СОУ, тип - 2а.

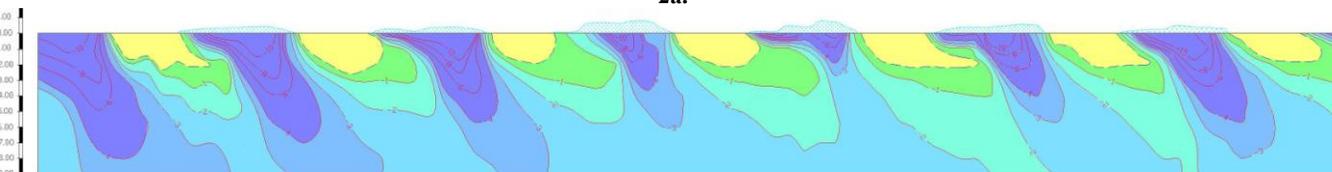


Рис.5. Грунты оснований инженерных сооружений с различной степенью снегонакопления на их поверхности, с применением СОУ или с возможностью зачистки смежных территорий, тип - 2б.

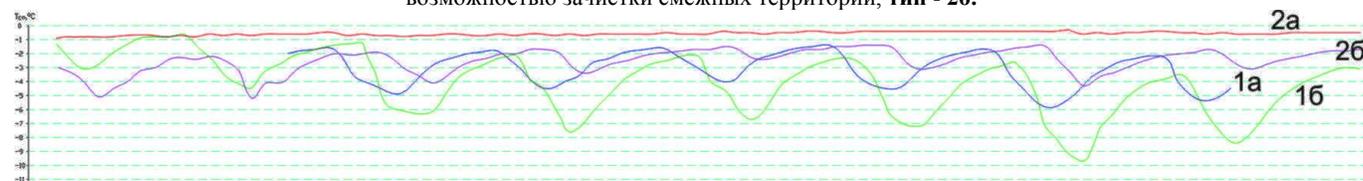


Рис.6. Динамика среднего значения температуры грунта в рабочем интервале свайного фундамента от 2 до 10 м

Приведенные выкладки свидетельствуют, что в рассматриваемом регионе, при изначально благоприятных инженерно-геокриологических условиях, ресурсы природного холода вполне достаточны для обеспечения эксплуатационной надежности сооружений с помощью традиционных строительных решений (проветриваемое подполье). Однако, учитывая пессимистические прогнозы, связанные с потеплением климата (по мнению некоторых исследователей), применение СОУ для дополнительной аккумуляции холода в основаниях становится актуальным.

На данном этапе эксплуатации и проектирования новых сооружений газопромысловых комплексов при схожих природно-климатических условиях, следует уделить

особое внимание разработке новых методов обеспечения устойчивости инженерных сооружений второго типа – 2а, 2б.

Проведение ежемесячных геотемпературных наблюдений в фоновых скважинах на промышленных площадках газопромыслового комплекса, дает возможность более качественно оценить текущее состояние грунтов оснований и определить тенденцию их развития. Что в свою очередь, позволяет оперативно принимать теплотехнические управляющие решения и оптимизировать затраты по обеспечению надежной эксплуатации оснований и фундаментов в сложных геокриологических условиях.

## Роль составляющих теплообмена в динамике мерзлотных условий Сытыканского гидроузла

А.В. Радостева

*Кафедра Гляциологии и Криолитологии, МГУ им М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия.*

С.А. Великин

*Вилуйская научно-исследовательская мерзлотная станция ИМЗ СО РАН, пгт. Чернышевский, Россия*

### Аннотация

Оценка влияния теплообмена на поверхности многолетнемерзлых пород и тепломассобмена при обходной фильтрации на устойчивость термического состояния мерзлых толщ. Изучение свойств мерзлых толщ методами неразрушающего контроля.

**Ключевые слова:** обходная фильтрация, теплообмен, неразрушающий контроль

Гидротехнические сооружения (ГТС) являются одними из наименее надежных сооружений, возводимых в криолитозоне. Особенно важным фактором является нарушение стабильности геологической среды, проявляющееся, как правило, в деградации многолетнемерзлых толщ. Последняя ведет, во-первых, к снижению устойчивости плотины (основного сооружения гидроузла) и ее примыканий, для которых ММП служат одним из элементов, воспринимающих механическую и тепловую нагрузку. Во-вторых, к нарушению естественной кинетики межмерзлотных вод, например, активизации масштабной обходной фильтрации.

Обходная фильтрация имеет место на многих ГТС Западной Якутии, например Сытыканском, Вилуйских ГЭС I-II. Ее исследованием занимались многие специалисты ИМЗ СО РАН. На данный момент исследования по указанной тематике проводит (ВНИМС) под руководством С.А. Великина. В исследованиях участвуют представители ИМЗ СО РАН и географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Один из изучаемых аспектов – качественная оценка роли теплообмена на поверхности и с нижележащими горизонтами в формировании термического режима ММП правобережного примыкания Сытыканского гидроузла.

Субарктический резко континентальный климат района отличается засушливостью. Зима продолжительная (примерно 7 месяцев), холодная (январь =  $-41,7^{\circ}\text{C}$ ) и малоснежная, а лето короткое, засушливое, чаще холодное (июль =  $+14,8^{\circ}\text{C}$ ) [Гаврилова, 1970]. Среднегодовая температура воздуха равна  $-13,2^{\circ}\text{C}$ , Суточные амплитуды достигают  $34^{\circ}\text{C}$ .

Гидроузел находится на Далдыно-Алакитском нагорье. Рельеф в окрестностях сооружений холмисто-грядовый, увалистый, долина реки имеет корытообразную форму. Участок сложен нижнеордовикскими известняками с линзами выветрелого мергеля. Для отложений характерна высокая трещиноватость (в среднем 30%) и малая льдистость (до 5 - 10%). Встречаются как трещины напластования, так и морозобойные, формирующие столбчатые отдельности.

Район приурочен к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, имеющих мощность до 500-600 м. Мощность деятельного слоя составляет 0,7-3,1 м. До строительства гидроузла температура на глубине 5 – 10 м изменялась от  $-5$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ . Многолетние эпигенетические подземные льды трещинные, пластово-трещинные и пластово-трещинно-карстовые. Пойма реки до наполнения водохранилища была сложена сингенетическими полигональными льдами. Нижняя часть разреза криолитосферы представлена морозными скальными породами. До строительства породы, слагающие правобережный склон, были в многолетнемерзлом состоянии, за исключением подруслового талика. В последующем талик увеличивал свои размеры, и в настоящее время практически весь склон долины находится в талом состоянии.

Подземные воды в исследуемом районе представлены тремя типами: сильно минерализованными подмерзлотными, межмерзлотными и надмерзлотными.

Напорный фронт создает мерзлая каменно-земляная плотина, фактически - талая. Согласно проекта, водонепроницаемость плотины и правобережного примыкания обеспечивается мерзлотной завесой, которая создается воздушными и жидкостными замораживающими системами (ВЗС и ЖЗС), однако их функционирование не принесло результатов.

Дабы выделить фильтрационные потоки, отвечающие за теплообмен мерзлых толщ с подстилающими породами использовали новую методику – электрогеотомографию. Суть метода в получении геоэлектрического разреза на основе математической обработки кажущихся сопротивлений, определяемых в ходе полевых работ. После получения итогового разреза по различиям в сопротивлениях можно не только описать геологию участка, но и определить состояние пород – морозное, мерзлое, талое, водонасыщенное.

Чтобы оценить взаимосвязь водохранилища и межмерзлотных вод воспользовались статистическим. А точнее, провели корреляционный анализ уровней воды в 19 пьезометрических скважинах и в водохранилище.

Для изучения теплообмена на поверхности ММП применили ландшафтно-индикационный метод. На снимке с сайта Google Earth согласно Климовскому И.В. и Готовцеву С.П. [1994], Готовцеву С. П. [1996] и полевым наблюдениям выделили 5 типов ландшафтов, служащих индикаторами мерзлотных условий: близкие к таежным, лесотундровые, тундровые, техногенно-нарушенные и отдельно – дороги. Затем исходные данные о термическом режиме сравнили с результатами работ методом электрогеотографии.

Анализ всех полученных данных свидетельствует о преобладании деструктивной роли фильтрационных потоков. Мерзлые массивы, выделенные над фильтрующими интервалами, являлись бы устойчивыми, т. е. имеют температуры ниже  $-1^{\circ}\text{C}$ , по своему термическому состоянию породы ММП не соответствуют стадии деградации. А значит, растепление берегового массива вследствие наполнения водохранилища, не было равномерным. Ему подверглись нижние части склонов, затопленные поймы, отличавшиеся высокой льдистостью, льды вытаяли, началось обводнение талой части, которое вызвало дальнейшее растепление, а также могло привести к раскрытию путей фильтрации (талый массив имеет большую массу, нежели мерзлый, кроме того, речь идет об известняках). Удаленные от берега части массива, как было отмечено, мало льдистые, след. фильтрации не стало преград (что отражается в сильной корреляции между

уровнем водохранилища и воды в пьезоскважинах). Кроме того, кровля фильтрационных потоков находится в слоях годовых и многолетних колебаний температур, приток тепла в данные слои изменяет параметры теплооборотов как в нижележащих, так и в вышележащих (мерзлых) слоях, лишая их «запаса» холода. Что приводит к ускоренной деградации ММП и увеличению интенсивности фильтрации.

Теплообороты на поверхности, зависящие от климатических параметров и свойств растительного покрова имеют «второстепенное» значение: они пока не нашли отражение в геоэлектрическом разрезе.

## Литература

- Гаврилова М.К. Климат алмазного края // Человек и стихия. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. - с. 75.
- Готовцев С. П. Температура многолетнемерзлых пород Сытыкан-Далдынского междуречья // Криолитозона и подземные воды Сибири. – Якутск: ИМЗ СО РАН – ассоциированный член изд-ва СО РАН, 1996. – с. 37 – 45.
- Климовский И.В., Готовцев С.П. Криолитозона Якутской алмазоносной провинции. – Новосибирск: Наука, 1994.

## Тепловое взаимодействие системы «Вертикальная факельная установка – многолетнемерзлые грунты основания» с учетом процессов излучения и парообразования

А.И. Ракова, Н.Б. Кутвицкая, М.А.Магомедгаджиева  
ОАО «Фундаментпроект», Москва, Россия

Факельные установки аварийного сжигания газа на сегодняшний день являются неотъемлемой частью любого нефтегазового месторождения.

Большинство месторождений углеводородного сырья в России находится в пределах развития криолитозоны, работа факельных установок оказывает негативное действие на многолетнемерзлые грунты (ММГ) основания самой факельной установки, а также зданий и сооружений, расположенных в радиусе её влияния.

Поэтому актуальным является решение вопроса прогнозирования взаимодействия системы «факельная установка – многолетнемерзлые грунты» и разработка технических решений, направленных на сохранение несущей способности оснований факела и окружающих сооружений [Дмитриева и др. 2011].

Учитывая, что за счет излучения при горении факела на поверхности грунта формируются высокие температуры (значительно выше 100°C), в грунтах происходит не только процессы оттаивания, но и парообразования. Как правило, в существующих программах теплотехнических расчетов фазовый переход «вода-пар» не учитывается, также как и изменения влажности грунта при парообразовании.

В данной работе проведена оценка влияния процессов парообразования в грунтах под действием излучения горящего факела. Исследование выполнено с использованием специальной программы, основанной на методе тепловых сопротивлений, которая разработана Л.А. Дугиновым и М.Х. Разовским [Кутвицкая и др. 2011].

Эта программа позволяет учитывать такие параметры как высоту факельной установки, размер пламени, тепловой поток, скорость и направление ветра, температуру на поверхности, а также фазовые переходы «лед-вода-пар» и изменения влажности грунта при фазовых переходах. Указанные факторы существенно влияют на значения глубины оттаивания, распределение температур в массиве грунта, а, следовательно, и на принятие технических решений, связанных с обеспечением устойчивости факельной установки.

В качестве примера рассмотрен факел с режимом работы: 1 год непрерывно, затем 10 суток в год в течении всего срока эксплуатации (30 лет). В режиме горения температура на поверхности у основания факельного ствола составляет 200°C.

Геологический разрез в сновании факельной установки, принятый в расчете, сложен многолетне-мерзлыми грунтами сливающегося типа и представлен песчаными и суглинистыми грунтами. Температура грунтов на глубине годовых нулевых амплитуд задана минус 1.4°C.

В прогнозных теплотехнических расчетах рассмотрена зона максимальной тепловой нагрузки в радиусе 50 м от факельной установки.

Результаты расчетов показали, что учет фазовых переходов «лед-вода-пар» и изменения при этом влажности грунтов существенно влияют на температурный режим грунтов. Это наглядно подтверждается приведенными на рис.1 зависимостями увеличения глубин оттаивания грунтов непосредственно под стволом факела в течение 30-летнего эксплуатационного периода при указанном выше режиме его работы и на рис.2 сопоставлением глуби расположения фронта «вода-пар» в период непрерывного горения факела в течение первого года.

В зависимости от типа факельных установок (вертикальный или горизонтальный факел) и их параметров (температура и продолжительность горения, высота, размер пламени...) температуры на поверхности грунта могут быть значительно выше приведенных в примере (более 300...600 градусов). В этом случае вклад процессов парообразования и одновременно влияние изменения влажности грунтов в формирование теплового состояния основания увеличивается.

В целях уменьшения теплового влияния излучения от горящего факела предложены и обоснованы расчетами технические решения, обеспечивающие сохранение несущей способности свайного снования факела на весь период эксплуатации.

Условно эти решения разделены на две группы:

- конструктивные мероприятия, уменьшающие поток излучения от факела к поверхности грунтов;
- теплоизолирующие элементы, закладываемые в грунтовые основания для уменьшения глубин оттаивания в зоне влияния факела.

В первой группе рассмотрены светоотражающие экраны, устанавливаемые вблизи факела и (или) фундаментов. Экраны позволяют уменьшить влияние излучения на локальных участках поверхности, что, помимо уменьшения теплоточков в грунты, необходимо для функционирования различных типов сезоннодействующих охлаждающих устройств (например, термостабилизаторов).

Ко второй группе относятся горизонтальные или наклонные слои из теплоизолирующих материалов (теплозащитные экраны – ТЗЭ), которые укладываются в грунты для защиты мерзлых грунтов от процессов многолетнего оттаивания и осадок.

Если конструктивные мероприятия первой группы требуют значительных затрат и их эффективность может снижаться в процессе эксплуатации (из-за загрязнения отражающих поверхностей), то ТЗЭ легки в эксплуатации, их теплозащитные свойства практически не снижаются.

Последнее относится к современным экструдированным пенополистирольным материалам, которые обладают низкой теплопроводностью, высокой прочностью и низкой степенью водонасыщения, что делает их эффективными для использования именно в грунтовых основаниях.

Однако, применение этих материалов ограничено температурным диапазоном – максимально допустимая температура составляет не более 60...80°C. При более высоких температурах, которые формируются в основании горящего факела традиционные материалы, такие как керамзитовый гравий, не применимы из-за недолговечности их работы в условиях переменной влажности и температуры.

Наиболее эффективными в условиях высоких температур являются различные материалы с использованием, например, пеностекла.

В настоящей работе разработано решение с использованием двух видов ТЗЭ, укладываемых на глубинах, где их материалы способны выдержать создаваемую факелом температуру грунтов. Таким образом, результаты прогнозных тепловых расчетов основания,

которыми учитываются или не учитываются процессы парообразования, являются определяющими при оценке экономической эффективности технических решений основания.

Как видно из рисунка 2, разница в глубинах фазовых переходов «вода-пар» (граница температур 100°C), при расчете с учетом и без учета изменения влажности составляет около 1.5 м. только за первый год работы факельной установки. Учет фазового перехода «вода-пар» позволяет укладывать ТЗЭ, например, из пенополистирольных плит, выдерживающих температуры не более 60 град., не на глубине не 3.5 м (если фазовый переход «вода-пар» не учтен), а на глубине 2.0 м. При более высоких температурах грунтов этот эффект сказывается существенно.

Для обеспечения сохранения несущей способности свайного основания факела на весь период эксплуатации возможно также применение традиционных методов, таких как устройство регулируемых опор в основании факельной установки и светоотражающего навеса.

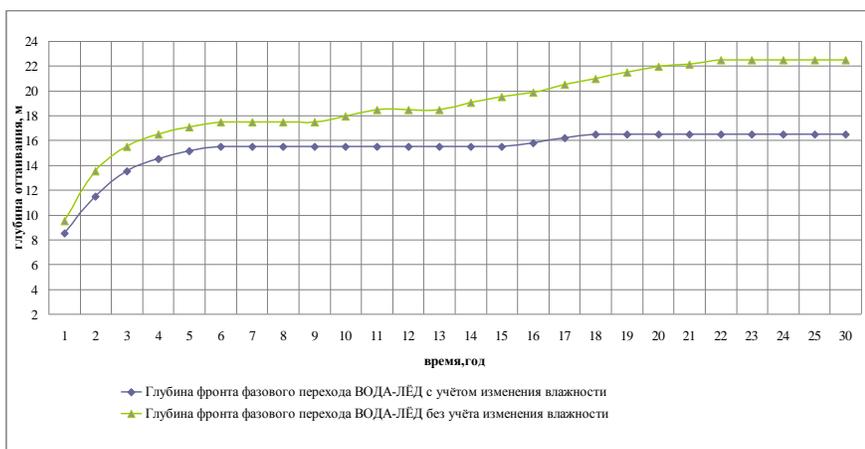


Рис.1. Сопоставление динамики оттаивания грунта с учетом и без учета изменения влажности при фазовом переходе «лёд-вода»

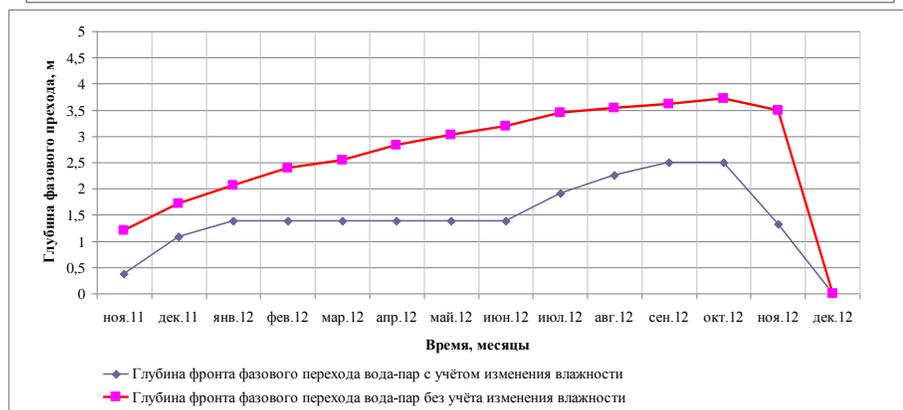


Рис.2. Глубина фронта фазового перехода «вода-пар» при температуре 200°C на поверхности

### Литература

Кутвицкая Н.Б., Дугинов Л.А., Розовский М.Х., Рязанов А.В., Магомедгаджиева М.А. Моделирование процессов тепло-влажнопереноса в грунтах методом тепловых и гидравлических сопряжений, Материалы четвертой конференции геокриологов России, – М.: Университетская книга, 2011.

Дмитриева С.П., Кутвицкая Н.Б., Ракова А.И. Оценка негативного влияния факельной установки на многолетнемерзлые грунты основания, // Сборник трудов Интергация, партнерство и инновации в строительной науке и образовании. Международная научная конференция, МГСУ, 2011.

## Эффективность применения арктических тампонажных систем в интервалах залегания мерзлых пород

Д.А. Речапов, А.С. Коростелев, В.Г. Кузнецов

ООО «ТюменьНИИГаз»; ТГНГУ кафедра бурения, г. Тюмень, Россия

### Аннотация

Требования к повышению качества крепления скважин с наличием многолетних мерзлых пород, приводит к необходимости применения сложных тампонажных систем. В данной работе представлены лабораторные исследования и промышленное применение тампонажных систем при креплении обсадных колонн на Харвутинской площади Ямбургского месторождения.

Целью работы, разработка сухих тампонажных смесей не содержащие гипс, как основного гидравлического-активного компонента, а применение различных функциональных добавок (микросферы, расширяющиеся добавки). Данные многокомпонентные смеси более практичны, не требующие дополнительных операций по трансферу и смешиванию отдельных составляющих на буровых установках перед креплением скважины. Не теряют свои технологические свойства при длительном хранении в открытых площадках.

Внедрение разработанных сложных тампонажных смесей приводит к повышению качества заполнения межтрубного пространства и получению коэффициента сцепления в системе обсадная колонна-тампонажный камень-порода до 0,7-0,95 в интервале залегания многолетнемерзлых пород

### Введение

Большинство газовых и газоконденсатных месторождений, открытых в районах Крайнего Севера характеризуются наличием в геологическом разрезе массивных слоев многолетнемерзлых пород (ММП). К основным трудностям, возникающим при бурении и креплении скважин в интервалах размещения ММП, можно отнести интенсивное кавернообразование, образование приустьевых воронок, недоподъем тампонажного раствора до устья, неудовлетворительное сцепление тампонажного камня с породой. Низкие статические температуры в интервалах размещения ММП приводят к увеличению сроков схватывания и препятствуют формированию тампонажного камня с требуемой несущей и изолирующей способностью.

Проблемы качественного цементирования обсадных колонн в интервале ММП в значительной степени усугубляются при наличии в структуре многолетнемерзлых пород массивных газогидратных отложений.

Это относится в первую очередь к газовым и газоконденсатным месторождениям полуострова Ямал (Бованенковское, Харасавэйское, Малыгинское и др.), Уренгойскому, Ямбургскому, Заполярному газоконденсатным месторождениям, а также к площадям, расположенным в акваториях Обской и Тазовской губы, где геологический разрез в интервалах спуска и крепления кондуктора и направления включает несколько зон осложнений. Верхние слои, перекрываемые направлением (до 40-120 м), представляют собой мерзлые песчаники с высокой льдистостью от 40 % до 80 %. Интервалы от 120 до 180 м характеризуются меньшей льдистостью, однако при этом отмечается присутствие газогидратов, криопэггов и таликов. Более глуболежащие интервалы - от 300 м представляют собой переслаивание слабльдистых

песчаников, глин, характеризуются положительными значениями статических температур и могут включать газонасыщенные пропластки естественного или техногенного происхождения (березовская свита).

Следовательно, при креплении кондукторов и направлений в интервалах ММП возрастает нагрузка на облегченные тампонажные растворы, расположенные от глубин 200-300 м до устья.

Таким образом, необходим комплексный подход к разработке составов облегченных тампонажных растворов для крепления кондукторов и направлений: с одной стороны нужно принимать меры для повышения морозостойкости камня, минимизации выделяющейся теплоты гидратации цемента, снижения коэффициента теплопередачи тампонажного камня, минимизации разницы в значениях прочностных характеристик тампонажного камня, расположенного на забое и на устье. С другой стороны, обоснованно повышать устойчивость раствора и камня тампонажного раствора к газопроявлениям, т.е. повышать его газоблокирующие свойства, аналогично технологиям цементирования промежуточной и эксплуатационной колонн.

Решение проблемы обеспечения подъема тампонажного раствора до устья и формирования в заколонном пространстве сплошного, малопроницаемого цементного камня представляется возможным за счет применения облегченных тампонажных композиций с повышенной гидравлической активностью и высокой объемной долей твердой фазы, а также отсутствием усадочных деформаций. Кроме того, такие композиции должны быть максимально просты в применении, все необходимые добавки должны быть внесены в состав сухого бленда, приготовленного еще на заводе.

Опыту разработки и применения такого универсального состава посвящена настоящая статья.

## Геотехнические карты в структуре информационного сопровождения инженерных изысканий

Ф.М.Ривкин, И.Л.Кузнецова, Н.В.Иванова, И.В.Чехина, И.Пармузин  
ОАО «Фундаментпроект», г. Москва, Россия

### Аннотация

Геотехнические карты в структуре информационного сопровождения инженерных изысканий в области распространения мерзлых грунтов являются завершающим элементом альбома тематических карт. Их назначение – интерпретация результатов инженерных изысканий в виде предложений по выбору проектных решений. Геоинформационная составляющая геотехнических карт позволяет, на основе пространственного анализа, выполнять количественную и стоимостную оценку рекомендуемых проектных.

**Ключевые Слова:** Геоинформационные картографические модели; инженерно-геокриологическое картирование; геотехническое картирование; матричная схема районирования.

### Введение

Инженерно-геокриологические условия в значительной степени определяют технические решения, принимаемые при проектировании объекта. Установление функциональных связей между инженерно-геологическими условиями и принимаемыми техническими решениями позволяет получить прямую информацию (пространственную, количественную, финансовую) о результатах использования тех или иных проектных решений. Решение этой задачи всегда является целью комплекса работ по инженерным изысканиям и проектированию. Одним из методов решения такой задачи являются специальные карты геотехнического назначения. Их анализ позволяет обосновать выбор того или иного проектного решения, основываясь на количественных показателях разнообразия природных условий и стоимостной оценки вариантов технических решений.

### Основные положения методики

В методическом отношении геоинформационное сопровождение инженерных изысканий основано на создании системы поэтапного картографического моделирования инженерно-геокриологических условий, которое реализуется составлением альбома разномасштабных специализированных карт. Состав и структура альбомов определяется как сложностью и разнообразием природных условий, так и спецификой сооружаемого объекта и детальностью изысканий. Геотехнические карты завершают альбом специализированных картографических моделей и разрабатываются на основе базовой карты, которой является карта инженерно-геокриологического районирования [Rivkin и др. 2011].

Карта инженерно-геокриологического районирования разрабатываются на основе матричных схем районирования, принцип построения которых основан на дифференцировании в структуре матрицы факторов и функциональных связей, отображаемых на каждой карте. При этом в структуру матрицы должны быть включены как факторы, определяющие основные региональные закономерности формирования инженерно-геокриологических условий, так и факторы, определяющие специфику проектируемого объекта (в том числе

специфику его строительства и эксплуатации). Таким образом, для целей создания альбома картографических моделей специального и геотехнического содержания структура матрицы должна быть дифференцирована с учетом комплекса природных и техногенных факторов (в том числе технологических) [Rivkin и др. 2003, Rivkin и др. 2004].

В таком аспекте матричная схема районирования, является не только формой и методом организации информации, но и основным элементом легенды геоинформационных картографических моделей.

### Результаты

Решение практических задач по информационному сопровождению инженерных изыскания для строительства протяженных (трансконтинентальных) трубопроводных систем и освоения нефтегазовых месторождений позволило разработать методики создания нескольких видов геотехнических карт:

- Карта районирования трассы по условиям строительного освоения;
- Карта районирования трассы по физико-механическим свойствам мерзлых грунтов;
- Карта районирования трассы по величине потенциальной осадки мерзлых грунтов при оттаивании;
- Карта районирования трассы по техническим решениям прокладки трубопровода (с оценкой стоимости).

Первые три вида карт по своему содержанию являются геоинформационными картографическими моделями второго уровня, так содержат информацию, полученную как в результате инженерно-геологических изысканий и лабораторных исследований, так и на основе ее геотехнической переработки. То есть созданные на основе анализа и преобразования базовой информации. Как уже модели (первый уровень геоинформационного картографического моделирования) выполняют карта инженерно-геокриологического районирования, разработанная на основе матричного анализа результатов инженерно-геокриологических исследований. Карта районирования по техническим решениям прокладки трубопровода представляет собой уже геоинформационную картографическую модель третьего

или более высокого уровня, так как она основывается на результатах геотехнического преобразования

картографических моделей первого и второго уровней.

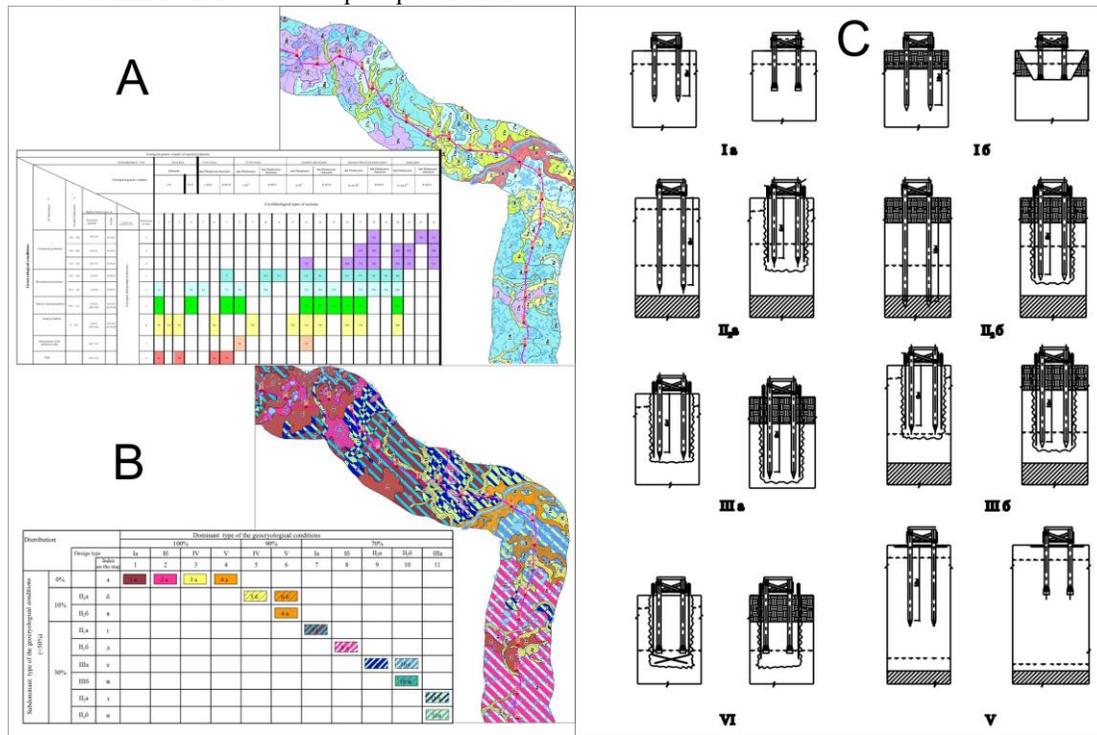


Рис.1. Принципиальная структура создания геотехнической картографической модели: А – базовая геоинформационная картографическая модель (Карта инженерно-геокриологического районирования и матричная аналитическая схема); В - геотехническая картографическая модель (Карта районирования трассы по техническим решениям прокладки трубопровода (с оценкой стоимости)); С – База данных технических решений прокладки трубопровода).

На рисунке 1 показана принципиальная структура разработки геотехнической картографической модели, а именно, карты районирования трассы трубопровода по техническим решениям его прокладки (блок А на рис.1). На основе базовой картографической модели была сформирована база данных основных технических решений (блок С на рис.1). Кроме базовой карты, для этой цели использовались и другие: карта районирования трассы по условиям строительного освоения, карта районирования трассы по физико-механическим свойствам мерзлых грунтов, карта осадки грунтов при оттаивании. Целью данного этапа является разработка алгоритма выбора технических решений для прокладки трубопровода. В результате комплексного анализа была разработана матричная аналитическая схема районирования трассы по техническим решениям прокладки трубопровода, которая является и основным элементом легенды к карте (блок В на рис.1). Матричная аналитическая схема определяет только спектр технических решений, применяемых в тех или иных инженерно-геокриологических условиях. Карта отображает их пространственное распространение (количественное). Все это позволяет получить, на основе специализированных расчетных модулей, стоимостную оценку применения выбранных технических решений и оперативно выполнить их корректировку.

Сочетание геоинформационных картографических моделей, расчетных модулей и базы данных технических решений позволяет обеспечить информационное сопровождение проекта в целом, обеспечивая принятие

оптимальных решений по корректировке изысканий и проектирования.

### Литература

Ривкин Ф.М., Иванова Н.В., Кузнецова И.Л., Суходольский С.Е., Чехина И.В. 2003. Инженерно-геологическое обеспечение технико-экономического обоснования строительства трансконтинентальных нефтепроводов. // Криосфера Земли, №4, Том VII, Новосибирск. Издательство СО РАН, 2003, с.65-75.

Rivkin F.M., Kuznetsova I.L., Ivanova N.V. & Suhodolsky S.E. 2004. Engineering-geocryological mapping for construction purposes in permafrost regions. In: Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 172-178.

Rivkin F.M., Kuznetsova I.L., Ivanova N.V., Popova A.A. & Parmusin I.S. 2011. Multipurpose mapping as informational support engineering survey, design and monitoring. In Proceedings of the 4-th Conference of Russian geocryologists. Moscow, V.3 pp.300-304. (in Russian).

## Исследование термического режима верхней части многолетнемерзлых пород с целью обеспечения геоэкологической устойчивости нефтедобывающих комплексов (на примере Ардалинского нефтепромысла)

А.Н.Рогач

*Аспирант кафедры транспорта и хранения нефти и газа, Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия*

При нефтедобыче оказывается негативное воздействие на компоненты природной среды, в частности, на геологическую среду. В условиях Крайнего Севера особенности геологического строения верхней части разреза, обусловленные, главным образом, наличием многолетнемерзлых пород (ММП), во многом определяют устойчивость и надежность эксплуатации объектов нефтегазодобывающих комплексов. Нарушение термического режима ММП может привести к снижению устойчивости грунтов и, соответственно, инженерных сооружений, расположенных на их поверхности. Поэтому необходимо проводить изучение и анализ температурного режима верхней части многолетнемерзлых пород, с целью минимизации теплового воздействия нефтедобывающих объектов.

Впервые для европейской части Крайнего Севера подобный анализ термического состояния компонент верхней части геологической среды, находящихся под техногенным влиянием, был проведен на Ардалинском нефтедобывающем промысле (АНП). На Ардалинском нефтепромысле проводятся регулярные наблюдения за состоянием многолетнемерзлых тундровых грунтов, находящихся в основании производственных сооружений, площадок и других объектов [Рогач 2010].

Наблюдения выполняются путем снятия показаний датчиков в термометрических скважинах, расположенных на эксплуатационной площадке «А», эксплуатационной площадке «Б», промплощадках центральных производственных сооружений (ЦПС), а также в скважинах полигона захоронения отходов бурения. Первые три объекта имеют песчанную отсыпку, которая способствует минимизации теплового воздействия на верхнюю часть многолетнемерзлых пород. Это подтверждается проведенным анализом температурных режимов в термометрических скважинах.

На эксплуатационной площадке «А» пробурены эксплуатационные скважины и 3 термометрические скважины, также в 150 метрах от края площадки расположена фоновая термометрическая скважина. Начиная с глубины 0 метров (за ноль взята исходная поверхность почвы) породы находятся круглогодично в мерзлом состоянии.

На эксплуатационной площадке «Б» осуществляется процесс закачки пластовой воды. Вследствие постоянного по времени теплового воздействия масс горячей воды происходит повышение температуры верхней части ММП.

Сравнение двух термометрических скважин, расположенных на различных расстояниях, показывает значительное снижение теплового воздействия с увеличением расстояния от нагнетательной скважины.

На площадке ЦПС нет эксплуатационных скважин, но технологические процессы, производимые на ее территории, также оказывают тепловое воздействие. Для анализа температурного режима проанализированы показания ряда термометрических скважин с одинаковым шагом установки в них температурных датчиков. В этих скважинах, начиная с глубины 2,5 метра (мощность песчаной отсыпки 3 метра), породы находятся круглогодично в мерзлом состоянии.

Наблюдения за состоянием захороненного бурового шлама производятся путем замера показаний термодатчиков в скважинах, пробуренных в теле шламонакопителей и в фоновых термометрических скважинах [Макарский, Губайдуллин 2009]. С глубины 3,5 м породы находятся круглогодично в мерзлом состоянии. Такая же глубина характерна и для фоновых скважин. Это свидетельствует о том, что термический режим грунтов в теле шламонакопителя восстанавливается до фоновых значений.

Обобщенные результаты наблюдений за термическим состоянием верхней части многолетнемерзлых пород обеспечивают получение достоверных характеристик теплообмена в мерзлых и сезонно - промерзающих грунтах и позволяют найти методы повышения геоэкологической устойчивости приповерхностных пород при эксплуатации нефтедобывающих комплексов.

### Литература

- Макарский Н.А., Губайдуллин М.Г. Опыт утилизации отходов производства и бурового шлама на Ардалинском нефтепромысле /НТЖ "Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе". М.: ВНИИОЭНГ, 2009 - № 7. – С. 23-29.
- Рогач А.Н. Проект организации наблюдения за геоэкологической средой на Ардалинском нефтяном комплексе. Сборник тезисов The Second Student International Scientific and Practical Conference OIL&GAS HORIZONS. Москва, 2010. С. 133-134.

# Криосфера как среда обитания и сохранения биоразнообразия микроорганизмов

О.В. Рузова

Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия

В.В. Самсонова

Тюменский научный центр СО РАН, Тюмень, Россия

В.О. Доманский, О.Е. Дручина

НИИ криогенных ресурсов Тюменского государственного нефтегазового университета и Тюменского научного центра СО РАН, Тюмень, Россия

## Введение

Многолетнемерзлые породы (ММП) широко распространены на Земле и служат источником повышения биоразнообразия микробных сообществ современных почв в холодных регионах. При обнажении ММП реликтовые микроорганизмы выводятся на поверхность и включаются в современные экосистемы. Влияние криогенных условий существования как фактора формирования жизнестойкости прокариот мало изучено.

Данная работа направлена на изучение влияния региональной специфики мерзлых толщ и криогенных условий существования, как фактора сохранения, и формирования жизнестойкости прокариот в криолитозоне Сибири.

## Объекты, материалы и методы исследования

Исследованы микробные сообщества и свойства микроорганизмов, выделенных из проб многолетнемерзлых отложений и почв голоцено-плейстоценового возраста.

Районы исследований и отбора проб для выделения жизнеспособной микробиоты представляют две разных модели развития криосферы и условий формирования биоразнообразия микробиоты в криолитозоне.

1) Участок «Тарко-Сале» находится в 15 км к северо-западу от одноименной метеостанции на севере Западной Сибири в районе прерывистого распространения ММП. Положение на равнине определяет возможность привноса микробиоты, переносимой атлантическими и арктическими циклонами с территории Европы и Заполярья. Криолитозона здесь подвергалась воздействию морских трансгрессий, деградировала в межледниковья и оптимум голоцена, испытывает существенное влияние современного потепления климата. Средняя годовая температура воздуха за период 1999 - 2008 гг. при норме - 6,4°C составила - 4,98°C.

В декабре 2005 года здесь были вскрыты ММП сливающегося типа, пробуренными колонковым способом без промывки и добавления химических растворов скважинами, в которых с апреля 2006 года проводятся геотермические исследования.

Скважина №1 расположена на поверхности гряды с кустарничково-моховой растительностью. В разрезе до 1 м залегает торф, до глубины 20 м - супесь с прослоями песка, суглинка и глины, перекрывающая суглинок с прослоями супеси и глины. Содержание органики - 2,7-7,3%, влажность - 28,8-46,26%, засоленность - 0,00-0,05%, pH - 5,7-7,85.

Скважина №2 находится в сосновом редколесье. С поверхности до 2,5 м залегает торф, до 16 м - пески с прослоями суглинка, супеси и глины, перекрывающие супесь с прослоями суглинка. Содержание органики - 1,8-

7,95%, влажность - 19,05-42,45%, засоленность - 0,00-0,02%, pH - 5-7,66. Для микробиологических исследований использовано 13 образцов ММП из керна.

2) Участок «Чара» находится на севере Забайкалья в 6 километрах юго-восточнее пос. Новая Чара. Представляет фрагмент I террасы р. Чара с обнажением аллювиальных и биогенных отложений, вмещающих жильные льды. Этот район испытывал влияние подпруд и ледников, является частью межгорной котловины Байкало-Становой области гор Южной Сибири, с поддерживаемой орографическими инверсиями «изолированной» от трансграничного переноса сплошной криолитозоны. Средняя годовая температура воздуха за период 1999 - 2008 гг. по данным метеостанции Чара составила - 6,47°C.

Численность микроорганизмов определяли посевом на Beet Extract Agar (BEA) and Potato Dextrose Agar (PDA). Использовали разведения  $10^{-3}$  и  $10^{-4}$  ml. Высевы производили в трех повторностях. Инкубировали при трех температурах +5°C, +16°C и +36°C. Бактерии культивировались от 2 до 10 суток при температуре, +16°C и +36°C, и от 50 до 60 суток при +5°C.

Для изучения активности микроорганизмов при низких температурах была использована цветная питательная среда, которая позволяет оценить активность культур при низкой метаболической активности. Изучение галотолерантности выделенных штаммов из района Тарко-Сале проводили на плотной питательной среде с добавлением NaCl. В работе использовались соли с концентрацией от 1-13%, штаммы культивировались при температуре +10°C.

## Результаты и обсуждения

Микроорганизмы были обнаружены во всех исследуемых образцах. Из проб «Тарко-Сале» выделено было выделено 63 штамма чистых культур бактерий, из них по нуклеотидной последовательности 16S rRNA идентифицировано 44 штамма. При идентификации по родовой принадлежности в скважине №1 в основном преобладали бактерий рода: *Bacillus spp*, *Enterobacter spp*, *Stenotrophomonas spp*, в скважине №2 : *Bacillus spp*, *Acinetobacter spp*, *Pseudomonas spp*.

Рост бактерий наблюдался только при температуре +16 °C и +36 °C, а при +5 °C отсутствовал. Количество бактерий, выделенных при температуре +36 °C, на 1 - 3 порядка меньше, чем при +16 °C. Для пород одного генезиса, близких по составу и возрасту, изменчивость по разрезу в целом среднего КОЕ в скважинах №1 (температура ММП -1,5÷ -1,7 °C) и №2 (температура ММП -0,4 °C) соответственно  $8,5 \times 10^4 \div 3,8 \times 10^7$  и  $1,12 \times 10^4 \div 1,72 \times 10^8$ . Возрастание общей численности бактерий наблюдалось для проб из горизонтов,

характеризующихся повышением содержания органики, солей и незамерзшей воды, дисперсности при снижении льдистости отложений.

Из образцов, отобранных в Верхнечарской котловине, было выделено 89 штаммов при разных температурах культивирования на плотных питательных средах (таблица 1), из них 25 штаммов были идентифицированы по нуклеотидной последовательности 16S rRNA в основном преобладали штаммы, относящиеся к родам *Pseudomonas spp.*, *Bacillus spp.*, *Bordetella spp.* Характерно высокое содержание однотипных штаммов в пробах. Рост бактерий при +5 °С был выявлен у 15 штаммов.

Региональные особенности распределения бактерий обусловлены различиями в температурном режиме и диапазоне изменчивости температуры ММП, т.е. изменениями условий теплообмена на поверхности. Имеет место перераспределение бактерий в разрезе ММП тесно связанное с изменчивостью диапазона температур и температурного режима, обусловленной сезонными, годовыми ритмами, межгодовой изменчивостью и более продолжительными колебаниями климата. О дифференциации микроорганизмов в разрезе ММП, происходящей в многолетнемерзлых мерзлых толщах под воздействием криогенных процессов, вызванных изменчивостью климатических условий, свидетельствуют данные многолетних режимных геотермических исследований в скважинах на участках отбора проб.

Выявленная закономерность позволяет использовать микробиологическое тестирование образцов ММП с анализом характера распределения численности, микроорганизмов, культивированных при разных температурах, в качестве экспресс-метода определения мощности слоя максимального протаивания, защитного слоя, слоя годовых теплооборотов даже без многолетних геотермических наблюдений, что имеет большое практическое значение.

В ходе исследования штаммов на определение чувствительности бактерий к антибактериальным препаратам использовали 14 антибиотиков из известных 7 классов. У исследуемых штаммов наблюдалась множественная устойчивость к тестируемым антибиотикам, по-видимому, это связано с тем, что в природных условиях бактерии при совместном существовании с продуцентами антибиотиков (грибами) выработали механизмы устойчивости к действию природных антибиотиков. Выполнен сравнительный анализ штаммов бактерий, которые сразу после оттаивания использовали в эксперименте на устойчивость к антибиотикам и штаммы бактерий, которые культивировались в лабораторных условиях в течение 1 года. Установлено, что устойчивость к антибиотикам существенно не изменилась.

Исследование способности к росту в условиях осмотического стресса при концентрациях NaCl от 1-13% при температуре культивирования +10°С (данная температура является оптимальной для роста

психрофильных бактерий). В ходе эксперимента были выявлены 4 штамма способных к росту при содержании в среде 13% NaCl, данные бактерии были отнесены к группе галотоллерантных бактерий.

Результаты сиквенса и изучения галотолерантности штаммов Тарко-Сале свидетельствуют о наличии региональных особенностей в формировании сообществ микроорганизмов.

Для рассматриваемого района Западной Сибири эти особенности заключаются в возможности как длительного сохранения жизнеспособных галофильных микроорганизмов после окончания морских трансгрессий в криогенных условиях, так и адаптации изначально не галофильных бактерий к условиям засоленности отложений во время трансгрессий и криогенной консервации, а так же участия в сообществах микроорганизмов, характерных для горизонтов с залежами углеводородов и на нефтезагрязненных землях.

Вместе с тем установлено наличие в ММП Сибири микроорганизмов, впервые выделенных из проб отложений в Западной Европе (для Тарко-Сале – из лесных почв вблизи Брауншвейг, Нижняя Саксония, Германия; для Чарской котловины – из шахт в Фредериксберге, Копенгагене, Дании), что является свидетельством дальности трансграничного переноса прокариот, в качестве ядер конденсации и кристаллизации воды, т.е. роли криосферы в сохранении биоразнообразия микробиоты планеты за счет этого механизма.

## Выводы

На участках проявления и активизации криогенных физико-геологических процессов (термокарст, термоденудация, термоабразия, термоэрозия, криогенные оползни течения, скольжения и сплывы) за счет расконсервации реликтовых жизнеспособных микроорганизмов повышается биоразнообразие микробиоты.

Вызванные колебаниями климата криогенные процессы в разрезе деятельного слоя и ММП приводят к аккумуляции микроорганизмов в зонах, соответствующих кровле многолетнемерзлых пород и подошве слоя годовых теплооборотов, слою нулевых годовых амплитуд температуры.

Имеются региональные и фациальные особенности микробиот многолетнемерзлых отложений, связанные с их адаптацией к условиям среды, которые характеризуются различиями в температурном режиме и диапазоне изменчивости температуры многолетнемерзлых пород.

Современные и реликтовые микроорганизмы, являющиеся при фазовых переходах воды в атмосфере центрами конденсации и кристаллизации, могут переноситься на значительные расстояния воздушными массами, выпадать из них с твердыми и жидкими осадками, следовательно, повышать биоразнообразие микробиоты в любой природной зоне планеты.

## Криогенные процессы в почвах Южной Тундры

Г.В. Русанова, О.В. Шахтарова

Отдел почвоведения, Учреждение Российской академии наук ИБ КНЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

**Ключевые Слова:** Большеземельская тундра, криогенные процессы, автоморфные пылевато-суглинистые почвы, макро-, мезо-, микроморфология

### Введение

Специфическая криогенная организация, присущая почвам, выражается в своеобразном распределении компонентов: ориентация частиц, переорганизация, перенос вещества, деструкция органических остатков [Федорова, 1974; Коницев, Рогов, 1977; Еришов и др., 1988; Cryosols, 2004; Соколов и др., 2006].

Особенностью криогенных процессов в почвах является их цикличность. В результате, почвами приобретаются криогенная текстура и структура, скопления и кольца песчано-алевритового материала, признаки криотурбации.

Наиболее распространенными почвами юго-востока Большеземельской тундры, формирующимися на рыхлых пылевато-суглинистых отложениях, являются глееземы типичные и глееземы криометаморфические [Классификация и диагностика почв России, 2004] или тундровые торфянисто-глеевые и тундровые поверхностно-глеевые почвы [Гос. почв. карта России м-ба 1:1 000 000. Объясн. зап. к листу Q-41 (Воркута) 2010]. Различия в степени оглеения зависят от глубины залегания многолетнемерзлых пород, положения почв в ландшафте и дренированности, экспозиции склона и толщины снежного покрова. Цель исследований – выявление зависимости проявления криогенных процессов от степени оглеения почв.

### Объекты и методы

Исследования проводились на юго-востоке Большеземельской тундры, характеризующемся пологоувалистым и холмисто-грядовым рельефом, массивно-островным типом залегания многолетнемерзлых пород, пятнисто-бугорковатым микрорельефом и ерниково-кустарничковыми мохово-лишайниковыми растительными ассоциациями.

Объектами исследований являются глееземы типичные и глееземы криометаморфические.

Детальные исследования структурной организации и дифференциации песчано-пылеватых кутан (скелетан) выполнены на монолитах ненарушенного строения, с использованием макро-, мезо-, микроморфологического методов.

### Результаты и обсуждение

Признаки криогенных процессов четко прослеживаются в глееземе типичном (О, 0- 7(10)см – G, 10-25см – G<sub>1</sub>, 25-40см – CG, 40-65см), залегающем на пологом

слаборассеченном, наветренном склоне увала. При нахождении многолетней мерзлоты в пределах профиля (90 см) почва при высыхании становится слитной, без признаков агрегированности, или очень слабой в нижней части (г.CG). Переувлажненность почвы вызывает развитие криотурбаций вследствие термального сжатия мерзлого материала при быстром похолодании, и значительный массоперенос, о чем свидетельствуют изогнутые темно-бурые фрагменты на глубине 40 - 65см. Многочисленные везикулярные поры в гор.G<sub>1</sub>, образованные при медленном таянии и сохранении воздуха, способствуют образованию творожистого ноздреватого строения, характерного для тиксотропных горизонтов. Присутствие мерзлоты вызывает миграцию влаги вдоль термального градиента, перенос твердых частиц в виде суспензий, наряду с криогенной сортировкой зерен скелета. Последние составляют слабо выраженное белесое заполнение пор в гор.G, G<sub>1</sub>. Субгоризонтальное сложение в гор.G возникает вследствие циклов промерзания– оттаивания и образования от линз льда листоватых ленточных агрегатов, очень неустойчивых во влажные периоды в верхних горизонтах. Гранулярные агрегаты между торфянистым слоем и минеральной толщей образуются вследствие механического давления, ротации в сильно насыщенных водой средах.

Наиболее четко выраженными криогенными процессами в данной почве являются: криотурбации, перераспределение, сортировка компонентов, криокоагуляционная агрегация органического вещества.

Глеезем криометаморфический (О, 0-13см – Bg(G), 13-38см – CRM1, 38-62см – CRM2, 62-100см), залегающий на плоской вершине холма, характеризуется более высокой степенью аэрации и глубиной залегания многолетней мерзлоты ≈ 2м. Оструктурирование на границе с минеральной толщей происходит вследствие склеивания частиц цементирующими соединениями в ходе их ротации, что способствует образованию округлых агрегатов, часто с пленками. Для гор.Bg(G) характерно субгоризонтальное строение с пластинчатыми агрегатами вследствие давления ледяных шлиров, признаки сортировки частиц, аккумуляции скелетных зерен в трещинах и на поверхности агрегатов, скопления, ориентации их в виде вертикальных и эллипсоидных форм. Изометричные агрегаты – ооиды с концентрическим внутренним строением в гор.CRM представляют собой наслоение глины и оксидов Fe на частицы песка, конкреции. Механизм формирования - сегрегационно-коагуляционное

оструктуривание частиц разного гранулометрического состава.

Следствием протекания криогенных процессов в почве являются: деструкция органических остатков, слоистая, сетчатая криогенная текстура и гранулярная структура, криогенная ориентация материала (кольца, скопления).

### Выводы

Таким образом, детальными макро,- мезо,- микроморфологическими исследованиями установлено, что автоморфные суглинистые почвы юго-востока Большеземельской тундры, развивающиеся в условиях резко континентального климата и неглубокого залегания многолетнемерзлых пород, содержат набор криогенных признаков и свойств, проявляющихся на разных уровнях организации. Степень выраженности и глубина проявления криогенных признаков существенно варьируют в зависимости от оглеенности почв: максимальное развитие криотурбаций и физического переноса материала – в глееземе типичном; усиление переорганизации и внутрипрофильного перераспределения – в глееземе криометаморфическом.

### Литература

- Государственная почвенная карта России м-ба 1:1000000. Объяснительная записка к листу Q-41 (Воркута). Сыктывкар, 2010.82с.
- Ершов Е.Д., Лебеденко Ю.П., Чувилин Е.М., Языкин О.М. Микростроение мерзлотных пород. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988.182с.
- Классификация и диагностика почв России. 2004.
- Конищев В.Н., Рогов В.В. Микроморфология криогенных почв и грунтов // Почвоведение. 1977.№2.С.119-125.
- Соколов И.А., Конюшков Д.Е., Наумов Е.М. Почвенный криогенез// Почвообразующие процессы. М.: Почв. инст. им. В.В. Докучаева, 2006. С.144-167.
- Федорова Н.М. К проблеме почвенного криогенеза // Почвоведение. 1974. №2.С. 19-30.
- Cryosols. Permafrost- Affected Soils. Springer. 2004. John M. Kimble editor.713p.

# Принципы картирования оснований объектов обустройства нефтегазового комплекса в сложных геокриологических условиях

А.В. Рязанов, А.И. Шигапов, В.Д. Кауркин  
 ОАО «Фундаментпроект», Москва, Россия

Мировая тенденция развития производительных сил все более отчетливо ориентируется на северные территории. Обустройство и развитие месторождений нефтегазовой отрасли играет важную роль и в жизни нашей страны. Территории месторождений часто имеют сложную геокриологическую обстановку, что в свою очередь затрудняет обеспечение устойчивости и надежности объектов обустройства нефтегазового комплекса. Для разработки проектной документации, выбора управляющих решений по обеспечению их устойчивости и надежности линейных сооружений нефтегазового комплекса в эксплуатационный период выполняется «Камеральное базовое инженерно-геокриологическое картирование».

Камеральное базовое инженерно-геокриологическое картирование включает разработку комплекта 3-х схематических карт, охватывающих инженерно-геокриологические и температурные условия, зонирование по степени опасности геокриологических процессов. Рассмотрение совокупности определяющих факторов, приуроченных к конкретным участкам линейных сооружений, дает возможность максимально точно разработать мероприятия по инженерной защите от опасных геокриологических процессов, геотехническому мониторингу и обеспечить эксплуатационную надежность на весь период эксплуатации.

В качестве примера на рис.1...3 приведены фрагменты схематических карт, разработанные для трасс трубопроводов Ванкорского месторождения.

Схематическая карта инженерно-геокриологического районирования

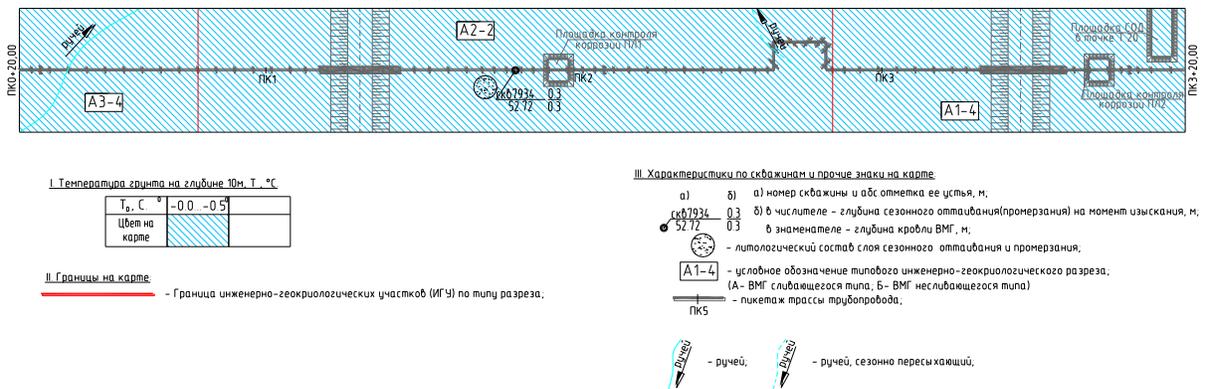


Рис.1 Схематическая карта инженерно-геокриологического районирования

Схематическая карта классификации строительных объектов

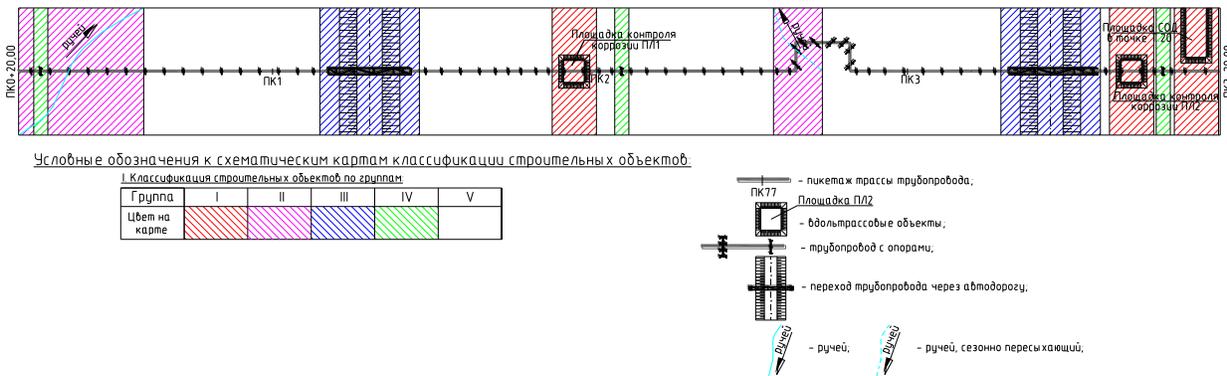


Рис.2 Схематическая карта классификации строительных объектов

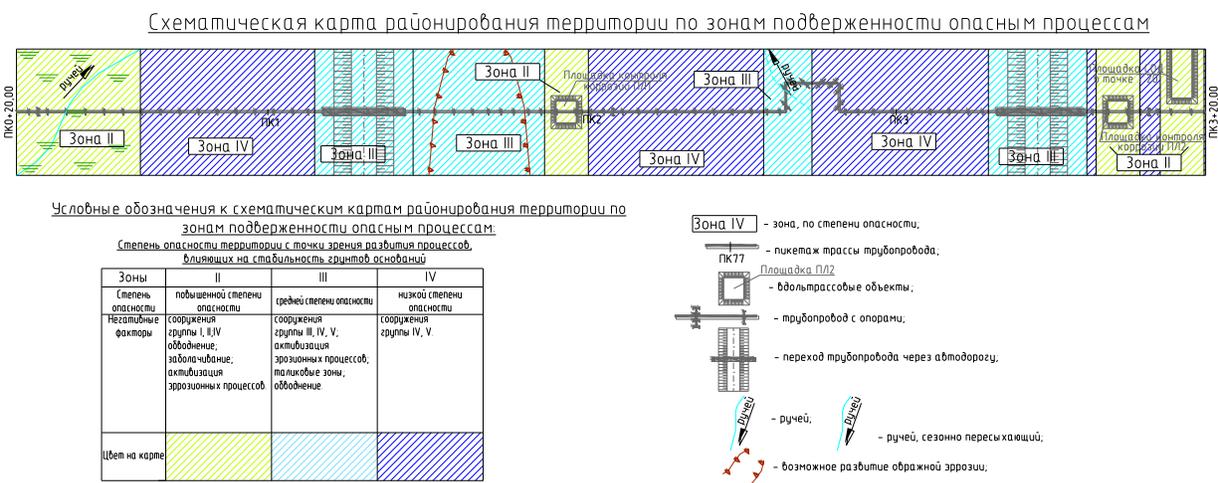


Рис.3 Схематическая карта районирования территории площадки по зонам подверженности опасным процессам

*Технические решения по трассе нефтепровода*

№ п/п	Легенда по трассе нефтепровода	Километр по трассе нефтепровода	Участки пересечения водных преград	Участки с глубиной залегания УГВ 2м и менее (L, м)	Участки болот и заболоченностей (L, м)	Участки эрозийных процессов (L, м)	Объекты линейной части	Тип прокладки нефтепровода	Технические решения по вальтрапной защите	Технические решения							
										по инженерной защите	по термостабилизации грунтов (см. Примечание на данном листе)	Глубина оттаивания до 50 лет, м	Объем при оттаивании, м	по геотехническому мониторингу			
1	ПК 3580+00.00	от 358 до 359	ПК 3581	+00.00	+37.50	+81.20	+80.31	a=2-3	поземный	Тум. №1 +37.50	Тум. №2 +81.20	Тр-2 +80.31					
2			ПК 3582	+04.70	+04.70	+04.80				Тум. №3 +04.70	Тум. №4 +04.80	Тр-1 +04.80					
3			ПК 3583			+11.30											
4			ПК 3584														
5			ПК 3585														
6			ПК 3586														
7	ПК 3590+00.00	от 359 до 360	ПК 3587	+81.34	+24.20	+75.89	+75.89	a=2-3	поземный	Тум. №5 +81.34	Тум. №6 +24.20	Тр-3 +75.89					
8			ПК 3588	+82.01	+42.80	+82.01	+82.01	a=1-2		Тум. №7 +82.01	Тум. №8 +42.80	Тр-1 +82.01					
9			ПК 3589		+71.30	+67.80	+42.80	+42.80		a=2-3	Тум. №9 +71.30	Тум. №10 +67.80	Тр-2 +42.80				
10			ПК 3590		+71.30	+67.80	+42.80	+42.80		a=2-3	Тум. №11 +71.30	Тум. №12 +67.80	Тр-2 +42.80				
11			ПК 3591		+71.30	+67.80	+42.80	+42.80		a=1-2	Тум. №13 +71.30	Тум. №14 +67.80	Тр-1 +42.80				
12			ПК 3592		+71.30	+67.80	+42.80	+42.80		a=1-2	Тум. №15 +71.30	Тум. №16 +67.80	Тр-1 +42.80				
13			ПК 3593				+64.65	+64.65		a=1-2	Тум. №17 +64.65	Тум. №18 +64.65	Тр-3 +64.65				
14			ПК 3594		+18.00	+31.30	+11.77	+11.77		a=2-3	Тум. №19 +18.00	Тум. №20 +31.30	Тр-2 +11.77				
15			ПК 3595			+89.50	+10.70	+10.70		a=1-2	Тум. №21 +89.50	Тум. №22 +10.70	Тр-1 +10.70				
16			ПК 3596				+89.50	+10.70		a=1-2	Тум. №23 +89.50	Тум. №24 +10.70	Тр-1 +10.70				
17			ПК 3597				+89.50	+10.70		a=1-2	Тум. №25 +89.50	Тум. №26 +10.70	Тр-1 +10.70				
18			ПК 3598				+89.50	+10.70		a=1-2	Тум. №27 +89.50	Тум. №28 +10.70	Тр-1 +10.70				
19			ПК 3599				+89.50	+10.70		a=1-2	Тум. №29 +89.50	Тум. №30 +10.70	Тр-1 +10.70				
20			ПК 3600+00.00		ПК 3600	+21.29	+28.64	+21.29		+28.64	a=1-2	Тум. №31 +21.29	Тум. №32 +28.64	Тр-1 +21.29			

Рис.4 Фрагмент таблицы технических решений по трассе нефтепровода

В рамках камерального базового инженерно-геокриологического картирования проводится прогнозная оценка динамики негативных экзогенных процессов, опасных или потенциально опасных для строящихся и эксплуатирующихся объектов.

В совокупности с комплексом схематических карт, это помогает более полно охарактеризовать территорию строительства, определить наиболее уязвимые участки при эксплуатационном освоении и обоснованно осуществить выбор необходимых мероприятий по инженерной защите (подготовке) территории и геотехническому мониторингу.

В качестве примера на рис.5 приведен фрагмент таблицы технических решений по инженерной защите и геотехническому мониторингу, разработанные для трасс трубопроводов.

Сложные геокриологические условия и действие опасных экзогенных процессов затрудняют проектирование объектов обустройства нефтегазового комплекса в условиях крайнего севера. ОАО «Фундаментпроект» имеет многолетний опыт проектирования, профилированные расчетные методики и

программные комплексы. Благодаря индивидуальному подходу к объектам, подробному изучению и прогнозированию влияния геокриологических условий и опасных мерзлотных процессов, принятые решения обеспечивают устойчивость и многолетнюю эксплуатационную надежность оснований зданий и сооружений при любых технологических требованиях.

### Литература

- СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения.
- СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.
- СНиП 2.05.06-85\* Магистральные трубопроводы.

## Основные мерзлотно-экологические проблемы при освоении газовых промыслов на севере Западной Сибири

С.Д. Савельева, Е.Е. Корнеева

*Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Кафедра криолитологии и гляциологии, Москва, Россия*

### Введение

Обустройство и эксплуатация газовых промыслов приводит к значительным изменениям геокриологических условий. От грамотного строительства и эксплуатации объектов различного назначения (кустов скважин, трубопроводов, крупных тепловыделяющих промышленных зданий и т.п.) во-многом зависит будущая стабильность мерзлотно-экологической обстановки, надежность геотехнической среды. Активизация опасных криогенных процессов (просадки грунтов при оттаивании, морозное пучение и др.) может привести к разрыву газопроводов, разрушению объектов. Для того чтобы минимизировать негативные изменения в вечномерзлых основаниях следует тщательным образом проводить изыскательные работы при обустройстве газовых месторождений, правильно выбрать способы инженерной подготовки территории и типы фундаментов. Это обеспечивает безаварийность объектов.

### Методика исследования

Натурные обследования проводились на севере Западной Сибири, на территориях газового промысла (ГП) «Юбилейное» (40 км западнее Нового Уренгоя) и Ямбургского газоконденсатного месторождения, Тазовский полуостров. Изучались технологические цепочки добычи, подготовки и транспортировки газа в криолитозоне. Руководители промыслов любезно разъяснили и показали методы и аппаратуру, применяемую при разработке газовых месторождений по всей цепочке: газовая скважина – кусты скважин – внутрипромысловые газопроводы – цех соединения этих газопроводов – дожимно-компрессорная станция – цеха по очистке газа – объекты по регенерации абсорбентов – компрессоры устройства для повышения давления – магистральный газопровод. Также были организованы полевые маршруты вдоль газопроводов для оценки степени изменения мерзлотных условий в зоне их влияния. Следует отметить, что обустройство и эксплуатация газовых промыслов приводит к формированию специфических природно-техногенных геокриологических комплексов [Гребенец, Павлушин, 2007], отличающихся особыми условиями теплообмена через поверхность в системе «атмосфера – вечная мерзлота», температурным и гидрогеологическими режимами.

### Результаты и дискуссия

ГП «Юбилейное» – один из старейших газовых промыслов в криолитозоне Западной Сибири, эксплуатируется с начала 1980-х годов. Первоначально внутрипластовое давление составляло 90-100 кг/кв.см; теперь, спустя многие годы после разработки (горизонт-сеноман) оно упало до 30-35 кг/кв.см (в магистральном же трубопроводе, идущем в центр страны и далее в Западную Европу, давление составляет около 65 кг/кв.см), поэтому и нужны многие из устройств, повышающих давление и понижающих температуру, при этих условиях можно

отправлять большее количество газа на транспортировку. В настоящее время на УКПГ (установка комплексной подготовки газа) ГП «Юбилейное» поступает и газ из новой разрабатываемой Ямсовейской структуры, расположенной в 40-60 км южнее ГП «Юбилейного». На Ямсовее пока устроено всего лишь несколько кустов в северной (ближе к «Юбилейному») части.

Газ из пласта идет вместе с водой, растворимыми солями, конденсатом, грунтовыми частицами, естественно, вокруг газовых скважин формируются зоны оттаивания. Иногда, при вытаивании больших массивов льда и просадках грунтов возникают аварийные ситуации, но в любом случае эксплуатация скважин приводит к возникновению вокруг скважин таликовых зон, при осадке протаивающих грунтов необходимо цементирование затрубных пространств. Добыча газа идет непосредственно из скважин, которые объединены в кусты скважин; на площадках кустов устраивают техногенные песчаные подсыпки, к ним прокладываются дороги, строительство и эксплуатация которых нарушает поверхностный и подземный (в пределах деятельного слоя) сток воды.

Необходимо избегать загрязнения газа, образования газогидратов и замерзания содержащейся в нем воды, поэтому применяются 2 основных метода его очистки (от примесей) и подготовки: механический (улавливание воды), тепловой (отвод воды-пара) и химический (применение абсорбционных соединений – тетраэтиленгликоля - ТЭГ, диэтиленгликоля ДЭГ или метанол). С ближайших кустов газ поступает во внутрипромысловый газопровод, который идет на ЗПА (цех запорно-переключающей арматуры), расположенного на площадке УКПГ. Вся территория УКПГ представляет собой особую техногенную зону, в пределах которой предварительно механизированным способом снимается растительный и почвенно-моховой покров, а затем выполняются мощные техногенные песчаные подсыпки, возводятся крупные объекты, асфальтируются дороги, устраиваются линии трубопроводов, кабелей связи и энергетики. На площадке ГП «Юбилейное» расположены ЗПА, дожимно-компрессорные станции (ДКС), цеха по очистке и осушке газа, цех по регенерации ТЭГ и ДЭГ и другие объекты, оказывающее большое влияние (тепловое, силовое, электромагнитное, механическое) на вечномерзлые грунты оснований. На площадке устроено большое количество термостабилизаторов (несколько сотен), поддерживающих вечномерзлое состояние грунтов в основаниях объектов. Весьма серьезной проблемой является морозное пучение малонагруженных опор кабельных эстакад, разрушение дорожного покрытия при осадках (при протаивании) и пучении (при промерзании) грунтов сезонно-талого слоя. После УКПГ газ в газопроводе поступает на узел замера и уже только потом в магистральный газопровод.

Промыслу УКПГ-1В, который находится в Ямбурге, уже 20 лет, здесь осуществляется очистка и подготовка к транспортировке газа от 80 скважин, разрабатывающих более глубокий горизонт – «волонжин». Начальное пластовое давление при добычи газа на данном

газоконденсатном месторождении составляло 250 кг/кв.см, сейчас оно 180 кг/кв.см. С увеличением добычи пластовое давление газа падает. Существует ежегодный техосмотр промысла. По известным причинам его проводят летом и тогда останавливают работу всего промысла на 12 дней.

На промысле ежедневно добывается 38 млн. куб. м газа, которые впоследствии отправляются в Сургут и Новый Уренгой. Основной потребитель нужд УКПГ-1В – зарубежные страны и центральные регионы России, а на собственные нужды газ отправляется на специальный газоперекачивающий агрегат, который потребляет 300 тысяч куб.м газа в сутки (это меньше 1% от всего добываемого газа в сутки на данном промысле). Данный промысел оборудован резервными источниками питания на случай аварийного отключения электричества, а также дополнительно одной дизельной резервной электростанцией (первая категория объектов). На промысле есть собственное производство дизельного топлива для собственных нужд промысла (заправка автомобилей и т.д.). Крупные объекты УКПГ-1В расположены на большой площади, на которой предварительно были проведены работы по инженерной подготовке: сведена растительность, снят почвенный покров, засыпаны отдельные небольшие водотоки, выполнена мощная песчаная подсыпка. Отмечены две серьёзные мерзлотно-экологические проблемы: а) активное развитие термоэрозии и оврагообразования рядом с территорией УКПГ-1В; б) интенсивное пучение металлических свайных опор для внутрипромысловых надземных трубопроводов.

Влияние газового промысла выходит и за пределы самого предприятия. Надежность газотранспортных систем повышается при правильной обваловке газопроводов, при соблюдении требований по засыпке траншей грунтом при подземной прокладке газопровода, а также в грамотной установке свай при прокладке надземного газопровода. Последствия неправильного обустройства газопровода могут быть весьма плачевными, рис.1.



Рис.1. Оголение подземного газопровода на территории ГП «Юбилейное» при развитии термоэрозии, июль 2009 г.

Неправильная обваловка и засыпка траншей торфом и оторфованными суглинками (местные материалы) привели к развитию термоэрозии и, соответственно, к изменению положения газопровода; весьма активно в связи с термоэрозией идет боковое обрушение грунта, угрожающее нормальной эксплуатации проложенной рядом инспекторской дороге. Аварийные ситуации на газопроводах иногда складываются в зонах переходов через небольшие реки или овраги: во-первых, на склонах развивается солифлюкция; во-вторых, весьма существенны

температурные различия в грунтах береговых примыканий и на дне долины. Надежность на этих участках повышается при устройстве дюкерных систем (труба в трубе), а также устройстве свайных опор с учетом различий в геокриологических условиях на берегах и на поймах небольших водотоков.

## Выводы

При освоении газовых месторождений Севера Западной Сибири формируются новые природно-техногенные геокриологические комплексы, вид и состояние которых зависит, во-первых, от природных геокриологических условий; во-вторых от вида и интенсивности техногенной нагрузки.

Основной проблемой, возникающей при обустройстве газовых промыслов на севере, является возможность образования разрывов на газопроводе, связанная с изменением (по сравнению с периодом изысканий) прочностных характеристик грунтов оснований: при подземной прокладке – формирование неравномерных ореолов оттаивания, при надземной прокладке – морозное пучение опор трубопроводов. Вторая проблема этого региона – активизация термоэрозии в легкоразмываемых сильнопылеватых песчаных и супесчаных грунтах. Серьезное ухудшение геокриологических условий наблюдается вдоль многочисленных дорог, проложенных для обслуживания газовых промыслов: вдоль дорог формируются зоны обводнения и подтопления, активизируется термокараст. Снижает геотехническую безопасность оснований и высокая снежность в регионе: заносятся надземные (конденсаторные) части термостабилизаторов, что существенно снижает эффективность действия этих сезонно-охлаждающих устройств. Эта проблема может усилиться в связи с прогнозируемым на ближайшие десятилетия потеплением зим и нарастанием снежности на севере Западной Сибири. Следует отметить неуместность чрезмерной экономии в период строительства газопроводов: мерзлые грунты являются весьма изменчивыми, поэтому представляется необходимым увеличивать (по сравнению с расчетами, полученными на основе стандартных методик) глубину заложения в вечную мерзлоту опор трубопроводов и других объектов, что повысит их дальнейшую эксплуатационную надежность.

## Литература

Гребенец В. И., Павлушин В. Б. Формирование природно-техногенных геокриологич. комплексов на территории Ямбургского газоконденсатного месторождения./ В кн: Материалы Международ. конференции «Криогенные ресурсы полярных и горных регионов. Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения». – Тюмень, 2007, С.76-78

## Изучение геокриологических условий острова Кашин в дельте Печоры с помощью сейсмических методов

М.Р.Садуртдинов, А.Г.Скворцов, А.М.Царев, Г.В.Малкова  
Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень, Москва, Россия

### Аннотация

Приведены результаты сейсмических исследований мелководной части Коровинской губы, берега и пляжа острова Кашин в дельте р. Печоры. Использовались оригинальные методики и оборудование, разработанные в ИКЗ СО РАН. Установлено, что в условиях интенсивной переработки мерзлых берегов острова абразионными и эоловыми процессами кровля многолетнемерзлых пород залегает на глубине 4-6 м на пляже, в пределах мелководной акватории постепенно понижается с 6 до 10м, а затем на расстоянии 180 м от береговой линии резко погружается. В пределах острова ММП развиты повсеместно, но в эрозионных ложбинах их кровля понижается до 2-5,5 м.

**Ключевые Слова:** кровля многолетнемерзлых пород, субкавальные условия, сейсмические исследования, скорости продольных и поперечных волн.

Геокриологические условия Европейской части криолитозоны России довольно хорошо изучены [Геокриология СССР. Европейская территория, 1988; Оберман, 2006; Малкова, 2010 и др.]. В дельте р. Печоры под руслами проток и на пойменных участках повсеместно распространены талые породы. Возвышенные берега и острова Печорской и Коровинской губы сложены мерзлыми четвертичными отложениями. Современных данных о состоянии и распространении многолетнемерзлых пород (ММП) в приграничных условиях сушаморе до сих пор оказывается недостаточно [Мельников, Спасивцев, 1995; Скворцов и др., 2007]. В 2011 г. для изучения залегания кровли ММП прибрежной зоны были проведены сейсмические исследования на северо-западном берегу острова Кашин, расположенном в дельте Печоры, в пределах мелководной Коровинской губы (рис.1, А). Сейсмические работы выполнялись по трем профилям. Схема их расположения показана на рис.1, Б.

Профиль 1 протяженностью 290 м частично располагался на берегу, а частично в прибрежной части мелководной морской акватории. Профиль 2 (длиной около 50 м) был размещен на пляже вдоль береговой линии, а профиль 3 (длиной около 50 м) – в пределах локального понижения – ложбины стока, заросшей ивняком и ольхой.

Исследования проводились с помощью продольных и поперечных волн. В качестве регистрирующей аппаратуры использовалась цифровая сейсмостанция ЭЛЛИСС-2. Применялись одиночные сейсмоприемники с резонансной частотой 10 Гц. Возбуждение сейсмических колебаний осуществлялось ударным способом в режиме накопления сейсмического сигнала. При проведении донных исследований использовалось специальное сейсмическое оборудование, разработанное и изготовленное в ИКЗ СО РАН.

Глубинный сейсмогеологический разрез, полученный на профиле 1 с помощью преломленных поперечных SH-волн, изображен на рис.2. Основным критерием для сейсмогеокриологической идентификации выявленной преломляющей границы как кровли ММП явились

высокие значения граничной скорости продольных и поперечных волн.



Рис.1. Остров Кашин (А). Схема расположения сейсмических профилей (Б)

На берегу в пределах песчаного раздува (ПК 0-90 м) кровля ММП является неровной и залегает на глубинах 3-4 м. На пляже (ПК 90-110 м) глубина залегания ММП составляет 4-6м. В пределах мелководной акватории (ПК 110-250 м) наблюдается постепенное понижение кровли ММП с 6 до 10м. Далее (ПК 250-280 м), в 150-160 м от береговой линии эта граница начинает резко опускаться и

проследить ее с помощью преломленных поперечных SH-волн становится невозможным. Исследования на таком удалении от берега выполнялись с использованием отраженных продольных волн. Кровля ММП с помощью этих волн прослеживается в разрезе до ПК 280-290м.

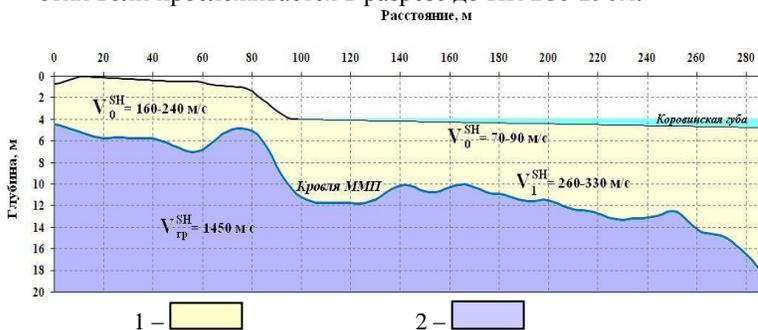


Рис.2. Глубинный сейсмогеокриологический разрез по профилю 1, полученный с помощью преломленных поперечных SH-волн.  
1 – талые породы, 2 – мерзлые породы

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что на участке исследований в пределах акватории ММП залегают в виде «козырька», который существует на удалении 180-190 м от береговой линии.

Сейсмогеокриологический разрез по профилю 2, расположенный на пляже, представлен на рис.3. Кровля ММП залегают на глубинах 4,5–5,5 м. При этом разница в положении кровли ММП, полученной с помощью преломленных и отраженных поперечных SH-волн, не превышает 0,5 м, что свидетельствует о достоверности полученных данных.

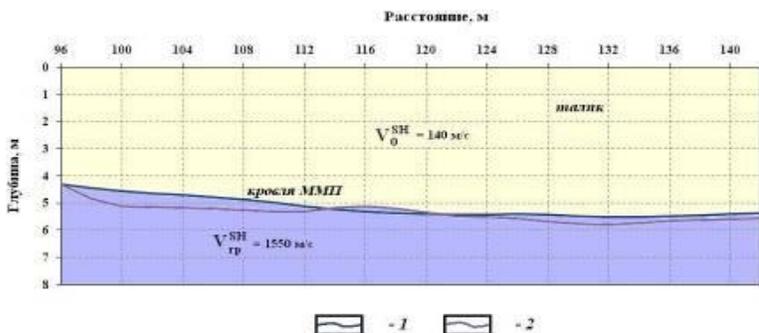


Рис.3. Сейсмогеокриологический разрез, полученный с помощью преломленных (1) и отраженных (2) поперечных SH-волн.

Профиль 3 был заложен для определения с помощью сейсмических методов глубины залегания кровли ММП в ложбине стока. Глубина сезонного протаивания ММП на пикетах 1-13 инженерно-геологического профиля (ПК1-13-ИГП) определялась с помощью шупа. На пикете ПК14-ИГП кровлю ММП с помощью шупа определить не удалось. Сейсмические исследования с использованием продольных преломленных волн по профилю 3 (от ПК48 до ПК94 м) выявили присутствие несквозного надмерзлотного талика. Его максимальная мощность равна 5,5м и отмечается в районе ПК80 м.

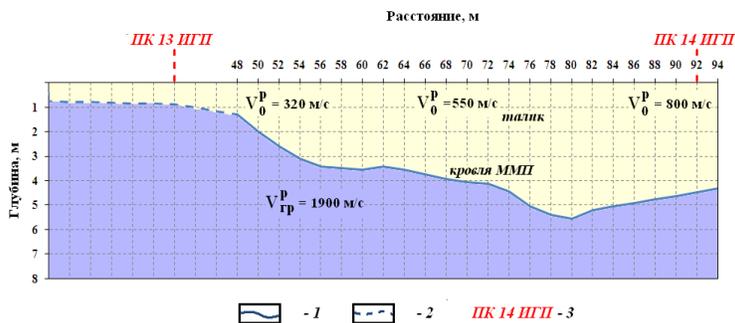


Рис.4. Сейсмогеокриологический разрез, полученный с помощью сейсмических и геокриологических измерений.

1 – кровля ММП, полученная с помощью продольных преломленных волн; 2 – кровля ММП, определенная с помощью шупа; 3 – пикеты инженерно-геологического профиля

Таким образом, в отсутствии результатов бурения, сейсмическими исследованиями удалось установить особенности залегания кровли ММП на северо-западном берегу о. Кашин и в прилегающей мелководной части морской акватории.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-05-10084к, гранта поддержки экспедиции СО РАН за 2011 г, международных проектов CALM и TSP. Выражаем искреннюю благодарность сотрудникам заповедника «Ненецкий» и лично его Директору Глотову А.С. за содействие в организации и проведении полевых работ и лодочных маршрутов.

### Литература

Геокриология СССР. Европейская территория СССР. / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1988. – 358 с.  
 Малкова Г.В. Мониторинг среднегодовой температуры пород на стационаре Болванский // Криосфера Земли т. XIV, №3, 2010, с. 3-15.  
 Мельников В.П., Спесивцев В.И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. – Новосиб.: Наука, Сиб.изд-во РАН, 1995. – 198 с.  
 Оберман Н.Г. Многолетние тенденции естественной эволюции криолитозоны Европейского северо-востока // Теория и практика оценки состояния криосферы Земли и прогноз ее изменений: Материалы междунар. конф. – Тюмень, изд-во Тюм.НГУ. 2006., т. 1, с. 93-101  
 Скворцов А.Г., Малкова Г.В., Садуртдинов М.Р., Царев А.М. Геокриологические условия прибрежной части шельфа Печорской губы в районе стационара Болванский по данным сейсморазведки // Криогенные ресурсы полярных регионов: Материалы междунар. конф. – Салехард., 2007, т.1, с. 170-173.

## Опыт строительства и эксплуатации зданий и инженерных сооружений в криолитозоне на примере г. Мирный (Якутия)

В.В. Самсонова

ОАО «ВНИПИГаздобыча», Россия

О.О. Паньков

Институт криосферы Земли Сибирского Отделения Российской академии наук

### Аннотация

Осенью 2011 года было проведено внешнее обследование состояния капитальных зданий и сооружений в г. Мирный (Якутия), включающее в себя внешний осмотр конструкций зданий (фундаментов, стен, лестничных пролетов), а также надземных и наземных коммуникаций. Полученные сведения могут служить исходным материалом для изучения опыта строительства и эксплуатации зданий и инженерных сооружений в суровых условиях криолитозоны.

**Ключевые Слова:** Проектирование; основание; фундамент; термостабилизаторы; вентилируемое подполье, гражданское строительство

Проектирование оснований и фундаментов на многолетнемерзлых мерзлых грунтах при строительстве зданий и сооружений начинается с выбора принципа их использования.

В современном мире применяют 2 основных принципа:

*I принцип* - грунты до строительства, в процессе строительства и в процессе эксплуатации здания или инженерного сооружения сохраняют в мерзлом состоянии.

*II принцип* – грунты оттаивают до начала строительства, или в процессе эксплуатации здания или инженерного сооружения, строительство и эксплуатация объекта осуществляется как на талых грунтах.

Принятый принцип использования грунтов предполагает применение соответствующих мероприятий и технологий.

При использовании I принципа применяют следующие технологии, позволяющие сохранить многолетнемерзлые грунты в мерзлом состоянии:

1. Применение вентилируемых подполий (низких и высоких, с продухами и открытого типа);
2. Использование вентилируемых каналов или труб (вентилируемых естественно или принудительно);
3. Возведение вентилируемых малозаглубленных фундаментов;
4. Использование термостабилизаторов (по времени работы – сезонных и круглогодичных, по форме – вертикальных, горизонтальных и слабонаклонных, по хладагентам – фреоновых, углекислотных, аммиачных и др.);
5. Применение теплоизоляции;
6. Заморозка грунтов холодильными машинами.

На настоящий момент наиболее широкое распространение получили термостабилизаторы в комплексе с вентилируемым подпольем либо с теплоизоляцией из современных материалов.

*Особенности г. Мирный:*

- климат резкоконтинентальный;

- среднегодовая температура воздуха по данным многолетних наблюдений минус 7,1°С;

- годовое количество осадков составляет 330 мм;

- высота снежного покрова не превышает 50 см;

- литологический разрез площадки города представлен четвертичными отложениями, а именно среднелестными суглинками и песчано-щебнистыми грунтами, в пределах глубины слоя сезонного протаивания 1,5-3,0 м, глубже залегают породы, представленные напластованиями известняков, доломитов, песчаников, мергелей, глин.

*Гражданское строительство* представлено зданиями высотой до 9 - 12 этажей с несущими стенами, возводимыми из легкобетонных блоков. Под зданиями устраиваются проветриваемые подполья высотой от 0,5 до 2,0 м.

Железобетонные или металлические сваи длиной 10,0 – 14,0 м устанавливаются в предварительно пробуренные скважины, заливаемые песчано-глинистой пульпой заданного состава. Свайные ростверки и обвязочные балки, применяемые в гражданских зданиях, железобетонные, монолитные.

В последнее время распространение получили так называемые «холодные» сваи.

Производственные здания общего назначения строятся на сваях с проветриваемым подпольем.

Технологическая особенность фундаментостроения в г. Мирном – предварительное устройство щебеночной подсыпки на высоту 1,0-1,5 м в зоне действия всех строительных - механизмов. По окончании свайных работ бетонируется пол будущего проветриваемого подполья с уклонами к контуру здания.

Осенью 2011 года авторами данной работы было проведено внешнее обследование состояния капитальных зданий и сооружений, включающее в себя внешний осмотр конструкций зданий (фундаментов, стен, лестничных пролетов), а также надземных и наземных коммуникаций. В перечень основных обследуемых зданий входили жилые

и общественные здания, линии опор электропередач, надземные и наземные коммуникации. Основные критерии, по которым оценивалось состояние объектов осмотра следующие:

1. Наличие или отсутствие термостабилизации;
2. Наличие и состояние проветриваемого подполья;
3. Наличие или отсутствие трещин и разрушений в стенах или фундаментах;
4. Наличие или отсутствие усиления конструкций (лаги, каркасы);
5. Наличие или отсутствие теплоизоляции коммуникаций, ее состояние.

В качестве средств измерений при обследовании зданий были использованы: рулетка, линейка. Во время обследований велась фото и видеофиксация дефектов зданий.

В качестве исследуемой, была принята территория капитальной застройки г. Мирного включающая каменные и деревянные здания, в границах улиц: Аммосова, Индустриальная, шоссе Кирова, Солдатова, шоссе 50 лет Октября. Данная территория была разбита на 18 отдельных участков обследований, соответствующих основным кварталам города с капитальной застройкой:

*По результатам приведенных исследований можно сделать следующие выводы:*

1. Из 385 обследованных нами зданий было выявлено: деревянных – 143 здания и каменных – 240 (железобетонные конструкции), из них жилых – 158, общественных – 82.

2. Все обследованные каменные здания эксплуатировались по первому принципу использования многолетнемерзлых пород, а именно были возведены с применением вентилируемого подполья.

3. Количество зданий с термостабилизаторами – 94, что от общего количества обследованных каменных зданий составляет – 39%, из них количество зданий с одновременным использованием двух и более различных типов термостабилизаторов – 9.

4. Количество каменных зданий, имеющих те или иные дефекты в конструкциях (трещины в стенах, разрушение верхней части свай) – 16, что от общего количества обследованных каменных зданий составляет – 6,6%.

5. Количество каменных зданий, имеющих деревянные подпорки (лаги) – 13, что от общего количества обследованных каменных зданий составляет – 5,4%.

6. Количество каменных зданий, имеющих усиления своих конструкций (стен, верхних частей свай) в виде металлических каркасов – 8, что от общего количества обследованных каменных зданий составляет – 3,3%.

7. Количество каменных зданий, под которыми зафиксированы открытые протечки коммуникаций – 4, что от общего количества обследованных каменных зданий составляет – 1,7%.

8. В ходе обследований наружных коммуникаций были выявлены многочисленные нарушения целостности или полное отсутствие теплоизоляции.

Полученные сведения могут служить исходным материалом для жилищно-коммунальных служб не только г. Мирный, но и других городов, находящихся в суровых условиях криолитозоны. Полученные результаты могут являться ценным материалом при новом строительстве зданий и сооружений в схожих климатических или грунтовых условиях или при реконструкции существующих, т.к. представлены большим разнообразием технических и технологических решений по обеспечению устойчивости мерзлых и оттаивающих грунтов оснований.

## Вынос органического углерода из разрушающихся берегов и его распределение на подводном береговом склоне (п-ов Буор-Хая, море Лаптевых)

А.В. Сандаков, М.Н. Григорьев

*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск. Россия*

Ф. Гюнтер, П. Овердуин

*Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, г. Потсдам. Германия*

### Введение

Активное поступление в арктический бассейн из разрушающихся морских берегов терригенного органического углерода, являющегося источников парниковых газов, вызывает серьезное внимание у многих исследователей. Как выясняется, основными источниками органического углерода в Восточно-Сибирском арктическом регионе являются берега, сложенные ледовым комплексом и аласными отложениями [Холодов, 2003; Grigoriev et al., 2004].

Задача настоящего исследования заключалась в оценке количества органического углерода ( $C_{\text{орг}}$ ), поступающего в залив Буор – Хая при термоабразионном и термоденудационном разрушении западного побережья п-ова Буор-Хая и выяснении особенностей распределения  $C_{\text{орг}}$  в донных осадках на подводном береговом склоне.

Теодолитная съемка берегов и анализ дистанционных материалов позволили установить среднюю скорость отступления берегов п-ова за последние 36 лет (1974-2010 гг.). На основании расчетов параметров динамики и морфологии берегов, а также анализа состава береговых отложений оценена масса берегового материала, поступающего в прилегающую акваторию, включая его органическую составляющую. Анализ распределения  $C_{\text{орг}}$  на подводном береговом склоне позволил выявить достаточно четкие закономерности, заключающиеся в существенном увеличении его концентраций при увеличении глубин моря.

### Район и объект исследования

Полевые работы велись вдоль западного побережья п-ова Буор-Хая. Территория исследования относится к Яно-Индибирской низменности. Регион представляет собой аккумулятивную равнину, ограниченную с юга горными сооружениями хребтов Верхоянского нагорья, а с севера – морем Лаптевых. Полуостров сложен преимущественно голоценовыми аласными отложениями, занимающими термокарстовые котловины (абс. высота 10 – 15 м) и плейстоценовыми отложениями ледового комплекса, слагающими увалы (абс. высота 25-37 м), разделяющие аласные понижения. Генезис ледового комплекса до сих пор дискутируется, но в настоящее время большинство исследователей придерживается мнения о том, что ледовый комплекс могут слагать осадки полигенетического происхождения [Алексеев, 1970, Конищев, 1981 и др.].

Общая протяженность исследованных берегов составляет 82 км из них 76 % приходится на берега сложенные аласными отложениями и 24 % - ледовым комплексом.

### Методы

В августе 2010 г. в на полуострове и в заливе Буор-Хая были отобраны пробы отложений из береговых уступов, на пляже и в устьях малых рек, а также донных осадков по семи профилям, длиной до 5,5. км, примыкающим к западному побережью полуострова.

Для съемки береговых линий и бровок клифов применялся лазерный тахеометр ZEISS ELTA C30 с компьютерной поддержкой и кварцевыми отражателями. Для расчета динамических характеристик берегов использовались аэрофотоснимки, а также спутниковые снимки разных периодов съемки. Обработка материалов проводилась с помощью программ ArcGIS.

Анализ содержания  $C_{\text{орг}}$  в образцах из донных отложений и береговых склонов в районе п-ова Буор-Хая выполнен в Институте Лимнологии РАН. Содержание  $C_{\text{орг}}$  в пробах определяли методом каталитического высокотемпературного окисления образцов при 950°C с последующим определением  $\text{CO}_2$  с помощью ИК детектора на высокотемпературном анализаторе углерода Vario TOC cube. В качестве результата взяты средние значения трех измерений одного образца. Стандартное отклонение значений не превышает 0.01% .

### Результаты

Согласно проведенным расчетам, при разрушении западного побережья п-ова Буор-Хая в море ежегодно выносятся в среднем 4 400 т органического вещества.

В отложениях ледового комплекса и в осадках аласных депрессий, вскрытых в береговых обрывах и опробованных серией профилей, содержание  $C_{\text{орг}}$  составило от 1,22 до 9,4 весовых процента (в.п.) от массы вмещающих толщ. Концентрация органического углерода для берегов сложенных ледовым комплексом в среднем составляет 2,66 %, для аласных отложений - 3,13 %. Эти значения хорошо согласуются с аналогичными данными, данными, полученными для ледового комплекса и аласных отложений на Быковском п-ове, расположенном в юго-западной части залива Буор-Хая [Schiermeister et al., 2002; Холодов, 2003]. В отложениях устьевой зоны реки Орто-Стан, выносящей из тундры большое количество илистого материала встречаются очень высокие концентрации  $C_{\text{орг}}$ , достигающие 4-5 в.п.

В то же время, на прибрежном мелководье среднее содержание  $C_{орг}$  в поверхностных осадках довольно низкое – от 0,03 до 0,18 в.п., в отдельных случаях – до 0,99 % (рис.1).

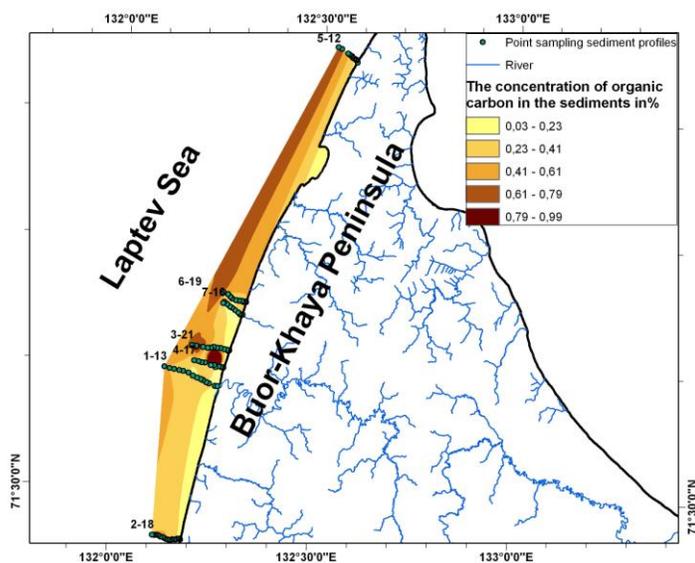


Рис.1. Распределение органического углерода в донных отложениях.

По всем морским профилям отмечается отчетливое и достаточно быстрое повышение концентрации  $C_{орг}$  в донных осадках по мере увеличения глубин моря до 7-10 м на расстоянии 3-5,5 км от берега, где содержание углерода составляет 0,4-0,8 в.п. Такое распределение концентраций  $C_{орг}$  объясняется активной переработкой донных отложений в относительно мелководной части подводного берегового склона и переносом органики в приглубую часть акватории. Аномалии концентраций  $C_{орг}$  на подводном склоне, по-видимому, связаны с выносом больших объемов органики малыми реками, которые дренируют водосборные площади с широким

распространением органосодержащих пород – плейстоценового ледового комплекса и голоценовых аласных отложений.

По имеющимся данным, самые высокие концентрации  $C_{орг}$ , до 3 в.п., отмечаются в центральном секторе губы Буор-Хая, при глубинах моря более 11 м.

## Литература

- Алексеев М.Н. Некоторые особенности плейстоценового осадконакопления в Лено-Колымской зоне побережья Арктического бассейна // Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. - С.480-484.
- Конищев В.Н., Колесников С.Ф. Особенности строения и состава позднекайнозойских отложений в обнажении Ойгосский яр // Проблемы криолитологии. – М., Изд-во МГУ, 1981, вып. IX, с. 107 – 117.
- Холодов А.Л., Ривкина Е.М., Гиличинский Д.А. и др. Оценка количества органического вещества, поступающе-го в арктический бассейн при термоабразии побережья моря Лаптевых и Восточно-Сибирского // Криосфера Земли, 2003, т. VII, № 3, с. 3–12.
- Grigoriev M. N., Rachold V., Hubberten H.-W., Schirrmeister L. (2004): Organic carbon input to the Arctic Seas through coastal erosion. In: Organic carbon cycle in the Arctic Ocean: present and past (R.Stein and R.W.Macdonald, eds.), Springer Verlag, Berlin, Germany, p. 41-47.
- Schiermeister L., Siegert Ch., Kuznetsova T. et al. Paleoenvironmental and paleoclimatic records from permafrost deposit in the Arctic region of Northern Siberia // Quaternary International, 2002, No. 89, p.97-118.

## Реакция криолитозоны Северного Тянь-Шаня на климатические изменения

Э.В.Северский

*Казахстанская высокогорная геокриологическая лаборатория Института мерзлотоведения СО РАН,  
г. Алматы, Республика Казахстан*

За последние 20 лет в различных странах мира проблема оценки состояния и прогноза эволюции криолитозоны в условиях меняющегося климата стала одной из приоритетных задач геокриологов и других специалистов.

Казахстанская высокогорная геокриологическая лаборатория Института мерзлотоведения СО РАН с 1974 г. проводит геотермический мониторинг в Заилийском Алатау (Северный Тянь-Шань) в районе перевала Жусалыкезен (абс. высота 3000-3340 м). Наблюдения проводятся круглогодично на сети стационарных пунктов, охватывающей различные ландшафтные условия в зависимости от экспозиции склонов, состава пород и характера растительности в подпоясе островного и прерывистого распространения многолетней мерзлоты. Эти данные являются единственным источником знаний о температурном режиме и динамике многолетней мерзлоты не только для рассматриваемого региона, но и в целом для гор Центральной Азии.

Скважины пройдены в крупнообломочных толщах верхнеплейстоценовых и голоценовых морен, объемная льдистость которых изменяется от 5% до 40%, а их криогенные текстуры относятся к порово-массивным и крупношпировым. Климатические условия в районе перевала характеризуются следующими средними многолетними показателями: средняя годовая, январская и августовская температура воздуха составляют соответственно:  $-3,9^{\circ}\text{C}$ ,  $-14,2^{\circ}\text{C}$ ,  $+6,4^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность теплого периода – около 125 суток. Безморозный период отсутствует, и даже в июне возможны заморозки до  $-5 \dots -6^{\circ}\text{C}$ . Устойчивый снежный покров здесь формируется в октябре и сохраняется до начала июня. За счет высокой ветровой деятельности формируется весьма неоднородный снежный покров, высота и плотность которого значительно изменяются от места к месту в зависимости от экспозиции и шероховатости поверхности склонов.

В высокогорье Северного Тянь-Шаня за последние 70 лет отмечено заметное потепление климата. Так, на метеостанции Туюксу-1, расположенной в центральной части северного макросклона хр. Заилийского Алатау на абсолютной высоте 3450 м, за период 1970-2006 гг. средняя годовая температура воздуха увеличилась на  $0,8^{\circ}\text{C}$ , или  $0,02^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . На метеостанции Мынжилки (абсолютная высота 3017 м) средняя годовая температура воздуха за 75 лет (1937-2005) увеличилась на  $1,4^{\circ}\text{C}$ , т.е. тоже на  $0,02^{\circ}\text{C}/\text{год}$ .

По данным этих же метеостанций в гляциально-нивальной зоне за последние 35 лет количество осадков практически не менялось и даже имело слабую тенденцию к увеличению. Так, рост годовых сумм осадков с 1970 г. на метеостанции Туюксу-1 составил 115 мм.

Геотермические исследования показали, что в начальный период наблюдений (1974 г.) температура многолетнемерзлых пород в районе перевала Жусалыкезен изменялась от  $-0,6$  до  $-0,8^{\circ}\text{C}$ . В дальнейшем за 21-летний период температура многолетней мерзлоты повысилась на  $0,2-0,5^{\circ}\text{C}$ . С 1995 г. по 2009 г. здесь температура удерживается в пределах  $-0,2 \dots -0,25^{\circ}\text{C}$ .

В последние 3 года наметилась тенденция к очередному повышению температуры многолетнемерзлых пород на  $0,13-0,15^{\circ}\text{C}$ : от  $-0,28^{\circ}\text{C}$  в 2008 г. до  $-0,13^{\circ}\text{C}$  в 2011 г. В целом за 37-летний период выявлено наличие слабого восходящего тренда ( $0,01^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ) в температурном режиме многолетнемерзлых пород. При сохранении указанного тренда можно предполагать, что в ближайшие 25-30 лет мерзлые толщи будут иметь практически безградиентный термический режим и близкую к нулю температуру.

Отмечено, что за последние 16 лет происходило синхронное незначительное (в пределах  $0,1^{\circ}\text{C}$ ) колебание температур многолетнемерзлых пород на различных глубинах с периодичностью 10-11 лет. Такой цикл зафиксирован с 1998 по 2008 гг.

В высокогорье на одной и той же абсолютной высоте при резкой расчлененности рельефа геокриологические условия изменяются на весьма коротких расстояниях – от первых метров до сотни метров. Так, в районе перевала Жусалыкезен мощность криолитозоны изменяется: от 100 м на южной окраине перевала у подножья северного склона до 35 м через 200 м на горизонтальной поверхности седловины перевала. Далее через 280 м ее мощность снижается до 13 м, и на расстоянии около 500 м мерзлые породы исчезают на северной окраине перевала у подножья южного склона.

Период протаивания закономерно уменьшается по мере возрастания абсолютной высоты и существенно меняется от года к году. За период 1970-2006 гг. на метеостанции Туюксу 1 (абс. выс. 3450 м) средняя температура воздуха за период с положительными температурами воздуха (июнь-сентябрь) увеличилась на  $0,9^{\circ}\text{C}$ , а на метеостанции Мынжилки (абс. выс. 3017 м) – на  $0,8^{\circ}\text{C}$ .

Глубина сезонного протаивания увеличивалась от 3,2-3,5 м в 1974-75 гг. до 5,0 м в 1991 г., 1999, 2000 г. и до максимума 6,0 м в 2001 г. В последующие 8 лет толщина активного слоя остается относительно стабильной с незначительными межгодовыми колебаниями в пределах 4,6-4,9 м. Однако, в 2010-2011 гг. глубина сезонного протаивания вновь увеличилась до 5,5-5,8 м, что в среднем на 1 м больше в сравнении с предыдущими годами. Отметим, что глубина сезонного протаивания в различных ландшафтных условиях Северного Тянь-Шаня не является

чувствительным индикатором современного потепления климата.

Таким образом, за последние 37 лет выявлена слабая реакция многолетнемерзлых пород на современное потепление климата. Это свидетельствует о довольно высокой термической устойчивости криолитозоны Северного Тянь-Шаня к климатическим изменениям.

### Литература

- Горбунов А.П., Марченко С.С. & Северский Э.В. 2000. Реакция многолетне- и сезонномерзлых пород Северного Тянь-Шаня на изменения климата. // Криосфера Земли, № 1: 11-17. (*in Russian*)
- Павлов А.В. 2008. Мониторинг криолитозоны. – Новосибирск, 229 с. (*in Russian*)
- Пивень Е.Н. 2007. Современные изменения климата гляциально-нивальной зоны Юго-Восточного Казахстана (по данным режимных наблюдений). // Терра, № 2: 52-61. (*in Russian*)
- Северский Э.В. 2011. Геотермический мониторинг криолитозоны Северного Тянь-Шаня: Материалы Четвертой конференции геокриологов России. МГУ им. Ломоносова, 7-9 июня 2011 г. Том 2. Части 5-6. – М., изд-во Университетская книга: 154-161. (*in Russian*)
- Severskiy E.V. 2009, State of cryolitogen thickness of North Tien Shan. Assessment of Snow, Glacier and Water Resources in Asia: Selected papers from Workshop in Almaty, Koblenz: 151-159.

## Геотемпературное поле и криолитозона Вилюйской синеклизы

В.П. Семёнов, М.Н. Железняк

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова, Сибирского отделения Российской академии наук

Вилюйская синеклиза принадлежит к одному из наиболее перспективных и осваиваемых газоносных районов Сибирской платформы и расположена в восточной ее части. Северная и южная границы синеклизы определяются выходами палеозойских пород. В восточном направлении она постепенно сливается с Предверхоянским прогибом, а на западе граничит с Непско-Ботуобинской антеклизой.

Климат района резко континентальный. Зимой сюда стекает холодный воздух, охлаждается и развивается антициклональный режим погоды. Поэтому зима очень суровая и жестокая, умеренно снежная. Высота снежного покрова 20-40 см, а продолжительность периода со снежным покровом составляет около 220 дней. Лето теплое, слабозасушливое и засушливое. Среднегодовая температура воздуха варьирует от  $-7,8^{\circ}\text{C}$  (м/ст Сунтар) до  $-11,2^{\circ}\text{C}$  (м/ст Хатырык-Хомо), а количество осадков изменяется от 257 мм/год (м/ст Хатырык-Хомо) до 354 мм/год (м/ст Собо-Хая) [Научно... 1989].

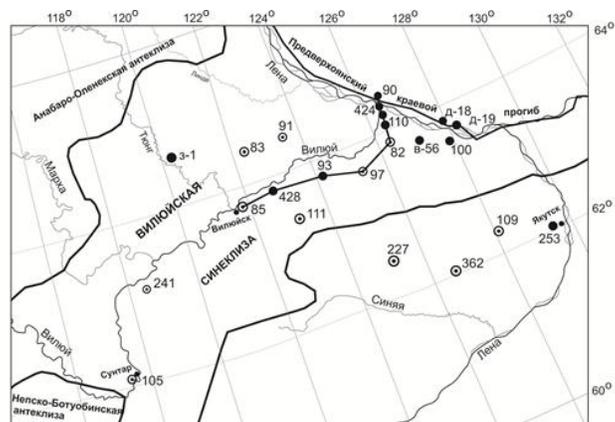
В геоморфологическом отношении Вилюйская синеклиза большей частью приурочена к Центрально-Якутской низменности, которая подразделяется на два уровня: на более древнюю возвышенную поздненеогеновую поверхность, и на более молодую пониженную поверхность террас рек Лены и Вилюя и их притоков. Абсолютные высоты нижней поверхности изменяются от 60 до 200 м, а высоты верхней имеют отметки 300 – 500 м. Для рельефа типичны термокарстовые морфоскульптуры, представленные в виде полигональных образований, бугров пучения, гидролакколитов и многочисленных термокарстовых озер и аласов. Эрозионное расчленение выражено слабо, господствуют процессы аккумуляции [Коржуев 1965].

Первые сведения о наличии и мощности многолетнемерзлой толщи, пластовых температурах были получены геологами ВНИГРИ, ЯТГУ, СЯНРЭ, трест ЯНГР в начале 1970-х годов. В 1976-1980 гг. геотермические исследования в ряде разведочных площадей были выполнены сотрудниками лаборатории геотермии Института мерзлотоведения СО АН СССР В.Н. Девяткиным, А.И. Левченко, Б.В. Володько, В.Г. Русаковым. Начиная с 2009 г. авторами были продолжены геотермические исследования в этом регионе в рамках программы «Исследование закономерностей формирования геотемпературного поля и криолитозоны Сибирской платформы». За этот период геотермические исследования проведены на 11 разведочных площадях (рис. 1).

Выполненными исследованиями установлено, что тепловой режим многолетнемерзлой толщи (ММТ) в пределах синеклизы носит нестационарный характер.

Температура горных пород на подошве слоя годовых теплооборотов (20 м) по полученным данным изменяется от  $-1,6^{\circ}\text{C}$  (пл.Средне-Вилюйская) до  $-0,4^{\circ}\text{C}$  (пл.Собо-Хайнская). Температура пород на глубинах 500 метров варьирует от  $-1,4^{\circ}\text{C}$  (пл.Средне-Тюнгская) до  $+13,7^{\circ}\text{C}$

(пл.Собо-Хайнская), а на глубине 1000 м от  $+11,6^{\circ}\text{C}$  (пл.Средне-Вилюйская) до  $+17,6^{\circ}\text{C}$  (пл.Мастахская).



○ - Геологоразведочные площадки на которых проведены геотермические исследования в 1970-1980 гг.  
● - Геологоразведочные площадки на которых проведены геотермические исследования в 2009-2011 гг.  
— - Линия мерзлотно-геотермического разреза  
В-56-Бергенинская; Д-19-Эксенская; 241-Нюрбинская; 85-Вилюйская; 93-Мастахская; 91-Линденская; 83-Балагачинская; 97-Неджелинская; 82-Бадаранская; 111-Хайлахская; 109-Урдахская; 90-Китчанская; 424-Собо-Хайнская; 110-Усть-Вилюйская; 100-Олойская; 428-Средне-Вилюйская; 105-Сунтарская; 362-пос.Бердигестях; 277-пос.Орто-Сурт; 3-1-Средне-Тюнгская; 253-23км.вил.тракта. б/н Нижне-Вилюйская.

Рис. 1. Схематическая карта разведочных площадей в пределах Вилюйской синеклизы

В характере полученных температурных кривых выделяется четыре области: 1- область с отрицательным градиентом, мощность которой колеблется от 30 м (пл.Усть-Вилюйская) до 210 м (пл.Средне-Вилюйская) (рис.3) величина геотермического градиента (g) здесь варьирует от  $-0,58$  (пл.Средне-Тюнгская) до  $-3,2^{\circ}\text{C}/100$  м (пл.Средне-Вилюйская); 2 - безградиентная или слабоградиентная область (g до  $0,3^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ ), мощностью от 20 м (пл.Усть-Вилюйская, Средне-Вилюйская) до 160 м (пл.Средне-Тюнгская); 3 - область с положительным градиентом в мерзлой зоне, мощность ее варьирует от 80 м (пл.Усть-Вилюйская) до 480 м (пл.Средне-Вилюйская). Геотермический градиент в этой области колеблется от  $0,4$  (пл.Средне-Вилюйская) до  $2,04^{\circ}\text{C}/100\text{м}$  (пл.Усть-Вилюйская); 4 - область с положительным градиентом в подмерзлотной толще, значения g здесь меняются от  $1,18$  (пл.Китчанская) до  $3,6^{\circ}\text{C}/100$  м (пл.Средне-Тюнгская)

Мощность многолетнемерзлой толщи колеблется от 50 м (пл.Собо-Хайнская) до 680 м (пл.Средне-Тюнгская) (рис.2). Отмечается ее увеличение в северном и западном направлениях. Кроме того, значительные колебания мощности многолетнемерзлой толщи выявлены в пределах отдельных площадей, так на Средне-Вилюйской площади она варьирует от 500 до 630 метров.

В центральной и северо-западной частях Вилюйской синеклизы, где мощность ММТ достигает 600 и более метров на подошве многолетнемерзлой толщи отмечается безградиентная зона фазовых переходов с температурой от  $-0,2$  до  $-0,4^{\circ}\text{C}$  и мощностью от 20 м (пл. Средне-Вилюйская) до 40 м (пл. Средне-Тюнгская). В восточной же части, где мощность ММТ до 200 метров такой области не отмечается.

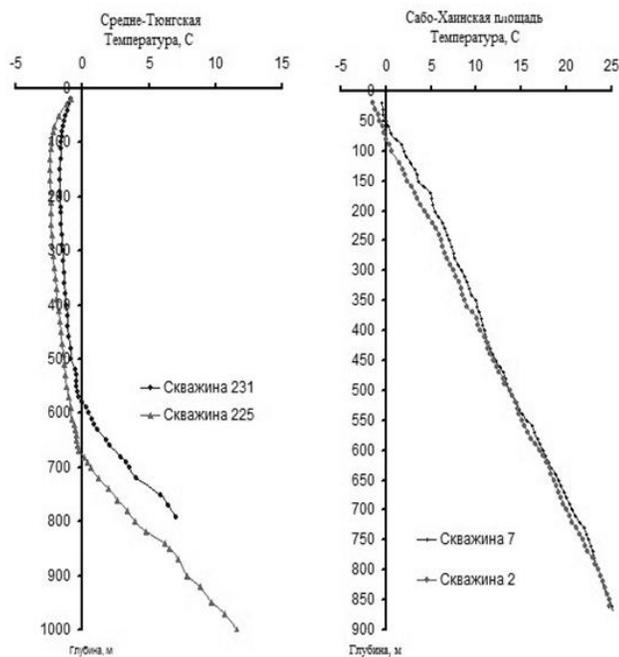


Рис.2. Графики температурных кривых

С использованием фондовых и полевых материалов авторами составлен мерзлотно-геотермический разрез с запада на восток в пределах Вилюйской синеклизы (рис.3).

Анализ проведенный сотрудниками лаборатории геотермии [Железняк и др. 2011] полученных геотермических данных и выполненные расчеты для отдельных площадей Вилюйской синеклизы, показывают, что в регионе величина теплового потока в талой (подмерзлотной) зоне больше величины теплового потока в мерзлоте на 30 - 34 мВт/м<sup>2</sup>. Это, подтверждает существование нестационарной мерзлой толщи, оттаивающей снизу. Скорость оттаивания зависит от разницы тепловых потоков и влагоемкости пород

[Балобаев 1991]. Анализ результатов исследований показывает, что в настоящее время происходит деградация нижней границы ММТ, а скорость движения фазовой границы на различных площадях варьирует от 1,7 до 2,3 см/год.

Используя полученные геотермические параметры, физические свойства горных пород, сотрудниками лаборатории геотермии рассчитано, что в регионе за период голоцена мерзлые породы в среднем оттаяли снизу на 140 м [Железняк и др. 2011].

Таким образом, настоящими исследованиями дана характеристика мерзлотно-геотермических условий одной из нестационарных областей Сибирской платформы. Выполнена оценка динамики нижней границы многолетнемерзлых пород за период голоцена.

В настоящее время, авторами ведется систематизация мерзлотно-геотермических данных и сведений о параметрах мерзлой толщи Вилюйской синеклизы с формированием электронной геокриологической базы данных.

### Литература

Балобаев В.Т. 1991. Геотермия мерзлой зоны литосферы севера Азии. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, – 193 с.  
 Железняк М.Н., Семёнов В.П., Балобаев В.Т., Русаков В.Г. Мерзлотно-геотермические условия Вилюйской синеклизы. «Материалы четвертой конференции геокриологов России МГУ им.Ломоносова, 7-9 июня 2011г.» – М., Университетская книга, 2011. С.59-65.  
 Коржув С.С. 1965. Карст Якутии // Типы карста в СССР. – М.: Наука.  
 Научно-прикладной справочник по климату СССР. – серия 3, вып. 24., кн.1, Л., 1989.

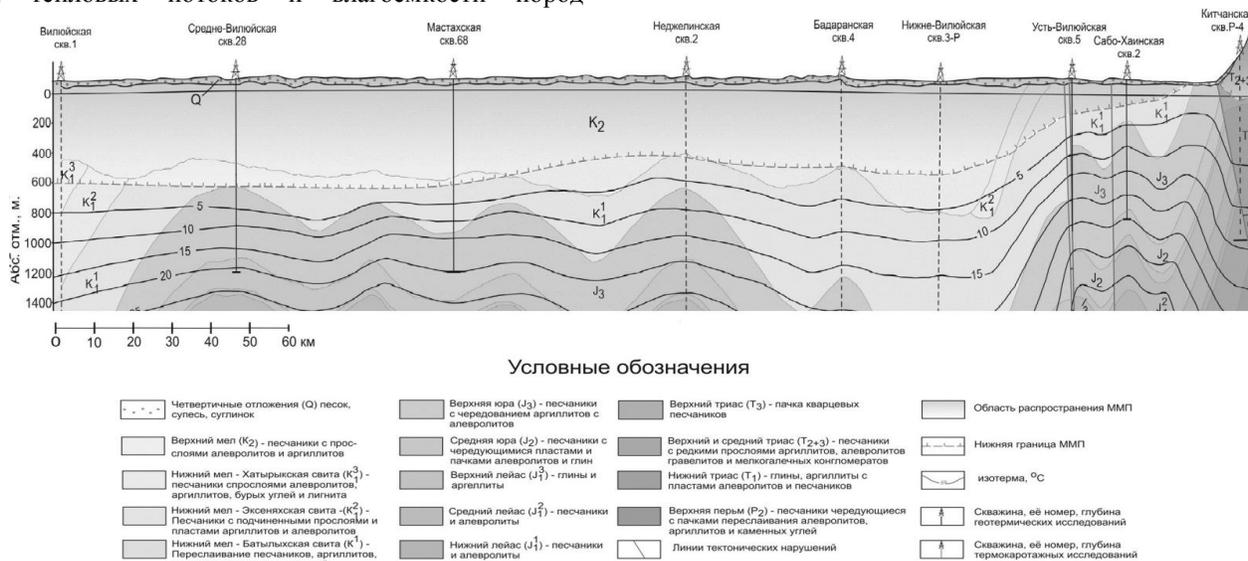


Рис.3. Мерзлотно-геотермический разрез в пределах Вилюйской синеклизы

## Изучение распространения межмерзлотных водоносных таликов в Центральной Якутии и геотермического состояния перекрывающих их мерзлых пород

А.А. Семерня

*Лаборатория подземных вод криолитозоны, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия*

В Центральной Якутии на правобережье реки Лены на IV надпойменной (бестяхской) террасе широко развиты межмерзлотные талики, воды которых разгружаются на поверхность в виде крупных круглогодично действующих наледообразующих родников (Улахан-Тарын, Ерюю, Сулар, Муостах и др.). Естественные ресурсы межмерзлотных вод превышают 50 тыс. м<sup>3</sup>/сут [Бойцов 2009]. Водоносные толщи залегают сравнительно на небольших глубинах (16-35 м) и имеют мощность 25 – 40 м. Водовмещающими породами являются четвертичные мелко- и среднезернистые пески с галечниковыми отложениями в основании.

Один из круглогодично действующих родников находится на левом берегу р. Таммы (правый приток р. Лены) на расстоянии 12 км от ее устья и известен в литературе как источник Ерюю. Выходы подземных вод приурочены к днищу корытообразного распадка, который врезан в песчаные отложения бестяхской террасы на глубину от 15 до 35 м [Шепелев, Ломовцева 1981]. Средний суммарный многолетний дебит источника составляет 40-43 л/с. Разгружающиеся подземные воды имеют стабильный в многолетнем цикле гидрокарбонатный натриевый состав, минерализация их в разных выходах варьирует от 0,2 до 0,5 г/л, температура постоянна в течение года и составляет 0,2°C.

Первые фактические сведения о питании источника Ерюю водами межмерзлотного водоносного горизонта появились в 1976 г. В это время режимным отрядом Института мерзлотоведения СО АН СССР в 200 м к северо-западу от основного участка разгрузки подземных вод была пробурена разведочная скважина (№ 1е) глубиной 68 м. Кровля водоносного горизонта вскрыта на глубине 24,5 м, подошва – на глубине 55,4 м (табл. 1). По результатам термометрических наблюдений 1976 г, температура многолетнемерзлых пород, перекрывающих водоносный горизонт в интервале от 3,0 м до 8,0 м повышалась от -0,8°C до -0,2°C, а с глубины 8 м до кровли водоносного горизонта температура практически не изменялась и составляла -0,2...-0,1°C.

Этим же отрядом, основываясь на результатах гидрохимического опробования разгружающихся вод, вод водоносного горизонта и озерных вод, была определена область питания межмерзлотного водоносного горизонта, а также ориентировочно рассчитана площадь поверхностного водосбора, которая оценивается в 26,5 км<sup>2</sup>. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет фильтрации поверхностных вод через талики, расположенные под серией озер Эльген, Абага-Кюель и Босогор [Шепелев, Ломовцева 1981].

В дальнейшем, бурением разведочных гидрогеологических скважин на данной территории

подтверждено, что мощность многолетнемерзлых пород, перекрывающих межмерзлотный водоносный горизонт, составляет 23-24 м (скв № 77, 1е, 1-07). На участке разгрузки подземных вод, за счет бокового промерзания глубина залегания водоносного горизонта увеличивается до 53 м (табл.1).

В 2010 г с целью уточнения площади распространения и мощности межмерзлотного водоносного горизонта, сотрудиниками Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова, были проведены геофизические исследования методом вертикального электрического зондирования. По результатам этих работ установлено, что на данной территории межмерзлотный водоносный горизонт не имеет сплошного распространения. Мощность его в пределах изучаемой площади изменяется от 7 до 27 м. Глубина залегания кровли водоносного горизонта колеблется в пределах от 12 до 29 м, а его подошвы изменяется от 19 до 50 м. По результатам геотермических наблюдений 1976 г и 2009-2010 г.г. установлено, что на участке скважины № 1е геотермическая обстановка не изменилась.

Согласно данным геотермических измерений в скважине, расположенной в верховье распадка источника Ерюю в 2 метрах от бровки террасы, мощность сезонного слоя (СТС) составляет 4,5 м, а подошва годовых теплооборотов залегают на глубине 9,0 м. Температура многолетнемерзлых пород с глубины 4,5 до 9 м повышается от -2,5 до -0,5°C, глубже (9,0-13,0 м) температура мерзлых пород составляет -0,4°C.

По данным геологов ЯПСЭ, в скважине №7, пробуренной в 2007 г в 8 м от бровки террасы над выходом подземных вод, температура многолетнемерзлых пород, перекрывающих водоносный горизонт (53 м) составляет -0,1...-0,2°C, а в интервале водоносного горизонта равна 0,2°C. По-видимому, более высокие температуры пород на склоне южной экспозиции и обуславливают наличие постоянно существующего выхода подземных вод у его основания.

В скважине № 1-07, расположенной в области питания водоносного горизонта между озерами Эльген и Абага-Кюель, в 2007 г была установлена станция автоматической регистрации температуры. Согласно полученным данным глубина годовых теплооборотов на данном участке совпадает с мощностью сезонного слоя, подошва которого залегают на глубине 5,0 м. Средняя годовая температура пород на подошве СТС в течение всего периода наблюдений оставалась постоянной и составляет 0,02°C.

Ниже подошвы СТС до глубины 15 м температура пород близка к нулевой (-0,02...-0,08 °C). Водоносный горизонт на данном участке вскрыт с глубины 23,9 м,

глубина залегания его подошвы не установлена из-за недостаточной глубины заложения скважины.

В 350 м к северо-востоку от скв. № 1-07 расположена геотермическая скважина 4-07. По термометрическим наблюдениям подошва СТС залегает на глубине 3 м, слой годовых теплооборотов составляет 7 м. Температура многолетнемерзлых пород интервале 3,0-7,0 м в годовом цикле изменяется от -0, 2°C до -1,1°C. С глубины 7 м до забоя скважины (10 м) температура постоянна и составляет -0,3...-0,4°C. Согласно геофизическим данным на этом участке межмерзлотные воды отсутствуют.

В районе серии озер Юэлиир, расположенной в 2 км к западу от установленной области питания источника Ерюю, в процессе проведения геофизических исследований признаки наличия межмерзлотного водоносного горизонта были отмечены лишь в двух контрольных геофизических пунктах (КПП), расположенных между оз. Юэлиир №1 и оз. Чемогулах. По полученным данным кровля водоносного горизонта залегает на глубинах 13 и 18 м, а подошва на 23 и 38 м.

Основываясь на полученных данных, в 2010 г. для наблюдений за температурным состоянием грунтов перекрывающих межмерзлотный водоносный горизонт, в районе озер Юэлиир была задана 15 метровая геотермическая скважина 3-10. В результате годового цикла наблюдений было выявлено, что подошва СТС залегает на глубине 4,2 м, а подошва слоя годовых теплооборотов на глубине 12,0 м. Температура

многолетнемерзлых пород с 4,0 до 12,0 м повышается с -0,5...-0,2°C.

На основе анализа полученных геотермических данных, было отмечено, что на участках развития межмерзлотных водоносных горизонтов, температура многолетнемерзлых пород, перекрывающих талики, повышена и близка к нулевой, по отношению к территориям, где межмерзлотные воды отсутствуют или залегают достаточно глубоко.

Для подтверждения данного предположения требуются дополнительные буровые работы и геотермические исследования.

## Литература

- Бойцов А.В. Прямые и косвенные доказательства существования разгрузки подмерзлотных вод в межмерзлотные горизонты якутского бассейна. // Подземные воды востока России (XIX Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). – Тюмень: Тюменский дом печати, 2009. 174-177 с.
- Шепелев В.В., Ломовцева Н.С. Озера криолитозоны бестяхской террасы р. Лены и их взаимосвязь с подземными водами. // Тематические и региональные исследования мерзлых толщ Северной Евразии. Издание Института мерзлотоведения СО АН СССР. Якутск 1981. 106-115 с.

Таблица 1. Основные получаемые характеристики по геотермическим скважинам

№ скв. глубина	Мощность сезонноталого слоя (м)	Глубина слоя годовых теплооборотов (м)	Температура на подошве сезонноталого слоя (средняя годовая), °С	Температура многолетнемерзлых пород, °С	Интервал залегания водоносного горизонта, м
<u>1с</u> 68	3	8	-0,2	-0,1	24,5-55,4
<u>1-07</u> 32	5	5	0,02	-0,02	23,9-...
<u>7</u> 100	5-6	10	-0,1	-0,02	53-76
<u>4-07</u> 13	3	7	-1,1	-0,4	не вскрыт
<u>Ерюю</u> 13	4,5	9	-1,1	-0,3	не вскрыт
<u>3-10</u> <u>16</u>	4,2	12	-0,5	-0,3	не вскрыт

## Мониторинг глубины сезонного протаивания в нижнем течении реки Енисей на площадке CALM R-40, г. Игарка

Я.Е. Сергиевская

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

С.В. Познаркова, Н.И. Тананаев

Институт Мерзлотоведения СО РАН, Якутск, Россия

### Введение

В современное время остро стоит вопрос «глобального потепления». Отклики этого процесса наблюдаются в разных сферах Земли, в частности на температурные колебания – как локальные, так и глобальные – чутко реагирует вечная мерзлота. Около 2/3 площади нашей страны заняты многолетне-мерзлыми грунтами (ММП), деградация которых может напрямую сказаться на жизни людей в районах с мерзлыми толщами [Анисимов и др., 2010].

Самый динамичный и подверженный краткосрочным изменениям слой вечной мерзлоты – сезонно-талый слой (СТС). Мониторинг этого параметра косвенно позволяет судить о влиянии колебаний климата на динамику ММП.

### Район исследований

Площадка Игарка (R40) располагается на правом берегу Енисея, в 5 км к С-З от г. Игарка, на высокой речной террасе с прерывистой вечной мерзлотой. Климат региона – умеренно континентальный с продолжительной снежной зимой и коротким прохладным летом [Тушинский, Давыдова, 1976]. В среднем период с отрицательными суточными температурами длится до 250 дней. Среднегодовая температура составляет  $-8,3^{\circ}\text{C}$ . Средняя температура самого холодного месяца (январь)  $-27,6^{\circ}\text{C}$ , самого теплого месяца (июль)  $+15,4^{\circ}\text{C}$ . Массивы ММП мощностью до 40 м имеют среднегодовую температуру от  $-0,4$  до  $-2,5^{\circ}\text{C}$ .

Растительность площадки характеризует растительность региона в целом. Меньшая часть площадки представлена березовыми редины, более 2/3 площадки занято тундровыми ландшафтами. Тундровые ландшафты представлены мохово-лишайниковой тундрой с кустарничками арктической березы на возвышенных поверхностях. Пониженные участки заболочены и представлены озерно-термокарстовыми депрессиями. Подробное описание площадки представлено на интернет-странице программы CALM [[www.udel.edu/Geography/calm](http://www.udel.edu/Geography/calm)].

### Методика

Мониторинг глубины сезонно-талого слоя на площадке осуществляется под эгидой международной программы Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM), наблюдения в рамках которой осуществляются с начала 1990-х годов в почти 170 пунктах наблюдений [Shiklomanov et al., 2008].

Наблюдения за динамикой сезонно-талого слоя на площадке в г. Игарка (индекс R40) ведутся с 2008 года. Измерения осуществляются ежегодно в конце теплого сезона посредством металлического мерзлотного щупа по сетке с шагом в 10 м, на площадке 100 на 100 м, в итоге получают осредненные значения глубины СТС в 121 точке. В каждой точке для контроля делается 2 измерения, которые осредняются (если расхождение между значениями больше 10 см – производятся дополнительные промеры). В 2010 и 2011 годах для оценки сезонной динамики протаивания были произведены дополнительные измерения в середине лета.

Ландшафтные условия (в основном растительность) напрямую влияют на глубину СТС, поэтому при выборе площадки учитывается наличие различных природно-территориальных комплексов, характерных для района исследования. В пределах выбранной площадки выделяются три природно-территориальных комплекса: тундровые – мохово-лишайниковые (ПТК1), лесные – березовые редины (ПТК2), озерно – термокарстовые депрессии (ПТК3).

### Результаты и дискуссия

За период наблюдений на площадке (с 2008 по 2011 г.) наблюдается незначительное уменьшение глубины СТС. В 2008 году глубина СТС была максимальной за период наблюдений, что связано с ранним началом периода устойчивых положительных температур и сравнительно большой суммой положительных градусо-часов. С другой стороны, лето 2008 было очень влажным, что тоже оказало отепляющее влияние. Минимальная глубина СТС приходится на 2010 год. Это был год со сравнительно холодным летом, сумма положительных градусо-дней заметно меньше по сравнению с остальными годами за период наблюдений. Осредненные результаты наблюдений по природно-территориальным комплексам представлены в Таблице 1.

На исследованной площадке основным фактором, влияющим на пространственную изменчивость глубины СТС, является растительность: в лесном ПТК значения СТС больше, чем в тундровом, что хорошо прослеживается на картах пространственной изменчивости СТС (рис.1). Под озерно-термокарстовыми депрессиями наблюдается талый грунт до глубины 150 см, поэтому кровлю вечной мерзлоты нашим методом зафиксировать не представлялось возможным.

Таблица 1. Средняя глубина протаивания в различных ПТК и в целом по площадке CALM R40

Год	Гр-дни (°С)	ПТК1 (см)	ПТК2 (см)	ПТК3 (см)	Сред. (см)
2008	1571	66,4	86,7	>150	74,1
2009	1565	66,0	74,4	>150	71,5
2010 (июль)	434	29,7	31,3	26	29,8
2010	1020	62,2	67,1	>150	66,7
2011 (июль)	802	39,0	47,2	>150	44,2
2011	1730	67,5	73,3	>150	72,5

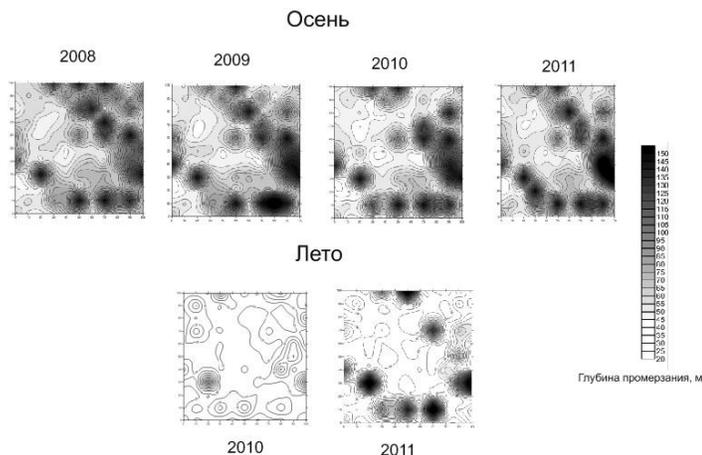


Рис.1. Пространственная изменчивость мощности СТС на площадке CALM Игарка (R-40)

Результаты измерений в середине лета показали, что летом 2011 СТС имеет значения почти в 2 раза больше, чем летом 2010 года, что можно напрямую связать с суммой положительных градусо-часов к середине июля – лето 2011 было теплым и достаточно сухим, в то время как первая половина лета 2010 была очень холодная и дождливая. Зависимость глубины СТС от типа ПТК остается такой же: под тундровыми ландшафтами промерзание меньше, чем под лесными. Мощность СТС в термокарстовых понижениях, по-видимому, достаточно велика, т.к. даже в середине лета превышает она 150 см, что может свидетельствовать о наличии таликов.

Анализ данных СТС за весь период наблюдений и сравнение с метеорологическими параметрами дает основания утверждать, что связь глубины СТС и суммы положительных градусо-часов достаточно сильная как для лесного ПТК ( $r^2=0,86$ ), так и для тундрового ( $r^2=0,85$ ). Наклон кривых больше для тундрового ландшафта, что

свидетельствует о его более сильной реакции на температурные условия летнего периода по сравнению с лесным.

## Выводы

Площадка CALM R-40, расположенная в зоне лесотундры, представлена тремя основными типами ландшафтов, характерных для данного региона. Анализ пространственной дифференциации СТС показал сильную зависимость СТС от растительности: тундровые ландшафты характеризуются менее мощным СТС по сравнению с лесными, что связано с наличием мохового и торфяного горизонта. За период наблюдений с 2008 по 2011 гг. прослеживается небольшое уменьшение СТС, однако данная оценка мало достоверна из-за короткого ряда наблюдений. В обоих ландшафтах найдена сильно выраженная зависимость СТС от градусо-дней протаивания, при этом наклон кривых свидетельствует о более выраженной реакции тундрового ландшафта на климатические изменения летнего периода.

## Благодарности

Хотелось бы выразить благодарности Гребенцу В.И., Стрелецкому Д.А., Шмелеву Д.Г., Сакиркиной М. за помощь в подготовке материалов и написании статьи.

## Литература

- Тушинский, Давыдова, 1976.  
 Anisimov, O.A., Belolutskaya, M.A, Grigoriev, M.N., Instanes A., Kokorev, V.A., Oberman, N.G., Reneva, S.A. Strelchenko, Y.G., Streletskiy D., Shiklomanov N.I. 2010. Major natural and social-economic consequences of climate change in the permafrost region: predictions based on observations and modeling. Greenpeace, 44 p.  
 Shiklomanov, N.I., Nelson, F.E., Streletskiy, D.A., Hinkel, K.M., Brown, J. 2008. The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Program: Data Collection, Management, and Dissemination Strategies. Proceedings of the 9th International Conference on Permafrost, Fairbanks, Alaska, June 29 - July 3, 2008, Vol. 2, 1647-1652.

## Мониторинговые наблюдения за динамикой температурного режима горных пород в Восточной Сибири

С.И.Сериков, М.Н.Железняк, С.А.Гулый, Ю.Б.Скачков

*Институт мерзлотоведения им П.И.Мельникова СО РАН, Россия Федеральное государственное бюджетное учреждение В.Т.Рузанов*

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВНЦ РАН, Россия*

*В.Е.Романовский, А.А.Холодов*

*Университет Аляски Фэрбенкс (США)*

В настоящее время при повсеместно отмечающемся потеплении климата, в системе наук о Земле очень много внимания уделяется исследованию влияния климата на реакцию экосистем, в том числе и криолитозоны – как одной из составляющих экосистемы.

Для разработки современных прогнозных моделей их адаптации и реанализа, необходимы достоверные опорные данные, которые могут быть получены только с помощью создания мониторинговой геокриологической сети.

Мировое геокриологическое сообщество, вот уже на протяжении 10 лет, в рамках программы TSP (THERMAL STATE PERMAFROST) проводит работы по созданию международной мониторинговой сети за динамикой температурного поля верхних горизонтов литосферы.

Институт мерзлотоведения СО РАН, при поддержке международного проекта TSP в 2007 году разработал программу, целью которой является создание мониторинговой геокриологической сети на территории Восточной Сибири. Реальные, в основном финансовые, условия академической науки, не позволяют осуществить внедрение этой программы в полном объеме. Тем не менее, к настоящему времени за последние 5 лет введены в действие более 20 наблюдательных площадок в 8-ми районах Восточной Сибири (рис.1). Часть из этих площадок было оборудовано на скважинах, в которых геотермические наблюдения (разовые или режимные) велись с 1980-х годов, затем были прекращены, а в 2007 году возобновлены вновь.

Использование автоматизированных систем (логгеров) для контроля за тепловым состоянием грунтов, позволяет более дифференцированно и обоснованно подойти к оценке реакции и установлению причин и факторов, оказывающих влияние на динамику теплового режима грунтов. И здесь следует отметить большую роль Международного комитета по мерзлотоведению и в частности Университета Аляски во внедрении этих систем для организации мониторинговых исследований в России.

Характер и динамика реакции горных пород на изменение климата в разных регионах различна и зависит от особенностей циркуляционных процессов, условий теплообмена на поверхности и состава грунтов.

В центральной Якутии 30-летний цикл наблюдений за тепловым состоянием грунтов показал, что на фоне значительного повышения средней годовой температуры воздуха, глубина сезонного протаивания остается достаточно стабильной. Температура пород на глубине годовых теплооборотов имеет значительные межгодовые

колебания за счет холодных (летних) или более теплых (зимних) отдельных периодов (2-3 года). Однако заметного тренда к повышению температуры за этот период не обнаружено (рис.2). Особенно важное значение оказывает время образования устойчивого снежного покрова. Более высокие температуры формируются в многоснежные годы с аномально ранним образованием устойчивого снежного покрова. [Варламов и др., 2011].



○ - 1    ◆ - 2    • - 3  
Рис.1. Схема расположения пунктов геотермических мониторинговых наблюдений.

- 1 – площадки оборудованные ИМЗ СО РАН;  
2 – площадки оборудованные другими организациями;  
3 – участки геотермические

В горных районах Южной Якутии в период 1966-2009 гг. повышение температуры воздуха происходило с трендом 0,30...0,50°C/10 лет. В пределах территории многолетнемерзлые породы носят прерывистый и островной характер распространения. Здесь, в различных геоморфологических условиях оборудовано и работает 10 мониторинговых площадок. По данным полученных исследований в Южной Якутии, в большинстве случаев, на глубине затухания годовых теплооборотов отмечается повышение температуры пород. Установлено, что за период с 1980 г по настоящее время, температура горных пород (20-30 м) в различных ландшафтных условиях повысилась на 0,4...1,9°C. Максимальные значения

повышения температуры отмечены в подгольцовых областях, минимальные - на склонах и в долинах. Также как и в центральной Якутии, одним из основных факторов регулирующих тепловое состояние горных пород является режим снегонакопления.

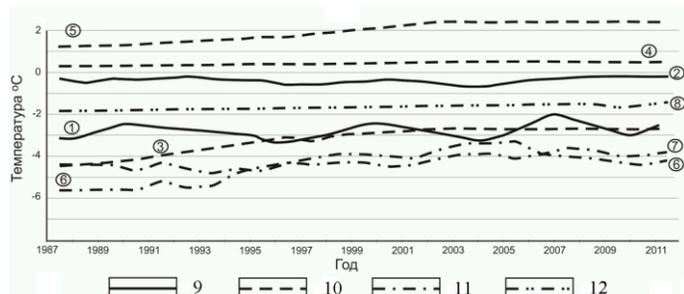


Рис.2. Ход изменения температуры пород на глубине годовых теплооборотов.

9 – Центральная Якутия (1 – мелкодолинный тип местности; 2 – склоновый тип местности); 10 – Южная Якутия (3 – подгольцовая область; 4 – долина реки; 5- склон южной экспозиции); 10 – Чукотка (6 – водораздел; 7 – терраса озерной котловины); 11 – Магадан (8 – водораздел, подгольцовая область)

В юго-западной Якутии в районе г.Ленска тренд температуры воздуха за период 1966-2009 г.г. составил  $0,31^{\circ}\text{C}/10$  лет. В 2006 году на первой надпойменной террасе и на коренном берегу р.Лены были пробурены и оборудованы наблюдательные скважины. Скважина (скв.Л-1) расположенная на первой надпойменной террасе вскрыла многолетнемерзлые породы в интервале глубин 3-12 м. На коренном берегу породы находятся в талом состоянии (скв.Л-2).

По данным полученных наблюдений температура пород на глубине 10 м в скв. Л-1 – остается стабильной ( $-0,1^{\circ}\text{C}$ ), а в скв. Л-2 на глубине 15 м – не отмечая явной тенденции к повышению, она варьировала за эти годы в диапазоне  $0,4^{\circ}\text{C}$ .

В Магаданской области (м/ст. Нагаево) наблюдалось плавное повышение среднегодовой температуры воздуха (1960-2008 гг.) с трендом  $0,031^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . В окрестностях Магадана в 2007 году на вершине Марчеканской сопки были восстановлены (до гл. 200 м) и оборудованы логгерными установками 2 наблюдательные скважины, в которых в 1988 году А.В.Зуевым проводились геотермические исследования. За период 1990–2011 гг. температура пород на глубине 20 м повысилась на  $0,40^{\circ}\text{C}$  на плоском водоразделе и на  $0,24^{\circ}\text{C}$  в подгольцовой зоне. Анализ изменения среднегодовой температуры грунтов на глубине 10 и 15 м показал её повышение, за последние 4 года наблюдений, соответственно  $0,37$  и  $0,08^{\circ}\text{C}$  – на плоском водоразделе и  $0,19$  и  $0,13^{\circ}\text{C}$  – в подгольцовой зоне.

На Чукотке, в Анадырской низменности, средняя годовая температура за период 1975-2009 гг. повысилась на  $1,8^{\circ}\text{C}$ , с трендом  $0,047^{\circ}\text{C}/\text{год}$ . В 1988 г. Анадырской

экспедицией Севостгеологии в 15 км к югу от г. Анадыря, был создан научно-исследовательский полигон «Дионисия», где велись комплексные наблюдения за динамикой криогенных процессов, сезонно-талого слоя и температурой горных пород. Эти исследования отчасти сохранились и в настоящее время. В 2007 году нами были оборудованы логгерными системами 3 скважины, расположенные в различных ландшафтных условиях.

Многолетнемерзлые породы в пределах территории носят сплошной характер распространения с температурой пород  $-5,5...-2,0^{\circ}\text{C}$ . Потепление климата в регионе отразилось на увеличении мощности СТС и повышении температуры грунтов с трендом от  $0,022$  до  $0,060^{\circ}\text{C}/\text{год}$  за период с 1989 по 2010 гг. [Рузанов, 2011]. В пределах этого периода были отмечены межгодовые вариации изменения температуры пород (см. рис.2).

На севере Красноярского края за период с 1966 по 2009 гг. также отмечается повышение температуры воздуха с трендом  $0,46^{\circ}\text{C}/10$  лет. В 2007 году в 6 км от г.Игарка, в пределах первой надпойменной террасы р.Енисей, в устье р.Гравийка были пробурены и оборудованы логгерными станциями 2 скважины расположенные в лесотундровом, и тундровом ландшафтах. Температура пород на глубине 10 м по скважинам равна  $-0,2^{\circ}\text{C}$ . Анализ изменения температуры пород на глубине 1 м показывает на её незначительное повышение за четырехлетний период, а на глубине годовых теплооборотов (10 м) её стабильное состояние.

Помимо выше перечисленных наблюдательных площадок на территории Восточной Сибири оборудованы и работают в течение последних 2-х лет участки в Южном Верхоянье (Лазурный), Чарской впадине и предгорьях хр.Кодар. В 2012 году планируется подготовка и оборудование мониторинговых площадок в нижнем течении рек Хатанга и Нижняя Тунгуска.

## Литература

- Варламов С.П., Скачков Ю.Б., Скрыбин П.Н., Шендер Н.И. Тепловое состояние верхних горизонтов криолитозоны Центральной Якутии при современном изменении климата. // Пробл. инженерного мерзлотоведения: материалы IX Международного симпозиума. – Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2011. – С. 398-403.
- Рузанов В.Т. Состояние и перспективы геокриологического мониторинга территории Чукотки // Геокриологические проблемы Забайкалья и сопредельных территорий. Чита, Изд-во ЧитГУ, 2011. С.184-188
- Архипов С.А., Волкова В.С. Геологическая история, ландшафты и климаты плейстоцена Западной Сибири. – Новосибирск: ИГиГ СО РАН, 1994. – 106 с.

## Результаты сейсмических исследований на геокриологическом стационаре Марре-Сале (Ямал)

А.Г.Скворцов, М.Р.Садуртдинов, А.М.Царев  
 Институт криосферы Земли СО РАН (ИКЗ СО РАН), Тюмень, Россия  
 В.А.Дубровин  
 ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО)

### Аннотация

Рассматриваются результаты сейсмических исследований 2008-2010 годов на геокриологическом стационаре Марре-Сале, расположенном на западном побережье полуострова Ямал. Задачей исследований являлось изучение особенностей строения геокриологического разреза, оценка свойств и состояния ММП. В состав работ входили наземные исследования на суше и в пределах мелководных акваторий, а также скважинные исследования в скважинах глубиной до 100м и более. Работы выполнялись с использованием продольных и поперечных волн различных классов. Применялись оригинальные сейсмические методики и технологии, разработанные в ИКЗ СО РАН.

**Ключевые Слова:** кровля многолетнемерзлых пород, сейсмогеокриологический разрез, продольные и поперечные волны, сейсмические свойства пород.

Геокриологический стационар Марре-Сале расположен на западном побережье полуострова Ямал. Он является основным информационным объектом мониторинга криолитозоны в России и выполняет функции фонового стационара при освоении арктической части Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции и одного из немногих долговременных пунктов наблюдений при изучении эволюции криолитозоны в условиях современных глобальных изменений климата.

Геолого-геокриологический разрез стационара Марре-Сале, особенно в его верхней наиболее льдистой части является опорным для значительной части Западного, Центрального Ямала и шельфовой зоны Карского моря и Байдарацкой губы. В рельефе стационара четко выражены несколько геоморфологических уровней. Это песчаная лайда морской акватории и пойма р. Марре-Яха, озерная терраса, сложенная преимущественно песчаными пылеватыми отложениями с многочисленными включениями растительного детрита, и, наконец, III морская равнина с преобладающим супесчано-суглинистым составом грунтов в верхней части разреза, с многочисленными включениями ледяных тел различной мощности и конфигурации.

Разнообразие геокриологических условий и хорошая их изученность территории стационара, в том числе и с помощью скважин глубиной до 100м и более, послужили основанием для организации на его территории исследований с целью разработки, модернизации и адаптации сейсмических методов для решения широкого круга геокриологических задач.

Исследования проводились по нескольким направлениям.

Скважинные исследования выполнялись по методике вертикального сейсмического профилирования (ВСП) – продольного (сейсмический каротаж) и непродольного – в обсаженных и необсаженных скважинах. Задачей скважинных исследований являлось изучение

сейсмогеологического разреза с целью получения опорной информации для интерпретации наземных наблюдений и оценки свойств и состояния ММП. Для оценки качества мерзлого состояния был предложен способ [Мельников и др., 2010], предусматривающий анализ значений коэффициента Пуассона ( $\mu$ ). Он основан на том, что в талых водонасыщенных песчано-глинистых породах значения  $\mu$  больше 0.46. На основании этого достаточно обоснованно можно утверждать, что высокие значения коэффициента Пуассона соответствуют интервалам пород с “вялой” мерзлотой, а при значениях этой сейсмической характеристики больше 0.46 – криопегам. Пример использования подобного подхода для выделения криопега в интервале глубин 20-23 м, обнаруженного при бурении, приведен на рис.1.

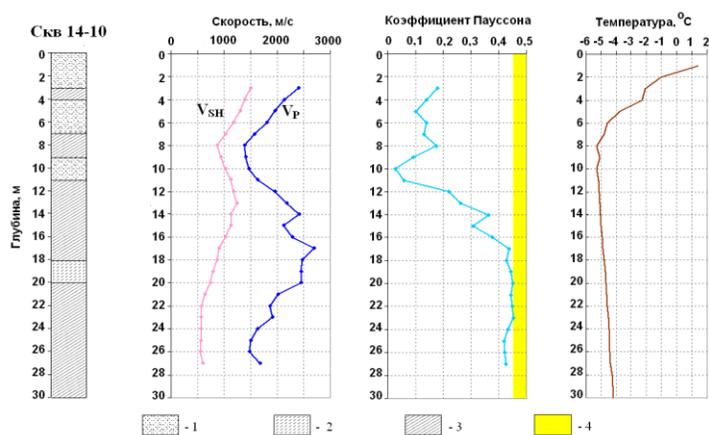


Рис.1. Результаты скважинных исследований 1 – песок, 2- суглинок, 3- глина, 4 - значения коэффициента Пуассона в талых водонасыщенных породах.

Работы второго направления были связаны с разработкой и совершенствованием методик наземных сейсмических исследований с целью изучения особенностей

строения геокриологического разреза. Исследования на суше проводились вблизи рассмотренной выше скважины. Работы выполнялись по методике ВСПВ, разработанной в ИКЗ СО РАН. Эта методика основана на использовании отраженных поперечных волн SH-волн [Скворцов, 2011 и др.]. С целью устранения из структуры волнового поля низкоскоростных волн, связанных со слоем сезонного протаивания, возбуждение упругих колебаний выполнялось на кровле ММП. На временном сейсмическом разрезе удалось выделить ряд отраженных волн, идентификация и глубинная привязка которых была выполнена по данным скважинных наблюдений в рассмотренной выше скважине.

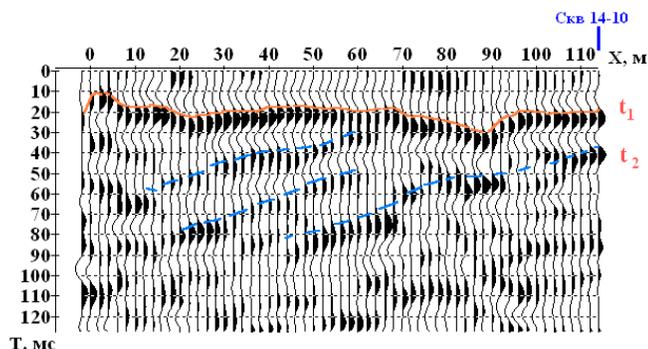


Рис.2. Временной разрез ВСПВ  
 $t_1$  – кровля суглинка на глубине 10 м,  
 $t_2$  – кровля криопега на глубине 20 м.

Были также выполнены наземные работы на мелководных акваториях – в прибрежной части шельфа и в устье реки Марре-Яха. Исследования по возможности изучения мелководных акваторий были начаты в 2005 году на геокриологическом стационаре Болванский и продолженных на стационаре Марре-Сале. Была разработана оригинальная технология донных исследований. Установлено, что в пределах мелководных акваторий изучение строения геокриологического разреза целесообразно выполнять с помощью поперечных SH-волн – отраженных и преломленных [Скворцов и др., 2011]. Пример использования подруслового талика в устье р. Марре-Яха с помощью преломленных поперечных SH-волн (рис.3).

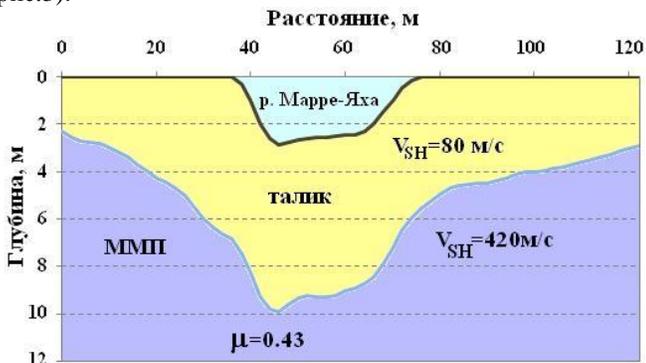


Рис.3. Сейсмогеокриологический разрез в устье р. Марре-Яха, полученный с помощью преломленных поперечных SH-волн

Еще одно направление исследований было связано с совершенствованием методики многоволновой

разноазимутальной сейсморазведки (МРС). Эта методика также разработана в ИКЗ СО РАН [Скворцов и др., 2006] и предназначена для изучения склоновых процессов и их пространственно-временного прогнозирования на основании изучения особенностей напряженно-деформированного состояния грунтовых массивов по особенностям пространственного распределения сейсмических характеристик. На рис.4 показана схема распределения коэффициента анизотропии продольных волн вдоль кровли ММП на береговом уступе. На ней выделяются две зоны растяжения, в пределах которых в будущем возможно образование трещин отрыва.

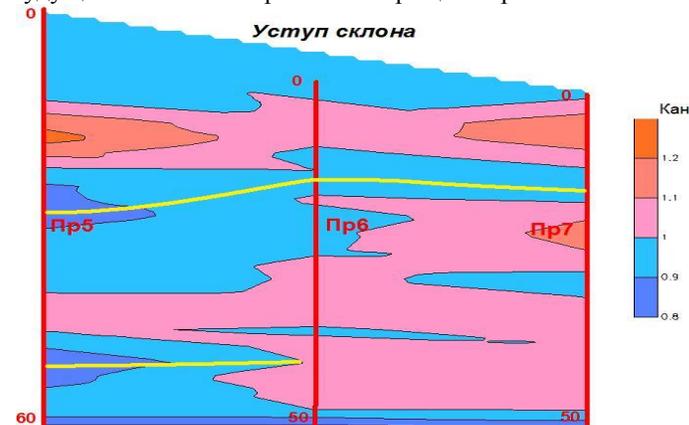


Рис.4. Схема распределения значений коэффициента анизотропии  $K_{ан}$  продольных волн.  
 Желтые линии – оси зон растяжения.

### Благодарности

Выражаем благодарность администрации ВСЕГИНГЕО за организационную и финансовую помощь при проведении сейсмических исследований.

### Литература

Мельников В. П., Скворцов А.Г., Малкова Г. В., Дроздов Д. С., Пономарёва О. Е., Садуртдинов М.Р., Царёв А. М., Дубровин В. А. Результаты изучения геокриологических условий арктических территорий с помощью геофизических методов // Геология и геофизика, 2010, Т.51, №1, 169-177.

Скворцов А.Г., Гаврилов А.В. Высокорастворяющая сейсморазведка на поперечных волнах – опыт применения // "Гальперинские чтения 11". 24-28 октября 2011 г. Материалы XI межд. конф. и выставки, 4 с. *Электронный ресурс*.

Скворцов А.Г., Царев А.М., Садуртдинов М.Р. Специфика сейсмических работ при геокриологических исследованиях // Криосфера Земли, 2011, т.ХV, №4, с.110-113.

Скворцов А.Г., Дроздов Д.С., Малкова Г.В., Сметанин Н.Н., Украинцева Н.Г. Мониторинг напряженно-деформированного состояния берегового склона на геокриологическом стационаре Болванский с помощью сейсморазведки. // Криосфера Земли, 2006, т.Х, №2, с.46-55.

## Мониторинг подземных вод ЯНАО

М.Г. Скрыпникова, Ю.В. Беспалова

*ТюмГНГУ, Скрыпникова - студент гр ПРИЗ-08, Беспалова-ассистент каф. ГМНУГ, г.Тюмень, Россия*

### Аннотация

Мониторинг подземных вод на территории Ямало-Ненецкого автономного округа является составной частью государственного мониторинга состояния недр (ГМСН). Объектами изучения являются подземные воды как в пределах природных водных объектов так и природно-техногенных объектов. Нарушенное состояние характеризуется изменением их уровня, температурного и гидрохимического режима. В рамках подсистемы мониторинга подземных вод изучаются также их прогнозные ресурсы и эксплуатационные запасы, добыча и использование питьевых, минеральных, технических вод, их загрязнение.

**Ключевые Слова:** Мониторинг; концентрация микроэлементов; инфильтрационное питание; мерзлотно-геологические условия; пресные подземные воды; таликовые окна; качество сточных вод; деградация мерзлых грунтов.

Мониторинг подземных вод изучает их состояние в природном (естественном) или нарушенном состоянии, обусловленном воздействием различных техногенных источников. В природном состоянии подземные воды характеризуются естественными закономерностями формирования гидродинамического и гидрохимического режима. Под влиянием различных видов хозяйственной деятельности (добыча полезных ископаемых, в том числе и подземных вод, строительство и эксплуатация водохранилищ, мелиоративных систем; городские агломерации, полигоны захоронения сточных вод и др.) естественное состояние подземных вод изменяется.

Мониторинг подземных вод на территории Ямало-Ненецкого автономного округа является составной частью государственного мониторинга состояния недр (ГМСН). Объектами изучения являются подземные воды как в пределах природных водных объектов (бассейны артезианских или грунтовых вод, неэксплуатируемые месторождения подземных вод и других полезных ископаемых, бассейны рек разного порядка), так и природно-техногенных объектов (эксплуатируемые месторождения подземных вод и других полезных ископаемых, урбанизированные территории, участки техногенного загрязнения и др.).

Степень освоения прогнозных эксплуатационных ресурсов в гидрогеологических бассейнах на территории ЯНАО не высокая и составляет для Большеуральской гидрогеологической складчатой области 0,1%, для Западно-Сибирского артезианского бассейна 0,5%. Таким образом, территория обладает огромным ресурсным потенциалом по запасам пресных подземных вод. Распределение его по площади ЯНАО неравномерно. Подземные воды, которые приурочены к участкам, расположенным севернее Полярного круга, чаще всего находятся в мерзлом состоянии и ресурсный потенциал здесь невысок.

Для ряда городских водозаборов (по данным Иванова Ю.К., Бешенцева В.А. [2006]) характерно достаточно

быстрое снижение качества подземных вод. Например, за пять лет на водозаборе г. Губкинский произошло снижение рН с 6,8 до 5,8, а концентрация железа при этом возросла с 4 до 6 мг/л. Концентрация рассеянных микроэлементов в подземных водах контролируется адсорбцией и ионным обменом на природных сорбентах и ионитах, поддерживающими содержание рассеянных микроэлементов в питьевых подземных водах на низких уровнях и обуславливающих самоочищение подземных вод. Учитывая тот факт, что в формировании ресурсов подземных вод на территории севера Западной Сибири резко преобладает роль болотного инфильтрационного питания, интенсивный водоотбор приводит к подтягиванию некондиционных надмерзлотных вод через таликовые окна. Таким образом, водозаборные сооружения в зоне распространения многолетнемерзлых пород находятся в особых условиях, когда одним из факторов защищенности подземных вод является состояние мерзлых пород, представляющими собой ионообменные экраны-фильтры.

В программу ведения мониторинга в условиях криолитозоны рассматриваемого региона, должны быть включены методические указания по систематическому наблюдению за температурными условиями пород, воды на устье скважин и за балансовым режимом в пределах области формирования эксплуатационных запасов. В условиях севера Западной Сибири отмечается тенденция к естественной деградации мерзлых грунтов. Как показала обработка данных геокриологического мониторинга, в естественных условиях также в последние 15-20 лет зафиксировано повышение температуры грунтов до глубины 15 м. При возможном тренде температуры воздуха в 0.075°С/год, что примерно соответствует приращению температуры воздуха на 4°С в середине следующего столетия, в районах с высокотемпературной криолитозоной (Воркута, Н. Уренгой), сливающийся тип мерзлых пород перейдет в несливающийся; в районах с низкотемпературной криолитозоной (Тикси, Хатанга)

температура пород с  $-7...-9^{\circ}$  повысится до  $-4...-5^{\circ}\text{C}$ . Долговечность зданий и сооружений снизится в несколько раз, что приведет к их массовым деформациям и полному разрушению. Обеспечить устойчивость сооружений можно главным образом за счет искусственного охлаждения грунтового основания и искусственного оттаивания. В связи с исследованием потепления климата и криолитозоны особое значение приобретает разработка проекта "Мониторинг криолитозоны".

Все это позволит установить зависимости мерзлотных и гидрогеологических параметров и прогнозировать изменение качества воды.

Свыше 65% забираемой воды в Ямало – Ненецком АО для использования (за минусом объема воды для поддержки пластового давления) расходуется на хозяйственно-питьевые нужды, поэтому водные источники, используемые для питьевого водоснабжения, должны отвечать санитарным и гигиеническим требованиям. Из общего объема забора воды в водные объекты сбрасывается порядка 43% использованной воды из общего объема сбрасываемых в поверхностные водные объекты сточных вод около 47% являются загрязненными и содержат вредные вещества, приносящие ущерб водным объектам.

Требования к качеству сточных вод, подлежащих захоронению определяется в соответствии с ОСТ 39-225-88 Миннефтепрома «Вода для заводнения нефтяных пластов. Требования к качеству», Методическими рекомендациями по утилизации хозяйственно бытовых сточных вод в нефтегазодобывающих регионах Западно Сибири» (Минздрав РСФСР, 1991г.) и разработанные ОАО «Газпром» РД 51-31323949-48-2000 «Гидрогеоэкологический контроль на полигонах закачки промышленных сточных вод».

К проблеме ухудшения качества воды в источниках питьевого водоснабжения добавляется проблема обеспечения надежных условий водозаборов. Ряд существующих водозаборных сооружений нуждаются в капитальном ремонте и расширении их мощности.

Подземные воды Западно – Сибирского артезианского бассейна находятся преимущественно в жидкой фазе на большей части территории округа. В качестве источника питьевого водоснабжения имеют два основных водоносных комплекса: - миоцен-четвертичный водоносный комплекс; - эоцен-олигоценый водоносный комплекс. Природное качество перечисленных водоносных комплексов на территории округа характеризуется низкой минерализацией, бедным химическим составом. Часто подземные воды имеют превышения ПДК питьевых стандартов по цветности и мутности.

Ямало-Ненецкий автономный округ занимает 4,5% территории России, где сосредоточены огромные запасы природного углеводородного сырья. В современных условиях в ЯНАО добывается 90% от всей добычи газа в Российской Федерации. Округ является безальтернативной базой развития газовой промышленности России на долгую перспективу.

### Литература

- Бешенцев В.А. Подземные воды ЯНАО. – Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2006. 149 с.
- Бойцов А.В. Геокриология и подземные воды криолитозоны: Учебное пособие/А.В. Бойцов.- Тюмень: ТюмГНГУ, 2011.-178с.
- Земскова И.М., Смоленцев Ю.К. и др. (1991) Ресурсы пресных и маломинерализованных подземных вод южной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / Под ред. Е.В. Пиннекера. М: Недра, 1991.
- Матусевич В.М., Ковяткина Л.А. (1997) Техногенные гидрогеологические системы нефтегазоносных районов Западной Сибири // Нефть и газ. №1.
- Шантарин В.Д., И.В. Лазарева (2007) Мониторинг поверхностных и подземных водных объектов Ямало-Ненецкого автономного округа. Салехард: Медведь, 2007.

## Изучение обнажений сегрегационного и пластового льда на Вальковской террасе

А.М Смирнов, Т.В. Васильева, В.И. Гребенец

*Кафедра криолитологии и гляциологии, Географической факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

### Введение

В работе приведены результаты полевых исследований подземных льдов в Норильско-Рыбнинской долине, в пределах Вальковской озерно-аллювиальной террасы, сформировавшейся в позднеплейстоценовое – голоценовое время после спуска холодного пресноводного бассейна, существовавшего в Сартанский криохрон. Детальные описания выполнены для инъекционно-сегрегационных бугров пучения и для пластовых льдов.

В июле 2011 г. в Норильско-Рыбнинской долине было проведено исследование льдистых обнажений на Вальковской террасе с целью получения данных о нижнем геокриологическом поясе. В пределах второй (Вальковской) и третьей надпойменных террас р. Норильская температура горных пород опускается до  $-4^{\circ}$  -  $-5^{\circ}$ , а мощность многолетнемерзлых пород (ММП) колеблется от 30 до 150-200 м [Шевелева, Хомичевская, 1967].

Центральная часть Норильско-Рыбнинской долины занята преимущественно сильнольдистыми суглинками ( $i_i = 0,3-0,6$ ), подстилаемыми плотными и нельдистыми вальковскими ленточными глинами, а в предгорных частях – песками, супесями и гравийно-галечниковыми грунтами.

Кровля ММП залегает на глубине 0,5-3,5 м. Талики занимают около 30% площади (под рекой и крупными озерами) [Гребенец, Ухова, 2008].

Для Вальковской террасы характерно широкое развитие термокарста (преимущественно, по пластовым и повторно-жильным льдам), а также активное формирование сегрегационно-миграционных бугров пучения после спуска весьма обширных термокарстовых озер.

Предметом полевых наблюдений явилось изучение небольших обнажений подземных льдов или сильнольдистых горизонтов в бортах термокарстовых котловин.

### Методика исследования

Полевые наблюдения включали в себя маршрутные описания западинно-рядового рельефа, генетически связанного с вытаиванием подземных льдов (термокарстом), морфометрические измерения бугров пучения, зачистку обнажений, отбор проб для лабораторных исследований грунта и льда.

### Результаты и дискуссии

Первое обнажение находилось в верхней части склона восточной экспозиции, на котором преобладала травянисто-моховая растительность.

Второе обнажение находилось на западном склоне одного из термокарстовых озёр; межозерные поверхности

заняты березово-лиственничными рединами. Оно представляло собой ледяную стенку с включением многочисленных глинистых частиц, и тонких пластинок, как бы плавающих во льду рис.1.

Границы между слоями в первом обнажении субгоризонтальные и весьма чёткие; следует отметить, что в разрезе наблюдается чередование горизонтов глин, которые характерны при медленном осадкоотложении в постоянных динамически спокойных условиях (в озерах, например), суглинков/супесей и торфа, что указывает на постепенный спуск древнего пресноводного бассейна с образованием регрессивных уровней.



Рис.1 Ледо-грунт ядра бугра пучения, окрестности Норильска, июль 2011 г.

Загрязненный лед (см. рис.1), вскрытый слоем мощностью 1,3 м в нижней части второго обнажения, перекрыт комплексом озерных и биогенных отложений (возраст – конец верхнего плейстоцена – голоцен): а) над массивом льда слоем мощностью 0,5 – 0,6 м вскрываются голубые с сизоватым оттенком глины, плотные, с линзовидной криогенной текстурой (линзы льда от 3 мм до 2,5 см); б) выше залегает сильноотторфованный темно-бурый суглинок с массивной криогенной структурой (мощность 0,6 – 0,8 м); в) далее вскрывается суглинок сизовато-серый, с линзой озерного льда (толщина до 13 см), лёд грязный, с многочисленными включениями (мощность 0,1 – 0,15 м); г) прослойка погребенного торфа, коричневого, среднеразложившегося (до 0,1 м толщиной); д) далее 0,2-0,3 м – горизонт, содержащий глины голубые, с сизоватым оттенком, плотные, с включениями

органики, горизонт оглеенный, шпильки сегрегационного льда толщиной до 3 см; е) сверху льдистые горизонты

перекрыты маломощным слоем супеси (цвет светло-коричневый, легкая, пылеватая, текучая при оттаивании).

В верхней части обнажения перечисленные горизонты (а-е) перекрыты дерниной и торфяным горизонтом (талым в верхней части).

Во этом обнажении лёд практически не содержал воздушных включений (редкие пузырьки имели округлую форму и образовывали сгущения в виде субгоризонтальных слоев) и был практически прозрачен, что сразу исключило вариант его атмосферного происхождения. По версии Д.А. Стрелецкого, это - инъекционный бугор пучения, а вернее, его кровля (т.к. основная часть бугра должна практически не содержать частиц грунта). Этому свидетельствует также и близкое залегание уровня грунтовых вод в данной точке.

Тот факт, что кровля льдистого ядра бугра пучения находится примерно на одном и том же гипсометрическом уровне, что и рядом расположенное термокарстовое озеро, указывает на следующий механизм образования гидролакколита: процесс начался с момента спуска термокарстового озера. В холодный период начинается промерзание толщи с поверхности, а также с боков у контакта с вечномёрзлыми породами.

В переувлажненном из-за спуска озера грунте формируется замкнутая система с усиливающимся гидростатическим давлением в связи с отжатием воды от фронта кристаллизации [Попов, Розенбаум, Тумель, 1985]

Обнажения пластового льда были описаны в одном из цирков на берегу термокарстового озера (3,2 км восточнее моста через р.Норильскую). Нижняя и средняя части цирка заняты оплывинами – материалом, выносимым при протаивании подземного льда. Верхний слой представляет собой дернину средней степени разложения, оторфованную, маловлажную, серо-коричневого цвета. Ее мощность увеличивается к середине цирка (от 10 до 30 см). Ниже представлен слой суглинка, серо-коричневого цвета, пылеватого, в верхней части слегка оторфованного, с большим количеством включений корней растительности, сильно выветрелого в обнажении, с комковатой структурой, имеющего ржавый оттенок, что свидетельствует об ожелезнении горизонта. Его мощность также увеличивается к средней части цирка (от 20 до 130 см). Далее следует переходный горизонт (мощностью до 60 см) от грунта к относительно выдержанному пласту льда, в нем наблюдается атакситовая криотекстура, льдистость  $i_i = 0,5-0,8$ ; в лед включены плотные зеленовато-сизовато-серые отдельности плотной глины, однако отсутствует слоистость или другие структурно-текстурные особенности. Граница между верхним суглинистым горизонтом и льдом четкая. В пределах нижерасположенного пласта льда отсутствуют видимые разрывные нарушения, постепенно (по мере углубления от переходного слоя) расстояния между грунтовыми включениями увеличиваются до 30-40 см, а размеры этих

включений от 0,5-1 до 6-8 см. Во льду за счет пузырьков воздуха (размеры от 0,2-0,3 см до 0,6-0,8 см) прослеживается слабонаклонная вертикальная полосчатость. Лед незасоленный, чистый, голубоватого оттенка, весьма прозрачный: сквозь него на 50-60 см вглубь видны грунтовые включения. Представляется, что формирование мощных пластовых льдов в пределах долины связано с промерзанием водо-водонасыщенных супесчано-суглинистых толщ, отжатием вниз воды к водоупору – плотным вальковским глинам. Подобный тип отложений и сильная льдистость характерны для обширных территорий долины, отмечены [Гребенец, Ухова, 2008] многочисленными деформациями зданий и сооружений, в том числе крупнейшего авто-железнодорожного моста через р. Норильскую.

## Выводы

Характер залегания, формы и объемы подземных льдов в долине р. Норильской во-многом связаны с постепенной регрессией огромного пресноводного бассейна, существовавшего на этой территории в Сартанский криохрон (поздний плейстоцен) и последующим промерзанием отложений, накопившихся в существовавшем в это время огромном холодном пресноводном бассейне. Наиболее типичны следующие виды льдов: сегрегационные (шлировые); погребенные глетчерные льды (в горных и предгорных районах); пластовые (на контакте с плотными вальковскими глинами – донными отложениями водоема); сегрегационно-инъекционные современных бугров пучения и современные повторно-жильные льды, приуроченные к областям морозобойного растрескивания.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Ведущие научные школы РФ», НШ – 32.71.2010.5 и компании «КонакоФиллипс Россия Инк».

## Литература

- Гребенец В.И., Ю.А.Ухова Ю.А. Снижение геотехнической надежности оснований при ухудшении мерзлотных условий//В журнале «Основания, фундаменты и механика грунтов», №5, 2008, с.24 – 29.
- Попов А.И., Розенбаум Г.Э., Тумель Н.В. Криолитология – М.:изд-во МГУ, 1985. – 239 с.
- Шевелева Н.С., Хомичевская Л.С. Геокриологические условия Енисейского Севера –М.: изд-во Наука, 1967. – 127 с..

## Сообщество молодых мерзлотоведов России (задачи и перспективы)

Ю.В.Станиловская

*Лаборатория геокриологии, Институт геоэкологии РАН, Москва, Россия*

А.В. Баранская

*Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия*

Н.Г.Белова

*Лаборатория геоэкологии Севера, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

П.А.Горбачев

*Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет), Москва, Россия*

Г.Н.Краев

*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия*

А.А.Урбан

*Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск, Россия*

А.В.Хомутов

*Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия*

Д.Г.Шмелев

*Кафедра криолитологии и гляциологии, географический факультет МГУ, Москва, Россия*

### Введение

Как известно, более 60% территории России находится в зоне распространения многолетнемерзлых пород, хозяйственное освоение которой продолжается. Поколениями мерзлотоведов уже решены многие важные задачи, но еще больше задач предстоит решить. Разнообразный ряд инженерных и природоохранных вопросов решается или будет решаться в ближайшем будущем молодыми инженерами и учёными, работающими в разных организациях и компаниях. Недостаточно изученной остаётся реакция мерзлоты на изменения климата. Актуальным вопросом считается изучение взаимодействия объектов хозяйственной деятельности и мерзлоты в связи с развитием нефтегазовой, горнодобывающей и транспортной инфраструктуры на российском Севере.

В современном мире молодое поколение исследователей криосферы Земли активно включается в решение этих задач и повышает свой уровень в значительной степени благодаря материалам, доступным в сети Интернет. Интеграция знаний о многолетнемерзлых породах и геокриологических процессах в информационном пространстве России может быть осуществлена только посредством преемственности методических подходов и всестороннего сотрудничества не только на международном, но и на российском уровнях. Взаимодействие между мерзлотоведами необходимо и ценно при изучении труднодоступных районов в условиях ведомственной разобщённости геокриологических данных. Подобное сотрудничество может быть осуществлено благодаря международному Сообществу молодых мерзлотоведов (PYRN), созданному Международной Ассоциацией Мерзлотоведов (IPA) в 2005 году.

### О Сообществе молодых мерзлотоведов России

Через несколько лет после создания международного Сообщества сформировалась российская группа, нацеленная на объединение потенциала всех российских мерзлотоведов, чтобы популяризировать и распространять научные знания о криолитозоне, повысить активность «мерзлотной» молодежи России. Подобная консолидация выполнима силами и действиями молодых исследователей только при поддержке более опытных и мудрых старших

коллег. Сообщество молодых мерзлотоведов России (СММР) объединяет специалистов из разных областей геологии, географии, проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений. В настоящее время численность Сообщества достигла более 200 участников из 50 организаций России, это больше чем в любой другой стране мира.

Силами членов СММР первый молодежный семинар (First PYRN-Russia Workshop “PYRN in Russia: from frozen to thawed state”) был организован в городе Пушкино 23-25 октября 2009 г. для 20 молодых мерзлотоведов из Москвы, Пушкино, Санкт-Петербурга, Сыктывкара и Якутска [Bonnaventure P., 2009]. Некоторые студенты и аспиранты ознакомились с идеями Сообщества на Большом Географическом Фестивале в СПбГУ и на XVII международной научной конференции «Ломоносов» в МГУ в 2011 г. [Шмелев, 2011]. Большой интерес вызвали у студентов и участников 4-й конференции Геокриологов России в 2011 г. темы, обсуждаемые в рамках круглого стола «Обмен опытом: Полярное образование и пропаганда знаний» [Краев, 2011]. Ответственной задачей для членов СММР стало решение вопросов грантовой поддержки, конкурса докладов, профессионального семинара, касающихся молодых участников 10-й международной конференции по мерзлотоведению в Салехарде в 2012 г. Членами СММР Института криосферы Земли СО РАН с 2012 года планируется проводить молодёжный научный семинар с периодичностью три раза в год в Тюменском научном центре СО РАН.

Сообщество молодых мерзлотоведов России призвано помочь в привлечении молодежи к исследованию мерзлоты, работать по специальности с использованием знаний, полученных при обучении в университетах и институтах. Участвуя в деятельности СММР, молодой специалист может самореализоваться и обрести поддержку единомышленников.

### Цели и задачи

Сообщество пытается создать единое российское информационно-коммуникативное поле для исследователей криосферы, в рамках которого можно было бы осуществлять взаимообмен информацией и опытом,

находить контакты для сотрудничества в научном и в производственном планах. В связи с чем возникают следующие организационные задачи:

Создание единой русскоязычной научно-популярной информационной площадки (вебсайта) с постоянным пополнением информации.

Создание региональной сети и назначение представителей от организаций, занимающихся вопросами мерзлоты.

Организация мероприятий, повышающих квалификационный уровень молодых мерзловедов (конференций, мастер-классов, лекториев).

Содействие молодым мерзлововедам в получении различных видов грантов.

Помощь в трудоустройстве студентов и выпускников профильных ВУЗов по специальности в “мерзлотные” организации.

Разработка программы дополнительных семинаров для школьного курса, посвящённых природе российского Севера (например, <http://ine.uaf.edu/werc/projects/permafrost/>).

Содействие СМИ в получении актуальной информации о криосфере.

Преодоление языкового барьера (изучение иностранных языков на разговорном и письменном уровнях).

Приоритетным является создание вебсайта, как информационного портала, с помощью которого можно легко опубликовать или найти необходимую информацию о:

- новостях в мире криосферы;
- вакансиях;
- конференциях;
- об учебно-производственных практиках, полевых школах, экспедициях;
- об организациях, в которых студенты могут проходить производственную практику;
- научных проектах, стажировках, грантах;
- научных материалах (книги, статьи, отчеты, курсовые, дипломные и диссертационные работы);
- персональных научных исследованиях в рубрике “о моих исследованиях”;
- семинарах по мерзловедению (ИМЗ, Пушино, МГУ, ИКЗ, ИГ РАН, ИГЭ РАН);
- журналах Высшей Аттестационной Комиссии по мерзлотной тематике, в которых можно печатать публикации, учитываемые при защите диссертаций и в отчетах по грантам;
- доступе к журналам в разных библиотеках России и мира;
- лабораториях, оснащенных оборудованием;
- курсах иностранных языков при “мерзлотных” организациях для повышения разговорного и письменного уровня с упором на терминологию по мерзловедению.

Кроме того можно размещать:

- фотографии лабораторных, полевых и экспедиционных работ, которые могут быть использованы для написания статей и монографий со ссылкой на автора;
- альбомы с учебным материалом (рисунками, графиками, таблицами);
- видеоролики о мерзлотных исследованиях.

Решение задач направлено на стимулирование научно-технической деятельности и повышение квалификационного уровня молодых специалистов: на приобретение опыта публичных выступлений, умения формулировать вопросы и ответы, участия в дискуссиях; установления творческих и деловых контактов между коллегами разных поколений и областей знаний.

Одним из препятствий на пути к созданию профильного научно-популярного информационного портала, которое обязательно нужно преодолеть в скором времени, является отсутствие постоянной технической и финансовой поддержки. Исходя из нынешних реалий информационный портал работает в упрощённом варианте через социальную сеть “В Контакте” ([http://vk.com/pyrn\\_russia](http://vk.com/pyrn_russia)).

## Заключение

На сегодняшний день определена концепция, миссия, цель и задачи Сообщества молодых мерзловедов; сформировано ядро из представителей от организаций, осуществляющих двустороннюю связь между своими коллегами и Сообществом, создана база данных по организациям; сформирована структура сайта; проводятся ежемесячные встречи в Москве для обсуждения организационных вопросов, новостей, проблем и перспектив.

Перед ассоциацией молодых мерзловедов стоит множество нерешённых проблем, в частности популяризация Сообщества в отдалённых регионах страны (в Западной и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке). Наблюдается разрыв в активности между молодыми специалистами и студентами из европейской части России и регионами за Уралом, где Сообщество мало известно, а значит, и деятельность местных исследователей мерзлоты не освещена [Урбан, 2011].

Подписаться на рассылку участников СММР можно по адресу [pyrn-russia@googlegroups.com](mailto:pyrn-russia@googlegroups.com). Чтобы стать частью международной сети необходимо зарегистрироваться на сайте [www.pyrn.org](http://www.pyrn.org).

## Литература

- Краев Г.Н., Шмелев Д.Г. 2011. Сообщество молодых ученых как инструмент построения карьеры в полярных исследованиях. // Доклад на 4-й конференции геокриологов России. (in Russian)
- Урбан А.А. 2011. Молодежное международное сотрудничество в области изучения северных регионов. // Наука и техника в Якутии 2, 21: 79-82. (in Russian)
- Шмелёв Д.Г. 2011. Интеграция молодых мерзловедов России в международное научное сообщество. // Материалы XVII международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». (в печати) (in Russian)
- Bonaventure P.P., Gartner-Roer I, Liljedahl A., NACHEM S., Abramov A. Report from the International Permafrost Association: The Permafrost Young Researchers Network (PYRN). 2009. Permafrost and Periglacial Processes 20: 417-419.

## Способ разделения материалов сверхзвуковой струей криоагента

А.И. Стариков, И.В. Соловьев, Н.Н. Сапронова  
Кафедра «Технология машиностроения», ТюмГНГУ, Тюмень, Россия

Струя криоагента, выбрасываемая из специального сопла, хорошо режет любой материал различной толщины, так как сжиженный газ, проникая в мельчайшие трещины, быстро там расширяется и разрывает его изнутри. Эффективность процесса зависит от давления (от 400 до 4000 кг/см<sup>2</sup>), температуры (от 150°C до -179°C) и расстояния до изделия.

Криоагент — вещество, используемое в качестве рабочего тела в криогенных системах. Криоагенты имеют температуру кипения ниже -120°C. В качестве криоагента используются, как правило, чистые газы: гелий, азот, кислород, аргон и некоторые углеводороды (метан, этан).

В криогенной технике выделяют по температуре кипения при 1 атм различные температурные уровни. Они названы по соответствующим температуре кипения элементам. Так, уровень температуры в 90 К назван кислородным, 77 К азотным, 35 К неонным, 25 К водородным и 4,2 К гелиевым.

При низком давлении струя криоагента счищает трудноудаляемые покрытия с хрупких поверхностей лучше, чем любой другой инструмент.

Более того, сверхзвуковая струя криоагента не создает отходов и загрязнений. При нагреве нетоксичное сверхохлажденное лезвие просто растворяется в воздухе. Вредная пыль, образующаяся при зачистке и разрезании, может быть удалена непосредственно с точки контакта.

удаления теплозащитного покрытия с внутренних поверхностей твердотопливных ускорителей шаттлов.

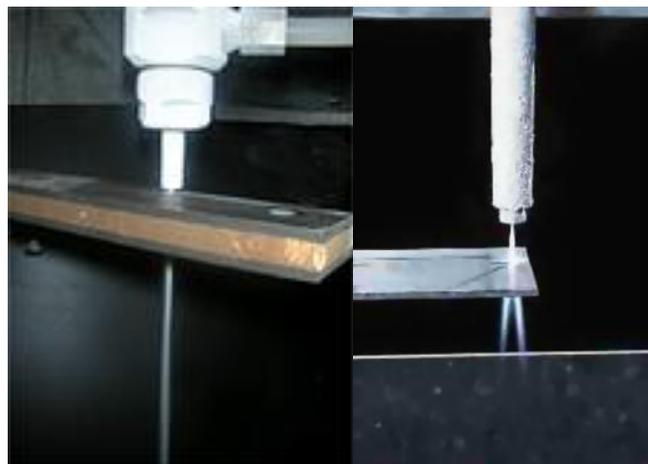


Рис 1. Криорезка. Струя жидкого азота, выбрасываемая под высоким давлением, режет твердый материал как раскаленный нож – масло, а затем исчезает в воздухе.

Военно-морской флот использует её для удаления антикоррозионных покрытий (рис.2) с палуб, килей, антенн и защитных колпаков радаров.



Рис 2. Удаление покрытий сверхзвуковой струи криоагента. Струя жидкого азота, выбрасываемая под высоким давлением, режет твердый материал как раскаленный нож – масло, а затем исчезает в воздухе

### Преимущества использования сверхзвуковой струи криоагента при резке материалов:

- Резка всех видов материалов и металлов;
- Высокая скорость реза;
- Практически неограниченная толщина разрезаемого материала или металла;
- Высокое качество реза толстого металла;
- Относительная безопасность процесса.

### Недостатки использования сверхзвуковой струи криоагента при резке материалов:

- Высокая стоимость оборудования;
- В случае резки более 5-6 секунд, тонкий металл может буквально рассыпаться, из-за быстрого его охлаждения до сверхнизких температур.

### Применение

NASA применяет криогенную резку Nitrojet (рис.1) в Космическом центре им. Кеннеди для прецизионного

Технология испытывается также в аэрокосмической промышленности, в производстве полупроводников, красок, полиуретановых изделий и при расфасовке мяса.

## Приводы шаровых кранов для суровых условий эксплуатации

В.Н.Сызранцев

Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия  
С.П.Вибе ООО Фирма «СТЭК», г.Курган, Россия

В настоящее время, как в России, так и за рубежом, основой подавляющего большинства ручных приводов запорной арматуры является червячная передача [Набиев 2010]. Несмотря на достигнутые результаты в области технологии изготовления червячных передач ведущими отечественными и мировыми производителями и удачную конструктивную компоновку привода, низкий коэффициент полезного действия червячной передачи ( $\approx 40\%$ ), ограниченная нагрузочная способность и значительный страгивающий момент, особенно негативно сказывающиеся на надежности привода в суровых условиях эксплуатации, высокая удельная металлоемкость привода, - причины, требующие разработки приводов на основе иных зубчатых механизмов.

В докладе представлены результаты разработки приводов запорной арматуры на основе использования прецессирующей плоскоконической передачи [Сызранцев и др. 2011, Установка скважинного... 2008, Syzrantsev, Plotnikov 2009], обеспечивающей в одной ступени передаточное отношение от 22 до 65 при многопарном (до 8...12 пар) контакте зубьев в зацеплении, обладающей высоким к.п.д. (88...90%) и плавностью работы. При идентичной массе и передаточном числе привода на основе червячной передачи разработанный привод обладает увеличенным (до двух раз) крутящим моментом, а при одинаковой нагрузочной способности, - на 40% сниженной металлоемкостью. В процессе работы зубья шестерни и колеса передачи обкатываются, а не скользят относительно друг друга, как в червячной передаче. В результате передача имеет существенно меньший страгивающий момент и остается работоспособной в суровых условиях эксплуатации (при температуре от  $-60^\circ$  до  $+60^\circ$ ).

На рисунке 1 показаны кинематическая и конструктивная схемы привода, а на рисунке 2 – изготовленные приводы для шарового крана ДУ-300.

Привод представляет собой двухступенчатый редуктор. Первая ступень – коническая передача с передаточным отношением  $u_1 = 5,1$ . Вторая ступень – плоскоконическая передача с двояковыпукловогнутыми зубьями с передаточным отношением  $u_2 = 65$ . Привод для трубопроводной арматуры соответствует ТУ3791-004-09153509-2011. Сертификат №С-RU.AB72.D.01007 TP057158. Используемая смазка "ТОМФЛОН ЭПМ50". При усилии на рукоятке штурвала в 180 Н, крутящий момент на шаровом кране составляет  $24000 \cdot M$ .

### Литература

- Набиев Р.М. Червячный редуктор электропривода - пережиток прошлого или актуальная классика // Территория нефтегаз, 2010. - с.100-102.
- Сызранцев В.Н., Вибе С.П., Котликова В.Я. Проектирование редуктора с прецессирующей зубчатой передачей. Научно-технический вестник Поволжья. №2 2011 г. - Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2011. - С.53-58.
- Установка скважинного винтового насоса. Патент № 2334125 С1(RU), F04C 2/107, F04B 47/02. Оpubл. 20.09.2008. Бюл.№26. Авторы: Сызранцев В.Н., Плотников Д.М., Денисов Ю.Г., Ратманов Э.В.
- Syzrantsev V., Plotnikov D. The submersible hole screw pump assembly driven by precessional gear. Monograph "MACHINE DESIGN 2009", Novy Sad, Republic of Serbia, - 2009.P.295-298.

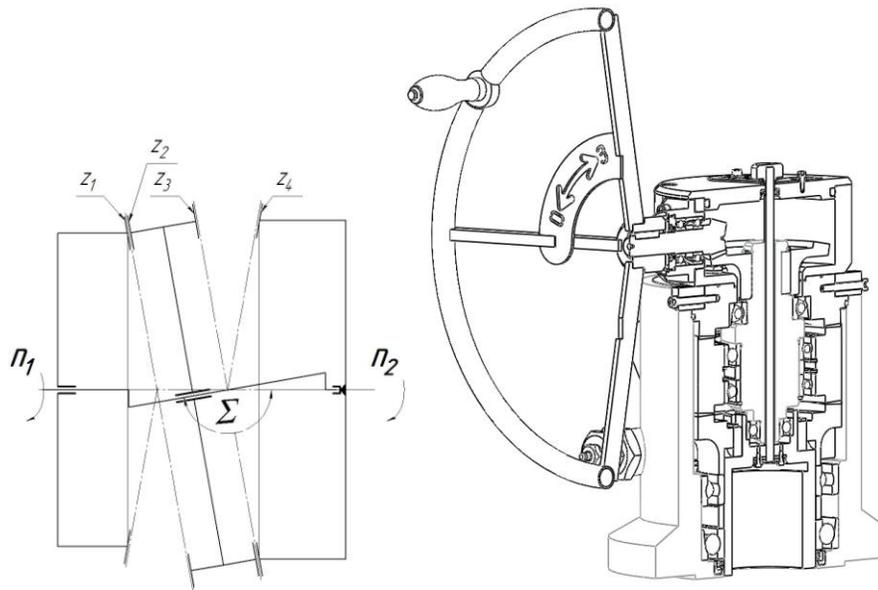


Рисунок 1.



Рисунок 2

## Проблемы проектирования теплоизоляции оснований вертикальных стальных цилиндрических резервуаров, возводимых в криолитозоне

А.А. Тарасенко, П.Ф. Сильницкий, Д.А. Тарасенко  
*Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия*

Объем проектирования объектов добычи и транспорта углеводородов увеличивается с каждым годом. При этом районы строительства перемещаются все дальше на Север в труднодоступные районы с многолетней криолитозоной («вечной мерзлотой»). Одним из наиболее ответственных и сложных сооружений для проектирования являются резервуары для хранения углеводородов. Уже имеется положительный опыт сооружения нефтехранилищ с резервуарами емкостью до  $50\,000\text{ м}^3$ , а в планах Газпрома строительство резервуара емкостью  $160\,000\text{ м}^3$  для хранения сжиженного природного газа на Ямале.

Однако нормативно-техническая база по данному вопросу разработана крайне слабо, и требует гармонизации с зарубежными стандартами. Экспериментальные исследования практически не ведутся. Несмотря на несколько уже осуществленных успешных проектов имеется и негативный опыт. Полноценному обмену научной информацией мешает ведомственная разобщенность. Многие нефтяные компании создали свои исследовательские и проектные институты, которые препятствуют выходу любой негативной информации за пределы корпорации. Кроме того, договора сопровождается подписанием соглашений о неразглашении информации. В этих условиях надеяться на полноценную научную дискуссию не приходится. Ситуация усложняется тем, что на многие возникающие вопросы отсутствуют ответы и в зарубежной нормативной и научной литературе.

Специалистам, занимающимся проектированием сооружением и диагностикой резервуаров в криолитозоне известно несколько десятков аварийных ситуаций, возникших, за последние пять лет. Главная проблема, на наш взгляд заключается в устройстве теплоизоляционного слоя между фундаментом сооружения и его основанием. В качестве теплоизолятора в последнее время часто используется экструзионный пенополистирол. Слой теплоизолятора достигает 50 см. и размещается между фундаментом и грунтом. В зависимости от района строительства и типа РВС передаваемое давление на пенополистирол может достигать  $0,3\text{ МПа}$ . Все известные нам аварийные ситуации связаны с осадкой резервуара при эксплуатации, гидроиспытаниях, либо еще на этапе строительства. Известен случай, когда собственник просевшего резервуара заказал проект компенсаторов на приемо-раздаточные патрубки с ходом 40 см. Эксплуатация резервуара с подобными деформациями основания запрещается требованиями любых нормативных документов. Очевидцы развития осадок РВС утверждают, что процесс деформирования основания нередко сопровождается вытеканием значительного объема воды

из под днища даже в зимний период. В редких случаях при снятии гидростатической нагрузки основания "приподнимаются", но в проектное положение никогда не возвращаются.

Проектирование резервуара, как правило, выполняется несколькими подрядчиками. Отдельно проектируются металлоконструкции, фундаменты и системы, препятствующие растеплению грунтов. К сожалению, при сборке всего проекта сооружения допускаются грубейшие нарушения. Известен случай, когда заказчик внес изменение в техническое задание и вместо свайного фундамента запроектировали фундаментное кольцо, а слой теплоизоляции оставили для прежней конструкции. При этом нагрузки на слой пенополистирола возросли в разы, что в дальнейшем привело к развитию недопустимой осадки РВС. Нередко допускаются нарушения строительно-монтажных работ, особенно при устройстве оснований в зимний период. Анализ показал, что причина возникновения аварийных ситуаций, кроется в неправильной оценке реологических свойств экструзионного пенополистирола.

Сегодня одним из наиболее известных продуктов на рынке является экструзионный полистирол Styrodur фирмы BASF, который, согласно требованию стандарта DIN EN 1606 имеет допустимое напряжение сжатия для длительной нагрузки 50 лет и относительной деформации  $<2\%$  до  $250\text{ КПа}$ . Появляются многочисленные отечественные аналоги. Подобные материалы уже используются для строительства автомобильных дорог, аэродромов и пр. После нескольких аварийных случаев его деформации проектировщики стали запрашивать гарантийные письма от производителей теплоизолирующих материалов, относительно неизменности прочностных свойств полистиролов при длительной эксплуатации. И получили ответы в том смысле, что поскольку плотность и коэффициенты теплопроводности отечественных и зарубежных материалов примерно одинаковы, то и реологические характеристики должны примерно соответствовать. При проектировании таких ответственных сооружений как резервуары, когда стоимость хранимого продукта соизмерима со стоимостью всей конструкции, не говоря уже о возможности экологического ущерба при возникновении аварийной ситуации, такая неопределенность недопустима. По видимому, до окончательного выяснения вопроса о возможности применения полистиролов в термостабилизированных основаниях можно воспользоваться материалами с большей прочностью, хотя и с большей теплопроводностью, например, пеностеклом.

Поскольку свойства вспененных экструзионных полистиролов определяются, в основном, по зарубежным нормативным документам, а отечественная нормативная база до конца не гармонизирована с ними, то логичным было бы предоставлять в проектные организации заключения по техническим характеристикам материалов из лабораторий или исследовательских центров аттестованных в тех странах, где действует это законодательство. Кроме того, должна измениться и отечественная нормативно-техническая документация, хоты бы в части определения индивидуального

остаточного ресурса, либо просто назначения срока эксплуатации опасного производственного объекта в основании которого уложен слой полистирола. Необходимо выяснить не просто реологические свойства утеплителя, а особенности работы конструкции в целом, с учетом динамических нагрузок от сливо-наливных операций, лопастных перемешивателей, сеймики и пр. в координатах связанных с допустимым временем эксплуатации всего сооружения.

## Четвертичные отложения возвышенности Джелон-Сисэ (Яно-Индибирская низменность)

В.Е. Тумской, Е.А. Жукова

Геологический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Х. Мейер

Институт полярных и морских исследований им. А.Вегенера, Потсдам, Германия

Возвышенность Джелон-Сисэ расположена в среднем течении р. Берелёх и представляет собой неотектоническое поднятие с отметками высот до 100 м [Овандер, Рыбакова, 1985]. Его окружает озерно-аллювиальная равнина с многочисленными аласными котловинами и едомными останцами с отметками поверхности от 5 до 50 м.

На космических снимках на поверхности возвышенности хорошо видны округлые котловины в приводораздельной части размером от 0.4 до 1.4 км. Некоторые из них содержат небольшие озера, однако большинство котловин дренированы ручьями, которые формируют эрозионную сеть по обоим бортам возвышенности. По морфологии котловины имеют большое сходство с аласными котловинами, однако они значительно меньше по размерам. Термокарстовое происхождение котловин предполагает присутствие на возвышенности Джелон-Сисэ высокольдистых отложений ледового комплекса, упоминание о котором авторам в литературе не встречалось. С целью выяснения строения и происхождения котловин и вмещающих их отложений в августе 2011 г. были проведены полевые исследования в северной части возвышенности со стороны р. Ары-Мас (рисунок).

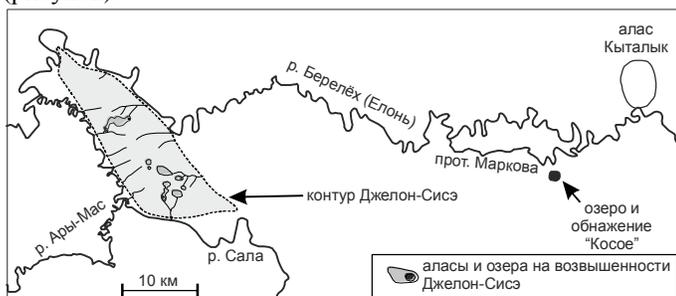


Рис. Карта-схема района возвышенности Джелон-Сисэ.

В береговом обнажении, подмываемом р. Ары-Мас, обнажаются песчано-гравийные отложения с валунами, датируемые палеоген-неогеновым возрастом [Овандер, Рыбакова, 1985]. Выше них на возвышенности обнажений практически нет. Наиболее крупная из изученных котловин расположена на водоразделе возвышенности, от нее в обе стороны цепочкой протягиваются котловины, уменьшающиеся в размерах. В соседней котловине к востоку находится небольшое озеро, которое подмывало её восточный берег. Однако в настоящее время обнажение почти полностью запылыло и заросло кустарником. К западу от водораздельной котловины расположено ещё три, частично слившихся между собой. Хорошо выражен общий наклон днщ котловин по склону возвышенности, а их размеры уменьшаются по мере удаления от водораздела.

В наиболее низко расположенной котловине находится озеро размером 450-500 м. Из него вытекает небольшой ручей в сторону р. Ары-Мас, высота истока составляет 35-40 м. Глубина озера не установлена. Озеро занимает значительную часть плоского днища котловины, слабо наклонённого в сторону р. Ары-Мас. На северо-востоке дно котловины плавно переходит в дно соседней котловины, расположенной выше. Измеренная относительная глубина котловины составляет 25-30 м. Практически все борта котловины имеют байджараховый микрорельеф, проявленный в той или иной степени. Озеро наиболее интенсивно подмывает юго-западный и южный берега. В их верхних частях в стенках байджарахов можно видеть фрагменты разреза, а между ними на поверхность выходят ледяные жилы. Относительная высота борта котловины здесь снижена до 11-12 м из-за развития термоэрозионной долины, расположенной несколько южнее. Таким образом, можно говорить о том, что отложения с повторно-жильными льдами, вмещающие озерную котловину, являются рельефообразующим ледовым комплексом, а сами котловины - термокарстовыми, образующими в настоящее время аласы.

Отложения, слагающие ледовый комплекс, описаны в байджарахах на высоте около 10 м над уровнем озера. Они представлены суглинками пылеватыми, бурыми, с небольшим количеством растительного детрита. Седиментационная слоистость не видна. Криогенная текстура на описанном уровне массивная или микрошлировая, редко линзовидная. Сингенетические ледяные жилы, вскрытые на этом уровне, имеют ширину около 1.5 м, вертикальную полосчатость, однако элементарные жилки не выделяются. В одном из байджарахов в средней части грунтового столба была вскрыта эпигенетическая ледяная жила шириной около 5 см.

Долины небольших ручьев, текущих по склонам возвышенности в р. Берелёх и Ары-Мас, врезаются в толщу ледового комплекса и имеют плоские днища. В настоящее время в них почти повсеместно развивается современная термоэрозия. Обычно она выражается в интенсивном врезании водотоков в плоские днища на глубину в несколько метров, формировании крутых и обрывистых бортов и водопадов в верховьях термоэрозионных оврагов. В плане такие овраги имеют коленообразную конфигурацию, особенно в верхних, ещё узких, частях долин. В русле оврагов вскрываются повторно-жильные льды шириной более 1 м, светло-серого цвета, ширина отдельных элементарных жилок составляет 5-8 мм. В верховьях одного из ручьев, текущих на юго-запад в р. Ары-Мас, врез составляет 4.2 м, вскрывая разрез отложений, заполняющих долину. В стенке оврага вскрыто

два горизонта аллювиального растительного детрита мощностью 0.5-0.6 м, разделенных буровато-серыми суглинками с линзами песков и гравия в основании. В растительном детрите содержатся обломки веток кустарников толщиной до 2 см, в основании отмечены клиновидные выступы типа изначально-грунтовых жил высотой до 0.5 м. Все это позволяет предполагать, что основные долины водотоков, дренирующих возвышенность, сформировались в голоценовое время. Впоследствии они были заполнены аллювиально-пролювиально-делювиальными отложениями с повторно-жильными льдами, а в настоящее время вскрываются термоэрозийными оврагами.

В ходе работ были отобраны образцы повторно-жильного льда и поверхностных вод для определения их изотопного состава. Изотопный состав кислорода и водорода определялся в лаборатории Института полярных и морских исследований им. А. Вегенера (г. Потсдам, Германия; аналитик Н. Meyer). По 7 образцам из сингенетических повторно-жильных льдов ледового комплекса на возвышенности Джелон-Сисэ, отобранным в 9-10 м над уровнем озера, получены средние значения  $\delta^{18}\text{O} = -33.39\text{‰}$  (диапазон изменения от  $-34.39$  до  $-31.46\text{‰}$ ), среднее значение  $\delta\text{D} = -251.96$  (диапазон изменения от  $-269.70$  до  $-197.30\text{‰}$ ). По 5 образцам из повторно-жильных льдов, опробованных в верховьях термоэрозийных оврагов, получены средние значения  $\delta^{18}\text{O} = -28.19\text{‰}$  (диапазон изменения от  $-30.40$  до  $-26.03\text{‰}$ ), среднее значение  $\delta\text{D} = -214.30$  (диапазон изменения от  $-230.60$  до  $-198.3\text{‰}$ ). Для сравнения: вода из озера в аласной котловине на возвышенности Джелон-Сисэ имеет  $\delta^{18}\text{O} = -20.20\text{‰}$  и  $\delta\text{D} = -157.0\text{‰}$ , а вода реки Берелёх имеет  $\delta^{18}\text{O} = -18.50\text{‰}$  и  $\delta\text{D} = -147.4\text{‰}$ .

Отложения и сингенетические ледяные жилы ледового комплекса также были опробованы в обнажении «Косое», описанном авторами в 55 км восточнее возвышенности Джелон-Сисэ. Оно представляет собой береговое обнажение термокарстового озера в районе протоки Маркова в низовьях реки Берелёх. Высота обнажения составляет около 25 м над уровнем озера, опробованные ледяные жилы расположены на высоте около 19 м. Для них по 5 образцам получены следующие изотопные характеристики:  $\delta^{18}\text{O} = -33.13\text{‰}$  и  $\delta\text{D} = -260.1\text{‰}$ . Для ледяной жилы из собственно-аласных отложений в районе станции Кыталык (низовья р. Берелёх, 12 км северо-восточнее обнажения «Косое») по 31 образцу получены следующие изотопные характеристики:  $\delta^{18}\text{O} = -27.01\text{‰}$  и  $\delta\text{D} = -206.1\text{‰}$ .

Анализ полученных аналитических данных по изотопному составу повторно-жильных льдов, с учетом их принадлежности к определенным типам четвертичных отложений и условий залегания, показывает, что они значительно различаются в отложениях позднеледникового и голоценового возраста. При этом сингенетические ледяные жилы из ледового комплекса на возвышенности Джелон-Сисэ и в обнажении «Косое» имеют весьма сходный изотопный состав. Весьма близки по изотопному составу ледяные жилы из отложений логов на склонах возвышенности Джелон-Сисэ

и фации собственно-аласных отложений в районе участка Кыталык. Всё это позволяет предполагать, что отложения ледового комплекса на возвышенности Джелон-Сисэ сформировались в позднем неоплейстоцене. Впоследствии, в голоцене, они были расчленены в результате развития озерного термокарста, следы которого мы находим в настоящее время на возвышенности, и эрозийных процессов на склонах. Морфология аласных котловин позволяет предположить, что термокарстовые озера зародились в приводораздельной части возвышенности, а впоследствии, по мере воздымания массива, смещались вниз по склону. Благодаря этому образовались цепочки взаимосвязанных аласных котловин. Формирования крупных котловин не произошло благодаря эрозийной деятельности оврагов в начале голоцена.

Интересным является вопрос о происхождении отложений ледового комплекса на возвышенности Джелон-Сисэ. Сформировались ли отложения ледового комплекса в условиях низменности и впоследствии были подняты в ходе неотектонического воздымания массива Джелон-Сисэ, или они накопились на уже поднятом массиве? В первом случае отложения ледового комплекса имеют тот же генезис, что и на окружающей возвышенности территории, а во втором случае, по-видимому, должны быть преимущественно эолового происхождения с частичным последующим склоновым переотложением. Фактов, которые могли однозначно решить этот вопрос, пока нет. С нашей точки зрения, накопление 20-30-метровых по мощности отложений на весьма ограниченном приподнятом участке маловероятно из-за развития склоновых и эрозийных процессов. В случае начала воздымания массива уже в голоцене мы имели бы на современной поверхности возвышенности остатки хорошо развитых аласных котловин. Поэтому, более вероятно, что возвышенность Джелон-Сисэ поднимается с конца позднего неоплейстоцена. В этом случае скорость поднятия можно ориентировочно оценить как 5-6 мм/год (начало воздымания предполагается ориентировочно 15000 л.н.). Решение вопроса возможно после получения радиоуглеродных датировок отложений ледового комплекса и отложений долин ручьев на склонах, минералогического и гранулометрического анализов отложений.

## Благодарности

Исследования проводились при поддержке гранта РФФИ №09-05-00594 и в рамках совместного российско-германского проекта «Полигоны в болотах тундры: состояние и динамика в результате изменений климата в полярных регионах» (грант РФФИ №11-04-91332-ННЮ-а).

## Литература

Овандер М.Г., Рыбакова Н.О. Разрезы палеогена и неогена возвышенности Джелон-Сисэ (бассейн нижней Индигирки). Доклады АН СССР, 1985, т. 282, №2, с. 412-416.

## Оценка опасности водноэрозионных процессов при освоении месторождений углеводородов полуострова Ямал

К.Л.Унаниян

Арктический регион чрезвычайно богат различного рода природными ресурсами, что влечет за собой активное вовлечение их в сферу интересов общества. При этом освоение этих территорий необходимо осуществлять способами, которые минимизируют отрицательные последствия для окружающей среды.

Одним из приоритетных регионов освоения Арктики является полуостров Ямал. Еще в 2002 году Правление ОАО «Газпром» определило его регионом стратегических интересов компании. Промышленное освоение месторождений углеводородов полуострова Ямал позволит в будущем обеспечивать порядка половины ежегодной добычи газа ОАО «Газпром».

Однако при освоении месторождений полуострова Ямал ОАО «Газпром» сталкивается с необходимостью решения большого комплекса сложнейших проблем и задач. Среди которых особое место занимают проблемы экологического плана.

Так, сложные природно-климатические условия с длительной морозной зимой, коротким и холодным летом значительно усложняют добычу и транспорт углеводородов в этом регионе. При этом уязвимость природных комплексов Ямала к техногенным нагрузкам в процессе освоения способствует трансформации почвенно-растительного покрова, вплоть до полного его уничтожения. Это приводит к изменению гидрологического режима водных объектов вследствие изменения условий формирования поверхностного стока, увеличению площади затопления пойм и активизации опасных экзогенных процессов, таких как термокарст, термоэрозия, криогенные сплывы, криогенное пучение, морозобойное растрескивание, солифлюкция, представляющих большую угрозу инженерным сооружениям газодобывающего комплекса.

По современным оценкам наиболее опасным экзогенным процессом является термоэрозия,

представляющая собой процесс водно-эрозионного разрушения многолетнемерзлых пород за счет одновременного теплового и механического воздействия водных потоков. Как правило, термоэрозия развита на склонах аллювиальных и морских террас в виде линейных образований – борозд, промоин, врезов, оврагов. Этим формам проявления процесса соответствуют различные стадии развития термоэрозии - от плоскостной до овражной. Опасность термоэрозии заключается в том, что при линейных нарушениях почвенно-растительного слоя на склонах крутизной 3...6° и более, а также на перегибах склонов и береговых бровках рек и озер при снеготаянии и выпадении дождей формируются временные эродирующие потоки, способные в кратчайшие сроки разрушить мерзлый массив термоэрозионным врезом и создать угрозу инженерным сооружениям и коммуникациям.

Для оперативного решения этих и других возникающих проблем в 2009 – 11 гг. ООО «Газпром ВНИИГАЗ» были организованы эколого-технологические экспедиции с участием ведущих специалистов профильных научно-исследовательских институтов Российской Федерации.

В процессе экспедиций были проведены комплексные геоэкологические исследования современного состояния природной среды и оценено состояние водно-эрозионной сети на территории Бованенковской группы месторождений (БНГКМ) и района перехода трассы магистрального газопровода Бованенково – Ухта через Байдарацкую губу.

Таким образом, из-за уникальности природных условий на полуострове Ямал, его освоение невозможно без применения экологически безопасных технологий, минимизирующих техногенные нагрузки на природную среду и обеспечивающих ее сохранение.

## Влияние многолетнемерзлых пород на особенности почвенного покрова Северо-Сибирской низменности

Усачева А.А., Горбунова И.А., Голубева Е.И.

*Географический факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

### Введение

Многолетнемерзлые породы в значительной степени определяют морфологический профиль, физические и химические свойства почв. Влияние вечной мерзлоты на развитие почв столь многосторонне, что позволяет рассматривать ее как субфактор почвообразования. Под процессом почвенного криогенеза следует понимать совокупность процессов физического, химического и биологического преобразований, происходящих из-за влияния отрицательных температур и фазовых переходов через 0°C, т.е. при их промерзании, пребывании в промерзшем состоянии и протаивании [Макеев, 1981]. Почвенный криогенез достигает наиболее полного своего проявления в криолитозоне. Наиболее ярко почвенный криогенез проявляется в почвах с высокой степенью гидроморфизма, т.к. влага в этих почвах является материалом, при промерзании которого широко развивается криогенное почвообразование минеральной части почвы и продуктов почвообразования. Кроме того, лед, накопившийся в почвенной толще требует дополнительных затрат на протаивание, что в конечном итоге резко уменьшает термические ресурсы вегетационного периода.

Исследования почв экотона «лес-тундра» проводились на модельном участке Ары-Мас, расположенном на Таймырском полуострове в пределах Северо-Сибирской низменности в подзоне южной тундры. Ары-Мас является самым северным массивом леса в мире. Мощность многолетнемерзлых пород колеблется от 100 до 800 м в пределах Северо-Сибирской низменности и в районе р. Хатанги составляет 400-600 м. Район характеризуется низкой температурой пород (-5...-16°C) и довольно высокой льдистостью отложений (40-60%) [Геокриология..., 1989].

### Методика работ

На участке Ары-Мас был заложен профиль, протяженностью 2550 м, от водораздела до III надпойменной террасы р. Новая (левый приток р. Хатанга). Вдоль профиля было заложено 6 пробных площадей, отличающиеся разными растительными ассоциациями, а также характером рельефа. На каждой площадке было заложено 1-4 разреза (всего 17), расположенных в наиболее типичных условиях.

Были произведены подробные описания растительности и напочвенного покрова вдоль профиля и на каждой площадке. Также подробно описывались морфометрические характеристики всех листовиц, чьи кроны попадали на линию профиля или произрастали на

участках пробных площадей. Для выяснения влияния многолетней мерзлоты на почвы проводились измерения сезонно талого слоя (СТС) в разных экотопах (редкостойный листовицник, листовицничная редина, тундра). Вдоль профиля было сделано 3800 измерений глубины СТС и 339 промеров вокруг пронумерованных листовиц (всего 113 деревьев). Также глубина СТС измерялась на пробных площадях и в радиусе 5 м от каждого почвенного разреза. В разных экотопах на глубине 10 см были заложены логгеры (всего 6) на 10 дней (с 9 по 18 июля 2011), измеряющие температуру каждые 4 часа.

### Результаты

Все изученные почвы участка Ары-Мас по «Классификации почв России» (2004) относятся к отделу глеевых почв, а по международной классификации почв WRB – к криосолям (cryosols) [Мировая коррелятивная база..., 2007]. Так как исследуемые почвы маломощны (глубина деятельного слоя от 11 до 64 см, выделяется высокольдистый переходный горизонт), то они могут быть отнесены к криогенным. Также для криогенного почвообразования в целом и для изучаемых почв характерно замедленное преобразование органического вещества, формирование торфяных горизонтов и накопление потечного гумуса.

Малая глубина сезонного протаивания и плохой дренаж территории обуславливают в почвах Ары-Маса повсеместное оглеение, в отдельных случаях образование верховодки, связанные с наличием водоупора и освобождением влаги из мерзлого состояния. Криогенные процессы способствуют накоплению гумуса в надмерзлотной почвенной толще. Н.А. Караваева и В.О. Таргульян [1978] называли это явление надмерзлотной ретинизацией гумуса. Морфологически этот процесс на изучаемой территории не выражен и выявлен только аналитически: в надмерзлотных горизонтах гумус накапливается в количестве 1,0-4,3%. Несмотря на развитие процессов пучения, профили почв - гомогенные, криотурбации не отмечаются.

В лесных экотопах наблюдаются самые маленькие для всего района средние значения глубины СТС. Так, в редкостойном листовицничном лесу среднее значение СТС - 30,5 см, причем наименьшие значения СТС обнаруживаются непосредственно вокруг листовиц (20,2 см). Здесь же наблюдаются самые низкие температуры почв на глубине 10 см, которые варьируют в пределах 3,7...5,7°C. В таких условиях корневые системы имеют возможность развиваться только в горизонтальной плоскости "вширь" и требуют больших площадей, что

обостряет корневую конкуренцию, обуславливая неустойчивость и общую слабую выживаемость деревьев. Таким образом, многолетняя мерзлота является одной из основных причин изреженности древесного полога северных лесов и редколесий. В редкостойных лиственничниках формируются глееземы грубогумусированные, потечно-гумусовые и криогенно-ожелезненные.

В лиственничных редицах глубина оттаивания вокруг деревьев больше, чем в редкостойном лиственничнике, среднее значение СТС вокруг деревьев – 25,9 см. В целом среднее значение величины СТС для данного экотопа равняется 39 см. По сравнению с редкостойным лиственничным лесом, здесь выше температуры почв на 1,5-2°C и составляют 5,9...7,3°C. По-видимому, такое распределение глубин СТС и температуры вокруг лиственниц в редицах связано с лучшим оттаиванием мерзлого горизонта на более открытых (менее залесенных) пространствах. В лиственничных редицах непосредственно вблизи от стволов формируются глееземы грубогумусированные.

Для тундровых экотопов характерен более сложный почвенный покров. Наиболее широкое распространение на участках с тундровой растительностью при отсутствии древесных пород получили пучинно-бугорковатые почвенные комплексы (бугорковатые пушицекустарничковые тундры с зарастающими пятнами-медальонами). Их формирование связано с неравномерным изменением объема при промерзании суглинистого переувлажненного грунта в отсутствие свободной влаги. Пятна в почвенном покрове изучаемого района занимают небольшие площади до 20% территории. Диаметр пятен (рис.1) может колебаться в довольно больших пределах: от нескольких десятков сантиметров до первых метров. Наиболее характерными величинами пятна без растительности на участке «Ары-Мас» явились 30-50 см в диаметре при диаметре всего пятна 1,0-1,5 м (включая бордюры).



Рис.1. Зарастающее пятно-медальон. Фото А.А. Усачевой

В пятнисто-бугорковатых комплексах на пятне формируются слаборазвитые почвы пятен, на бордюрах – глееземы перегнойные и грубогумусированные, а в понижениях вокруг бугра – торфяно-глееземы перегнойные. Для почв пониженных частей комплекса характерна относительно небольшая мощность СТС и, соответственно, почвенного профиля в целом (менее 45 см), для повышенных элементов микрорельефа, напротив, отмечается наибольшая мощность СТС (более 50 см). Здесь же отмечаются и самые высокие значения температуры почв (8,3...12,0°C), при этом максимальные – характерны для вершин пятен-медальонов, практически лишенных растительного покрова (12,0°C), что более чем на 3,5° выше, чем в понижении между ними. Разница в значениях глубины СТС и температур почв связаны как с уровнем залегания мерзлоты, так и прогреванием поверхности почв на пятне и в понижении.

### Выводы

Исследования показали, что процессы морозного пучения и мелкополигонального растрескивания наиболее выражены на безлесных участках с тундровой растительностью, чуть слабее в редицах, что связано со значительно меньшей мощностью снежного покрова, глубины протаивания и температурой деятельного слоя.

В разреженных лиственничниках почвы пятен не формируются, а в редицах они занимают значительно меньшие площади (не более 10%), чем в тундрах. Таким образом, криогенно обусловленная контрастность почвенного покрова с появлением древесных пород уменьшается.

### Благодарности

Данные исследования проводились при поддержке совместного норвежско-российского проекта BENEFITS.

### Литература

- Геокриология СССР. Средняя Сибирь. Под ред. Э. Д. Ершова. М.: Недра, 1989. – 414 с.
- Караваева Н.А., Таргульян В.О. Автономное почвообразование на севере Евразии и Америки // Проблемы почвоведения. - М.: Наука, 1978, с.174-178.
- Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
- Корреляция почвенных классификаций. – Петрозаводск: Карельский Научный Центр РАН, 2005. – 52 с.
- Макеев О.В. Фации почвенного криогенеза и особенности организации в них почвенных профилей. – М.: Наука, 1981. – 88 с.

## Газоопасность криолитозоны Ямальского региона (полуостров Ямал и шельф Карского моря)

Ю.А. Ухова

Центр Газовые Ресурсы, ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Москва, Россия

На территории Ямальского региона, включающей п-ов Ямал и прилегающий шельф Карского моря, сосредоточены уникальные по запасам месторождения природного газа, нефти и конденсата (Бованенковское, Харасавэйское, Русановское и др.).

Уже на начальных этапах освоения возникли проблемы, связанные как с чрезвычайно сложными геокриологическими условиями территории, так и с газонасыщенностью пород криолитозоны. Многочисленные газопроявления были зафиксированы при разведочном, инженерно-геологическом и эксплуатационном бурении на территории Ямальского региона.

Выбросы газа из интервала криолитозоны являются серьезной проблемой при бурении и обустройстве скважин. Внутримерзлотные газопроявления фиксируются в виде разгазирования промывочной жидкости, барботации и выброса бурового раствора, открытого фонтанирования газа и нередко приводят к аварийным ситуациям, вплоть до пожаров на скважинах. Полевые и лабораторные исследования последних лет, а также компьютерное моделирование эволюции криолитозоны в регионе показали, что большая часть газопроявлений связана с разложением реликтовых газогидратов, приуроченных к многолетнемерзлым породам (ММП). Это скопления газогидратов, образованные ранее в палеозонах стабильности гидратов, которые неоднократно формировались в разрезе Ямальского региона на протяжении последних 80 тысяч лет.

История формирования и строение криолитозоны исследуемой территории имеет определяющее значение для образования реликтовых газовых гидратов и их сохранности до современного времени.

Криолитозона Ямальской НГО изучена неравномерно. На основе анализа картографического материала (карты криолитозоны шельфа Карского моря и тематические карты п-ова Ямал, материалов буровых работ, обобщения литературы [Мельников, Спесивцев, 1995; Полуостров Ямал, 1975; Строение и свойства..., 2007] разработана обзорная карта распространения и мощности криолитозоны и ММП территории Ямальского региона (п-ов Ямал, шельф Карского моря), масштаба 1:2 000 000.

Карта содержит информацию о мощности криолитозоны (положении нулевой изотермы), мощности многолетнемерзлых пород (содержащих лед), о температуре и строении мерзлой толщи.

На большей части суши Ямальской НГО многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение. Максимальные мощности ММП и

криолитозоны приурочены к осевой части полуострова и изменяются от 300 до 450 м.

По мере перехода к более низким геоморфологическим уровням мощность ММП закономерно уменьшается, в нижней части разреза появляются охлажденные породы. В пределах самых низких уровней – пойм крупных рек, лайды и низких островов в Карском море мощность ММП сокращается до 0-50 м.

Среднегодовые температуры ММП составляют от -6...-8°C на самых высоких геоморфологических уровнях до 0...-1°C на самых низких.

На шельфе Карского моря, согласно имеющимся данным, преобладают охлажденные породы. Максимальными мощностями (50-150 м) и распространением многолетнемерзлых пород, содержащих лед, характеризуется мелководная часть шельфа (изобата 10-20 м), окружающая полуостров Ямал. До изобаты 100-120 м могут существовать ММП островного и редкоостровного распространения мощностью до 50 м.

В более глубоководной части шельфа (изобаты 200-400) фактических данных, подтверждающих существование ММП, нет в силу отсутствия данных бурения. Расчетная мощность охлажденных пород может составлять 25-50 м. Температура охлажденных пород по проведенным замерам [Мельников, Спесивцев, 1995] составляет от 0 до -1°C.

На основе составленной карты распространения и мощности криолитозоны и ММП территории Ямальской НГО и данных бурения в пределах выделенных геокриологических районов были рассчитаны положение и мощность зон стабильности и метастабильности гидратов метана.

При расчетах использовалась равновесная кривая РТ-условий существования гидратов метана в различных геолого-геохимических условиях, данные о среднегодовой температуре пород, положении нулевой изотермы, температурном градиенте ниже подошвы криолитозоны, а также мощности ММП.

По результатам расчетов была составлена обзорная карта газоопасности криолитозоны Ямальской НГО.

Повсеместное распространение многолетнемерзлых пород в верхней части разреза п-ова Ямал, а так же существование островной мерзлоты на шельфе, создает возможность широкого развития зоны метастабильности газовых гидратов (ЗМГ) в пределах территории Ямальской НГО.

ЗМГ – это зона возможного существования реликтовых газовых гидратов благодаря эффекту самоконсервации [Ершов и др., 1991] она ограничивается распространением и мощностью ММП. ЗМГ играет важную роль в

гидратонасыщенности пород криолитозоны Ямальской НГО, а также определяет их газоопасность.

Зона стабильности газовых гидратов в пределах Ямальской НГО распространена в меньшей степени. Как показали расчеты, ЗСГ может формироваться на суше при мощностях криолитозоны свыше 250 м, или в глубоководных субаквальных условиях на шельфе.

Таким образом, в Ямальской НГО природные газогидраты могут залегать как в стабильном, так и в метастабильном состоянии. Наиболее агрессивные к температурным, барическим и химическим техногенным воздействиям, неизбежным при освоении месторождений, и, соответственно, наиболее газоопасные реликтовые газогидраты распространены практически повсеместно.

Газоопасность криолитозоны определяется возможной реакцией гидратосодержащей толщи на вскрытие гидратонасыщенных горизонтов. С этой точки зрения наибольшей газоопасностью характеризуются районы, где мощная ЗМГ сплошного распространения подстилается охлажденными, агрессивными по отношению к газогидратам засоленными породами.

На примере Бованенковского НГКМ (БНГКМ) проблема газоопасности криолитозоны была рассмотрена более детально.

На основе обобщения данных бурения мерзлотно-параметрических, разведочных и наблюдательных скважин составлена карта-схема распространения, видов и характеристик газопроявлений из интервалов криолитозоны Бованенковского НГКМ. Благодаря обширному фактическому материалу был выполнен анализ

зависимости газоопасности криолитозоны от геолого-тектонического строения территории БНГКМ (приуроченность к разломным зонам и т.д.), петрографо-геохимических особенностей пород и т.д., а также спрогнозировано поведение гидратонасыщенной многолетнемерзлой толщи Бованенковского НГКМ на весь период эксплуатации месторождения.

## Литература

- Мельников В.П., Спесивцев В.И. 1995. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. – Новосибирск: Наука, 195 с.
- Полуостров Ямал. 1975. Отв. ред. В.Т. Трофимов. – М.: Издательство МГУ, 277 с.
- Строение и свойства пород криолитозоны южной части Бованенковского газоконденсатного месторождения. 2007. Отв. ред. Е.М. Чувилин. – М.: ГЕОС, 136 с.
- Ершов Э.Д., Лебеденко Ю.П., Чувилин Е.М., Истомин В.А., Якушев В.С. 1991. Особенности существования газовых гидратов в криолитозоне. Доклады Академии наук СССР. — Т. 321. – №4. – С. 788–791.

## Динамика мощности деятельного слоя в ландшафтах Северо-Восточной Якутии на рубеже XX-XXI веков

Д.Г. Федоров-Давыдов, В.Е. Остроумов, А.Л. Холодов, В.А. Сороковиков, Д.А. Гиличинский  
 Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пуццоно, Московская обл., Россия  
 С.П. Давыдов

Северо-Восточная научная станция Тихоокеанского института географии ДВО РАН,  
 п. Черский; Республика Саха (Якутия), Россия

### Введение

Период наблюдений на севере Якутии (рисунок), проводимых по программе Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM), совпал с существенными изменениями климатических условий. Реакция мощности деятельного слоя на изменение среднелетних температур наиболее детально изучена на примере Колымской низменности. После термического минимума в 1998 году (среднелетняя температура по данным метеостанции «Черский» - 8,3°C) с 2000 года началось повышение летних температур (11,3...14,7°C), пик которого пришелся на 2007 год. Последующие 2008-2009 гг. характеризовались снижением летних температур (9,2...10,7°C).

### Результаты и обсуждение

Корреляция мощности деятельного слоя со среднелетней температурой воздуха наблюдалась в 14 из 15 регулярно наблюдаемых точек ( $r = 0,59-0,89$ ). Потепление нашло отражение в увеличении глубины сезонного протаивания зональных и большинства интразональных почв Колымской низменности. Абсолютные величины прироста мощности СТС за период 2000-2007 гг. были максимальными для полигональных болот Халлерчинской тундры (R16, 47см), крутого водораздельного склона в районе оз. Якутского (R25, 42 см), а также для зональных ландшафтов тундры и тайги с песчаными почвами (R19 и R21, 32-45 см). В зональных тундровых и таёжных экосистемах с суглинистыми почвами прирост составлял 11-22 см, в термокарстовых котловинах (аласах; R13A, R15A) – 25-35 см, а в пойме (R17) – 17 см. В относительном выражении максимальным приростом мощности деятельного слоя характеризовались интразональные ландшафты полигональных болот (100% от среднегодового значения) и аласов (63-96%), а также крутой склон суглинистого холма (91%). Для зональных ландшафтов тундры и тайги величина относительного прироста мощности СТС была существенно ниже. На поверхностях, сложенных песками, она составляла 38-46%. На водоразделах, сложенных суглинистыми породами верхнеплейстоценовой едомной свиты, величина прироста уменьшалась с севера на юг: для типичной тундры прирост составлял (R13) 49%, для южной тундры (R14, R15B, R22) – 21-42%, а для северной тайги (R18) – 17%. Подобная закономерность существенно сгладила картину широтной зональности в распределении мощности деятельного слоя, выявленную в первые годы работы по программе CALM. Летом 2007 года средняя

глубина протаивания тундровых почв на побережье Восточно-Сибирского моря (R13) и на границе с тайгой (R22) различались всего на 2 см.

Рост глубины сезонного протаивания почв отмечался также в соседней Яно-Индибирской низменности. В точке R31 на берегу р. Аллаихи с 2004 по 2007 г. значение этого показателя выросло на 10 см. В 2007 году увеличение мощности деятельного слоя было зафиксировано и на полуострове Быковском (R29A, R29B) к юго-востоку от устья р. Лены, где оно ранее не наблюдалось.

Уменьшение мощности СТС в 2008-2009 годы в целом обнаружило те же закономерности, что и ее прирост. Оно было максимальным в аласах (78-86%), в полигональных болотах (68%) и на крутом водораздельном склоне (50%). В зональных экосистемах деятельный слой отличался большей стабильностью: его мощность в холодные годы сокращалась на 12-46%. При этом величина снижения мощности СТС, как и величина ее прироста, уменьшалась в направлении с севера на юг. Несмотря на холодное лето 2009 года, ни в одном из изучаемых ландшафтов деятельный слой не сократился до уровня 1996-1999 гг. Следующий более теплый 2010 г. (среднелетняя температура 12,9°C) вновь был отмечен повсеместным глубоким протаиванием почв. Таким образом, на фоне климатических флуктуаций в Северо-Восточной Якутии прослеживается тенденция к направленному увеличению мощности СТС.

Мощность деятельного слоя зависит не только от температуры воздуха в данный летний сезон, но и температуры предшествующих летних сезонов. Наблюдается своеобразный кумулятивный эффект ряда лет с тёплым летом. На наш взгляд, природа такого эффекта заключается в существенном повышении температуры многолетней мерзлоты за последние десятилетия, которое было зафиксировано несколько лет назад. Другая причина состоит в постепенной деградации высокольдистого покровного горизонта, выполняющего буферную роль в геосистемах водоразделов, сложенных суглинистыми отложениями едомной свиты. Аномально высокий прирост мощности СТС на крутом склоне, по-видимому, связан с отсутствием здесь покровного горизонта, а также с условиями свободного дренажа, исключаяющими переувлажнение почвенного профиля.

### Выводы

1. Повышение летних температур воздуха в 2000-2007 гг. и их понижение в 2008-2009 гг. вызвали

соответствующие изменения мощности СТС во всех зональных и большинстве интразональных ландшафтах Северо-Восточной Якутии.

2. Максимальный относительный прирост деятельного слоя в 2000-2007 гг. был характерен для экосистем полигональных болот и аласов, а также для крутого водораздельного склона. В зональных ландшафтах величина прироста снижалась в направлении с севера на юг: от типичной тундры к северной тайге. Уменьшение мощности СТС в 2008-2009 годы было меньшим по

абсолютной величине, но в целом подчинялось тем же географическим закономерностям, что и ее прирост.

3. На фоне климатических флуктуаций прослеживается тенденция к направленному увеличению мощности деятельного слоя, определяемая повышением температуры многолетней мерзлоты, а также в постепенной деградацией высокольдистого покровного горизонта, выполняющего буферную роль в геосистемах многих водоразделов Северо-Восточной Якутии.

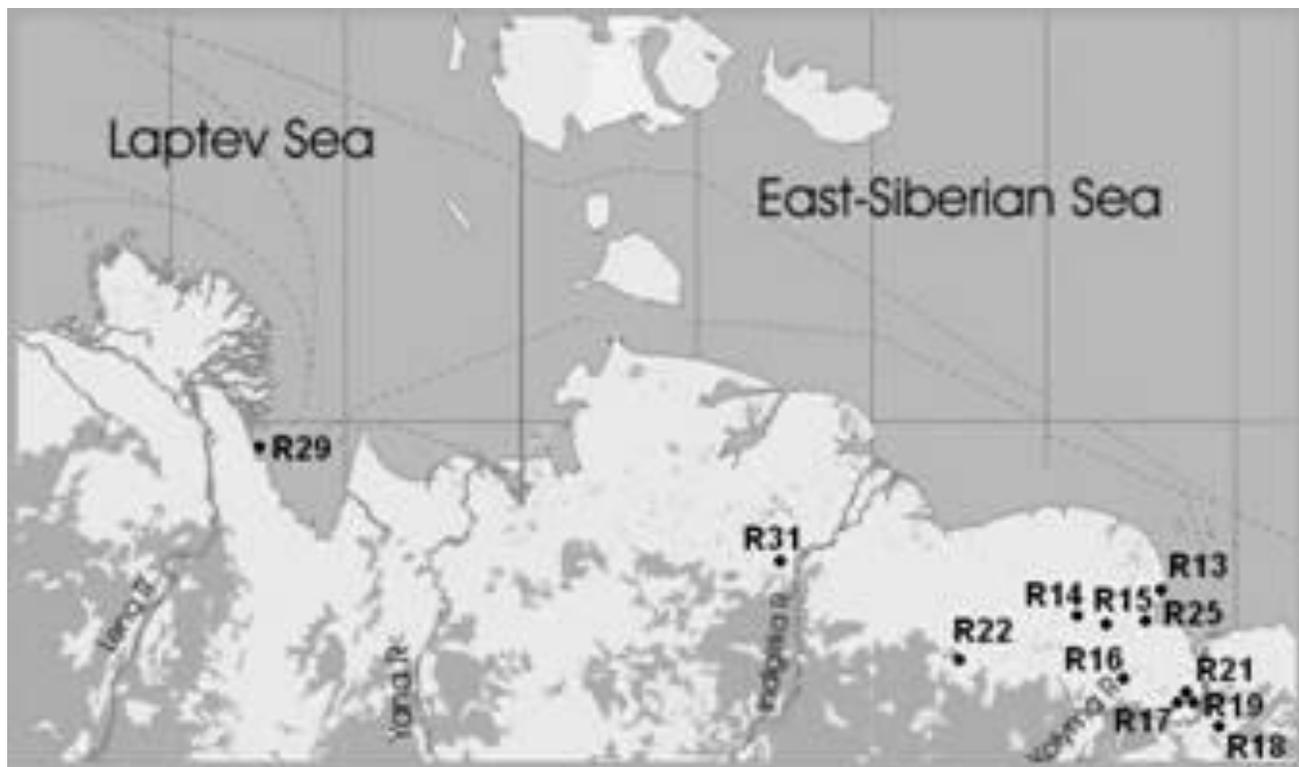


Рис.1. Местоположение основных точек наблюдения на карте Северной Якутии: R13 – мыс Малый Чукочий (водораздел и алас); R14 – река Большая Чукочья, R15 – река Малая Коньковая (водораздел и алас), R16 – буглунях Сегодня; R17 – река Ахмело, R18 – гора Родинка; R19 – озеро Глухое; R21 – оз. Ахмело; R22 – р. Алазея; R25 – озеро Якутское, R29 – мыс Быковский (водораздел и алас), R31 – р. Аллаиха.

## Квазиджидкие плёнки в гляциальных и мерзлых системах

В.И. Федосеева

Северо-восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск, Россия  
Институт мерзлотоведения им. акад. П. И. Мельникова СО АН, г. Якутск, Россия

Н.Ф. Федосеев

Институт мерзлотоведения им. акад. П. И. Мельникова СО АН, г. Якутск, Россия

### Аннотация

Проведены сорбционные эксперименты с дисперсным льдом. Показано, что существующая на поверхности льда квазиджидкая пленка проявляет растворяющие свойства по отношению к веществам, растворенным в органическом растворителе или воде, контактирующих со льдом.

**Ключевые Слова:** квазиджидкая пленка; лед; сорбция веществ.

В природе из кристаллов льда состоят гляциальные образования (снег, ледники и т. п.), также включения льда являются характерными компонентами мерзлых пород. Их присутствие в той или иной мере может влиять на перераспределение в системе растворимых химических веществ, определять их миграционную способность.

Роль льда обусловлена присутствием на поверхности частиц разупорядоченного слоя молекул воды, так называемой жидкоподобной плёнки. Она существует в интервале температур, близком к температуре плавления льда (рис.1) [Kvlividze, 1974]. Толщина плёнки зависит от температуры и природы граничащего со льдом материала.

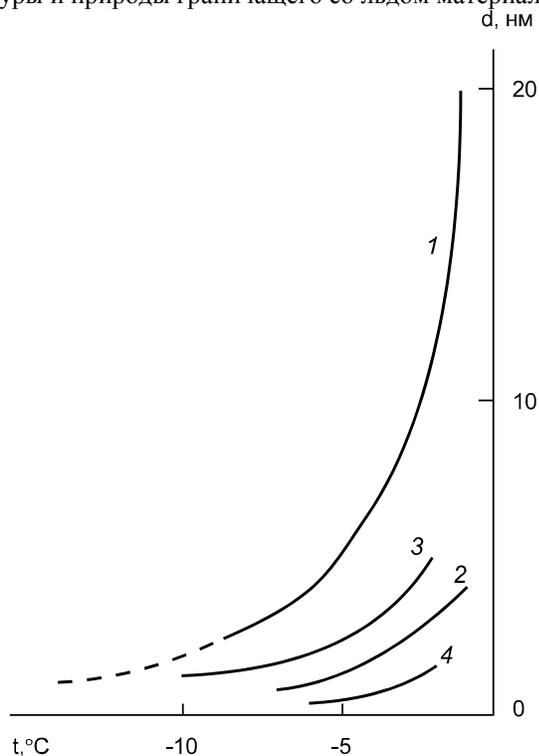


Рис.1. Зависимость толщины жидкоподобной плёнки в мерзлых образцах от температуры на границе льда с воздухом (1, 2), силикагелем (3), тефлоном (4) с удельной поверхностью 1 (1), 30 (2, 4), 20 м<sup>2</sup>/г (3) (рассчитано по данным [Kvlividze et al., 1974]).

Надежные количественные характеристики этого слоя были получены в 70-е годы прошлого столетия с использованием метода ядерного магнитного резонанса [Ушакова, 1975]. Оказалось, что молекулы воды в этом слое имеют коэффициент самодиффузии на пять порядков выше подвижности молекул воды в объёме льда и лишь на порядок ниже подвижности в жидкой фазе воды. Поэтому можно было предположить, что жидкоподобная плёнка поверхности льда должна обладать растворяющими свойствами.

В сорбционных экспериментах с дисперсным льдом нами было показано, что растворяющие свойства плёнки действительно проявляются, например, при взаимодействии частиц льда с растворами органических веществ в гидрофобных растворителях (рис.2).

Установлено, что сорбция растворённых веществ обусловлена их переходом из органического слоя раствора в объём жидкоподобной плёнки в соответствии со значением коэффициента распределения вещества между двумя несмешивающимися растворителями: водой и органическим веществом. Начальный участок кривых на рис.2 свидетельствует о переходе вещества в жидкоподобную плёнку. Последующее резкое возрастание сорбции обусловлено образованием в системе слоя объёмного водного раствора, что подтверждалось визуально.

Любопытным фактом является то, что квазиджидкая плёнка льда исчезает при длительном, порядка 2,5 месяца, выдерживании образцов льда при температуре ниже -40...-45°C.

При взаимодействии такого льда с растворами были получены изотермы, форма которых свидетельствует о проявлении льдом поверхностных свойств обычного твердого материала (рис.3).

При последующем использовании в сорбционных экспериментах предварительно выдержанных при низкой температуре образцов льда были получены результаты, свидетельствующие о возобновлении жидкоподобной поверхностной плёнки. Длительность периода времени, необходимого для такого возобновления, зависит от температурных условий в сорбционных экспериментах и

составляет не более 2,5, 15 и 48 часов при  $-2$ ,  $-5$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ , соответственно.

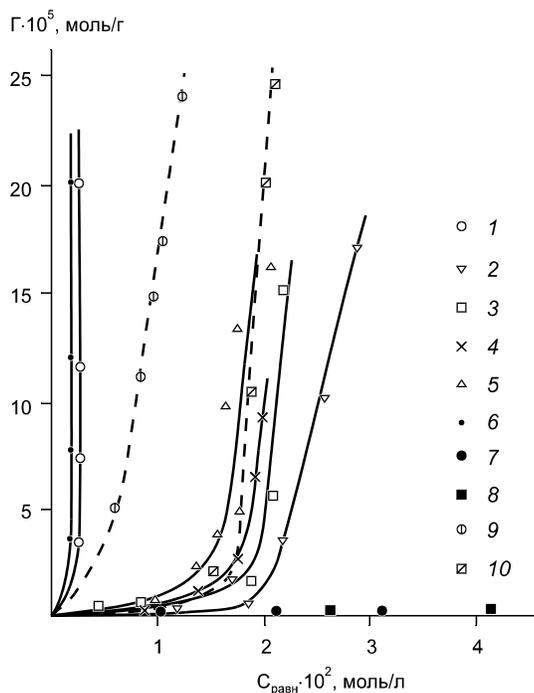


Рис.2. Изотермы сорбции на поверхности дисперсного льда из раствора в толуоле (при  $-3^{\circ}\text{C}$ ) муравьиной (1), уксусной (2), монохлоруксусной (3), дихлор-уксусной (4), трихлоруксусной (5), трифтор-уксусной (6), акриловой (7), метакриловой (8) кислот, метилового (9) и этилового спирта (10).

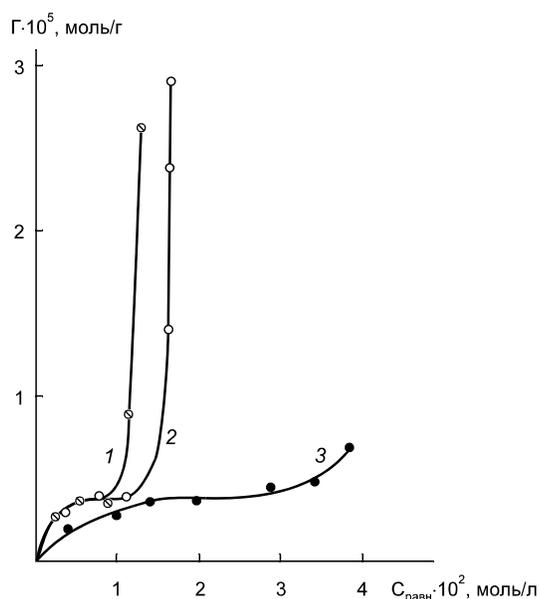


Рис.3. Изотермы сорбции кислот на выдержанном при низкой температуре снеге: муравьиной при  $-15^{\circ}\text{C}$  (1),  $-20^{\circ}\text{C}$  (2) и уксусной при  $-25^{\circ}\text{C}$  (3) без выдержки снега при заданной температуре. Растворитель: толуол (1, 2), гексан (3)

Таким образом, жидкоподобная плёнка поверхности кристаллов льда может проявлять себя как растворяющая среда в гляциальных системах и мёрзлых породах,

следовательно, может играть роль миграционной среды при распространении в них химических веществ. Натурные эксперименты показали, что поступление растворимых веществ из подстилающего субстрата (почва, лёд) в приконтактный слой снега наблюдается при температуре на границе двух сред выше минус  $12^{\circ}\text{C}$ .

В приложении к реальным водонасыщенным системам, к которым относятся мёрзлые породы, необходимо было изучить поведение частиц льда в сорбционных экспериментах с использованием водных растворов. Результаты по изучению сорбции микрокомпонентов (для обеспечения сосуществования льда с водным раствором использовался фоновый электролит KCl) показали, что сорбция, например, молибдат-анионов, осуществляется в широкой области значений pH (рис.4).

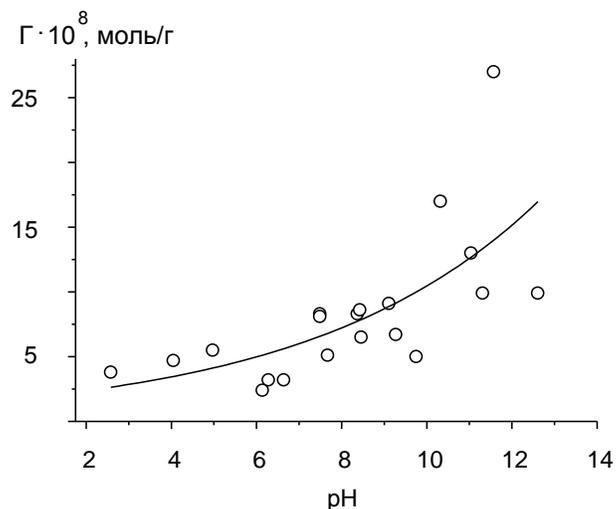


Рис.4. Зависимость сорбции молибдат-анионов поверхностью дисперсного льда от величины pH. Исходная концентрация ионов  $\text{MoO}_4^{2-}$   $10^{-4}$  моль/л. Температура:  $-1,7^{\circ}\text{C}$ .

Анализ литературных данных и результаты дополнительных сорбционных экспериментов позволили прийти к заключению, что ионы фонового электролита, способные к сильной гидратации, способны также, проникая в жидкоподобный переходный слой, разупорядочивать слои твёрдой фазы. При этом толщина квазижидкой плёнки возрастает и, соответственно, доля сорбируемых ионов микрокомпонента возрастает.

Таким образом, жидкоподобная плёнка льда проявляет растворяющие свойства, контактируя с растворами веществ как в гидрофобных органических растворителях, так и с растворами в воде.

## Литература

- Kvlividze V. I., Kiselev V. F., Kurzaev A. V., Ushakova L. A. 1974. The mobile water phase on ice surfaces // *Surface Sci.* V. 44. P. 60-68.  
Ушакова Л. А. 1975. *ЯМР дисперсного льда. Автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук.* М.: МГУ, 24 с.

## Комплексирование методов при инженерных изысканиях в зоне многолетней мерзлоты

В.С.Фролов

*Россия, г. Санкт-Петербург, ООО «УралСтройТехнологии»*

### Аннотация

Комплексные инженерные изыскания под линейных сооружений в зоне развития многолетней мерзлоты имеют свои особенности и сложности. К ним относятся необходимость оптимизации и комплексирования видов и объемов работ. При изысканиях железных и автомобильных дорог и трубопроводов оптимальны: многоканальное сканирование территории, сбор и анализ архивных и фондовых данных, комплексное инженерно-геологическое и геокриологическое картирование, комплексные геофизические исследования, проходка горных выработок и буровых скважин, гидрогеологические исследования, стационарные режимные наблюдения (локальный мониторинг компонентов природной среды), лабораторные исследования, обследование грунтов оснований существующих зданий и сооружений, камеральная обработка материалов и составление Технического отчета. В результате выполнения вышеперечисленных работ становится возможным проектирование объекта и разработка мероприятий по инженерной защите природной среды и сооружений.

**Ключевые слова:** многолетняя мерзлота; инженерно-геологическое, геокриологическое картирование.

### Введение

Транспортные артерии: железные и автомобильные дороги, трубопроводные системы являются ключом к освоению бескрайних просторов Севера. Реализуя строительные проекты в регионах Крайнего Севера человечество сталкивается с проблемами многолетней мерзлоты. Основной задачей комплексных инженерных изысканий является получение необходимых и достаточных данных для проектирования и строительства линейных и других строительных объектов в зоне развития многолетней мерзлоты. Для успешного решения поставленной задачи необходимы оптимизация и комплексирование методов изысканий с применением современной аппаратуры и программных средств.

Ниже рассмотрен вариант решения данных задач по изучению инженерно-геологических и геокриологических условий с учетом опыта работы на изысканиях железных дорог и трубопроводов в районах Якутии, Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого Округов.

### Комплексные инженерные изыскания

На первом этапе, параллельно со сбором и анализом архивных и фондовых данных, проводится многоканальное сканирование территории (лазерное, инфракрасное и др.), которое позволяет создать цифровую модель местности с последующим построением предварительных карт и схем, необходимых для уточнения основных направлений и объемов изысканий. В дальнейшем при камеральной обработке материалов материалы сканирования позволяют не только строить карты и схемы, но и создавать объемные модели пространства, для решения специальных задач. Для этого нами использовалась программа ArcGis (ArcMap), менее удобны в построении карт программные комплексы MapInfo и AutoCad.

Выполнение комплексного инженерно-геологического и геокриологического картирования территории с

проведением ландшафтно-индикационных исследований начинается на самом первом этапе полевых изысканий и продолжается до их завершения, пополняя и дополняя составленные ранее карты. Кроме маршрутных наблюдений с проходкой зондировочных скважин и мелких горных выработок при составлении карт учитываются результаты всего комплекса выполненных работ.

Проведение геофизических исследований начинается сразу после выноса оси трассы проектируемого объекта на местность. Наиболее результативным оказалось георадарное профилирование по оси трассы, с выполнением детальных сейсмотомаграфических и электротомаграфических исследований на участках пересечения водотоков (мосты, водопропускные трубы) и на площадных объектах (железнодорожные станции, разьезды, компрессорные и насосные сооружения). Георадарное профилирование уверенно показывает литологические границы и границы развития мерзлоты на глубинах до 10м (особенно эффективно на песчаных разрезах), сейсмотомаграфия позволяет значительно уточнить литологическое строение разреза, а электротомаграфия дает возможность уточнить границы мерзлых и талых грунтов и особенности строения мерзлых толщ на значительных глубинах.

Проходка горных выработок и буровых скважин остается самым надежным, но и дорогостоящим методом изучения инженерно-геологических и геокриологических условий. Шурфы и расчистки проходятся для уточнения строения верхней части разреза, особенностей геоморфологического строения, глубины сезонного оттаивания и промерзания грунтов, их вещественного состава и свойств, проведения натуральных опытов, отбора проб. Проходка буровых скважин осуществляется, как правило, колонковым способом с использованием самоходных буровых установок. Наиболее оптимальным оказалось применение буровых установок ПБУ-2,

смонтированных на базе гусеничного транспортера ГТТ, также неплохо себя зарекомендовали установки УРБ 2А-2, смонтированные на шасси конверсионных гусеничных транспортеров МТЛБ, на участках доступных для колесного транспорта оптимально использование тех же буровых установок смонтированных на шасси а/м КАМАЗ, Урал. Для проходки скважин малой глубины использовались установки УБШМ и «Опенок», смонтированные на шасси а/м «Трекол» и гусеничного вездехода ГАЗ 73, реже переносные установки УКБ 12/25. Бурение проводится «всухую», порой с применением продувки сжатым воздухом. При проходке скважин в мерзлых грунтах важной особенностью является сохранение грунта в мерзлом состоянии и температуры грунтового массива, для чего необходимо соблюдать технологические параметры бурения. Документация керна скважин имеет свои особенности, очень важным показателем является установление льдистости грунтов и оценка состояния грунта при оттаивании, также применяется метод фотодокументации керна.

Гидрогеологические исследования осуществляются как при маршрутном исскаживании, так и при проходке горных выработок и буровых скважин. При этом фиксируется вскрытие грунтовых вод и их установившийся уровень, картируются выходы грунтовых вод на поверхность, производится учет наледей, отбор проб грунтовых и поверхностных вод и льда.

Проведение полевых опытных исследований в условиях развития мерзлоты также имеет много особенностей, обычно применяется на завершающих стадиях изысканий на участках сооружения мостов, водопропускных труб и на площадных объектах (железнодорожные станции, развязки, компрессорные и насосные сооружения).

Проведение стационарных наблюдений (локальный мониторинг компонентов геологической среды) является необходимой частью исследований. При изыскании значительных по протяженности объектов, реализуется на узловых участках: мосты, водопропускные трубы и на площадных объектах (железнодорожные станции, развязки, компрессорные и насосные сооружения). Закладываются режимные скважины и репера, по которым с разным интервалом времени производятся замеры

необходимых параметров: температура грунтов, глубина сезонного оттаивания, глубина сезонного промерзания, скорость роста-деградации бугров пучения, подвижки грунтового массива, скорость развития термоэрозионных и других процессов. Обычно проведение наблюдений начинается на ранней стадии изысканий и далее развивается до этапов строительства и эксплуатации объектов.

Лабораторные исследования мерзлых, промерзающих и оттаивающих грунтов, льдов, подземных и поверхностных вод в связи с протяженностью объектов изысканий и меняющимися при оттаивании свойствами грунтов в значительном объеме производятся в полевой лаборатории, в стационарные лаборатории целесообразно вывозить пробы для проведения сложных видов исследований.

Обследование многолетнемерзлых, промерзающих и оттаивающих грунтов оснований существующих зданий и сооружений проводится для определения взаимоотношений сооружений и природной среды, выработки оптимальных решений по инженерной защите.

Камеральная обработка всего имеющегося материала и составление Технического отчета проводится на базе предприятия с использованием программных продуктов MapInfo, Arc Gis (Arc Map), Auto Cad и др. Профиля и разрезы строятся с использованием Auto Cad, при теплофизических расчетах нами использовалась программа «Тепло»- разработки каф. Криологии МГУ, карты и схемы создавались с использованием программного комплекса Arc Gis (Arc Map). Обработка геофизических данных производится с использованием специальных программ разработанных в России и других странах.

## Выводы

В результате выполнения вышеперечисленных работ становится возможным проектирование объекта, составление прогноза изменений инженерно-геологических и геокриологических условий, а также разработка мероприятий по инженерной защите природной среды и сооружений.

## Межгодовая изменчивость строения и теплопроводящих свойств снежного покрова

Д.М. Фролов

*Лаборатория снежных лавин и селей, Географический факультет,  
Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

Снежный покров влияет на теплоотдачу и температуру грунта в зимний период. По данным о суммарных осадках, средней температуре и средней толщине снежного покрова рассчитаны тепловые потоки из подстилающего грунта в снежный покров.

Теплопередачу в снежный покров и далее в атмосферу вычисляли по полученным данным о плотности снежного покрова, среднему значению градиента температуры в нем и теплопроводности снежного покрова. Градиент вычислялся как соотношение средней разности температуры воздуха над снегом (атмосферы) и на поверхности почвы и средней толщины снежного покрова. Теплопроводность снежного покрова определялась по эмпирическим зависимостям теплопроводности от плотности [Iosida 1955, Сулаквелидзе 1955, Павлов 1979].

Использованы данные о климатических условиях двух зимних (ноябрь-март) сезонов («теплый» и «холодный» относительно средних многолетних значений (1960-1990)) для трех станций (Нарьян-Мар, Салехард, Якутск), расположенных на широте Северного полярного круга в Европейской, а также Западно- и Восточносибирской части России. Они находятся в зоне распространения многолетнемерзлых пород с мощностью деятельного слоя 0,8-1,5 м. Климат Нарьян-Мара субарктический, Салехард расположен на границе субарктического и умеренного климатических поясов. Климат Якутска умеренный резко континентальный, с небольшим годовым количеством осадков. Зима Нарьян-Мара сравнительно мягкая для полярных широт вследствие влияния Баренцева моря, однако весна и осень длительные и холодные, средняя

температура (ноябрь- март)  $T_{cp} = -13,9^{\circ}\text{C}$ , суммарные осадки (ноябрь - март)  $Q_{сум} = 143$  мм. В Салехарде  $T_{cp} = -19,4^{\circ}\text{C}$ ,  $Q_{сум} = 119$  мм. Зима в Якутске исключительно сурова,  $T_{cp} = -31,3^{\circ}\text{C}$ ,  $Q_{сум} = 50$  мм.

По рассчитанным данным о теплопередаче через снежный покров в течение одного теплого (2006/07) и одного холодного (2009/10) зимних сезонов, с учетом геотермического потока, составила: для Нарьян-Мара -  $31,56 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup> и  $51,13 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, для Салехарда -  $47,78 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup> и  $120,92 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>, для Якутска -  $44,19 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup> и  $45,75 \cdot 10^6$  Дж/м<sup>2</sup>. При таких масштабах теплопередачи могло происходить промораживание суглинистой почвы 30% влажности для Нарьян-Мара на глубину 22 см (в зимний сезон 2006/07) и 36 см (в зимний сезон 2009/10), для Салехарда – на 33,9 и 85,8 см, для Якутска – на 31,3 и 32 см соответственно.

### Литература

- Павлов А.В. 1979. Теплофизика ландшафтов. Новосибирск: Издательство “Наука”, 284 стр.
- Сулаквелидзе Г.К. 1955. Некоторые физические свойства снежного покрова. Из: *Вопросы изучения снега и использование его в народном хозяйстве*. Москва: Издательство АН СССР, 24-54.
- Iosida Z. 1955. Physical studies on deposited snow. *Thermal properties Contribution Institute Low Temperature Sciences* 7: 19-74.

## Моделирование протаивания многолетнемерзлых пород при наличии теплоизоляционного слоя

И.Л. Хабибуллин

Бакирский государственный университет, г. Уфа, Россия

Г.В. Лобастов

Газпром добыча Ямбург, г. Новый Уренгой, Россия

**Ключевые Слова:** аналитическое решение; многолетнемерзлые породы; протаивание; теплоизоляция.

### Введение

Рассматривается задача о протаивании многолетнемерзлых пород при наличии теплоизоляционного слоя на дневной поверхности.

### Постановка задачи

Для расчета глубины оттаивания рассмотрим трехслойную задачу:  $0 < z < h_0$  — слой теплоизоляции, в области  $z < h_0$  находятся слои талого и мерзлого грунтов, разделенные подвижной границей протаивания грунта  $l(t)$ . Температурное поле в этих слоях описывается уравнениями:

$$a_0 \frac{\partial^2 T_0}{\partial z^2} = \frac{\partial T_0}{\partial t}, \text{ при } 0 < z < h_0 \quad (1)$$

$$a_1 \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} = \frac{\partial T_1}{\partial t}, \text{ при } h_0 < z < l(t). \quad (2)$$

$$a_2 \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} = \frac{\partial T_2}{\partial t}, \text{ при } l(t) < z < \infty \quad (3)$$

Граничные условия имеют вид:

$$T_0(z=0) = T_G, T_0(z=h_0) = T_1(z=h_0)$$

$$\lambda_0 \frac{\partial T_0(z=h_0)}{\partial z} = \lambda_1 \frac{\partial T_1(z=h_0)}{\partial z} \quad (4)$$

$$T_1(z=l(t), t) = T_2(z=l(t), t) = T_\phi$$

$$T_1(z=\infty, t) = T_2(z, t=0) = T_H$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1(z=l(t), t)}{\partial z} + \lambda_2 \frac{\partial T_2(z=l(t), t)}{\partial z} = Q_\phi \frac{dl}{dt}$$

Здесь  $\lambda$  — коэффициенты теплопроводности,  $T_\phi$  и  $Q_\phi$  — температура и теплота фазового перехода мерзлого грунта.  $Q_\phi = \rho_L LG$ , где  $\rho_L$  — плотность льда,  $L$  — теплота фазового перехода лед-вода,  $G$  — льдистость грунта. Температура на дневной поверхности определяется по метеоданным с учетом радиационного баланса.

### Аналитическое решение задачи

Процесс оттаивания делится на 3 этапа: распространение теплового фронта в слое изоляции; нагрев слоя изоляции и мерзлого грунта от начальной до

температуры  $T_\phi$  на границе раздела слой теплоизоляции — мерзлый грунт; оттаивание мерзлого грунта.

Продолжительность первого этапа можно определить на основе интегральных методов решения уравнения теплопроводности, вариационного метода Био (Коздоба 1975) или метода осреднения (Халиков 1975).

Температурное распределение в слое теплоизоляции можно принять в виде параболической аппроксимации от координат

$$T_0 = T_H + (T_G - T_H) \left( \frac{L_0 - z}{h_0} \right)^2, \quad (5)$$

где  $L_0(t)$  — координата теплового фронта, при  $z = L_0(t)$   $T_0 = T_H$  величина  $L_0(t)$  определяются из специального вариационного соотношения или интеграла теплового баланса. Продолжительность первого этапа  $t_1$  находят из условия  $L_0(t_1) = h_0$ . Эти методы дают близкие результаты, хорошо совпадающие с точным решением задачи, полученным методом разложения Фурье. По первому методу  $t_1 = 0,0885(h_0)^2/a_0$ , по второму —  $t_1 = 0,083(h_0)^2/a_0$ , здесь  $a_0$  — температуропроводность слоя теплоизоляции.

К началу второго этапа температурное поле описывается выражениями:

$$T_0(z, t = t_1) = T_H + (T_G - T_H) \left( \frac{h_0 - z}{h_0} \right)^2, \text{ при } 0 < z < h_0, \quad (6)$$

$$T = T_H, \text{ при } z > h_0$$

Во втором этапе распределения температуры в слое теплоизоляции и в мерзлом грунте принимаем согласно выражениям:

$$T_0^{(2)} = T' + (T_G - T') \frac{h_0 - z}{h_0}, \quad (7)$$

$$T_2^{(2)} = T_H + (T_H - T') \left( \frac{L_2 - z}{L_2 - h_0} \right)^2, \quad (8)$$

Здесь  $L_2(t)$  — координата теплового фронта в мерзлом грунте, при  $z > L_2(t)$ :  $T_2^{(2)} = T_H$ ,  $T' = T'(t)$  — температура на границе  $z = h_0$ . Значение этой температуры находим из условия равенства тепловых потоков при  $z = h_0$ :

$$\lambda_0 \frac{\partial T_0^{(2)}(z=h_0)}{\partial z} = \lambda_2 \frac{\partial T_2^{(2)}(z=h_0)}{\partial z},$$

здесь  $\lambda_0$  и  $\lambda_2$  — коэффициенты теплопроводности слоя теплоизоляции и мерзлого грунта.

Преобразования приводят к уравнению, из которого определяется время нагрева  $t_2$  границы раздела «теплоизоляционный слой — мерзлый грунт»  $T'=T_\phi$ . Для удобства расчетов это уравнение представим в виде:

$$t_2 = t_1 + \tau \left[ \frac{\lambda_{20}^2}{3a_{20}} (\Delta T)^2 + \frac{2}{3} \frac{\lambda_{20}^2}{a_{20}} \Delta T + \left( \frac{1}{2} - \frac{2}{3} \frac{\lambda_{20}}{a_{20}} \right) \ln(1 + \Delta T) \right], \quad (9)$$

$$\tau = \frac{h_0^2}{a_0}, \quad \Delta T = \frac{T_\phi - T_H}{T_\Gamma - T_\phi}, \quad \lambda_{20} = \frac{\lambda_2}{\lambda_0}, \quad a_{20} = \frac{a_2}{a_0}.$$

Из (9) время начала плавления мерзлого грунта под слоем теплоизоляции зависит от теплофизических свойств слоя теплоизолятора и мерзлого грунта —  $\lambda_0, \rho_0, c_0, \lambda_2, \rho_2, c_2$ , толщины слоя теплоизолятора  $h_0$ , температуры на дневной поверхности  $T_\Gamma > T_\phi$  и начальной температуры системы «мерзлый грунт-теплоизолятор»  $T_H < T_\phi$ .

Глубина проникновения теплового возмущения в область мерзлого грунта определяется по формуле:

$$L_2'(t_2) = h_0(1 + 2\lambda_{20}\Delta T). \quad (10)$$

Для третьего этапа распределение температуры в слое теплоизоляции, в талом и мерзлом слоях грунта принимаются на основе метода Лейбензона:

$$T_0 = A_0 z + B_0$$

$$T_1 = A_1 z + B_1$$

$$T_2 = A_2 \operatorname{erf} \frac{z-l}{2\sqrt{a_2 t}} + B_2$$

Определяя из условий (8) постоянные интегрирования для температуры в слое теплоизоляции, талого и мерзлого грунтов, получаем выражения:

$$T_0 = T_\Gamma - (T_\Gamma - T_\phi) \frac{\lambda_1 z}{\lambda_1 h_0 + \lambda_0(l - h_0)} \quad (11)$$

$$T_1 = T_\phi - (T_\Gamma - T_\phi) \frac{\lambda_0(z-l)}{\lambda_1 h_0 + \lambda_0(l - h_0)} \quad (12)$$

$$T_2 = T_\phi + (T_H - T_\phi) \operatorname{erf} \frac{z-l}{2\sqrt{a_2 t}} \quad (13)$$

Из пятого условия (4) следует уравнение для определения закона движения поверхности фазового перехода  $l(t)$ :

$$\frac{\lambda_0(T_\Gamma - T_\phi)}{h_0 + \frac{\lambda_0}{\lambda_1}(l - h_0)} - \frac{\lambda_2(T_\phi - T_H)}{\sqrt{\pi a_2 t}} = Q_\phi \frac{dl}{dt} \quad (14)$$

Это уравнение представим в виде:  $\frac{a}{b+cl} + \frac{d}{\sqrt{t}} = \frac{dl}{dt}$ , где

$$a = \frac{\lambda_0(T_\Gamma - T_\phi)}{Q_\phi}, \quad b = h_0(1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_1}), \quad c = \frac{\lambda_0}{\lambda_1}, \quad d = \frac{\lambda_2(T_H - T_\phi)}{Q_\phi \sqrt{a_2 \pi}}.$$

Уравнение (14) решается численно при начальном условии  $l(t=t_2)=h_0$ , где  $t_2$  определяется из (9).

Если в уравнении (14) предположить, что  $h_0 = 0$ , то оно имеет аналитическое решение  $l(t)=(\alpha t)^{0.5}$ , где  $\alpha$  определяется из выражения:

$$\sqrt{\alpha} = -\frac{\lambda_2}{Q_\phi \sqrt{\pi a_2}} (T_\phi - T_H) + \sqrt{\frac{\lambda_2^2}{Q_\phi^2 \pi a_2} (T_\phi - T_H)^2 + \frac{2\lambda_1}{Q_\phi} (T_\Gamma - T_\phi)} \quad (15)$$

### Результаты численных расчетов

Тестирование численного решения уравнения (14) при  $h_0 = 0$  проводилось по точному автомодельному решению задачи Стефана и приближенному решению методом Лейбензона. В задаче Стефана параметр  $\alpha$  определяется из решения трансцендентного уравнения (Тихонов, Самарский 1972):

$$\lambda_1 \frac{(T_H - T_\phi) \exp\left(-\frac{\alpha}{4a_1}\right)}{\sqrt{a_1} \operatorname{erf} \frac{\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{a_1}}} - \lambda_2 \frac{(T_\phi - T_0) \exp\left(-\frac{\alpha}{4a_1}\right)}{\sqrt{a_2} \operatorname{erf} \frac{\sqrt{\alpha}}{2\sqrt{a_2}}} = \frac{\sqrt{\pi \alpha}}{2} Q \quad (16)$$

По методу Лейбензона параметр  $\alpha$  определяется согласно (15). Численные расчеты проводились при базовых значениях теплофизических параметров. Получено:

$$\sqrt{\alpha} = 0,8138 \cdot 10^{-3} (\text{м}\sqrt{\text{с}}), \quad \text{по уравнению (15),}$$

$$\sqrt{\alpha} = 0,72 \cdot 10^{-3} (\text{м}\sqrt{\text{с}}) \quad \text{по уравнению (16).}$$

Результаты численного решения уравнения (14) методом Рунге-Кутты показали удовлетворительное согласие с автомодельным решением по методу Лейбензона (относительная погрешность 3%).

Предложенная модель позволяет выбрать оптимальные параметры теплоизоляционного слоя в зависимости от теплофизических параметров грунта, температуры воздуха и допустимой глубины протаивания мерзлого грунта.

### Литература

Коздоба Л.А. 1975. Методы решения нелинейных задач теплопроводности. – М.: Наука: 228с. (на русском языке)  
 Халиков Г.А. Нелинейная теплогидропроводность горных пород. – Уфа, изд. БГУ: 119с. (на русском языке)  
 Тихонов А.Н., Самарский А.А. 1972. Уравнения математической физики. – М.:Наука: 735 с. (на русском языке)

## Натурные исследования на трассе Бованенково – Байдарацкая Губа для обеспечения исследований по надежной эксплуатации газопроводов на Ямале.

А.П. Хольнов  
ООО Экотех-Север, Россия  
Н.Н. Хренов

*Институт проблем нефти и газа РАН, Россия*

От Бованенковского газоконденсатного месторождения (ГКМ) запроектирована система магистральных газопроводов из трех ниток диаметром 1420 мм на давление 11,8 МПа, прокладываемых по полуострову с переходом через Байдарацкую губу, пятиничный переход через губу предполагается из труб диаметром 1220 мм.

На всем протяжении трасса проходит по многолетнемерзлым грунтам с температурой  $-6...-7^{\circ}\text{C}$ . Водонасыщенность грунтов доходит до 80%. Льдистость составляет 15-30%, пластовые залежи льда достигают толщины нескольких десятков метров, встречаются креопеги. Трасса пересекает большое число рек и ручьев, впадающих в Карское море. Весьма сложны также природные условия створа перехода через Байдарацкую губу.

Газ по полуострову планируется транспортировать охлажденным до отрицательных температур, что, по мнению авторов, не исключает развития неблагоприятных инженерно-геологических процессов. Большую сложность представляет обеспечение устойчивости положения «холодного» газопровода в таликах, при пересечении русла рек. При отрицательной температуре газа происходит многолетнее промерзание, сопровождающееся выпучиванием газопровода.

Научно обоснованные практические рекомендации возможны только на основе установления фундаментальных закономерностей изменения мерзлотно-геологических условий залегания трубы, закономерностей теплового и механического взаимодействия трубы с вмещающим грунтом, долгосрочного вероятностного прогнозирования. Решение представляет значительные трудности из-за сложных мерзлотно-грунтовых условий, переменной температуры газа, изменчивости климатических параметров.

На сегодняшний день в России в существующих нормативных документах отсутствуют расчетные методики по определению сил пучения, действующих на «холодный» газопровод подземной прокладки при промерзании талых грунтов в его основании. Поэтому применяемые на практике мероприятия по обеспечению проектного положения газопроводов, разработанные на основе регламентированных в нормативной литературе расчетных методик, которые учитывают только воздействие на трубопроводы выталкивающих сил, обуславливающих их всплытие, малоэффективны. Известно много случаев, когда трубопроводы, коцевыми утяжелителями, рассчитанные в соответствии с нормативными источниками, были вытолкнуты на

поверхность за счет сил пучения, действующих на трубопровод [Ремезов и др. 1997].

В отличие от других инженерных сооружений трубопроводы имеют ряд специфических особенностей, в частности, малое удельное давление на грунты основания и высокую чувствительность к тепловым и механическим воздействиям при относительно большой гибкости конструкции. Это дает трубопроводу возможность воспринимать значительные деформации без угрозы потери сплошности металла в случае, если основанием трубы являются талые грунты. Именно это и происходит на «теплых» газопроводах Уренгойского и Ямбургского МПК [Хренов и др. 2001, Хренов 2002], где формирование большого ореола оттаивания и интенсивное проявление криогенных процессов (термокарст, термоэрозия, заболачивание) осложняют нормальную работу газопровода, но не создают критических ситуаций. Более того, высокая температура транспортируемого газа в первые годы эксплуатации, вызвавшая формирование крупного ореола оттаивания грунтов вокруг трубы, дала возможность релаксации как начальных напряжений трубопровода (возникших при его укладке), так и возникающих в процессе дальнейшей эксплуатации, вплоть до настоящего времени [Хренов 2003а].

По-иному происходит взаимодействие ММП с «холодными» трубопроводами. При промерзании грунтов подвижность трубы резко снижается за счет ее защемления промерзшим грунтом. Имеющиеся статистические данные о распределении количества «нарушений» по временам года показывают, что подавляющее их большинство (более 60 %) происходит в зимнее время года (ноябрь-март), то есть во время интенсивного пучения грунтов. В результате, труба, зажата с одной стороны в мерзлом массиве, испытывает все возрастающее давление снизу, со стороны промерзающих и пучащихся грунтов, поэтому на контакте таких участков можно ожидать разрыва трубы [Хренов 2003б, Хренов 2005].

Значительная часть природно-техногенных аварий в системе строительства и эксплуатации инженерных сооружений в криолитозоне обусловлена недоработками в сфере их изысканий и проектирования в связи с недостатком информации о природных условиях районов строительства. Сказанное в полной мере проявилось в проекте Бованенково-Ухта, в первую очередь на участке Бованенково-Байдарацкая губа.

В проекте никак не учтен опыт эксплуатации отечественных холодных трубопроводов, результаты теоретических исследований и результаты модельных и макетных экспериментов за рубежом. Предложена (как это

было в первом варианте в 80-х годах) только подземная прокладка с охлаждением газа.

Длительное время считалось, что предварительное охлаждение газа снимает проблемы пучения и разрыва трубопроводов. Наши исследования позволили выявить этапы развития процесса взаимодействия.

Процесс взаимодействия делится на три этапа:

На первом этапе происходит повсеместное обводнение-заболачивание. Идут процессы растепления мерзлоты, роста ореолов протаивания. Динамика процесса практически не зависит от температуры транспортируемого газа.

На втором этапе (на 7–8 год) эксплуатации трубопроводов на многих участках вода с трассы уходит, возвращается мерзлота, но более жесткая, чем до начала строительства. Возникает интенсивное пучение, при этом меры по охлаждению газа приводят к противоположному результату – происходит еще более интенсивное пучение. За короткий срок эксплуатации (5 – 7 лет) деформации за счет выпучивания достигают 1 м и более. [Хренов 2005, Scott et. al. 2004].

На третьем этапе в результате взаимодействия газопровода с многолетнемерзлыми породами активизируются или возникают новые негативные процессы, приводящие к его деформациям [Хренов 2005, Scott et. al. 2004]. К таким процессам относятся морозное пучение, термокарст, термоэрозия, морозное растрескивание.

Многолетний опыт эксплуатации трубопроводов в криолитозоне показал, что трубопроводы на ряде участков, таких как мелкие водотоки, обводненные низины, ложбины, имеют аномально большие вертикальные деформации, величина которых намного превышает величину нормативного морозного пучения грунтов при промерзании слоя сезонного оттаивания.

При назначении участков натуральных детальных исследований, наряду с традиционными участками с различными литологическими условиями в разных ландшафтных условиях, необходимо исследовать переходы через малые водотоки шириной талика в 1060 метров.

Во второй половине сентября 2010 года были проведены работы по оценке состояния строящегося газопровода БованенковоУхта на Ямале.

Организация проведения работ началась с конца июля. Для успеха этого мероприятия необходимо было свести вместе несколько частей:

- информацию о составе и свойствах грунтов;
- прогноз развития ситуации;
- проектные данные;
- информацию о фактическом состоянии трассы в различные периоды. Необходимо проводить обширные натурные работы с использованием методов аэросъемок – без них информация скудна и недостоверна.

На борту и в поле при посадках на выбранных ключевых участках работали специалисты геокриологи имеющие обработанные материалы изысканий и комплект

карт оценки и прогноза состояния трассы, а также данные проекта. Привлеченные люди имеют опыт работ на изучаемой трассе более 10 лет. Это позволило быстро увидеть при обследовании и первичной обработке процессы и оценить динамику изменений

Обработка материалов должна быть направлена на создание ГИС (если позволит финансирование), а также на анализ материалов, который позволит приступить к дифференциации трассы по условиям эксплуатации и созданию таблицы технического состояния на основе показателей технического состояния (разрушение обвалования, всплытие, подтопление и др.), дать на первом этапе размеры нарушенных участков. Анализ позволит уточнить граничные условия для решения тепловых задач и дать рекомендации по исследованиям и разработке задач адекватных натурным условиям.

Наземные обследования (с высадкой из вертолета) были совершены в 4-х (5 на лайде) точках, выделенных в момент облета с учетом карт оценки и прогноза, на каждой из которых были произведены визуальные и инструментальные наблюдения за состоянием валика, глубиной сезонного протаивания, характером и площадью техногенно-разрушенной территории, особенно в местах пересечения водотоков и в прибрежной зоне – лайде. Анализ результатов обследований позволил сделать следующие выводы:

1. Трасса строящегося газопровода довольно чистая, культура строительства достаточно высокая, но все-таки много разрезанных участков вопреки многочисленным заявлениям о сохранности тундры.

2. В проекте рассмотрен случай оценки состояния газопровода после строительства до пуска. Сделан вывод о том, что вся труба полностью вмерзнет в грунт и пропустит через себя паводок (раздел 4.8). Таких участков на сегодня по длине 5-7%.

3. Нынешний проект линейной части «перерисован» из проекта 1985 года, где толщина стенки составляла 14-17 мм. Труба не укладывается по рельефу, приходится на ряде участков расширять траншею, чтобы уложить трубу «на бок».

В некоторых случаях ширина траншеи доходит до 18 метров. Объем валика обратной засыпки достигает 15-37 кубометров на погонный метр. Этому способствует также буровзрывной метод разработки траншеи.

4. При паводке произошло движение талой воды по траншее, растепление грунта и созданы зоны таликов около и под трубой. Глубина ореолов оттаивания сбоку от трубы составляет на конец сентября 1,5-2 и более метров. Ширина до 20 метров.

Происходит набухание водой пенополистирольной изоляции и зимой возможно перераспределение снега с усилением обводнения по трассе. Валик начал разрушаться.

5. Во многих местах даже на пологих склонах траншея с 1420 мм трубой перехватывает поверхностный и внутригрунтовый сток, перенаправляет его двумя вариантами: концентрацией, активизируя термоэрозионные процессы и формированием больших луж, озерков (в данном случае отмечено небольшое озеро

с глубинами до 1.0 м, площадью – около 200 кв.м.) и поверхностный сток, что приведет в период эксплуатации к термокарсту.

6. На всей протяженности данного трубопровода отмечены нарушения естественной поверхности тяжелой техникой (это видно на всех профилях и аэроснимках) разной площади и интенсивности разрушений почвенно-растительных покровов. При высокой льдистости деятельного слоя, часто близкого залегания полигонально-жильных и пластовых льдов в теплый период года это может приводить как к термокарстовым, так и термоэрозионным процессам.

7. Практически вся засыпанная траншея значительно переувлажнена (склоны и низкие поверхности), что привело к внутригрунтовому стоку, выносу твердого материала, и застою воды в траншее. В сезон промерзания при таких условиях это неизбежно приведет к неравномерному льдовыделению и пучению даже вдоль неработающего трубопровода.

8. Небрежное исполнение валика над траншеей неизбежно приведет к изменению снегонакопления, а значит и влагозапаса, что негативно скажется при прохождении весеннего половодья.

9. В проектных документах говорится об участках в 16.3 км, подверженных солифлюкции. Аэровизуальные наблюдения позволяют нам утверждать, что на гораздо большей протяженности данного трубопровода действуют склоновые процессы. Практически все деструктивные процессы действуют как в естественных, так и в нарушенных условиях в слое сезонного протаивания. Постепенное или скачкообразное изменение температурных и влажностных условий вызывает сложное перемещение-смешивание грунтов разного генезиса и состава. Для полуострова Ямал весьма характерны оползневые явления разного масштаба и генезиса. Если солифлюкция вызывается постепенным оттаиванием грунтов и выражается в медленном течение вниз по склону и отмечается во всех природных подзонах с присутствием многолетнемерзлых пород, то возможные на трассе оползни-сплывы будут являть собой совершенно иную картину: катастрофически быстрое и масштабное сползание тысяч кубометров переувлажненных пылеватых грунтов.

10. Надо признать, что трубопровод работает не по проекту

11. После пуска охлажденного газа будет происходить мощное и неравномерное пучение с созданием многочисленных критических ситуаций. В проекте строительства и в проекте производственного экологического мониторинга морозное пучение признано несущественным.

12. Не проводятся никакие работы по мониторингу трубопровода. Многочисленные программы не работают. На трассе исследований до и на момент обследования не было. Полеты многочисленных комиссий не в счет.

На основе анализа материалов изысканий (включая карты прогноза состояния грунтов и трубопровода после строительства), проекта и материалов обследования (с сопровождением на малый цифровой аппарат «Хассельблад»), космических съемок крупных масштабов были выбраны потенциально опасные участки на трассе

газопровода на которых целесообразно проводить дальнейшие детальные наземные исследования.

Также требуют детальных наземных работ переходы через малые реки по трассе. Наземно был обследован переход р.Няхарь-Яха на пикете 1035.

Были проведены исследования по определению набора средств и методов измерений на изучаемых участках. Должны вестись измерения температуры грунта и стенок трубопроводов, влажности, перемещений трубы и грунта, порового давления воды в грунте, напряжений в трубе, усилий при пучении. Подобраны комплексы приборов и систем измерений. Стоимость комплекта на один участок составляет порядка 20 миллионов рублей. Исследования должны ответить на вопросы:

- необходимость строительства лупингов на переходах таликов и сложных участках;
- определение критических ситуаций при переходах таликов. Разработка критериев допустимой эксплуатации при определенных режимах перекачки;
- определение режимов транспорта газа обеспечивающих надежную эксплуатацию в различные периоды.

## Литература

- Ремизов В.В., Сулейманов Р.С., Ланчаков Г.А., Хренов Н.Н. Обеспечение надежной эксплуатации межпромыслового коллектора на многолетнемерзлых грунтах. М., Газовая промышленность, 1997г., № 8, с. 21-25
- Хренов Н.Н., Шеремет В.В., Козлов А.Н., Пустовойт Г.П. Газопроводы Западной Сибири: всплытие или выпучивание. М., Газовая промышленность, август 2001г., с. 35-37.
- Хренов Н.Н. Оценка состояния газопроводов Ямбург – Ныда. М., Газовая промышленность, № 4, 2002г., с. 54-58.
- Хренов Н.Н. Проблема обеспечения надежной эксплуатации «холодных» трубопроводов в многолетнемерзлых грунтах. М., Газовая промышленность, июль 2003г., с. 50-51.
- Хренов Н.Н. Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съёмки. Монография, Газойл Пресс, М, 2003 г., 352 с
- Хренов Н.Н. Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Наземные исследования. Монография М., ГазОйлпресс, 2005г. 608с.
- Scott L. Huang; Matthew T. Bray; Satoshi Akagawa and Masami Fukuda Field Investigation of Soil Heave by a Large Diameter Chilled Gas Pipeline Experiment, Fairbanks, Alaska Journal of Cold Regions Engineering, Vol. 18, No. 1, March 1, 2004.

## Исследование рациона питания работников на Севере в различный период года

Р.Г. Хусаинова

Санкт-Петербургский Государственный Горный Университет, Санкт-Петербург, Россия

Питание человека является одним из ведущих факторов, определяющих здоровье населения и играющего важную роль в адаптации человека к условиям Севера. Проблема питания не может решаться однозначно для таких различных районов, как Крайний Север, центральная полоса России, Кавказ или Средняя Азия, так как особенности метаболизма организма определяются конкретными климато-географическими условиями [Бартон, Эдхолм 1957].

Многочисленные публикации по исследованию проблемы питания свидетельствуют об увеличении калорийности потребляемой пищи (в среднем на 20 % и более) и ее химического состава (увеличение потребления липидов и белков) у людей, проживающих в северных регионах страны. Это связано не только с повышением основного обмена веществ в результате усиленной терморегуляции организма, но и с возникновением дополнительных затрат энергии, идущей на преодоление сопротивления громоздкой теплой одежды, а также из-за общих технических причин, вызванных осложнением эксплуатации машин и механизмов [Борискин 1973; Волович 2004; Галкин 2008].

Сезонное изменение энергетических затрат человека как основного критерия при оценке тяжести труда было исследовано в работе [Галкин 2010]. Авторы выдвинули гипотезу о косвенном влиянии изменения энергетических затрат работника на вероятность получения травм в различных климатических условиях. Ранее, нами уже отмечалось [Галкин 2000], что возможно, повышенный уровень травматизма на нефтегазовых предприятиях Севера в холодный период года также связан с сезонным изменением энергозатрат.

Для подтверждения предположения о сезонном изменении энергетических затрат работников (соответственно и калорийности потребляемой пищи) были проведены исследования по оценке рациона питания работников одного из нефтегазовых предприятий северного региона страны. Опрос специалистов проводился в 2 этапа (зимний и летний период) и предполагал письменное заполнение анкеты участником со специально составленным перечнем вопросов. Все входящие в группу лица работали на предприятии в должности операторов по добыче нефти и газа. Данная профессия относится к категории труда средней степени тяжести и характеризуется выполнением работы (более 50 % времени рабочей смены) на открытом воздухе. Обработка данных заключалась в расчете суточной энергетической стоимости потребленных продуктов питания для каждого опрошенного работника в течение трех дней и нахождением усредненной суточной величины. После обработки всех анкет, был проведен сравнительный анализ полученных величин с учетом периода проведения анкетирования.

По результатам проведенного исследования, можно утверждать, что в зимний период средняя величина

энергетической ценности рациона питания работников составляет, в среднем, 2378 ккал ( $t = -35^{\circ}\text{C}$ ), что превышает на 26 % величину энергетической ценности рациона питания работников, опрошенных в летний период, в среднем, 1877 ккал ( $t = +7^{\circ}\text{C}$ ). Подтверждение гипотезы о сезонном изменении энергетических затрат работников, осуществляющих свою трудовую деятельность в северных условиях, определяется необходимостью сравнением полученных результатов с выводами исследований других авторов. В работе [Кандрор 1968], авторами проведено исследование нерегулируемого питания солдат, труд которых относится к категории тяжелого и очень тяжелого. Несмотря на различную степень тяжести труда опрашиваемых работников (труд которых, как упоминалось ранее, относится к категории средней тяжести) и группы солдат, и, соответственно, различную потребность в пище, полученные результаты качественно согласуются, что говорит о существовании общей закономерности и возможности использования экспериментальных данных из работ [Галкин 2010, Кандрор 1968, Методическими рекомендациями... 1984] для последующего анализа влияния энергетических затрат при выполнении трудовых операций на сезонность уровня травматизма работников нефтегазовых предприятий северного региона.

### Литература

- Бартон А., Эдхолм О. – М.: изд.Иностранной литературы, 1957. -364 С.
- Борискин В.В. Жизнь человека в Арктике и Антарктике. – Л.: Медицина, 1973.- 199 С.
- Волович В. Г. Энциклопедия выживания. – М.: изд. Терра - Книжный клуб, 2001.- С. 126-128
- Галкин А. Ф. Энергетический критерий оценки травмоопасности рабочих профессий при разработке месторождений Севера / А. Ф. Галкин, Н. С. Заболоцкая // Горный информационно-аналитический бюллетень, ОВ «Безопасность» № 6. М.: Изд-во МГГУ, 2008.- С.36-45.
- Галкин А. Ф. Энергетическая оценка травмоопасности труда на Севере/ А. Ф. Галкин, Р. Г. Хусаинова // Материалы IX Всероссийского конгресса. Москва, 24-26 ноября 2010 г. – М.: изд. НИИ МТ РАН, 2010.- С. 117-118.
- Галкин А. Ф. Тепловой режим подземных сооружений. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. -304 С.
- Кандрор И.С. Очерки по физиологии и гигиене человека на Крайнем Севере. – М., 1968. - 280 С. Бартон А. Человек в условиях холода /
- Методическими рекомендациями по вопросам изучения фактического питания и состояния здоровья населения в связи с характером питания – М.: Минздрав СССР. N 2967-84, 1984 г.

## Исследования прочностных свойств оттаивающих грунтов

М.Н.Царапов

Геологический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Анализ материалов по исследованию прочностных характеристик оттаивающих грунтов показал, что, несмотря на проведенные теоретические и экспериментальные исследования, целый ряд вопросов по изучению формирования прочностных характеристик оттаивающих грунтов при сдвиге остается нерешенным [Бондаренко 1982, Шушерина и 1983].

Проведенный анализ накопленного материала позволил выделить ряд факторов, влияющих на формирование механических свойств оттаивающих грунтов. Условно их можно разделить на две группы: внутренние и внешние. К внутренним факторам относятся гранулометрический состав, минеральный состав, строение, физические характеристики грунта, к внешним - условия оттаивания (влияющие на скорость оттаивания) и условия испытаний (закрытая или открытая схема испытаний, наличие или отсутствие порового давления, режим нагружения). Влияние перечисленных факторов на формирование прочностных свойств до сих пор остаются невыясненными.

Выполнение исследований проводилось по методике определения прочностных свойств оттаивающих грунтов при сдвиге в условиях одноплоскостного среза, позволяющей получить их минимальные значения [Царапов 2007].

Сдвиг проводился по границе оттаивания по схеме неконсолидированного-недренированного испытания с трехкратной повторностью при каждом значении вертикальной нагрузки, задаваемой на штамп рычажным прессом. Горизонтальная сдвигающая нагрузка прикладывалась быстро (в течение 30-60 сек) в момент достижения границы оттаивания на 2-3 мм ниже задаваемой плоскости сдвига. Схема прибора представлена на рис.1

Выявлено количественное перераспределение влажности и плотности в пределах глубины оттаивающего слоя, которое более существенно в глинистых грунтах по сравнению с песчаными грунтами. Наиболее существенное увеличение влагосодержания отмечается в зоне, примыкающей к границе оттаивания, образуя переувлажненный слой, который воспринимает нормальную и сдвиговую нагрузку, как скелетом грунта, так и поровой влагой. В этом слое возникает поровое давление, которое в начальные моменты формирования приконтактной зоны близко к величине нормального давления. На границе оттаивания выделены в зависимости от особенностей формирования прочностных характеристик три характерных слоя оттаивающего грунта (рис.2). Первый консолидированный слой оттаявшего грунта (степень консолидации близка к единице); второй – приконтактный слой (частично консолидированный); третий слой – на границе оттаивания (практически

неконсолидированный). Параллельно по глубине оттаивания замерялось поровое давление ( $U_w$ ).

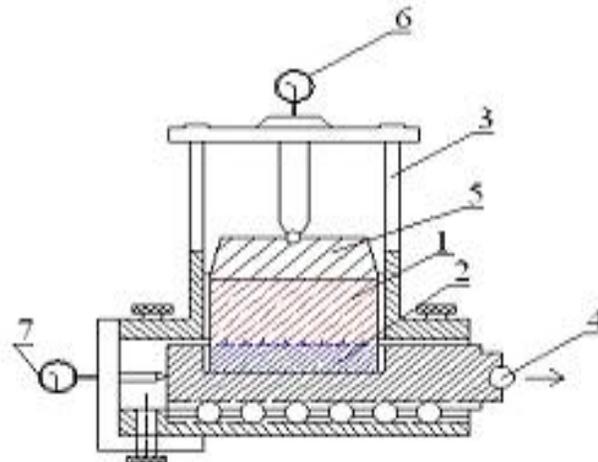


Рис.1. Схема сдвигового прибора: 1 – верхняя обойма с оттаивающим грунтом; 2 – нижняя обойма с мерзлым грунтом; 3 – устройство передачи нормальной нагрузки; 4 – устройство передачи сдвиговой нагрузки; 5 – теплый штамп; 6 – индикатор часового типа для измерения осадки; 7 – индикатор часового типа для измерения деформации сдвига.

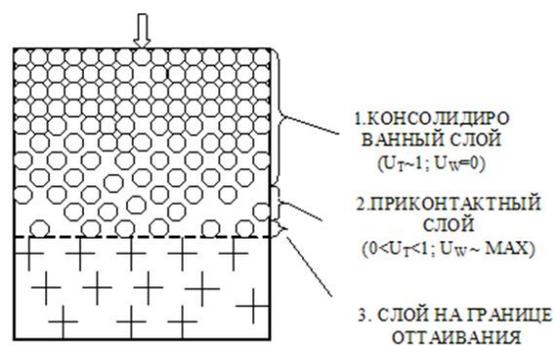


Рис.2. Характерные слои оттаивающего грунта

Характерный пример его изменения для суглинка приведен на рис.3. Получено, что самое высокое значение порового давления возникает в третьем слое – на границе оттаивания. Минимальные значения прочностных характеристик наблюдаются в неконсолидированном слое. Однако в этом слое оказывает сопротивление сдвигу поровое давление. Его быстрое рассеивание, благодаря повышенной фильтрации оттаявшей влаги, приводит к уменьшению сопротивления сдвигу. С другой стороны уплотнение частиц оттаявшего грунта, происходящих под действием сил гравитации, повышает прочность.

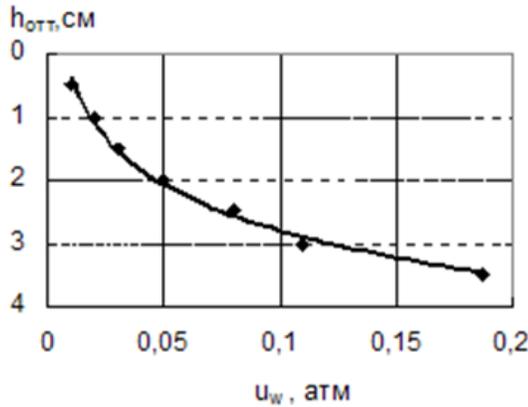


Рис.3. Эпюра распределения порового давления по глубине оттаивающего образца.

На рис.4 представлен график зависимости сопротивления сдвигу оттаивающей глины от общих напряжений и эффективных напряжений с учетом порового давления и пористости.

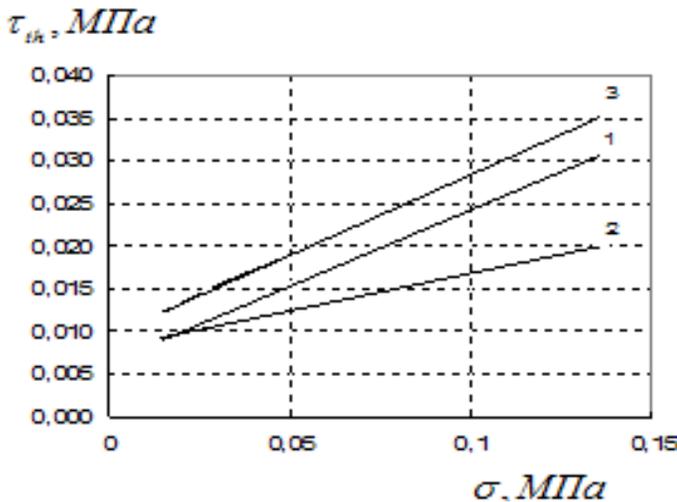


Рис.4. Зависимость сопротивления сдвигу оттаивающего грунта (глина) от:

- 1- общих напряжений ( $\sigma$ ); 2- эффективных напряжений ( $\sigma_s$ ) с учетом порового давления ( $u_w$ ) и пористости ( $n$ ); 3 – эффективных напряжений ( $\sigma_s$ ) с учетом только порового давления.

Установлено, что в оттаивающих глинистых грунтах в водонасыщенном состоянии учет порового давления совместно с пористостью неоднозначно влияет на показатели прочности при сдвиге: увеличивая сцепление и уменьшая коэффициент трения. Влияние порового давления без учета пористости приводит к увеличению сцепления, не влияя при этом на коэффициент трения.

### Литература

Бондаренко, Г.И. 1982. Исследование сопротивления сдвигу и влажности сезоннооттаивающих грунтов откосов и склонов. *Реология грунтов и инженерное мерзлотоведение*. Москва: издательство “Наука”, 101-107.

Шушерина, Е.П. & Максимьяк, Р.В. & Мартынова, Г.П. & Кирхгоф, Т.А. 1983. Исследование сопротивления сдвигу оттаивающих глинистых грунтов. *Мерзлотные исследования*. Москва: Издательство “МГУ”, 154-164.

Царапов, М.Н. 2007. Методика определения прочностных характеристик оттаивающих грунтов с учетом порового давления. *Основания, фундаменты и механика грунтов* 4: 16-19.

## Методика выбора оптимального размещения трассы нефтепровода на местности на основе использования стоимостных инженерно-геокриологических карт ( на примере надземного участка нефтепровода Ванкор-Пурпе)

М.Ю.Чербунина, Л.Н. Хрусталева

*Геологический факультет, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

### Введение

Многочисленные аварии на нефтепроводах в криолитозоне обусловлены недостаточным учетом при проектировании мерзлотно-геологических условий трасс, отсутствии оценок надежности принимаемых проектных решений и методик прогноза возможных опасностей и цены риска. В данной работе рассматривается подход к оценке и оптимизации надежности геотехнической системы нефтепровод – окружающая среда, что приведет к повышению ее качества на основе разрабатываемых методов учета мерзлотно-геологических условий при проектировании нефтепроводов с использованием положений теории надежности.

Целью вероятностно-статистических расчетов является прогноз, оценка и управление надежностью геотехнической системы. В расчетах используется аналитический способ оценки надежности. Надежность нефтепроводной системы во многом зависит от способа прокладки труб. Описывается методика выбора оптимального размещения трассы нефтепровода на местности и способа его прокладки на основе использования стоимостных инженерно-геокриологических карт.

### Терминология

Под геотехнической системой понимается инженерное сооружение и взаимодействующая с ним геологическая среда. Под надежностью нефтепроводной системы понимается ее способность воспринимать всю совокупность внешних воздействий (природно-климатических и техногенных, тепловых и механических) в течение заданного срока с обеспечением нормальной эксплуатации (работоспособности) системы. Она оценивается вероятностью отсутствия отказа системы (аварии) в течение заданного срока эксплуатации. Опасность аварии также есть случайная величина, которая измеряется дополнением до единицы надежности. Математическое ожидание затрат на ликвидацию аварий и связанных с ней экологических последствий принято называть ценой риска.

### Формулировка задачи

Итак, решение поставленной задачи состоит из следующих этапов:

1. Аналитический метод расчета надежности
2. Оптимизация надежности.
3. Составление стоимостной инженерно-геокриологической карты

Выбор оптимальной трассы прокладки надземного нефтепровода на примере участка нефтепровода Ванкор-Пурпе

Рассмотрим участок существующей трассы нефтепровода «Ванкорское месторождение – НПС «Пурпе», протяженностью около 10 км. Выбранный участок нефтепровода «Ванкорское месторождение – НПС «Пурпе» расположен в Тюменской области и начинается на северо-востоке примерно в 20 км от границы Тюменской области с Красноярским краем. Участок проектируемой трассы нефтепровода расположен в зоне развития мощной толщи многолетнемерзлых пород (до 200-400 м).участок относится к Таз – Енисейской области. Одной из характерных черт области является ее исключительно сильная заболоченность и заозерненность Среднегодовая температура грунтов и изменяется от минус 2,4°С до минус 0,1°С. Участок характеризуется в основном прерывистым распространением многолетнемерзлых пород. Непрерывная протяженность участков, сложенных тальными породами, согласно материалам инженерно-геологических изысканий, достигает 0,5-1,3 км .Распространение многолетнемерзлых пород по профилю составляет от 75 до 90 %. На отдельных, достаточно протяженных участках трассы, многолетнемерзлые породы не смыкаются со слоем сезонного промерзания – т.е. отмечаются участки с заглубленной кровлей многолетнемерзлых пород. Проектом предусматривается надземная прокладка нефтепровода на свайных фундаментах.

Территория, по которой проходит рассматриваемый нефтепровод, расчленяется на 12 инженерно-геокриологических участков (на карте номер участка обозначает тип разреза литологический, штриховка глубину залегания ММП, буква –температура пород). Для каждого из выделенных участков рассчитывается оптимальная суммарная стоимость. Также определяются соответствующие этой стоимости надежность основания, глубина предварительного промораживания грунта и длина свай, которые являются главными управляющими параметрами основания [*Пример расчета приведен в статье «Методика оценки надежности магистральных нефтепроводов.» Л.Н. Хрусталева, М.Ю. Чербунина // Криосфера земли, 2010, Том XIV, № 3, с. 69-76*].

На каждый участок наносится Суммарная минимальная стоимость (Ссум), надежность (Р), Глубина предварительного промораживания-протаивания грунта (Нпр) , длина свай (l) (рис.1). Далее, производится выбор оптимального решения по прокладке трубопровода путем наложения на карту различных вариантов трассы. Находится оптимальный вариант прокладки трассы.

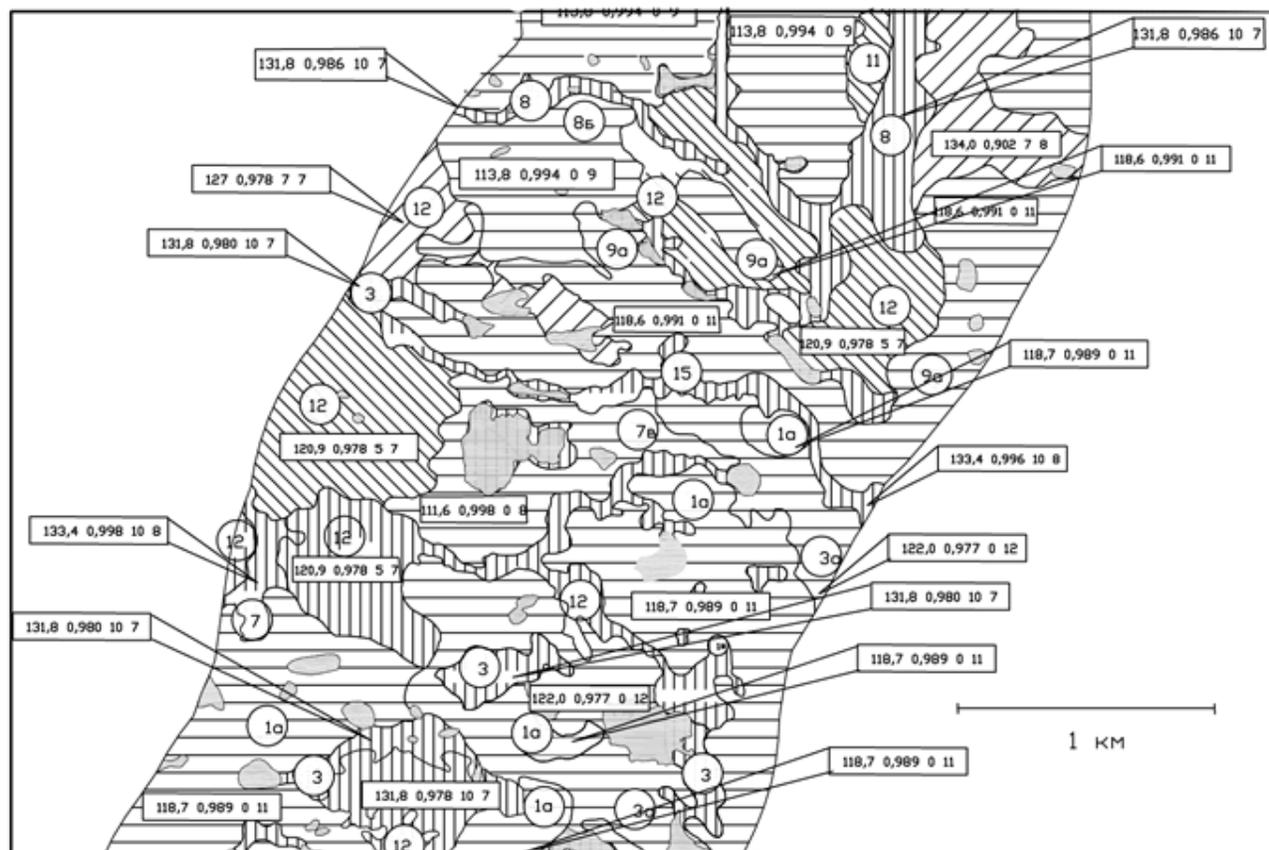


Рис.1. Фрагмент стоимостной инженерно-геокриологической карты участка нефтепровода Ванкор-Пурпе.

## Заключение

Предложенная методика оценки надежности магистральных нефтепроводов в криолитозоне позволяет учитывать стохастическую неоднородность системы «нефтепровод – вечномерзлое основание» и действующих на нее нагрузок, управлять качеством этой системы, предусматривать ее возможные аварии и материально (в условных единицах) оценивать их последствия.

Сформулирована оптимизационная задача – сумма затрат на создание системы и цены риска стремятся к минимуму, решение которой позволяет найти оптимальный вариант оптимальный способ прокладки и соответствующие ему конструктивные параметры

Предложена методика составления стоимостных карт для выбора оптимальных решений при прокладке нефтепровода в криолитозоне

На примере участка трассы Ванкор-Пурпе выбрана альтернативная оптимальная трасса для прокладки нефтепровода и ее конструктивные параметры.

## Литература

- СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М.: Стройиздат, 1990. 53 с.
- Хрусталева Л.Н., Пустовойт Г.П. Вероятностно-статистические расчеты оснований зданий в криолитозоне. Новосибирск: Наука, 1988. 253 с.
- Хрусталева Л.Н., Чербунина М.Ю. Методика оценки надежности магистральных нефтепроводов. // Криосфера земли, 2010, Том XIV, № 3, с. 69-76

## Опыт применения методов скважинной геофизики для исследования растепления многолетнемерзлых пород вблизи добычных нефтяных скважин на кустовых площадках месторождений Западной Сибири

А.О. Черепанов  
ООО «Радионда», Москва, Россия

Разработка нефти в районах Крайнего севера ведется с помощью кустового бурения. В добычном цикле участвуют нагнетательные скважины, через устье которых прокачивается под давлением разогретый раствор с температурой до 120°C. В процессе эксплуатации такого объекта происходит тепловое взаимодействие с грунтами, что приводит к изменению геокриологических условий. Образуется зона протаивания, которая может перерасти в термокарстовую воронку. Слияние таких зон вокруг эксплуатационных скважин недопустимо, так как это крайне неблагоприятный фактор для устойчивости и долговечности объектов кустовой площадки.

В докладе рассматриваются результаты применения комплекса методов скважинной геофизики. В период с 2010 по 2011 год научно-производственной компанией ООО «Радионда» на ряде действующих месторождений, расположенных в пределах Красноярского края и Ямало-Ненецкого автономного округа, за Полярным кругом, проведены работы с целью изучения геокриологического строения верхней части разреза и оценка процесса растепления многолетнемерзлых пород (ММП) на кустовых площадках действующих месторождений.

Геофизические исследования скважин включали:

- Скважинную термометрию;
- Гамма – каротаж (ГК);
- Электромагнитный каротаж методом односкважинного радиоволнового профилирования (ОРВП);
- Исследование межскважинного пространства с помощью метода радиоволновой геоинтроскопии (РВГИ)

На кустовой площадке первого месторождения факт наличия растепления подтвердился положительными аномалиями температуры в наблюдательной скважине, расположенной в непосредственной близости от высокотемпературной нагнетательной скважины. Для остальных исследовательских скважин, удаленных от источника тепла, температура была отрицательной (рис. 1а). На рисунке 3 дан план расположения скважин.

Для литологического расчленения пород использовался гамма – каротаж, выявивший резкое различие пластов по уровню глинистости. Значение естественной радиоактивности ( $\gamma$ ), не зависит от мерзло – талого состояния пород.

ОРВП является высокочастотным электромагнитным методом, каротажа сопротивлений, но, в отличие от каротажа сопротивлений, данный метод может использоваться в сухих и обсаженных полиэтиленовыми трубами скважинах, а по отношению к методу индукционного каротажа имеет расширенный диапазон в сторону высоких сопротивлений, что позволяет применять его для изучения ММП.

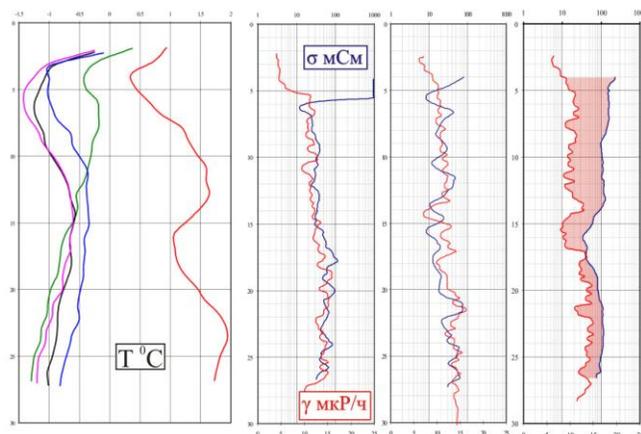


Рис 1. Сопоставление данных: скважинной термометрии (1а), гамма-каротажа и ОРВП (1б).

При сопоставлении данных ОРВП и ГК, была установлена тесная корреляция между электрическими свойствами и глинистостью. В скважинах, где зафиксирован процесс растепления, отмечается аномальное увеличение электропроводности (красная область на рис.1б). Таким образом, электрические характеристики пород зависят не только от литологической типа пород, но и от их физического состояния.

Для изучения межскважинного пространства использовался метод радиоволновой геоинтроскопии (РВГИ), основанный на изучении интенсивности поглощения энергии радиоволн породами, расположенными на пути распространения волны от излучателя к приемнику поля (породы с низкими значениями  $\rho_{эфф}$  и  $\epsilon_{эфф}$  характеризуются большим поглощения радиоволн). Веерная схема измерений обеспечивает высокую плотность исследований (рис.2).

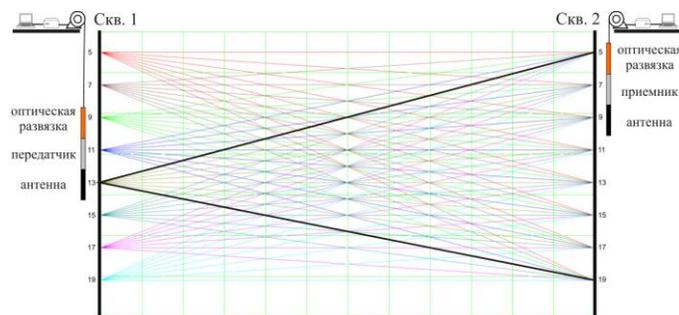


Рис.2. Веерная схема измерений.

При интерпретации, межскважинное пространство разбивается на равные ячейки. Многократное пересечение

лучей в пределах каждой ячейки дает возможность рассчитать эффективное электрическое сопротивление.

Обработка данных РВГИ проводится известными способами [Рэдклифф 1979] с помощью пакетов программ, разработанных в ООО «Радионда».

На рисунке 3 представлены пример фрагментов объемной геоэлектрической карты, выполненной с помощью волнового алгоритма обработки. Сравнение данных РВГИ с данными каротажа позволяют соотнести низкоомные области (Т) с областью распространения таких пород вблизи высокотемпературной нагнетательной скважины.

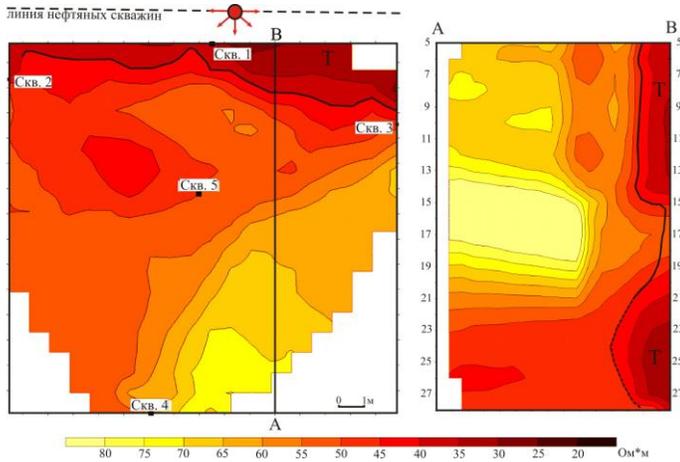


Рис.3. Фрагменты объемной геоэлектрической карты (горизонтальный план на глубине 13м и разрез по линии АВ).

Измерения с помощью метода РВГИ в диапазоне частот 5...31 МГц при их совместной обработке позволили впервые построить объемную карту относительной диэлектрической проницаемости (рис.4). Как известно,  $\epsilon$  воды и льда отличается, в таком диапазоне частот, в 40 раз, что позволяет применять этот параметр для оценки мерзло – талого состояния пород в основании кустовых площадок.

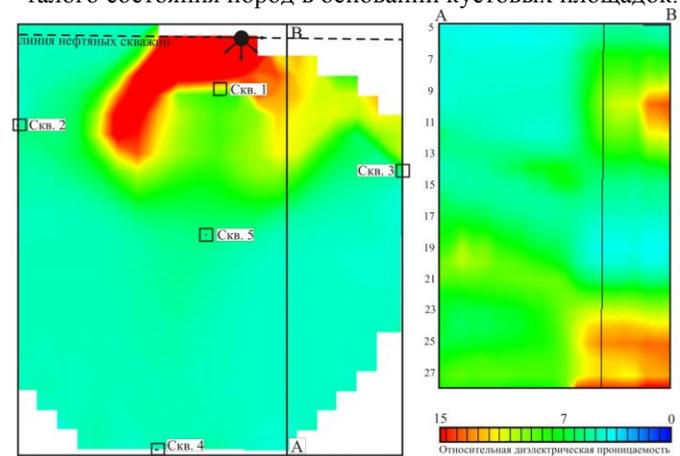


Рис.4. Фрагменты объемной карты относительной диэлектрической проницаемости. (горизонтальный план на глубине 10м и разрез по линии АВ)

На другом месторождении при изысканиях под кустовые площадки, описанный комплекс сопровождался отбором образцов керна для последующего лабораторного изучения в мерзлом и талом состоянии петрофизических и теплофизических свойств (коэфф. температуропроводности ( $\alpha$ ), коэфф. теплопроводности ( $\lambda$ ), объемная теплоемкость ( $C_p$ )). Анализ совокупности полученных данных, позволил выявить соответствие между отдельными инженерно-геологическими элементами (ИГЭ) и геофизическими данными ( $\rho_{эфф}, \epsilon_{эфф}, \gamma$ ). (Бомкин С.В.)

Таблица 1. Параметры инженерно-геологических элементов.

	$\rho_k$ Ом·м	$\epsilon$	$\gamma$ мкР/ч	$\rho$ г/см <sup>3</sup>	$\alpha$ м <sup>2</sup> /с	$\lambda$ Вт/м·К	$C$ Дж/м <sup>3</sup> К
ИГЭ1	400	6	6	1.96	1.14	2.15	2.59
ИГЭ2	30	30	13	1.97	0.63	1.46	3.01
ИГЭ3	90	10	10	2.24	0.86	1.92	2.87

На основе этих исследований и данных РВГИ была построена реальная объемная теплофизическая модель проектируемого участка работ, которая являлась материалом для расчета процесса растепления при эксплуатации объекта с помощью численных математических методов.

Обобщая результаты проведенных работ, можно сделать основные выводы о том, что предложенный комплекс:

- Позволяет оценить мерзло – талое состояние грунтов кустовых площадок в условиях сложного геологического строения верхней части ММП;
- Объемное исследование пород в непосредственной близости от эксплуатирующихся скважин, позволит проводить мониторинг состояния кустовых площадок, проследить динамику и пространственное распространение процесса растепления.
- Информация, получаемая с помощью межскважинных методов, необходима для математического моделирования меняющегося теплового режима вблизи эксплуатационных скважин.

### Литература

Борисов Б.Ф., Истратов В.А., Лысов М.Г. Способ радиоволнового межскважинного просвечивания: Патент России №2084930 от 22.07.93.  
 Истратов В.А., Колбенков А.В., Перекалин С.О., Скринник А.В., 2010, Радиоволновой метод мониторинга процесса скважинного подземного выщелачивания на месторождения урана. Геофизика, 4: 59 – 68.  
 Рэдклифф Р.Д. & Баланис К.А., 1979, Геофизические применения алгоритмов восстановления в присутствии шумов: ТИИЭР, 67, 7: 98-102.  
 Istratov V.A., Frolov A.D., 2003, Radio wave borehole measurements to determine in situ the electric property distribution in massif: J. Geophys. Res. –Planets, 108, E4.

## Оценка ущерба от криогенных процессов и проблема страхования их последствий для территории РФ

И.В. Чеснокова

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

На территории Российской Федерации за год в среднем происходит до 250 событий чрезвычайного характера, связанных с опасными природными процессами.

Для всей территории России нами были выполнены экспертные оценки значений среднесноголетнего ущерба от наиболее опасных процессов. Так, на рис.1 показаны эти значения для Северного экономического района.

Проанализировав 13 основных ущербобразующих процессов на территории РФ, мы пришли к выводу, что среднесноголетний ущерб от них составляет около 15 млрд. долларов (таблица 1).

Табл. 1. Значения среднесноголетнего ущерба от основных опасных природных процессов на территории РФ.

Процессы	Ущерб, в млн.\$ US
Наводнения	2793,6
Мерзлотные процессы	2478,0
Оползни, обвалы	2160,0
Землетрясения	1720,0
Ураганы, циклоны	320,0
Цунами	40,0
Лавины	13,2
Сели	40,0
Абразия	47,0
Карст	676,0
Эрозия	364,0
Подтопление	3546,0
Просадочность	454,0
Всего:	14652,0

Согласно ранее проведенным исследованиям [Кофф, Чеснокова, 1998] установлено, что размеры ущербов зависят, в первую очередь, от приуроченности территории соответствующего экономического района или субъекта Российской Федерации к определенным массивам пород и, во вторую очередь, от интенсивности и распространенности процессов техногенеза. Наиболее ущербобразующие процессы доминируют в экономических районах со специфическими классами характеристических массивов. Это в первую очередь относится к сейсмическим районам и районам развития многолетнемерзлых пород.

Анализ особенностей состава, строения и свойств характеристических массивов и определяемого ими ущербобразования, проявляющегося при взаимодействии техно-генеза с характеристическими массивами, показывает, что последние отличаются по некоторым инвариантным свойствам геологической среды. Эти отличия представлены в виде рейтингов свойств. Их

первое место отображает максимальное, а последнее минимальное проявление соответствующего свойства.

Анализ экспертных оценок социально-экономических ущербов, формирующихся внутри экономических районов является сложной научной задачей. Это объясняется тем, что некоторые оценки ущерба соответствуют наблюдаемым актуальным ущербам, в то время как другие оценки носят лишь прогнозный характер. Ущерб от многих процессов особенно геокриологических предотвращается поэтапно, поэтому конечная оценка потерь оказывается часто намного заниженной. Очень редко проводится анализ и расчет косвенного ущерба, ущерба от вторичных воздействий, что также снижает общую оценку ущерба. По ряду сложных территорий не ведется мониторинг не только потерь, но часто и проявления опасных геокриологических процессов, что также лишает полученные результаты достаточной фактической базы.

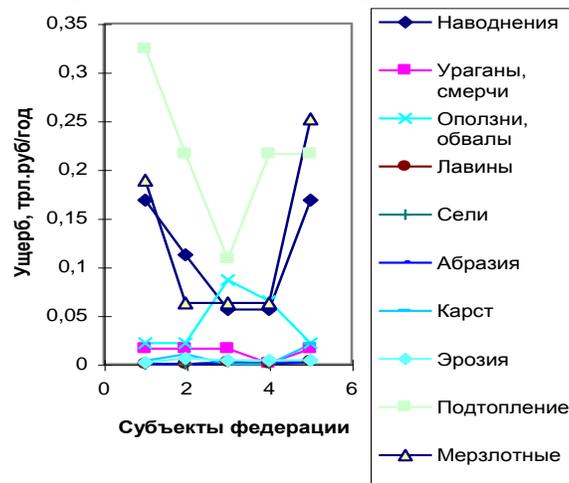


Рис.1 Среднесноголетний социально-экономический ущерб от последствий опасных природных процессов в Северном экономическом районе. 1 – Архангельская область, 2– Вологодская область, 3– Мурманская область, 4 – Республика Карелия, 5 – Республика Коми

Следует также подчеркнуть, что формирование ущербов связано с теми или иными ошибками деятельности. Поэтому потери, как правило, определяются не только первоначальной “конфигурацией” взаимодействия техногенеза и совокупности массивов, но и траекторией социально-экономического развития территории, включая управление природопользованием. А ее задает человек, формируя строительные нормы и правила, проекты, отображая свойства массивов и результаты их взаимодействия с объектами техногенеза так, как он понимает их на момент планирования, проектирования и изысканий.

Принципиальной позицией при проведении такой работы является дифференциация территории по степени социально-экономической ценности. Последовательность действий при такой оценке территории может быть представлена в следующем виде.

1. Общая геокриологическая оценка территории.
2. Социально-экономическая оценка территории.
3. Экономическая оценка территории - оценка ущербов от отдельных опасных процессов.
4. Оценка территорий по суммарному риску.
5. Определение страховых рейтингов территорий.

Рассматривая территорию России как земельные и территориальные ресурсы мы подходим к определению соответствующих страховых индексов территории. Страховой индекс отражает, прежде всего, степень вероятности (риска) возникновения опасных, в том числе экстремальных геокриологических процессов на данной территории и степень ее устойчивости (уязвимости) по отношению к этим процессам. А точнее, степень возможности нанесения этими процессами ущерба основным промышленным фондам и населению. Поскольку промышленность и население неравномерно распределены по территории, то и страховые индексы определяются преимущественно для крупных узлов (центров, очагов) расселения в экономических районах России. К таковым относятся городские агломерации и центры экономических регионов.

Рассматривая экзоморфодинамические и геокриологические условия территорий, значения риска для промышленных фондов и населения, набор наиболее ущербобразующих процессов, можно говорить о страховом индексе территории, который показывает степень риска и величину страховой ставки. Он же и определяет очередность регионов (территорий), нуждающихся в обеспечении безопасности и проведении страхования от наиболее ущербобразующих геокриологических процессов.

Сбор, систематизация и анализ данных о проявлении опасных геокриологических процессов дает возможность страховщику определить размеры опасности для каждого региона и допустимый уровень риска, адекватный тарифной ставке и ресурсам страхового фонда.

Как мы уже отмечали, в проведении мероприятий по обеспечению безопасности, в первую очередь, нуждаются регионы, расположенные в зоне повышенной сейсмичности, и в зонах, где опасным и потенциально опасным мерзлотным процессам подвержено 30-50% площади (страховой индекс I-II).

Другая не менее важная проблема - это проблема уязвимости. И если относительно геологической среды и техногенеза у нас существуют целостное представление, то проблема уязвимости социосферы (по отношению к опасным геокриологическим процессам) еще мало изучена. Она тесно связана с проблемой отношения людей к природному риску. В работах социологов анализируется отношение людей к риску, которое является производной от их мировоззрения и жизненных обстоятельств.

Экономические механизмы снижения опасности социальных потерь, разрушения зданий и сооружений, загрязнения окружающей среды при развитии комплекса опасных геокриологических процессов должны быть ориентированы, с одной стороны, на снижение уровня опасности, с другой, - на создание новых эффективных

источников финансирования соответствующих мероприятий в северных регионах.

Необходимость решения задач информационного обеспечения страхования от последствий проявления опасных геокриологических процессов требует привлечения геоинформационных систем, но не только для визуализации получаемой информации, а для решения конкретных научных и практических задач.

Для получения конкретных результатов в первую очередь для урбанизированных территорий необходимо информационное обеспечение [Chesnokova, 2011] которое, включает в себя сведения о следующих основных группах показателей:

- данные о сейсмической опасности территории с учетом ее региональных и локальных особенностей, информация о структурно-тектоническом строении и активности;
- информацию об инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условиях;
- информацию об уязвимости территории города в целом, отдельных зданий и сооружений, об инженерной инфраструктуре по отношению к опасным процессам, включая информацию о потенциальных вторичных техногенных воздействиях, их величине, условиях проявления;
- информацию о социальной характеристике городской среды, численности и плотности населения, возрасте, профессиях, суточной и сезонной миграции, степени подготовленности к опасным процессам, о составе и расстановке сил спасения и жизнеобеспечения.
- информацию по частным и интегральным показателям риска, включающая вероятностную оценку последствий проявления опасных процессов.

В заключение следует отметить следующее:

- страхование от последствий проявления опасных геокриологических процессов является современной и очень актуальной проблемой, интересным научным объектом для изучения,
- страхование от опасных процессов является проблемой международной,
- ни одно другое направление в страховании не сводит вместе столько ученых и специалистов разных профессий (геокриологов, геологов, сейсмологов, экономистов, строителей, страховых экспертов и др.),
- социальное значение страхования от опасных геокриологических процессов очень велико. Оно позволяет осуществлять быстрое восстановление зданий, экономики, а главное - восстановление нормальной человеческой жизни.

## Литература

- Кофф Г.Л., Чеснокова И.В. Информационное обеспечение страхования от опасных природных процессов. – М.: ПОЛТЕКС, 1998, 168 с.
- Chesnokova I.V. The Role of Natural Risk Insurance in Providing the Population Safety Environmental Geosciences and Engineering Survey for Territory Protection and Population Safety. – Moscow, Russia, 2011, p.236.

## Влияние низких температур воздуха на расход топлива автомобилей, эксплуатирующихся на компримированном природном газе и бензине

Е.М. Чикишев

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, Российская Федерация

### Аннотация

Рассмотрены вопросы влияния низких температур окружающего воздуха на расход топлива автомобилей, работающих на компримированном природном газе и бензине. Получены графические зависимости. Предложены математические модели, описывающие эти зависимости. Сделан вывод о том, какое из рассмотренных топлив менее восприимчиво к изменению температуры воздуха с точки зрения топливной экономичности.

**Ключевые Слова:** бензин, низкие температуры воздуха, расход топлива, сжатый природный газ.

На сегодняшний день всё большее количество транспортных средств оснащается газобаллонным оборудованием, работающим на компримированном (сжатом) природном газе (КПГ), который является самым реальным и перспективно развивающимся направлением в вопросе сбережения традиционных нефтяных моторных топлив. К тому же природный газ при сгорании в двигателях выделяет меньшее количество вредных веществ с отработавшими газами по сравнению с нефтяными моторными топливами.

До полномасштабной газификации транспорта в нашей стране есть определённое время. Однако те проблемы, с которыми сталкиваются при применении природного газа в качестве моторного топлива, необходимо решать уже сейчас.

Например, при эксплуатации транспорта в России большое внимание уделяется природно-климатическим факторам. А учитывая то, что зона холодного климата занимает самую большую часть территории нашей страны – около 70 % (центральные и северные части России, Западная Сибирь, Восточная Сибирь и Дальний Восток), следовательно, на значительной части России преобладают низкие температуры окружающего воздуха.

В частности при низкотемпературной эксплуатации транспорта происходит изменение расхода топлива. Данные изменения приводят к неверной корректировке норм и нормативов технической эксплуатации, в том числе – норм расхода топлива. Более объективную корректировку нормирования топлива можно получить, основываясь на приспособленности автомобилей при работе на КПГ и бензине к условиям низких температур воздуха. Эта оценка позволит выявить, при работе на каком топливе (бензине или природном газе) автомобиль более приспособлен к температурному изменению условий эксплуатации.

На кафедре «Эксплуатация автомобильного транспорта» ТюмГНГУ были проведены стендовые испытания на двигателе ЗМЗ-4062.10. (с тормозным устройством, состоящим из балансирующей машины АКБ 92-4 (двигатель-генератор постоянного тока), весового устройства ВКМ-32 типа РП-10 Ш13 и жидкостного реостата), работающего на бензине и КПГ. Выбор, в качестве предмета исследования данного двигателя обусловлен тем, что он устанавливается на микроавтобусы

семейства «ГАЗель», частности на ГАЗ-32213. Данный автомобиль имеет широкое применение в нашей стране при перевозке пассажиров и грузов.

Расход бензина измерялся расходомером, состоящим из измерительной колбы встроенной в бензопровод. Расход природного газа рассчитывался согласно справочным таблицам [РД 3112199-1095-03 2002].

По результатам обработки стендовых испытаний были построены графические зависимости (рис.1-3) влияния температуры окружающего воздуха на расход топлива, из которых можно сделать вывод: минимальный расход топлива на бензине достигается при температурах воздуха от минус 5 до +15°C, а на природном газе от минус 10 до +15°C в зависимости от режима работы двигателя. При отклонении от оптимума расход топлива увеличивается. Стоит так же указать, что при прочих равных условиях расход сжатого газа немного выше, чем бензина. В Распоряжении [Распоряжение от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р 2008] указывается, что 1 л бензина соответствует 1 +/- 0,1 м<sup>3</sup> КПГ (в зависимости от свойств природного газа). Следовательно, это небольшое увеличение расхода газа можно объяснить его химическим составом.

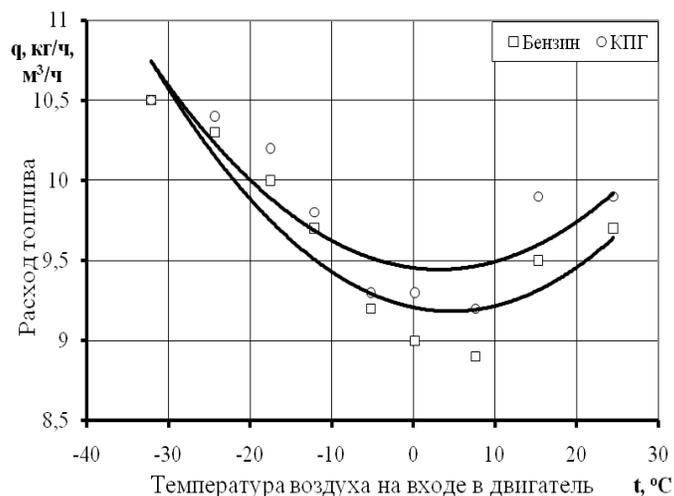


Рис.1. Зависимость изменения расхода топлива от температуры воздуха на входе в двигатель при  $P = 26,4 \text{ кВт}$ ,  $n = 2500 \text{ мин}^{-1}$

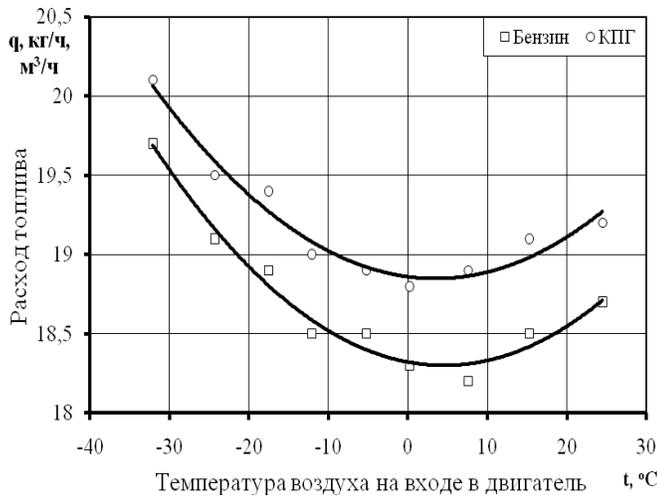


Рис.2. Зависимость изменения расхода топлива от температуры воздуха на входе в двигатель при P = 57,2 кВт, n = 2650 мин<sup>-1</sup>

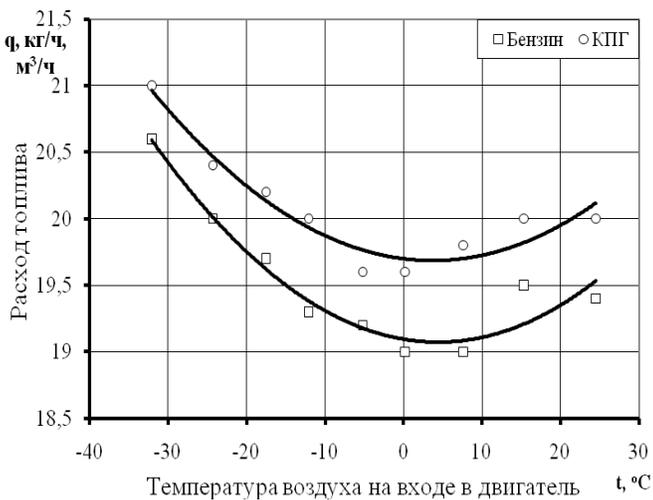


Рис.3. Зависимость изменения расхода топлива от температуры воздуха на входе в двигатель при P = 64,7 кВт, n = 3000 мин<sup>-1</sup>

В результате обработки экспериментальных данных получены численные значения параметров входящих в математические модели (при помощи программы «Regress 2.5») влияния температуры воздуха на входе в двигатель на изменение расхода топлива.

При нагрузке на двигатель (P) = 26,4 кВт и частоте вращения коленчатого вала (n) = 2500 мин<sup>-1</sup> уравнения изменения расхода топлива имеют вид (рис.1):

на бензине:  $q_m = 9,18 + 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot (t_\phi - 5)^2$ , (1)

на КПГ:  $q_m = 9,44 + 1,05 \cdot 10^{-3} \cdot (t_\phi - 3)^2$ . (2)

При P=57,2 кВт, n=2650 мин<sup>-1</sup> (рис.2) имеют вид:

на бензине:  $q_m = 18,30 + 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot (t_\phi - 5)^2$ , (3)

на КПГ:  $q_m = 18,85 + 9,60 \cdot 10^{-4} \cdot (t_\phi - 3)^2$ . (4)

При P=64,7 кВт, n=3000 мин<sup>-1</sup> (рис.3) имеют вид:

на бензине:  $q_m = 19,07 + 1,14 \cdot 10^{-3} \cdot (t_\phi - 4)^2$ , (5)

на КПГ:  $q_m = 19,69 + 9,98 \cdot 10^{-4} \cdot (t_\phi - 4)^2$ . (6)

Численные значения коэффициентов корреляции уравнений изменения расхода топлива для различных режимов работы двигателя составили: q – 0,85...0,98, а коэффициента детерминации для q – 0,76...0,98.

В работах Резника Л. Г., Карнаухова В. Н., Захарова Д. А. и других представлены графические зависимости расхода топлива, при изменении температуры окружающего воздуха, бензиновых двигателей, из которых видно, что они имеют U-образный вид. В данном исследовании получены аналогичные зависимости применительно к сжатому природному газу.

Проанализировав полученные зависимости можно прийти к следующему выводу: так как графические зависимости КПГ носят менее выраженный U-образный характер, чем у бензина, то, следовательно, природный газ менее восприимчив к изменению температуры окружающего воздуха, по сравнению с бензином с точки зрения топливной экономичности. А это значит, что автомобили «ГАЗель» с двигателем ЗМЗ-4062.10, которые эксплуатируются на КПГ, при прочих равных условиях, более приспособлены к изменению температурных условий, чем при работе на бензине

### Благодарности

Хочу выразить огромную благодарность Анисимову Илье Александровичу за помощь в проведении экспериментальных исследований.

### Литература

Распоряжение от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р. Министерство транспорта Российской Федерации. О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте». – М.: 2008. – 41 с.  
РД 3112199-1095-03 Руководство по организации и эксплуатации газобаллонных автомобилей, работающих на сжатом природном газе, 2002. – 59 с.

## Создание и ведение пространственной базы данных при проведении геотехнического мониторинга трубопроводного транспорта

В.А. Чихарев

*Отдел геотехнического мониторинга в криолитозоне, ООО ТюменНИИгипрогаз, Тюмень, Россия*

### Предпосылки

В ходе проведения геотехнического мониторинга магистральной газопроводной системы Заполярное - Уренгой в течении 2006 – 2011 года был получен значительный объем данных об инженерно-геологических и геокриологических процессах влияющих на инженерное состояние газопроводов и сопутствующей инфраструктуры.

Для дальнейшей работы, в частности для корректировки проекта «реконструкции I, II и III ниток системы газопроводов Заполярное-Уренгой. Водоотведение и противопаводковые мероприятия» возникла необходимость пространственной систематизацией данных, отражением пространственной сопряженности процессов для повышения качества управления геотехнической системой «газопровод – природная среда».

### Выполнение работы

На первом этапе производился сбор и анализ имеющейся информации по состоянию трубопроводной геотехнической системы за наблюдаемый период (2006-2011 годы), а так же материалы инженерных изысканий. Итогом которого стала сводная ведомость состояния исследуемого объекта в формате MS Excel, а так же систематизированный фотоматериал.

Второй этап включал в себя пространственную привязку подготовленной сводной ведомости состояния изучаемого объекта, задачей линейных координат (ESRI ArcGIS). С помощью пространственной организации базы данных состояния геотехнической системы были выбраны материалы дистанционного зондирования – космоснимки высокого пространственного разрешения (0,5 м, «WorldView-1,2», «GeoEye-1»), система координат UTM-WGS84/44, актуализация осень 2010 – осень 2011 годов.

Результатом этого этапа стала пространственная привязка описания участков, ведомостей и фотографий наблюдения. Дополнительно проделана работа по пространственной привязке фотографий вертолетных облетов за отчетный период (более 5 тыс. фотографий).

Третий этап заключался в определении состояния трубопроводной системы методом дешифрации материалов дистанционного зондирования. В обобщенном виде принятая методика картографирования сводится к следующему последовательному ряду операций: выявление причин и следствий пространственной дифференциации геосистем, с учетом анализа полевых материалов → выявление однородных участков трассы газопровода с прилегающей территорией → интерпретация и занесение в таблицу атрибутов данных о состоянии

изучаемого участка → проверка и обобщение данных состояния трассы газопровода.

Выявление однородных участков трассы газопровода производилось согласно представлениям о геотехнических системах нефтегазового комплекса [Козин, Маршинин, Осипов, 2008], на основе ландшафтного анализа. При этом учитывалось не только текущее состояние геотехнической системы, но так же ретроспективный анализ функционирования вмещающих геосистем, а так же прогноз ее развития.

Анализ ситуации за предыдущие годы и данные дешифрации позволили составить классификацию состояний участков геотехнической системы, состоящую из типов участков, групп участков и видов участков.

Тип состояния участков – положение в ряду изменения состояния от проектного к нарушенному.

Группа состояния участков определяется характером изменения заданного положения газопровода.

Вид участков определяются интенсивностью проявления процесса их обособляющего.

Всего выделено четыре типа состояния участков газопроводной геотехнической системы:

- в пределах норм отклонения;
- нарушение положения;
- восстановление положения (отремонтированные);
- повторное нарушение положения.

Тип состояния участков нарушенных местоположений включает пять групп состояния участков газопроводной геотехнической системы:

- с эрозией обвалования;
- с заглублением менее проектного;
- воздушных переходов с отклонением от проектного положения;
- развития термоэрозии склонов и термокарста на временных технологических проездах вдоль газопроводов;
- дефляции обвалования.

Каждая группа участков подразделяется на виды состояния газопроводной геотехнической системы по интенсивности процесса. К примеру, участки воздушных переходов с отклонениями от проектного положения представлены следующими типами:

- воздушный переход с развитием арки;
- воздушный переход с развитием прогиба;
- воздушный переход с возвышением низа трубы менее 1 м от уровня земли;
- воздушный переход с разрушением откосов на узлах выхода газопровода из грунта;

Заполнение данных об участках газопроводов в таблицу состояния производилось по однородным участкам сплошным описанием, при этом конец предыдущего участка был началом следующего.

## Результаты

Итогом работы стала пространственная база данных состояния трубопроводной системы в форматах MapInfo/ArcGIS, что позволило:

- повысить качество управленческих решений по реконструкции газопроводов;

- проследить динамику экзогенных процессов, их пространственное взаимодействие, рассчитать скорость и перспективы развития;

- вести банк данных состояния газотранспортной геотехнической системы, пополняя его после каждого вертолетного облета и наземного обследования;

- выявить участки наиболее приоритетного ремонта и наблюдения, такие как: эрозионные процессы, подтопление, термокарст, а так же несанкционированные действия сторонних хозяйствующих субъектов в зоне ответственности газотранспортного предприятия.



Рис 1 Пример использования ГИС при анализе вертикального изгиба воздушного перехода на газопроводе

Результаты работы были применены в ходе корректировки проекта «реконструкции I, II и III ниток системы газопроводов Заполярное-Уренгой. Водоотведение и противопаводковые мероприятия» на период работ зимы 2011-2012 годов.

## Перспективы

Вовлечение в пространственную базу данных газопроводной геотехнической системы новых сведений о природной и технической среде, а так же доработка

пользовательских версий на основе дружественного интерфейса для тематических потребителей.

## Литература

Козин В.В., Маршинин А.А., Осипов В.А. Техногенные системы и экологический риск. Тюмень Изд-во. ТГУ, 2008. 256 с.

## Определение зависимостей физических характеристик мёрзлых грунтов вблизи п. Мыс Каменный

Е.С.Чубарева

Студентка. Тюменский государственный нефтегазовый университет, Кафедра Криологии Земли, Тюмень, Россия

### Введение

К настоящему времени существует достаточное количество экспериментальных и теоретических материалов, позволяющих определять закономерности на предмет напряженно - деформированного состояния мёрзлых грунтов. Были получены зависимости суммарной влажности и коэффициента пористости от плотности мёрзлого грунта, а также суммарной влажности от коэффициента пористости.

Мыс Каменный — посёлок в Ямальском районе Ямало-Ненецкого автономного округа, административный центр Мыс-Каменского сельского поселения. Посёлок расположен на западном берегу Обской губы на полуостров Ямал, вдоль Каменной косы. Был основан как база ЗГЭ (Заполярная геофизическая экспедиция).

### Основная часть

Физические свойства исследуемых грунтов определялись параллельно с определением физико-механических характеристик на образцах, доставленных с объекта изыскания.

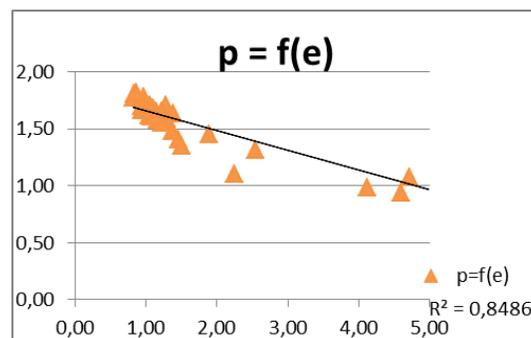
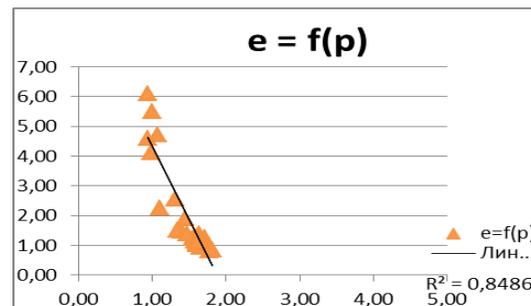
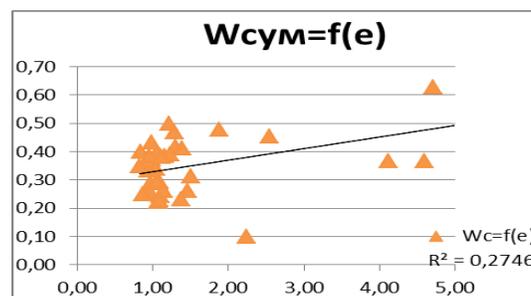
Существующие методики определения прочностных и деформационных характеристик гласят о существенном влиянии на вышеперечисленные характеристики содержания: льда, легкорастворимых солей, биогенных остатков. Содержание льда характеризуется суммарной льдистостью  $i_{tot}$  включающей льдистость за счёт льда, цементирующей частицы грунта  $i_{ic}$  и льдистость за счёт включений.

Весьма важным показателем для прогноза прочностных и деформационных свойств мёрзлых и оттаивающих грунтов является текстура грунта. Она характеризуется особенностями строения, обусловленными ориентировкой и пространственным расположением структурных элементов в породе. В данном районе преимущественно распространены: массивная, слоистая и сетчатая текстуры. Суглинистые грунты характеризуются слоистой и сетчатой криотекстурой. Для всех образцов производилось определение влажности после вскрытия монолита, плотности грунта методом режущего кольца, плотности частиц грунта и засоленности. Влажность песков изменяется от 21 до 37%, плотность от 1,35 до 1,80 г/см<sup>3</sup>. Мёрзлые пески характеризуются массивной криотекстурой. Влажность суглинистых грунтов находится в пределах от 26 до 38 %, однако встречаются и сильно льдистые грунты с суммарной влажностью 70 – 128 %. Для классификации глинистых грунтов определялись показатели пластичности по ГОСТ 5180-84 и ГОСТ 25100-95, для песков выполнялся гранулометрический состав в соответствии с ГОСТ 12536-79. Грунты обладают широким диапазоном физических свойств. По гранулометрическому составу представлены: пески мелкие, пылеватые; супеси,

суглинки, глины. Суммарная льдистость грунтов и льдистость за счет ледяных включений рассчитывалась по формулам А.10 и А.11 ГОСТ 25100-95.

### Заключение

Были получены зависимости суммарной влажности и плотности от коэффициента пористости мёрзлого грунта, а также коэффициента пористости от плотности мёрзлого грунта и многие другие графики зависимостей.



### Литература

- Материалы четвертой конференции геокриологов России, МГУ имени М.В.Ломоносова, 7-9 июня 2011 г. Том 1. 113-124 с.  
ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. — М.: Стандартинформ, 2005 г.

## Изменение параметров многолетней мерзлоты в конце 20-го – начале 21-го веков

Е.В. Шалина, Л.С. Лебедева

Факультет географии и геоэкологии, Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия  
Л.П. Бобылев, К.Э. Земесиркс

Научный фонд 'Международный центр по окружающей среде и дистанционному зондированию имени Нансена', Санкт-Петербург, Россия

### Введение

В настоящее время изменения климата фиксируются повсеместно. Наиболее сильно потепление проявляется в арктическом и субарктическом регионах, где оказывает непосредственное влияние на состояние многолетней мерзлоты. Изменения мерзлоты, в свою очередь, через механизмы обратных связей, могут повлиять на климатическую систему. Кроме того, смещение границы мерзлоты к северу, увеличение продолжительности и глубины сезонного протаивания повлекут за собой рост рисков разрушения инженерных сооружений, изменения в характере хозяйственной деятельности, а также в жизненном укладе населения северных регионов.

### Цели и задачи

Целью исследования является выявить и проанализировать тенденции изменения состояния многолетней мерзлоты Северного полушария с использованием всех доступных источников. В число показателей, характеризующих состояние мерзлоты, входят такие величины, как положение ее южной границы, мощность многолетнемерзлого пласта, глубина сезонного протаивания и температура грунта на глубине нулевых годовых амплитуд. В задачи исследования входит создание базовой цифровой карты, характеризующей состояние мерзлоты на 1970-1980 гг. 20 века, сбор и анализ данных наблюдений за выбранными показателями за как можно более длительный срок, охватывающий период наиболее интенсивных изменений (последние 20 лет), и оценка по ним тенденций изменения основных параметров многолетней мерзлоты.

### Ход работы и первые результаты

В ходе работы была создана цифровая карта в программе ArcGIS, отражающая состояние мерзлоты по выбранным показателям. Она покрывает территорию России, Монголии, Китая, Канады и Аляски и относится к периоду 1970-1980 гг. Карта составлялась путем оцифровки различных картографических материалов, относящихся к периоду до 1983 г., выбранного в качестве условной границы между историческим (без изменений) и современным состоянием (интенсивных изменений) многолетней мерзлоты. Основой для создания цифровой карты послужила «Геокриологическая карта» [Баранов,

1977] для территории бывшего СССР, на которой представлены все выбранные параметры. С ней стыковались карты Монголии [Геокриологические..., 1974], Китая [Shi & Mi, 1988], а также карты Аляски [Ferrians, 1965] и Канады [Brown, 1973]. Полученные данные рассматриваются как опорные для изучения последующих изменений.

Формируется информационная база по данным современных наблюдений в зоне многолетней мерзлоты Северного полушария за температурой грунта на различных глубинах, близких к глубине нулевых годовых амплитуд, и по глубине сезонного оттаивания, с использованием всех доступных источников. Собранные данные приводятся к единому формату. Точечные данные наносятся на опорную цифровую карту и могут отображаться в виде графиков и таблиц (рис.1).

В настоящее время заканчивается сбор и обработка данных наблюдений для выбранных территорий. В ближайшее время будет осуществляться оценка тенденций изменения глубины сезонного протаивания и температуры мерзлого грунта. Если найдутся необходимые материалы, то также будет дана оценка возможного изменения положения южной границы многолетней мерзлоты за последние десятилетия. Уже сейчас можно сделать вывод, что выбранный нами четвертый показатель, мощность многолетнемерзлой толщи, вряд ли претерпел значимые изменения за последние 50 лет на большей части территории распространения мерзлоты. Исключением могут стать лишь зоны распространения островной и прерывистой многолетней мерзлоты.

### Ожидаемые результаты

На конференции будет представлена цифровая карта многолетней мерзлоты Северного полушария для периода 1970-1980 гг., результаты оценок тенденций изменения таких параметров, как глубина сезонного протаивания, температура грунта на глубине нулевых годовых амплитуд и положение южной границы мерзлоты (по возможности). Будут описаны возникавшие трудности при обработке информации из различных источников, характеризующейся разной точностью, качеством и разрешением.

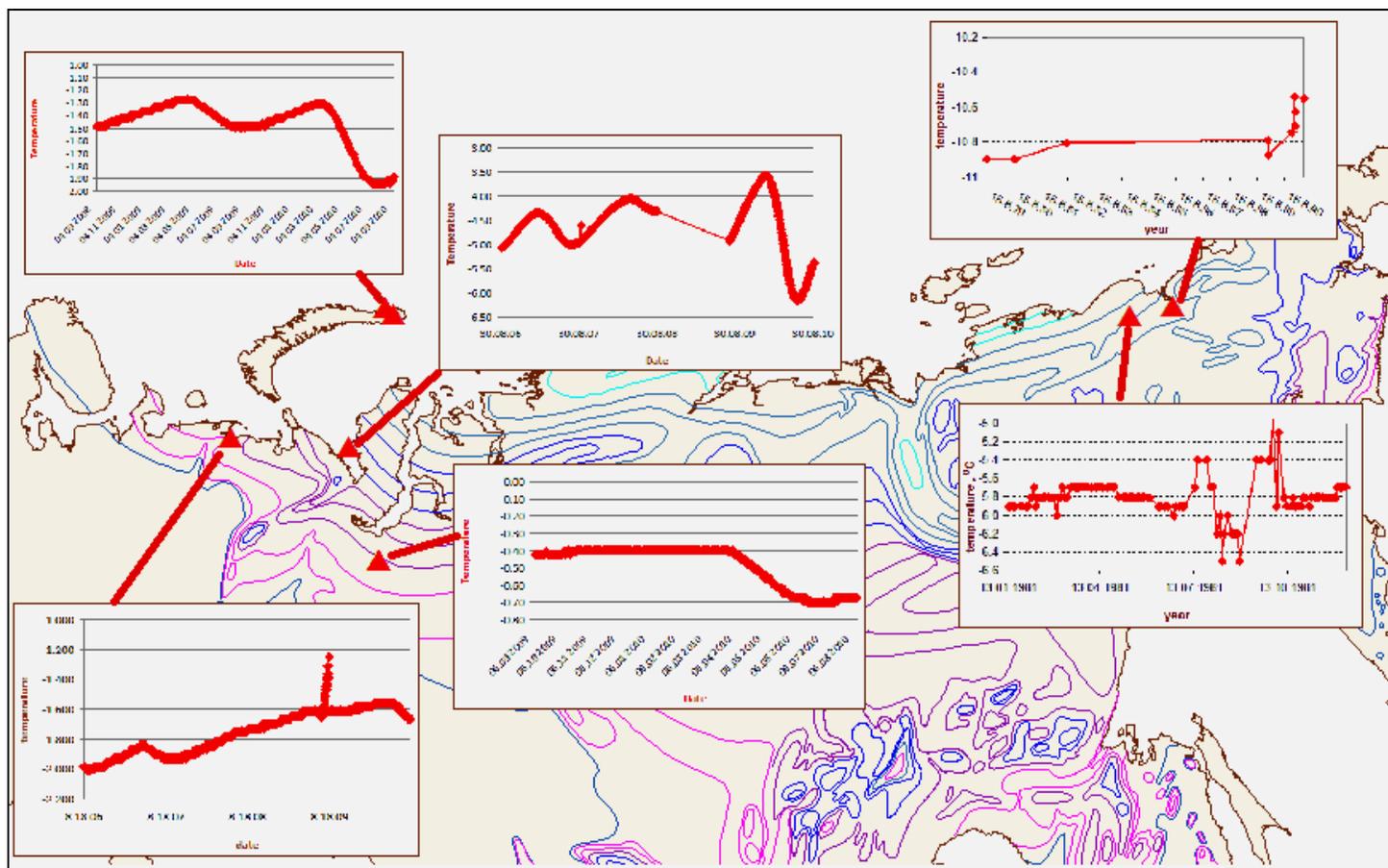


Рис.1. Базовая карта параметров многолетней мерзлоты и современные измерения температуры мерзлых грунтов.

## Литература

- Баранов И.Я. Геокриологическая карта СССР. Масштаб 1:5 000 000. – М.: ГУГК СССР, 1977, 4 л. (in Russian)
- Геокриологические условия Монгольской Народной Республики / Гравис Г.Ф., Заболотник С.И., Суходровский В.Л. и др. – М.: Наука, 1974. – 200 с. (in Russian)
- Brown, R.J.E. 1973. Permafrost. National Atlas of Canada. Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Plate 11-12, scale 1:15,000,000

- Ferrians ,O.J., Jr. 1965. Permafrost map of Alaska. U.S. Geological Survey, Miscellaneous Geologic Investigations, Map I-445, scale 1:2,500,000
- Shi Y. and Mi D., eds. 1988. Map of snow, ice and frozen ground in China. Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Academia Sinica, scale 1:4,000,000, 2 sheets (in Chinese)

## Техногенные изменения геокриологических условий железнодорожной линии Обская-Бованенково (полуостров Ямал) по результатам инженерно- геокриологического мониторинга

И.И. Шаманова, С.Н.Титков, А.В. Максимов

ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве», г. Москва,  
Россия

### Аннотация

Инженерно-геокриологический мониторинг трассы железной дороги Обская-Бованенково проводился в 2007-2010 г. г. на 240 профилях-поперечниках для установления тенденции техногенных изменений геокриологических условий в теле насыпи и в пределах полосы трассы. Наблюдалось повсеместное увеличение глубины оттаивания грунтов на откосах, у подножий откосов насыпи и на основной площадке, в среднем на 0,63 м. В основании насыпи формируется мерзлое ядро, мощность которого составляет от 0,2 до 9,8 м в зависимости от высоты насыпи, глубины укладки и толщины теплоизоляционного слоя. Отмечено повышение среднегодовой температуры грунтов у основания насыпи и подходах к ней на расстоянии 10-30 м. Увеличение глубины оттаивания грунтов вызывает развитие процессов термокарста, термоэрозии, сплывов грунта, криогенного пучения, что приводит к дестабилизации земляного полотна и ухудшению экологической ситуации. Наиболее распространенным из этих процессов является термокарст. Масштабность проявления опасных инженерно-геологических процессов и динамика их развития отражены на карте техногенной нарушенности территории. Разработан комплекс мероприятий по инженерной защите насыпи и территории от проявления опасных инженерно-геологических процессов.

**Ключевые Слова:** Ямал; железная дорога; геокриологический мониторинг; опасные криогенные процессы; техногенная нарушенность; инженерная защита

Трасса железной дороги Обская-Бованенково проложена в сложнейших природно-климатических и инженерно-геокриологических условиях, большая часть ее проходит в зоне сплошного распространения высокольдистых многолетнемерзлых пород с мономинеральными залежами подземных льдов и широкого развития опасных криогенных процессов. Для обеспечения устойчивости насыпи и безаварийной эксплуатации железной дороги ОАО «ПНИИИС» проводился в 2007-2010 г.г. геотехнический мониторинг земляного полотна и водопропускных сооружений (на участке 268-525 км).

Мониторинговые наблюдения велись за основными характеристиками свойств грунтов (гранулометрический состав, влажность, льдистость, плотность, пучинистость, сжимаемость при оттаивании, размываемость, фильтрационные свойства, теплопроводность, теплоемкость, температура замерзания, количество незамерзшей влаги), глубиной сезонного оттаивания, температурой грунтов в теле насыпи и у ее основания, развитием опасных криогенных процессов и состоянием земляного полотна в процессе строительства и эксплуатации железной дороги.

Оценка динамики этих параметров производилась на 240 профилях-поперечниках, пересекающих земляное полотно и прилегающую территорию в зоне влияния железной дороги. При размещении профилей учитывались инженерно-геокриологические условия данного участка трассы, особенности конструкции и технологии возведения насыпи, устройство водопропускных сооружений. На участках наблюдательных профилей проведена

геодезическая съемка с привязкой буровых скважин, установлены деформационные марки. Выполнено физико-математическое моделирование теплового состояния грунтов в теле насыпи и в ее основании, результаты которого использованы при разработке комплекса защитных мероприятий от опасных инженерно-геологических процессов.

Одной из основных задач инженерно-геокриологического мониторинга трассы железной дороги Обская-Бованенково являлось установление тенденции техногенных изменений геокриологических условий в теле насыпи и в пределах полосы трассы. Режимные наблюдения за динамикой верхней поверхности многолетнемерзлых пород за трехлетний период (2007-2009 г.г.) позволили установить практически повсеместное увеличение глубины оттаивания грунтов на откосах, у подножий откосов насыпи и на основной площадке. По среднестатистическим данным, увеличение глубины оттаивания грунтов у подножья насыпи составило 0,63 м. На основной площадке насыпи глубина оттаивания изменялась от 1,0 до 2,5 м в зависимости от литологического состава грунта, его увлажнения и расположения теплоизоляционного слоя в теле насыпи. На подходах к водопропускному сооружению глубина оттаивания грунта составляла 2,1-3,5 м.

Установлено, что в основании насыпи формируется мерзлое ядро, мощность которого (0,2-9,8 м) определяется высотой насыпи, глубиной укладки и толщиной теплоизоляционного слоя (рис.1).

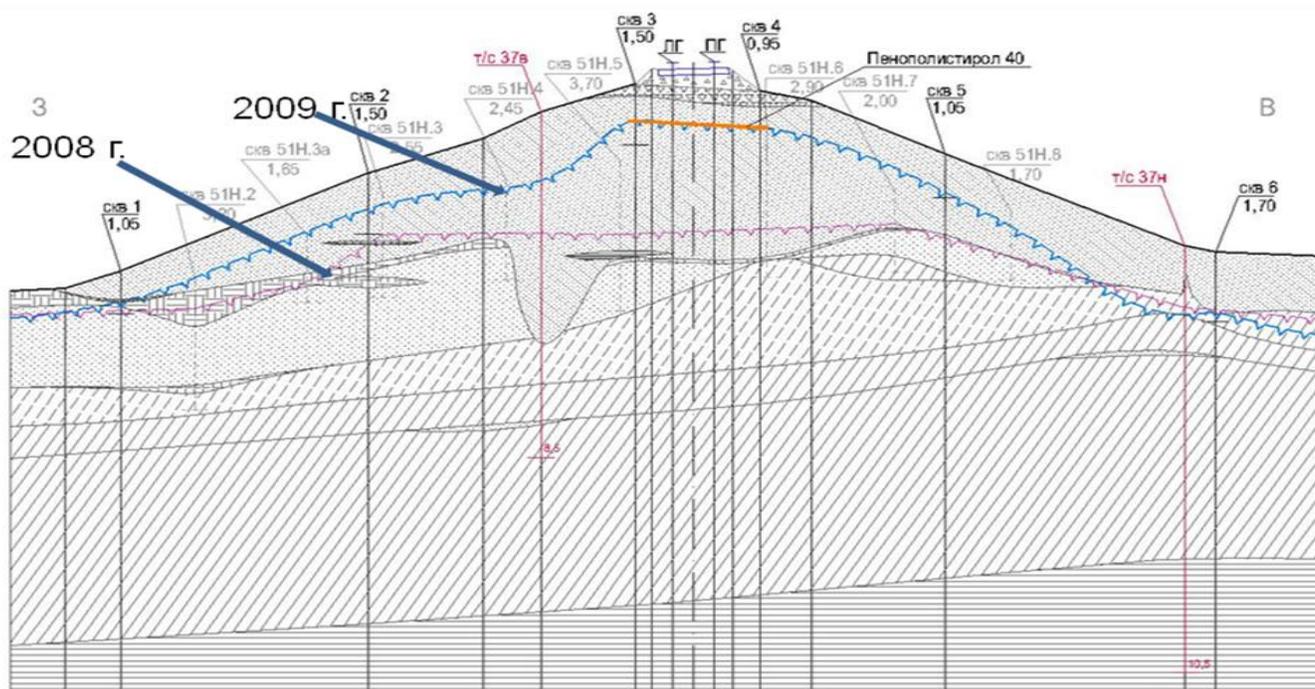


Рис.1. Формирование многолетнемерзлого ядра в теле насыпи

За двухлетний период мониторинговых наблюдений на стадии рабочего движения зафиксирована стабилизация положения верхней границы многолетнемерзлых пород на основной площадке практически на всех обследованных объектах. Результаты наблюдений за температурой грунтов показывают, что за двухгодичный цикл строительства и эксплуатации железнодорожной линии прослеживается тенденция повышения среднегодовой температуры грунтов у подножья насыпи и подходах к ней на расстоянии 10-30 м. Степень влияния насыпи на температурный режим грунтов в основном зависит от высоты насыпи и условий снегонакопления.

Поскольку в данном регионе широкое распространение с поверхности имеют льдистые многолетнемерзлые грунты, часто содержащие мономинеральные залежи льда (повторно-жильного и пластового), отмеченное увеличение глубины оттаивания грунтов вызывает развитие опасных криогенных процессов – термокарста, термоэрозии, сплывов грунта, криогенного пучения при промерзании. Развитие этих процессов приводит к дестабилизации земляного полотна и ухудшению экологической ситуации.

Масштабность проявления опасных инженерно-геологических процессов и динамика их развития отражены на карте техногенной нарушенности территории, составленной по результатам сопоставления инвентаризации техногенных нарушений, проведенной в 2008 и 2009 г.г. Установлено, что в полосе отчуждения на всем протяжении обследованного участка наиболее распространенным техногенным криогенным процессом является термокарст, связанный с заболачиванием и обводненностью территории, непосредственно примыкающей к насыпи. Развитие этих процессов, провоцирующих активизацию термокарста на участках, сложенных льдистыми грунтами, обусловлено нарушением

естественного стока поверхностных и грунтовых вод, удалением почвенно-растительного покрова, а также изменением характера снегонакопления (мощности, плотности, структурных особенностей) при сооружении насыпи.

При переходе железной дороги в режим рабочего движения зафиксирована локализация зон обводнения и заболачивания, их приуроченность к пониженным субгоризонтальным поверхностям с гидроморфными ландшафтными условиями или линейно-ориентированным зонам наибольшей концентрации транспортных колеи. Отмечено также расширение дефлированных поверхностей, на которых активно развивается термоэрозия. На отдельных участках трассы наблюдается стабилизация или затухание инженерно-геологических процессов. В качестве эффективного защитного мероприятия, устраняющего развитие опасных инженерно-геологических процессов, успешно применяется засыпка заболоченных и обводненных участков скальным и песчаным грунтом.

Результаты мониторинговых наблюдений позволили оценить потенциальную возможность развития опасных инженерно-геологических процессов в зависимости от степени льдистости грунтов в основании сооружений, положения теплоизоляционных слоев в теле насыпи и под водопропускными трубами, крутизны склонов, а также наличия или отсутствия защитного щебнисто-песчаного слоя или слоя торфа на откосах насыпи. Разработан комплекс мероприятий по инженерной защите насыпи и территории от проявления опасных инженерно-геологических процессов.

## Расчет динамики ореола оттаивания от горизонтальной факельной установки

Д.В. Шевелева  
 ТЮМЕННИИГИПРОГАЗ, Тюмень, Россия

Горизонтальные факельные установки (ГФУ) эксплуатируются, в том числе, и на вечномёрзлых породах. Температура факела составляет порядка тысячи градусов. Эксплуатируются ГФУ приблизительно несколько дней в течение месяца. В результате интенсивного теплового воздействия вечномёрзлые породы оттаивают, а после этого, подвергаются осадкам. Чтобы оценить размеры осадок необходимо знать размер зоны оттаивания, для этого решается задача теплового взаимодействия факела и вечномёрзлых пород.

Целью расчета теплового взаимодействия факела с вечномёрзлыми породами является динамика размера и формы ореола оттаивания, температура верхнего слоя пеноплекса.

Температура шамотной глины при работе факела – 800°C, длина участка с такой температурой – 10 м. В первый год факел работает в течение трех суток каждые 2 месяца, в последующие годы – трое суток каждые четыре месяца. Конец года – теплый период, начало года – холодный период. Расчет сделан на 20 лет работы факела. Максимально низкая температура в зимний период (9 месяцев) -28°C, максимально высокая в летний период 13°C (3 месяца). Фазовые переходы происходят в грунте в интервале от -0.1°C до 0°C. ГФУ находится на насыпи, состоящей из трех различных материалов, верхний – шамотная глина, средний – песок и, следующий, пеноплекс, который является тепловым изолятором.

Температурное поле пород под ГФУ описывается квазилинейным уравнением параболического типа:

$$c(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} = \text{div}(\lambda(T) \text{grad} T)$$

Для расчета используется метод переменных направлений [Роуч 1980].

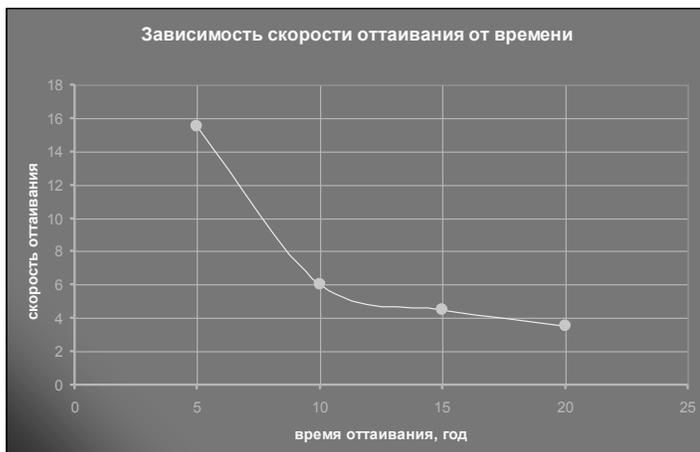


Рис.1. Динамика скорости оттаивания.

Скорость оттаивания со временем уменьшается. На рисунке 2 представлена зона оттаивания под ГФУ, после 20 лет работы для изоляции толщиной 0.0 м., 0.25 м., 0.75 м.

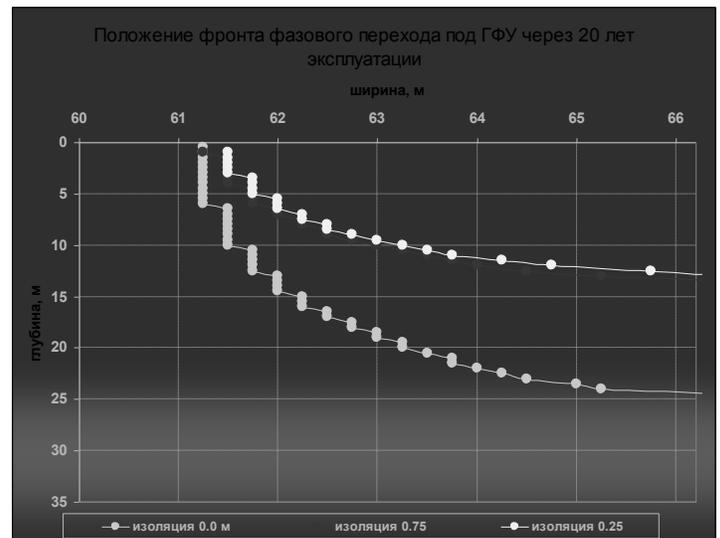


Рис.2. Зависимость ореола оттаивания от толщины теплоизоляции. Показана половина симметричного ореола оттаивания.

На рисунке 3 представлена динамика температур в насыпи и грунте за первые четыре месяца работы ГФУ при толщине теплоизоляции 0.25 м.

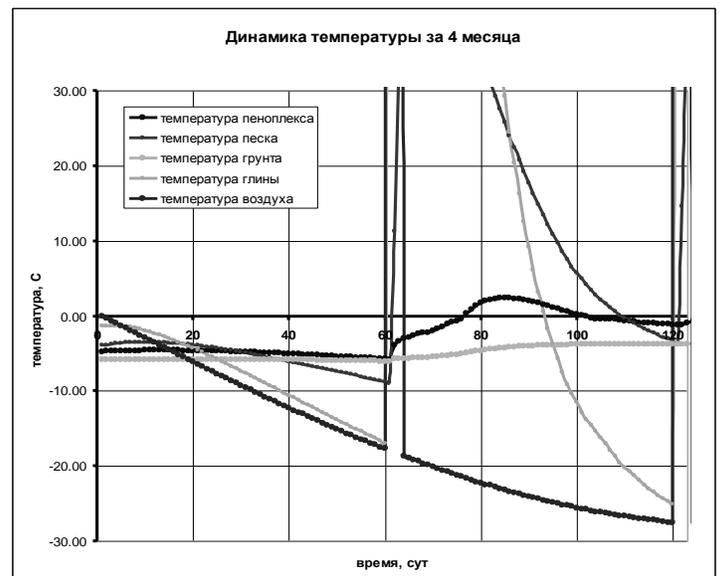


Рис.3. Динамика температур грунта и материалов насыпи за первые четыре месяца работы ГФУ.

При включении факела глина мгновенно нагревается до  $800^{\circ}\text{C}$  (это допущение заложено в постановке физико-математической модели), находящийся под глиной (толщина глины 0.25 м) песок тоже быстро нагревается. После выключения факела, глина и песок медленно остывают. Пеноплекс предотвращает таяние мерзлых пород приблизительно четыре первых месяца. Два изгиба на кривой температуры пеноплекса связаны с включением факела и началом фазовых переходов в слое песка, прилегающем к пеноплексу.

На рисунке 4 представлена динамика температур в насыпи и грунте за первый год работы ГФУ при толщине теплоизоляции 0.25 м.

Чем больше толщина изоляции, тем выше температура на её поверхности, т.к. уменьшается влияние мерзлых пород под изоляцией и уменьшается тепловой поток через пеноплекс, в то время как общий тепловой поток сверху остается прежним.

### Литература

Роуч П. 1980. Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир, 616 с.

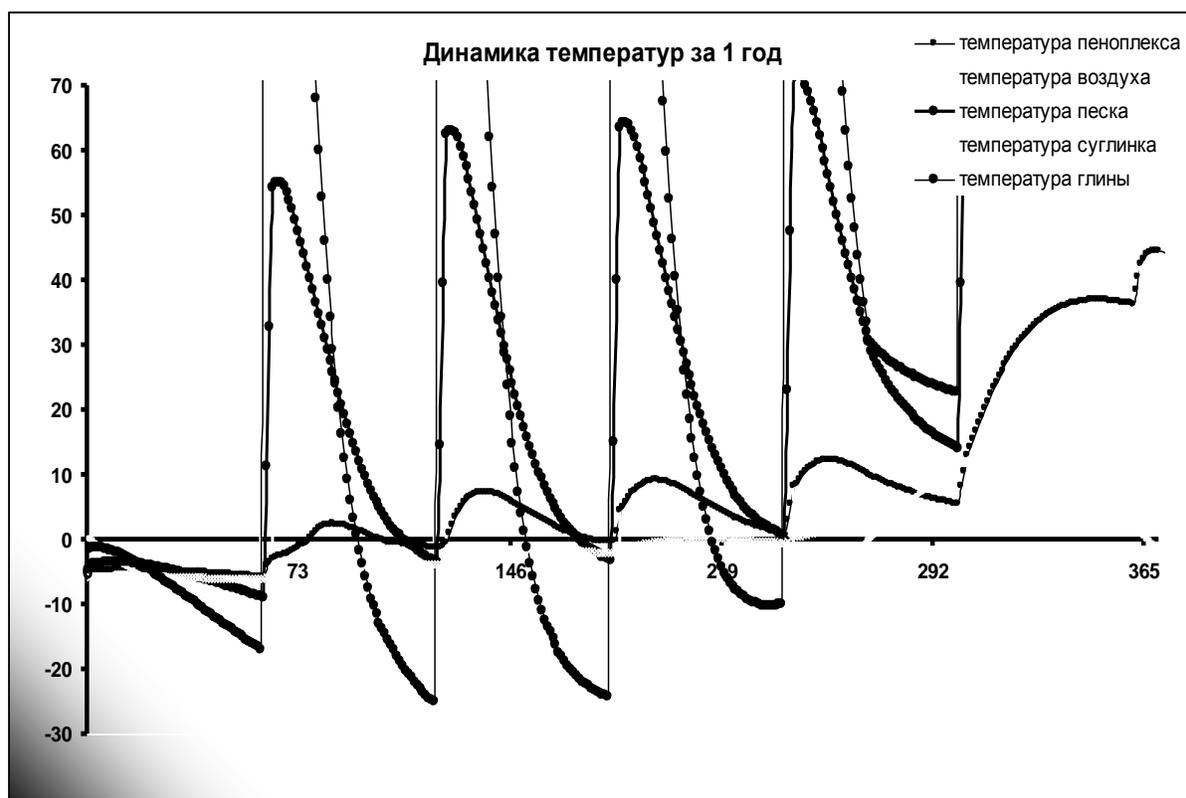


Рис.4. Динамика температур грунта и материалов насыпи за первый год работы ГФУ при толщине теплоизоляции 0.25 м.

## Картографирование динамики мерзлотных ландшафтов и оценка их устойчивости (на примере Приленского плато)

А.А. Шестакова

*Институт мерзлотоведения им П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ СО РАН), Россия, г. Якутск*

### Введение

Работа посвящена использованию сукцессионных стадий растительности в инженерно-геокриологическом картографировании. Сукцессии представляют процесс закономерной смены растительности в одном и том же местоположении или ландшафте. На территории Лено-Алданского междуречья рассматриваются вторичные (антропогенные) сукцессии, которые возникают после пожаров и вырубок.

Цель работы - совершенствование методики инженерно-геокриологического картографирования посредством применения сукцессионных стадий растительности для показа динамического состояния инженерно-геокриологических условий в процессе картографирования.

В основу работы положен материал, полученный автором при мерзлотно-ландшафтных исследованиях в Якутии в 2005-2011 гг. Работа выполнена в рамках конкурсных научных программ Сибирского Отделения РАН (проекты 25.1.5, 7.10.2.5 и VII.63.2.5 за 2004–2011 гг.). Результаты исследований были использованы при выполнении ряда хоздоговорных работ с производственными и проектными организациями и при составлении цифровой инженерно-геологической карты Российской Федерации масштаба 1:2 500 000 (2008-2010).

### Методика исследований

Технология составления ландшафтных карт района исследований включает в себя: проведение ландшафтной криоиндикации, классификации ландшафтов с учетом сукцессий растительности, составление слоев цифровой ландшафтной карты – типов местности и типов растительных ассоциаций, а также создание интегральной ландшафтной карты – типов урочищ методом «оверлея» (наложения) вышеуказанных слоев. Геоботанические элементы карты картографировались с помощью аэрофотоснимков и космоснимков программы GOOGLE EARTH и сцен спутника LANDSAT-7 ETM+, путем выделения территорий с одинаковыми дешифровочными признаками. Для этого использовались снимки масштабов 1:25 000 и 1:50 000 соответственно 1978 и 1989 гг. и космоснимки 2002 – 2009 гг.

### Результаты

Ландшафтную структуру района составляют плакорный, склоновый и мелкодолинный типы местности [Шестакова, 2008]. Пожары и вырубки играют достаточно большую роль в современных ландшафтах. Так, например, в результате пожаров в 2001 – 2002 гг. в Центральной Якутии было нарушено 30% территории, что оказало существенное

влияние на инженерно-геокриологические условия этого района.

Сукцессионные стадии растительности были разделены на 2 комплекса – до 20 лет и 20 – 50 лет. Сукцессии до 20 лет представлены порослями березы и лиственницы, часто труднопроходимыми и представляют первую стадию восстановления. Сукцессии 20 – 50 лет определяют стабилизацию ландшафтов и мерзлотных условий. В это время начинает произрастать травяно-кустарничковый покров, идет разреживание древостоя.

Результаты полевых исследований и изучение фондовых и литературных материалов [Босиков и др., 1985] позволили выделить изменение температуры грунтов и мощности сезонноталого слоя (СТС) в различных сукцессионных стадиях. Так например, в плакорном и склоновом типах местности в сукцессиях до 20 лет температура грунтов повышается на 0,5...1°C и мощность СТС увеличивается на 1 м. На относительно старых гарях 20-50 лет температура грунтов и мощность СТС стабилизируются и практически достигают инвариантных значений для ненарушенных ландшафтов.

На основе комплексных мерзлотно-ландшафтных исследований на Лено-Алданском междуречье рассмотрены проблемы использования сукцессионных рядов растительности при крупно- (1:25 000), средне- (1:200 000) и мелкомасштабном (1:2 500 000) картографировании.

Рассмотрим составление ландшафтных карт на примере крупномасштабного картографирования.

При крупномасштабном картографировании было выделено 10 растительных сообществ, среди которых преобладают коренные елово-лиственничные голубично-моховые леса (46%). При наложении карт типов местности и растительности было получено 25 классификационных единиц на уровне типов урочищ, из которых 12 единиц представляют сукцессии в различных типах местности (рис.1, б). При этом сукцессии занимают около 16% общей площади. Содержание карты типов урочищ затем было скоррелировано с материалами полевых мерзлотно-ландшафтных исследований на данной территории и фондовыми материалами ИМЗ СО РАН, полученными с 80-х годов по настоящее время.

С помощью атрибутивных таблиц ГИС, прикрепленных к ландшафтной карте, составлены цифровые тематические мерзлотные карты температуры грунтов, мощности сезонноталого слоя и мерзлотно-геологических процессов, которые отражают закономерности пространственного распределения по различным элементам ландшафтов. Карты выполнены в двух вариантах: 1 вариант – карты без учета нарушений ландшафтов (сукцессий), составленные по традиционной методике; 2 вариант – карты с учетом нарушений ландшафтов (сукцессиями), составленные по предлагаемой методике.

Карта температуры грунтов, составленная на ландшафтной основе без учета сукцессий растительности – по карте типов местности, включает 3 единицы температуры. Карта температуры грунтов с учетом сукцессий растительности включает 7 единиц. Первые 5 единиц температуры грунтов характерны для плакоров и склонов, где были отмечены сукцессии до 20 и 20 – 50 лет. Здесь использование сукцессий растительности позволяет дифференцировать диапазон температуры грунтов от 0 до -1,5°C.

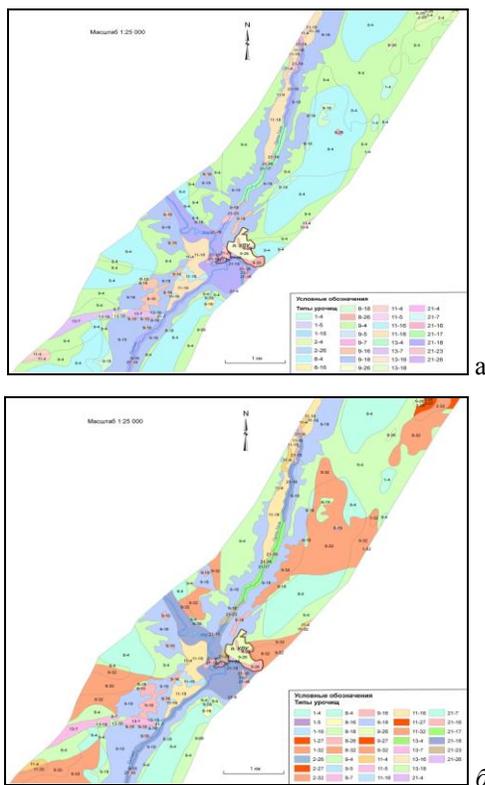


Рис. 1. Карты типов урочищ без учёта сукцессий (а) и с учётом сукцессий (б). Масштаб 1:25000.

Если на карте без учета сукцессий растительности мощность сезонноталого слоя подразделена на 3 единицы, то с ее учетом выделено 5 единиц. Преобладающие территории занимают урочища со значениями мощности СТС 0,5 – 1,0 и 1,0 – 1,5 м (37 и 58% общей территории соответственно). Наибольшие значения мощности СТС 2,0 – 2,5 и 2,5 – 3,0 м – приурочены к серийным фациям – сукцессиям.

В начальных сукцессионных стадиях мерзлотно-геологические процессы активизируются из-за изменений инженерно-геокриологических условий. Наибольшее распространение получили следующие сочетания процессов: морозобойное растрескивание, солифлюкция, эрозия и морозобойное растрескивание, пучение, термокарст. В ландшафтах, где выделены сукцессии, отмечаются карстовые и локальные карстовые просадки.

На основе разномасштабных мерзлотно-ландшафтных карт созданы карты устойчивости природно-территориальных комплексов (ПТК) к техногенным воздействиям в зависимости от льдистости, протекания мерзлотно-геологических процессов, температуры грунтов и мощности сезонноталого (сезонномерзлого) слоя [Шполянская, 1994]. Анализ карты устойчивости ПТК

показал, что наибольшие площади (88, 43, 57%) занимают относительно неустойчивые ПТК на склонах, соответственно при крупно-, средне- и мелкомасштабном картографировании. Относительно устойчивые ПТК на плакорах занимают сравнительно большие площади при средне- (34%) и мелкомасштабном (39%) картографировании. Нижние части подножий склонов, ложбинные и мелкодолинные ПТК отнесены к неустойчивым и занимают 20% общей площади при среднемасштабном картографировании. Устойчивые ПТК распространены незначительно и занимают до 3%.

## Выводы

1. Усовершенствована методика картографирования инженерно-геокриологических условий мерзлотных ландшафтов с применением сукцессионных рядов растительности и ГИС-технологий. Применение современных ГИС-технологий упрощает классификационные построения с использованием «оверлея» (наложения) отдельных слоев и облегчает процесс классификации ландшафтов.

2. Дан сравнительный анализ естественных и нарушенных мерзлотных ландшафтов по основным геокриологическим характеристикам. Температура грунтов в сукцессиях повышается на 1°C и мощность сезонноталого слоя увеличивается на 0,5 – 1,0 м по сравнению с естественными мерзлотными ландшафтами. Среди мерзлотно-геологических процессов активизировались термокарст, солифлюкция и эрозия.

3. Использование сукцессионных моделей в качестве индикаторов в классификационных ландшафтно-динамических построениях позволили оценить современное состояние и тенденции развития мерзлотных ландшафтов на Лено-Алданском междуречье, показывая восстановление как ландшафтных, так и мерзлотных условий.

4. Составленные по атрибутивным таблицам и с учетом сукцессий растительности крупно-, средне- и мелкомасштабные цифровые тематические карты отражают современное состояние мерзлотных ландшафтов и позволяют более детально оценить пространственно-временные закономерности их развития.

## Литература

- Босиков, Н.П., Васильев, И.С., Фёдоров, А.Н. 1985. Мерзлотные ландшафты зоны освоения Лено-Алданского междуречья. – Якутск: Издательство Института мерзлотоведения СО АН СССР, 124 С.
- Шестакова, А.А. 2008. Учёт инженерно-геокриологических условий в оценке устойчивости ландшафтов трассы железной дороги Томмот-Якутск на участке Томмот-Улу. // Материалы V Международной научной конференции студентов и аспирантов, посвященной 90-летию Днепропетровского национального университета «География, геоэкология, геология: опыт научных исследований» (Выпуск 5), г. Днепропетровск, 2008: С. 484-490.
- Шполянская, Н.А. и Зотова, Л.И. 1994. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири. // Вестник МГУ. Сер. 5. География, № 1, 1994: С. 56-65.

## Криолитозона, климат, риски чрезвычайных ситуаций

Д.М. Шестернев

*Институт мерзлотоведения им П.И. Мельникова СО РАН (ИМЗ СО РАН), Россия, г. Якутск*

### Аннотация

Рассматриваются воздействия климата и техногенной нагрузки на распространение, мощность и температурный режим криолитозоны. На примере изучения этих воздействий для различных областей криолитозоны анализируются причины формирования возможных рисков чрезвычайных ситуаций - региональных и местных. Предлагаются организационные и технические мероприятия по предупреждению рисков, ликвидации или управлению ими, разработанные на основе мониторинговых исследований трансформации криолитозоны, кинетики и механики физико-геологических криогенных процессов и явлений.

**Ключевые Слова:** климат; криолитозона; мониторинг; риск; управление чрезвычайная ситуация.

### Введение

В России криолитозона занимает до 60-70% ее территории, где производится до 20% ВВП страны и более 22% ее экспорта. Созданная здесь в XX столетии инфраструктура продолжает совершенствоваться и расширяться, даже с учетом трудностей, вызванных глобальным потеплением климата. В связи с этим академическая наука уделяет большое внимание изучению динамики и выявлению закономерностей трансформации криолитозоны в условиях глобального изменения климата, совершенствованию существующих и разработке новых технологий использования криолитозоны. Работа написана по результатам исследований автора, выполненных в соответствии с Программой СО РАН VII. 63. 2. «Природные и техногенные системы в криосфере Земли и их взаимодействие», координатором которой является академик В.П. Мельников.

### Методика исследований

Проблема глобального изменения климата и его воздействия на криолитозону – весьма актуальная проблема современности. Если в середине XX столетия в качестве основной причины его изменений рассматривалось влияние человека на природную среду, то в настоящее время утвердились представления о его ритмичности, обусловленной естественным ходом развития Земли. Этой точки зрения, придерживались и мы, в ходе изучения взаимодействия климата и криолитозоны на примере Забайкалья, расположенного в пределах южной периферии криолитозоны Восточной Сибири. Ретроспективный анализ истории этого взаимодействия, в плейстоцен-голоценовое время в одном из регионов Восточной Сибири, в Забайкалье, выполнялся с использованием:

- стратиграфо-генетического районирования четвертичных отложений и анализа результатов исследований изменения природных условий в плейстоцен-голоценовое время;

- методики палеокриологической интерпретации байкальских климатических летописей, разработанной С.М. Фотиевым;
- фитоценологического анализа палинологического опробования керна скважины, глубиной 1180 м в Чарской впадине, выполненного Ф.И. Еникеевым и В.И. Потоемкиной;
- методики реконструкции верхних граничных условий с учетом трансформации ландшафтно-ботанических условий и их связи с накоплением снежного покрова;

Построение картографических моделей криолитозоны в криохроны и термохроны Забайкалья, осуществлялось по методике, предложенной В.Т. Балобаевым.

Ретроспективный анализ взаимосвязи истории развития климата и криолитозоны с конца XIX по начало XXI века, на уровне ландшафта (Центральная часть Читино-Ингодинской впадины и ее горного обрамления) выполнен с использованием архива метеостанции г. Читы. Картографические модели разрабатывались по методике кафедры геокриологии Московского государственного университета, которая была создана под руководством В.А. Кудрявцева.

### Результаты исследований

Полученные результаты исследований показали, что глобальное изменение климата в сторону потепления способствует развитию медленной, но заметной деградации криолитозоны в региональном масштабе. Это существенно затрудняет обеспечение эффективной эксплуатации зданий и сооружений. Дополнительное к климатическому воздействию, тепловое загрязнение криолитозоны в результате антропогенного прессинга на окружающую среду, в ряде случаев, даже в арктических областях криолитозоны, сопровождается катастрофическим развитием криогенных физико-геологических процессов и явлений. В результате промышленно-гражданские, горнотехнические и отдельные участки линейных сооружений на длительное время прекращают свое функционирование.

Сравнительный анализ континентального Чарского и аквального(морского) Байкальского климатических

архивов позволил выявить и оценить синхронность в изменении характеристик климата в Северном Забайкалье и Предбайкалье. Температура воздуха в синхронные отрезки времени в историческом прошлом и в настоящее время в Северном Забайкалье была ниже на 3-6 градусов в сравнение Предбайкалье.

Установленная палеодинамика криолитозоны Забайкалья свидетельствует что ее мощность в течение плейстоцен-голоценового времени, в зависимости от параметров криохронов и термохронов была подвержена существенным изменениям. В Тазовское и Сарганское время формировались максимальные мощности криолитозоны, достигающие на Севере Забайкалья - 2500-3000, на юге 1200-1500 м.

В Казанцевский термохрон сплошная низкотемпературная криолитозона мощностью до 500-600 м, сохранялась лишь в высокогорных областях хребтов Удокан и Кодар. В высокогорье, в пределах Кодаро-Удоканской геоструктурной зоны ее мощность колебалась в пределах 50-100м, а на большей части плоскогорий криолитозона Забайкалья практически полностью отсутствовала.

В период с конца XIX по начало XXI столетия в Центральном Забайкалье, согласно климатическому архиву метеостанции г. Читы отмечалось три периода изменений среднегодовых значений температуры воздуха. В первый период (1890-1920 гг.) - среднегодовые значения температуры повышались от -4,2 до -3,2°C, во второй (1921-1960 гг.) - были близки к постоянным, изменяясь от -3,2 до -3,0°C, в третий – с 1960 г. – по настоящее время отмечается существенное их повышения от -3,2 до -0,8°C.

В течение третьего периода: а) в Юго-Восточном Забайкалье, островная криолитозона перешла в редко-островную; б) в Центральном Забайкалье – массивно-островная – в островную; в) в Северном Забайкалье – на 20-30% увеличился слой сезонного оттаивания пород, ледники уменьшились в объема и по площади на 30-40%, гигантские наледи из многолетних типов трансформировались в сезонные типы.

## Заключение

1. Изучение динамики криолитозоны в условиях глобального изменения климата и анализ функционирования природно-техногенных систем наиболее важных для жизнеобеспечения позволили нам в Забайкальском регионе выделить следующие основные группы риска: 1-я - сельскохозяйственные объекты, используемые для регулирования водопотребления в условиях опустынивания территории Центральной Азии, 2-я – промышленные и гражданские сооружения, 3-я – объекты тепловой энергетики; 4-я – горно-технические сооружения, 5-я – линейные сооружения;

2. Исследования воздействия природного и антропогенного влияния на функционирования природно-

технических систем в криолитозоне показали, что в Забайкалье активизация кинетики и механики криогенных процессов и явлений и процессы аридизации территории, носят зональный характер и увеличиваются с севера на юг. В южных областях, например, уже настоящее время интенсивно протекают процессы опустынивания, сопровождающиеся снижением водности рек и высыханием озер.

3. Перечисленные проблемы в ряде случаев могут вызвать социально-экономическую напряженность, для предотвращения которой необходима разработка стратегии обеспечения эффективного экономического развития в условиях изменения климата и трансформации криолитозоны. Ее реализация должна осуществляться поэтапно с учетом, научного, экономического и технического обоснования приоритетов:

Первый этап. Климатическое районирование и ретроспективный анализ его изменения, должны сопровождаться составлением: а) мелкомасштабных карт геоэкологического районирования различного назначения, с выделением потенциально-опасных районов для комплексного социально-экономического освоения территории; б) среднемасштабных карт прогноза развития криогенных процессов, опасных для возникновения чрезвычайных ситуаций.

Второй этап. Исследования трансформации климата и криолитозоны и масштабов их воздействия на выделенные группы риска. На этом этапе должна выполняться количественная оценка значимости проводимых исследований для социально-экономического развития территории с учетом выделенных приоритетов.

Третий этап. Разработка и реализация мероприятий по управлению процессами адаптации природных и природно-техногенных систем различных групп риска, в современных условиях.

Реализации этой стратегии в масштабе региона не должна иметь временных границ. Обусловлено это тем, что взаимодействие системы «климат - криолитозона - инженерный объект» может иметь разнонаправленный характер, вызванный цикличностью климата и продолжительностью эксплуатации сооружения, от первого до многих десятков, а то и сотен лет. В связи с этим управляющие воздействия на элементы природно-технических систем необходимо постоянно корректировать, вносить необходимые изменения, для сохранения и высокой их эффективности.

Перспективный анализ развития климата показал, что в настоящее время мы, вероятно, находимся практически на пике его потепления. Однако, устойчивого его изменения с потепления на похолодание, по-видимому, необходимо ждать еще не одно столетие.

## Вековое изменение температуры морского дна Баренцева и Карского морей

Р.С.Широков, А.А.Васильев

*Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия*

**Ключевые Слова:** Баренцево море; ГИС; Карское море; придонные температуры; субаквальная мерзлота.

Главной особенностью геологических условий континентального шельфа Баренцева и Карского морей является наличие субаквальной мерзлоты. Она распространена до глубины 120 метров. Температура морского дна является важной характеристикой в оценке состояния и направления эволюции субаквальной мерзлоты.

Для определения температуры морского дна и оценок трендов эволюции субаквальной мерзлоты была разработана ГИС Баренцева и Карского морей. Данная система представляет собой батиметрическую и температурную ГИС этих морей.

В основу ГИС положены данные по глубине моря, температуре и солености морской воды, собранные мореведческими организациями России, США, Англии, Германии, Норвегии и Польши по региону Баренцева, Карского и Белого морей с 1898 по 1998 гг. Всего, из всех источников по районам Баренцева и Карского морей для первичной обработки было выбрано более 1,000,000 океанографических станций.

Для прослеживания вековых изменений температур были решены следующие задачи:

- Разработана и программно реализована методика контроля океанографических данных.
- Выбраны данные о температуре придонного слоя морской воды. Предполагается, что температура дна равна температуре придонного слоя воды.
- Построены карты температуры морского дна Баренцево и Карского морей.
- Выбраны два ключевых региона, в которых присутствуют субаквальные мерзлые породы, с максимальным количеством данных и оценено вековое изменение температуры морского дна.

Существующая система международного сбора и обмена информацией предполагает многократное включение одних и тех же данных в массивы, полученные из различных источников. Также возможно заведомое дублирование данных внутри одного источника. С учетом этого обстоятельства был проведен поиск и исключение дубликатов станций. При последующей обработке данные проверялись на совпадение координат с точностью до 0.5 мин. широты и долготы, а температура с точность до 0,001°C.

Обработка данных осуществлялась поэтапно. Данные различных источников первоначально были представлены в различных форматах. На первом этапе они были структурированы в единый формат. При этом осуществлялся перевод данных в принятые единицы измерения, и исключались грубые ошибки. В первую очередь выбраны горизонты, наиболее близко

расположенные к стандартным глубинам и вблизи морского дна. На первом этапе исключены величины, заведомо превышающие возможный диапазон изменчивости наблюдаемых параметров: для температуры установлены пределы от -2.00 до 35.00°C, а для максимальной глубины менее 9990 метров. Значения параметров, выходящих за указанные пределы, отбрасывались. Также, проверялась последовательность возрастания горизонтов наблюдения [Баренцево море, 1990]. Если после исключения ошибочных значений на станции не оставалось корректных значений температуры, то вся станция исключалась из базы данных.

Для данных, прошедших грубый контроль, выполнялась проверка попадания данных в район выборки. Браковались данные, попадающие на сушу. На этом этапе проверялась глубина станции и последнего горизонта, на котором выполнены наблюдения. Минимальные и максимальные значения глубины определяются по 9 ближайшим к расчетной точке узлам батиметрической карты глубин.

Далее выбран массив данных, содержащих информацию только о температурах морского дна. Выполнен расчет пространственного распределения средних за 1900 - 1998 гг. температур морского дна и построена карта температур морского дна (рис.1).

Построенную карту температур морского дна предполагается использовать в качестве одного из слоев ГИС, характеризующего условия распространения и состояние субаквальных многолетнемерзлых пород. Первичный анализ пространственного распределения температур морского дна и субаквальных мерзлых пород показывает, что практически для всей территории юго-восточной части Баренцева моря, в пределах которой присутствуют субаквальные многолетнемерзлые породы, наблюдается ее ускоренная деградация. Здесь температура дна достигает 3°C и выше. Ускоренная деградация субаквальной мерзлоты характерна также и для заливов Карского моря –Байдарацкой, Обской и Гыданской губ и Енисейского залива. Для этих регионов Карского моря морское дно также имеет положительную температуру. В остальных частях Карского моря субаквальная мерзлота, вероятнее всего, находится в квазиравновесном состоянии. Температура морского дна здесь имеет отрицательные значения близкие к температуре оттаивания засоленных мерзлых грунтов.

Для оценки изменений температуры морского дна во времени были выбраны два ключевых региона с максимальным количеством данных о температуре морского дна за весь период наблюдений – Юго-Восточная часть Баренцева моря и Пролив Малыгина в Карском море. Для этих участков построены диаграммы изменения

температуры морского дна по десятилетиям, и рассчитаны тренды. В качестве примера на рис.2 приведены изменения

температуры морского дна и вековой тренд в ЮВ части Баренцева моря.

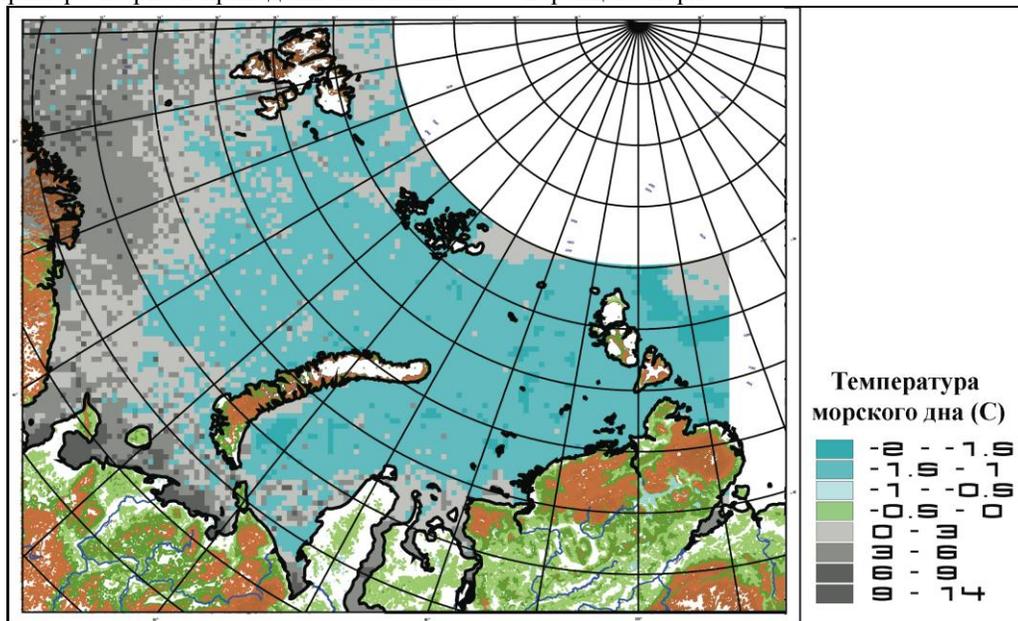


Рис.1. Карта средних температур морского дна

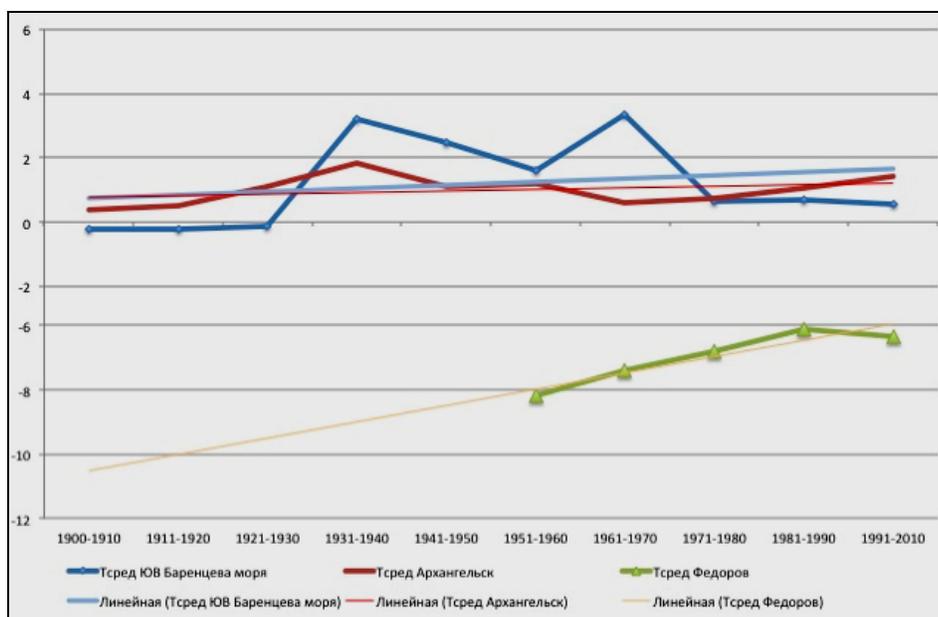


Рис.2 Вековые изменения придонной температуры в ЮВ части Баренцева моря и температуры воздуха по данным погодных станций Архангельск и им. Федорова)

Для сравнения построены диаграммы изменения температуры воздуха по базовым погодным станциям для этих участков.

Температура морского дна Юго-Восточная часть Баренцева моря с 1900 по 1998 г повысилась примерно на 0,4°C. В проливе Малыгина (Карское море) за этот же период повышение температуры составило 0,2°C. Причиной возрастания температуры морского дна являются повышение температуры воздуха и, возможно, дополнительный приток теплых атлантических вод в арктический океан.

Полученные данные могут использоваться для качественных оценок и моделирования изменения состояния субквальной мерзлоты.

### Литература

Баренцево море. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. 1990. Том 1, вып. 1, – Л.: Гидрометеиздат, 280 с.

## Методы определения оптимальной влажности снежной массы для строительства снеголедовых дорог

В.П. Шитый, Ш.М. Мерданов, А.В. Шаруха, М.Ю. Спиричев

*Кафедра Транспортные и технологические системы, Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия*

Разработка и добыча углеводородного сырья является основным фактором роста объема перевозок технологического и автомобильного транспорта в регионах Севера и Сибири а также континентального шельфа России, что в свою очередь требует создания эффективной транспортной инфраструктуры. В настоящее время почти весь объем перевозок выполняется в период установившихся отрицательных температур воздуха путем использования временных зимних дорог.

Возведение снеголедовых дорог - сложный процесс, обусловленный взаимодействием рабочих органов строительных машин со снежной массой. Ключевыми технологическими операциями этого процесса являются: наброска снега на полотно дороги, увлажнение и уплотнение снега. Для строительства снеголедовых дорог в насыпи используется технология послойного наращивания полотна дороги. Эта технология подразделяется на 5-7 различных операций одной из которых является увлажнение снежной массы которую можно выполнять как отдельно, так и совместно с другими операциями, такими как наброска или уплотнение. Увлажнение можно провести двумя способами: внесением воды или растоплением снежной массы. Усложняется задача тем что, даже зная оптимальную величину влажности снега трудно определить необходимое количество вносимой влаги.

Известные методы определения влажности снега можно поделить на прямые и косвенные. Сущность прямых методов заключается в разделении исследуемого материала на сухое вещество и влагу. Косвенных – в измерении величин функционально связанных с влажностью снега. Комбинирование методов обеих групп осуществляется при совокупном измерении двух или более параметров исследуемого материала.

Так как снег является дисперсной системой, в которой твердая дисперсная среда это кристаллы льда, а жидкая дисперсная фаза это вода, то для определения влажности обоснованно применение метода центрифугирования (центробежного осаждение и фильтрования).

Распространенными методами прямого физического определения влажности являются, дистилляционный и экстракционный методы. Недостатком предлагаемых методов является использование рабочей жидкости которая вступает во взаимодействие с кристаллами льда и покрывающей их водяной пленкой из которых состоит снежная масса тем самым изменяя соотношение масс трех фазной системы снега (лед+вода+пар), что затрудняет количественную оценку абсолютной влажности исследуемого материала. Применение термогравиметрического метода, как наиболее точного в других дисперсных среда для снежной массы не приемлем.

Прямые химические методы исследования влажности, основанные на известных в аналитической химии реакциях позволяют обработать исследуемый снег сухим реагентом, вступающим в реакцию только с водой находящейся в

жидкой фазе. Газометрический метод смешивание с карбидом кальция:  $\text{CaC}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{C}_2\text{H}_2$  при этом исследуемую влажность можно определить измерив объем выделившегося газа (волюмометрический), образовавшееся давление (манометрический способ); или взвешивания (гравиметрический способ). Реакции гидрида кальция с определением количества выделившегося водорода:  $\text{CaH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2$ . Также раствор возогнанного металлического йода, безводного пиридина и сухого сернистого ангидрида в абсолютном метаноле, нашел применение для определения влажности многочисленных материалов (твердых, жидких и газообразных):  $\text{I}_2 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HI}$  Этот метод отличается универсальностью. Из недостатков химических методов можно отметить экзотермичность процесса.

В косвенных методах оценка влажности основана на измерении изменяющихся с влажностью механических характеристик твердых материалов: сопротивления раздавливанию, сопротивления вдавливанию металлической иглы, конуса или ножа; сопротивления деформирующему усилию; давления, необходимого для уплотнения образца постоянной массы в фиксированном объеме; усадки материала под давлением поршня в цилиндре и др. Этим методам, отличающимся своей простотой, свойственна низкая точность.

Недостатками косвенных метода является необходимость в дополнительной информации о плотности материала, кроме того, на результат измерения влияет содержание воздуха и водорастворимых компонентов (соли и т. п.) в снеге.

Все существующие методы измерения предполагают точную оценку абсолютной влажности материала и не предусматривают на определение оптимальной влажности для уплотнения снега, так же все они носят статический характер, а технологический процесс строительства снеголедовой дороги требует определение влажности в указанный момент времени.

Одним из перспективных способов определения влажности снега представляется путем измерения сопротивления между электродами, погруженными в снежную массу, в которой при абсолютно сухом снеге сопротивление равно нулю при максимально или оптимально увлажнённом снеге равно единице. Данный метод до сих пор не реализован, поскольку должны быть выявлены значения параметров электрического поля и расстояние между электродами.

Решение задачи по получению дифференцированной оценки влажности в единицу времени позволит задать снежной массе оптимальные параметры влажности для создания полотна снеголедовой дороги с необходимыми параметрами несущей способности и плотности для заданной категории дороги.

## Амебoidные протисты в мерзлотных почвах Колымской низменности

Л.А. Шмакова

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН Пуццоно, Россия

В ходе работы по изучению биоразнообразия протистофауны в образцах трех типов мерзлотных почв (подбур, глеезем и криозем) Колымской низменности было зарегистрировано 107 предполагаемых видов голых амёб, 14 видов филозных амёб и 4 вида солнечников. В разных типах мерзлотных почв наблюдаются различия в морфологическом и видовом разнообразии среди амебoidных организмов. Численность и видовой состав простейших обитающих в органогенном и следующим за ним минеральном горизонтах почвенного профиля существенно отличаются во всех рассмотренных почвах. Среди обнаруженных видов большой процент редких и ранее не описанных для почв организмов, кроме того, встречены новые виды амебoidных организмов. Также в образцах присутствуют виды - эврибионты, обычные для почв и пресноводных водоемов всего мира.

Амебoidные протисты, обитающие в почве – это организмы, объединённые в одну «функциональную группу» и схожие по типу организации клетки (наличие псевдоподий), несмотря на тот факт, что они очень разнообразны и систематически гетерогенны [Smirnov, 2004]. Группа включает в себя раковинных амёб (*Teatacea*), аксоподиальных простейших (*Heleozoa*, *Radiolaria*, *Foraminifera*) и голых амёб (*Gymnamoeba*, *Filozoa*). Раковинные амёбы в работе не учитывались, так как исследование их фауны требует отдельных методик.

В ходе исследования трех типов мерзлотных почв (криозем, глеезем и подбур), отобранных на Колымской низменности, отмечено более 100 видов *Gymnamoeba* (рис.1), отнесённых к 14 морфотипам, 12 видов филозных амёб, 6 видов солнечников (табл.1). Выявлено большинство известных семейств свободноживущих аэробных амёб в рамках типа *Rhizopoda* [Page, 1988].

Самыми богатыми образцами в морфологическом разнообразии голых и филозных амёб оказались образцы криозёма (50 предполагаемых видов), в подбуре и глееземе количество предполагаемых видов примерно одинаково, и меньше, чем в криозёме (по 40).

По подсчетам исследователей, значительная часть видов гимнамёб почвенных биотопов не описана вовсе [Smirnov, 2004], а идентификация известных видов (описано всего 206 видов) требует применения сложных методик [Page, 1988]. Поэтому для оценки биоразнообразия почвенных голых амёб мы воспользовались системой морфотипов (Smirnov, 2004). Морфотипы голых амёб – это система распознавания локомоторной формы амёбы, каждый морфотип сопровождается рисунком, описанием характерных черт и списком видов. Амёбы, принадлежащие морфотипу *fan-shaped*, были встречены только в образцах криозёма, причем в доминирующем количестве. Основная часть

отмеченных видов морфотипа *fan-shaped* (9 предполагаемых видов), по нашим оценкам, относится к роду *Vannella*. Самыми распространёнными морфотипами в трёх изученных почвах оказались *acanthopodial*, *dactylopodial*, *eruptive*. Из минеральных горизонтов выделяются всего несколько видов мелких амёб (до 25 мкм) морфотипов: *eruptive*, *acanthopodial*, *monotactic*, *dactylopodial*, *branched*. Представители акантоподиального морфотипа встречаются в минеральном горизонте всех трёх изученных типов почв. Амёбы акантоподиального морфотипа обнаружены во всех образцах, выделено 18 видов, среди которых доминируют представители рода *Acanthamoeba* (7 видов). Акантамебы являются широко распространённым и наиболее типичным родом почвенных амёб. В наших исследованиях акантамебы встречаются как в верхних органогенных, так и в нижележащих минеральных горизонтах почвенных профилей. Во всех почвах встречены организмы, морфотипа *branched*, к которому относятся представители родов *Acramoeba*, *Leptomyxa*.

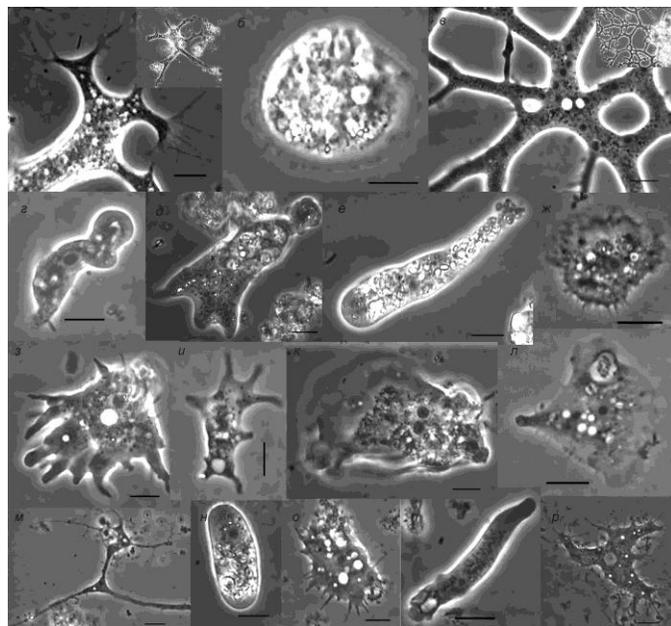


Рис.1. Некоторые представители *Gymnamoeba* в образцах мерзлотных почв.

Голые амёбы, обнаруженные в образцах, отличаются небольшими и средними для амёб размерами от 5 до 65 мкм, наибольшее количество обнаруженных видов находится в диапазоне 16–25 мкм. Небольшие размеры – характерная черта большинства почвообитающих амёб.

Таб.1 Распределение количества предполагаемых видов голых амёб в образцах мерзлотных почв Колымской низменности по морфотипам

Морфотип	Подбур		Криозём		Глеезём	
	T	Vfh <sub>2</sub>	Ah-Bh	B <sub>1</sub>	Ah	B <sub>1</sub>
polytactic					1	
orthotactic			1			
monotactic	4		4	1	2	
eruptive	2	1	3	1	6	
flabellate	3				2	
lens-like	11		2		5	
flamellian	2		3			
striate						
rugose			1			
lingulate	2		3		1	
lanceolate						
fan-shaped			12			
mayorellian			4			
dactylopodial	2		4	1	3	1
acanthopodial	3	3	5	3	4	1
branched	2		1		3	1
неопределенные	3		3		1	
heliozoa			2		4	
filose	1	1	7		3	1
<b>Всего</b>	<b>35</b>	<b>5</b>	<b>55</b>	<b>6</b>	<b>36</b>	<b>4</b>

Кроме того, в образцах были обнаружены солнечники – организмы, не характерные для почвенных биотопов. Однако ввиду того, что тундровые почвы имеют высокую влажность, присутствие представителей пресноводной фауны закономерно.

В разных типах мерзлотных почв наблюдаются различия в морфологическом и видовом разнообразии среди амёбидных организмов. Численность и видовой

состав амёбидных простейших обитающих в органогенном и следующим за ним минеральном горизонтах почвенного профиля существенно отличаются во всех рассмотренных почвах. В силу своего географического положения большую часть года весь профиль почвы находится в промерзшем состоянии, таким образом, обитающие в нем организмы подвержены прямому воздействию отрицательных температур. Почвенные простейшие обладают рядом адаптаций для длительного переживания подобных условий, это в первую очередь наличие специфических криптобитических стадий – цист покоя в жизненном цикле, сопровождающимися морфологическими, физиологическими и биохимическими изменениями в клетке.

Наши исследования показали, что почвы тундр успешно колонизированы гетеротрофными протистами и выявили разнообразные и богатые сообщества неоднородные по составу и численности в разных экологических нишах. Среди обнаруженных видов большой процент редких и ранее не описанных для почв организмов, кроме того, встречены новые виды амёбидных организмов. Также в образцах присутствуют виды - эврибионты, обычные для почв и пресноводных водоемов всего мира.

Мерзлотные почвы тундр представляют собой неисследованную область для перспективных работ по определению мировой фауны простейших и изучению адаптационных возможностей одноклеточных эукариотных организмов.

## Литература

- Page F.A 1988. New key to freshwater and soil Gymnamoebae. *Freshwater Biol. Association. Ambleside*
- Smirnov A. & Brown S. 2004. Guide to the methods of study and identification of soil gymnamoebae. *Pristology, v. 3, № 3, p. 148–190*

## Мониторинг деятельного слоя на севере Средней Сибири

С.М. Шпунтов

ЗАО «Ванкорнефть» ОАО «Роснефть»

В.И. Гребенец, Д.Г. Шмелёв

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова Географический факультет кафедра криолитологии и гляциологии

### Введение

Одной из главных инженерно-геокриологических проблем последних десятилетий является изменение вечномёрзлых пород, связанное с колебаниями климата. Увеличение температуры воздуха за последние 30 – 50 лет составило 1°C, но в высоких широтах оно достигло в отдельных регионах 5°C [Павлов, 2005]. В криолитозоне потепление сказывается, прежде всего, на изменении температурного режима грунтов и мощности сезонно-талого слоя, что, в свою очередь, приводит к снижению несущей способности замороженных фундаментов, увеличению сил морозного пучения и, таким образом, к развитию деформации зданий и сооружений.

Глубина сезонно-талого слоя – это «зеркало» вечной мерзлоты. Развитие сезонного протаивания обусловлено как внешними (климат, граничные условия), так и внутренними (состав и свойства грунтовой толщи) факторами.

### Методика

Для оценки динамики сезонно-талого слоя и его взаимосвязи с наблюдаемыми изменениями климата была разработана программа CALM – Circumpolar Active Layer Monitoring [Brown et al., 2000], которая реализуется с начала 1990-х годов и на данный момент включает около 170 пунктов наблюдений [Shiklomanov et al., 2008]. Весьма ценными представляются данные о дифференциации сезонного протаивания в разных ландшафтах различного уровня.

Наблюдения за сезонным протаиванием на площадке (индекс R-32) под Талнахом ведутся с 2005г [Zepalov et al., 2008]. Измерения производятся ежегодно в конце теплого периода с помощью металлического мерзлотного шупа, с ценой деления 1 см. Количество измеренных точек – 121 (с расстоянием между ними 10 м). В 2010 и в 2011 году проводились дополнительные измерения в середине лета (в июле). В 2007, 2009, 2010 и 2011 годах проводилось нивелирование площадки, что позволило получить представление об изменении рельефа – т.н. «дыхании поверхности».

### Район исследований

Площадка Талнах (R32) расположена в Норильском районе (Норильско-Рыбинская долина, ограниченная с севера плато Путорана). Климат исследуемого района – субарктический. Среднегодовая температура воздуха за период наблюдений составляет -9,8°C, количество осадков невелико и составляет примерно 300-400 мм [СНУП 23.01.99, 2001]. Площадка находится на Вальковской озерно-аллювиальной террасе [Шевелева, Хомичевская,

1967], на водоразделе и представляет собой пологоволнистую поверхность, осложненную небольшим термокарстовым озером и бугорками. Территория расположена в зоне лесотундр, но для опытной площадки характерны тундровые природно-территориальные комплексы (ПТК).

### Результаты и дискуссия

В результате детальных ландшафтных исследований в пределах площадки было выделено 6 природно-территориальных комплексов:

1 – хорошо дренированная бугорковатая поверхность, занятая рединой с ольхой, лиственницей, злаками и осокой в травянистом ярусе;

2 – пятнисто-медальонная тундра, в трещинах и на валиках кустарничково-осоково-моховая растительность;

3 – бугорковатая тундра с заросшими пятнами медальонами, с кустарничково-кустарничково-осоково-моховой растительностью;

4 – ложбины стока, термокарстовые понижения, пушицево-осоково-моховая тундра;

5 – бугор пучения с кустарничково-осоково-моховыми сообществами;

6 – термокарстовое озеро.

За период измерений на площадке (2005-2011 гг.) наблюдается увеличение глубины сезонно-талого слоя (СТС). Впрочем, этот тренд неоднозначен, можно отметить годы, когда наблюдалось и сокращение деятельного слоя (2007 и 2009 г.г.). Сопоставление данных о глубине сезонного протаивания с суммой положительных градусо-часов («индекс протаивания» – DDT), показывает, что климатический фактор является основным (табл.1).

Таблица 1. Средняя глубина протаивания по площадке CALM.

Год	DDT	Ландшафты					Ср.
		1	2	3	4	5	
2005	927	85	80	81	78	120	81
2006	964	105	91	91	89	79	91
2007	1107	98	92	93	85	79	90
2008	1073	108	95	96	89	87	94
2009	978	103	94	94	87	83	92
2010	793	103	89	91	97	85	93
2011	1046	109	93	96	95	87	96

В таблице 1 показано изменение средней глубины протаивания по площадке и в основных типах ландшафтов

и сумма положительных градусо-дней за период наблюдений. Вариация глубины СТС за период наблюдений составляет около 15 см. «Эффективность влияния» положительных градусо-часов составляет от 0,08 см/°С\*час до 0,11 см/°С\*час, следует отметить, что этот показатель был максимален в относительно холодное (но самое влажное) лето 2010 г., в то время как в самый теплый 2007 г. «эффективность влияния» была минимальной. Таким образом, связь глубины СТС и «индекса протаивания» - нелинейна и корректируется другими факторами (осадками в теплый период, влагонакоплением в грунтах в конце предыдущего сезона протаивания, растительностью и др.). Наиболее теплое лето (2007 год) не соответствует наибольшему протаиванию, что вызвано благоприятными условиями для растительности и увеличении ее протекторных свойств. Результаты полевых измерений глубины СТС в различных условиях при ведены на рис 1; максимальные глубины ежегодно фиксируются в «наиболее теплое» ПТК – в пределах хорошо дренированной бугорковой поверхности с ольхово-лиственничной рединой.

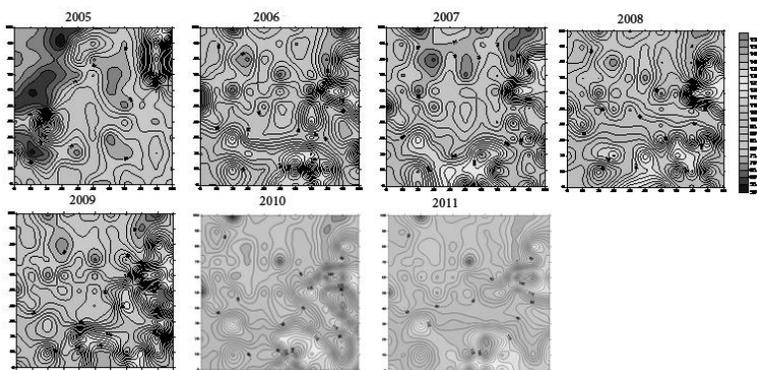


Рис.1. Картосхемы кровли вечномёрзлых пород на площадке CALM за период наблюдений.

Нивелировка поверхности (относительно т.1) позволила выявить различия в осадках оттаивающих грунтов для различных ПТК; в табл. 2 приведены сравнения для 2009 и 2011 г.г.

Из таблицы 2 видно, что в 2011 г. зафиксировано увеличение высоты поверхности во всех ландшафтах, за исключением пятнисто-медальонной тундры. Это связано с тем, что лето 2010 г. было очень влажным и дождливым, перед промерзанием грунты имели большую влажность, в результате чего наблюдалось повышение поверхности за счет пучения. Летом при протаивании грунтов влага мигрировала, в основном, к подошве СТС, что привело к снижению величины консолидированной осадки (за счет вытаивания льда и уплотнения талого грунта), поэтому в 2011 г. наблюдалось повышение высоты поверхности, хотя этот сезон был несколько теплее 2009 г.

Таблица 2. Изменение микрорельефа в основных типах ландшафтов.

Природно-территориальный комплекс	Средняя высота, м	Изменение высоты по сравнению с 2009 г., см	Изменение СТС по сравнению с 2009 г., см
1	66,36	8	6
2	66,97	9	-1
3	66,93	9	2
4	66,91	8	8
5	67,55	2	4
Вся площадка	66,91	8	3

### Выводы

Сезонное оттаивание грунтов (глубина, осадка) зависит не только от «индекса протаивания», но и от режима увлажнения в текущий и предыдущий теплые периоды. Различия в глубине СТС могут достигать 30 – 40 % в зависимости от ландшафтной структуры участка.

### Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Ведущие научные школы РФ», НИШ – 32.71.2010.5 и программы CALM, грант США, U.S. National Science Foundation OPP-0352957 grant.

### Литература

Строительные нормы и правила. Строительная климатология. СНиП 23.01-99. Система нормативных документов в строительстве. – М., 2001 – 67 с.

Шевелева Н.С., Хомичевская Л.С.. Геокриологические условия Енисейского Севера. – М.: Издательство Наука, 1967 г – 126 с.

Brown, J., Hinkel, K.M. and Nelson, F.E. The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Program: Research Designs and Initial Results// *Polar Geography* 24, (3), 2000, pp. 258.

Shiklomanov, N.I., Nelson, F.E., Streletskiy, D.A., Hinkel, K.M., Brown, J. The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Program: Data Collection, Management, and Dissemination Strategies// *Proceedings of the 9th Intern. Conference on Permafrost, Fairbanks, Alaska, June 29 - July 3, 2008, Vol. 2, 2008, 1647-1652.*

Zepalov, F.N., Grebenets, V.I., Streletskiy, D.A., Shiklomanov, N.I. 2008. Active-layer Monitoring at a New CALM Site, Taimyr Peninsula, Russia. *Proceedings of the 9th International Conference on Permafrost, Fairbanks, Alaska, June 29 - July 3, 2008, Vol. 2, 2037-2042.*

## Термоэрозия и оврагообразование на Тазовском полуострове

А.М. Шпунтова, Е.Е. Корнеева

Кафедра криолитологии и гляциологии, Географической факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

А.В. Быкова, В.Б. Павлунин

Ямбургская лаборатория мерзлоты Инженерно-технического центра, ООО «Газпром Добыча Ямбург», ОАО «Газпром»

### Введение

В работе приведены результаты полевых исследований, которые были проведены в поселке Ямбурге в июле 2009 г. на территории УКПГ-1В в районе куста газовых скважин № 126. Поставленной целью являлось получение углубленных знаний о термоэрозии и оврагообразовании. Район полевых работ представляет собой территорию газоконденсатного месторождения, которая находится на стадии интенсивного техногенного освоения. На территории месторождения пробурено множество эксплуатационных скважин, соединённых трубопроводами с заводами по подготовке газа к транспортировке, и автодорогами. Строительство коммуникаций и сооружений проведено и ведется по первому принципу СНиП [СНиП 2.02.04-88, 1990], т. е. с сохранением многолетнемерзлого состояния грунтов.

Уничтожение растительного покрова, почв и, в основном, изменение естественного стока поверхностных и подземных вод (в СТС) путём устройства насыпей для автодорог и инженерных сооружений приводит к дополнительному заболачиванию поверхности, водонасыщению грунтов и усилению эрозионного размыва с новообразованием оврагов.

### Методика исследования

Полевые наблюдения включали в себя маршрутные описания двух оврагов: №1 (ныне засыпанный) и развивающийся № 2а, при этом в различных точках оврага №2а проводились описания ландшафтных и литологических условий, измерения сезонно-талого слоя при продвижении от вершины оврага до его конуса выноса; параллельно изучались повторно-жильные льды в обнажении правого борта реки Нгарка-Пойловояха, а также крупная полигональная система, расположенная на исследуемой поверхности и включающая повторно-жильные льды, приуроченные к торфяникам. Площадка полевых работ расположена на берегу р. Нгарка-Пойловояха в 400 м западнее поворота автомобильной дороги к КГС-122В.

Абсолютные отметки поверхности изменяются от 18 (урез воды в реке) до 30 м. Координаты местоположения оврага № 2а: 65 ° 57' с.ш., 75 ° 52' в.д. Природные условия на многих участках исследуемой территории существенно преобразованы техногенным воздействием [Гребенец, Павлунин, 2007].

### Результаты и дискуссия

В овраге №1, расположенном в 150м выше по течению реки Нгарка-Пойловояха от оврага № 2а, раньше уже была произведена инженерная защита территории от развития опасного процесса: существующий овраг был засыпан

песком, по поверхности в водосборной области атмосферных осадков оборудован лоток для сбора и отвода воды. Устье оврага также было засыпано и укреплено подпорной стеной из установленных вертикально в несколько рядов железобетонных плит. Плиты были укреплены металлическим каркасом жесткости, который, в свою очередь, крепился к анкерным трубам-сваям, расположенным в 7,5-12 м от стены.

При обследовании защитного инженерного сооружения, территории вокруг оврага №1, а так же по результатам изысканий в пройденных рядом скважинах установлено следующее:

а) конструкции из железобетонных плит под статическим напором, в результате морозного пучения грунтов, выдавлены в сторону реки до 0,5м;

б) сваи-трубы, удерживающие металлический каркас, также наклонились в сторону реки;

в) у подпорных железобетонных плит в насыпных грунтах сформировалась линза льда;

г) западнее на 5-10м от водосборного лотка наблюдается образование по морозобойным трещинам ложбины стока в сторону реки сечением до 0,5м. Без принятия соответствующих мер в ближайшее время по ней возможно образование новой овражной системы.

Площадка полевых исследований расположена на III Казанцевской морской террасе, сложенной отложениями Зырянской свиты, местами перекрытых болотными отложениями. Устье исследуемого оврага № 2а выходит на прирусловую отмель реки Нгарка-Пойловояха (рис.1.)



Рис.1. Устье оврага № 2а.

Рельеф площади водосбора оврага ровный, углы наклона поверхности земли обычно не превышают 3 - 5°. Растительный комплекс с левой стороны оврага представлен карликовой березой (*Betula nana*), шикшей

черной (*Empetrum nigrum*) и ягелем (*Citraria islandica*); с правой стороны растительный покров представлен, в основном, осокой (*Carex*).

Отложения морской террасы представлены преимущественно песками мелкими, мощностью более 10 метров, с

редкими линзами и прослоями пылеватых песков. Вдоль западного борта оврага на поверхности песков залегает торф, мощностью 0,7-1,6 м, а в верхней части оврага с восточной стороны – мощностью до 3,1 м.

Устье оврага выходит на прирусловую отмель реки Нгарка-Пойловояха, сложенную аллювиальными слоистыми примитивными почвами, илистыми и песчаными наносами с несомкнутыми травяными группировками. От вершины оврага вниз, на расстояние 133,5 м идет развитие активной части оврага [Иванов и др., 2007].

На поверхности склонов оврага наблюдаются активные процессы морозобойного растрескивания, сплывы и обрушения материала бровки и откосов, происходит активный рост и врезание (размыв) дна оврага по существующей ложбине стока. По бортам оврага происходит формирование небольших отвершков.

С восточной стороны оврага, в районе первого шлейфа газопровода наблюдается термокарстовое понижение, развитие которого может привести к образованию нового отвершка оврага и оголению свай эстакады газопровода.

Во время полевых работ на дне оврага был зафиксирован постоянный водоток. На вершине оврага были сделаны следующие измерения: средняя глубина сезонно-талого слоя (СТС) составила 32 см (18 июля 2009 г.), ширина - 5 м 60 см, глубина 0,8 м, ширина тальвега составила 0,9 м. Продвигаясь непосредственно к устью оврага, все приведенные выше показатели растут. В 82 метрах от начала оврага показатели следующие: СТС=95 см, ширина оврага=19 м, глубина оврага=5,7 м, ширина тальвега составила 0,4 м. На этом участке измерений вид оврага резко меняется: склоны становятся более крутыми, более выработанными, на склонах скапливаются песчаные наносы. Здесь же сформировался еще один отвершек оврага (покрытая травянистой растительностью балка), который формирует свой водоток. На склонах появляется растительность; чаще всего это - осоковые ассоциации. Степень зарастания склонов достаточно невелика в середине оврага и становится четко выраженной ближе к конусу выноса (процент зарастания составляет 60-70 %). Почвенный покров изменяется от заторфованной поверхности (в начале оврага) до песчаных откосов (ближе к конусу выноса оврага). Конус выноса оврага характеризуется следующими показателями: СТС составляет 0,8 м, ширина оврага=28,4 м, глубина=7,8 м, а ширина тальвега оврага в непосредственной близости от размывания его рекой Нгарка-Поелавайха составляет 1 м.

Средняя и нижняя часть русла оврага имеет характерный V-образный врез.

Параллельные исследования берегового обнажения выявили наличие системы повторно-жильных льдов (глубиной до 4 – 6 м), приуроченных к мощным торфяникам, подстилаемых сильнольдистыми супесями и пылеватыми тонкозернистыми песками; было установлено, что зоны зарождения термоэрозии приурочены к жильным льдам.

## Выводы

Овраг №2а развивается очень быстро. Он достиг своих размеров фактически за 5 – 6 лет и представляет собой эрозионно-размывной комплекс, угрожающий оголению свай эстакады газопровода. Активизации термоэрозии способствуют неорганизованные сбросы воды с территории Укрупненного комплекса по подготовке газа. Несомненно, что большая снежность в регионе и, соответственно, паводковые воды усиливают оврагообразование. Нужны срочные меры по подавлению молодой активно развивающейся овражной системы. Негативная ситуация складывается параллельно многочисленным автодорогам, связывающим газовые промыслы Ямбургского месторождения: отмечается подтопление примыкающих участков, возникают условия для термоэрозии легкоразмываемых пылеватых и сильнольдистых мерзлых отложений.

## Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Ведущие научные школы РФ», НШ – 32.71.2010.5, компании «КонакоФиллипс Россия Инк» и ООО «Гапром Добыча Ямбург».

## Литература

- Гребенец В.И., Павлуни В.Б. Формирование природно-техногенных геокриологич. комплексов на территории Ямбургского газоконденсатного месторождения. / В кн: Материалы Международ. конференции «Криогенные ресурсы полярных и горных регионов». Состояние и перспективы инженерного мерзлотоведения». – Тюмень, 2007, 76-78 с.
- Иванов М.Н., Земскова А.М., Гюнтер Ф. Мерзлотный мезо- и микрорельеф западной части Тазовского полуострова // Материалы Международ. конференции “Криогенные ресурсы полярных регионов”, Т.2., – Пушино: ОНТИ Пушинского научного центра РАН, 2007. с. 152-155.
- СНиП 2.02.04-88, 1990

## Экологические проблемы территории нефтегазовой промышленности в криолитозоне Среднего Приобья

Н.К. Шумская, Т.М. Потапова

Санкт-Петербургский Государственный Университет, г. Санкт-Петербург, Россия

В 1960-х годах началось активное освоение территории Среднего Приобья в целях разработки нефтегазовых месторождений. В этот период Тюменским УГМС велись гидрологические и гидрохимические наблюдения на олиготрофных болотах на территории Среднего Приобья (Васюганское, Самотлорское). Не смотря на наличие большого информационного блока гидрологических и гидрохимических данных, их обобщение в литературе не представлено. В связи с этим нами были проанализированы и обобщены материалы гидрохимических наблюдений по малым рекам, принимающим сток с болот нефтегазоносных районов Западной Сибири таких как: Лямин, Тром-Юган, Вах, Большой Юган, Васюган, на водосборе этих рек расположены крупные месторождения как Лянторское, Самотлорское и многие другие стационары.

Были обобщены данные за два периода наблюдения, 1960-1970 и 1980-1985. включающие выборки от 100 и более числа наблюдений по основным ингредиентам химического состава (рН, общая минерализация, главные ионы, железо, цветность, нитратный и нитритный азоты). На основе статистической обработке имеющихся данных были выделены два типа речных вод: Иго типа (р.Васюган, р.Большой Юган) с повышенной минерализацией (132мг/л) и Иго типа (р.Вах, р.Тром-Юган, р.Лямин) с ультрамалой минерализацией (40 мг/л), они наиболее подвержены болотному влиянию, что сказывается на рН, общей минерализации, содержанию железа.

Различие в химическом составе речных вод двух типов объясняется физико-географическими особенностями территории водосбора: на левобережье Оби распространены низинные болота, особенностью которых является повышенная минерализация, слабокислая рН реакция (до 7), на правобережье преобладают олиготрофных болота (верховые), воды которых характеризуются пониженной минерализацией и кислой рН средой (до 5,3), см. Таблицу 1.

Существенное воздействие на состав поверхностных вод оказывает антропогенный фактор, который связан в основном с разведкой и добычей нефти. Хозяйственное освоение и использование сопровождается сбросом на местность буровых растворов и сточных вод с повышенным содержанием солей натрия (хлоридов и боратов), тяжелых металлов. Часто добыча и транспортировка сопровождается аварийными разливами нефти, приводящие к увеличению содержания нефтепродуктов в болотах, озерах и реках-водоприемниках.

На основе проведенной дифференциации химического состава предложено, что воды рек Иго типа, характеризующиеся кислой рН, могут привести к быстрой коррозии труб. В свою очередь требует коррозионные

устойчивые материалы, также снижение солености буровых сточных вод.

Таблица.1. Распространение болот на территории Среднего Приобья

Река	Тип болот	Общая минерализация мг/л	рН	Fe, мг/л	Цветность град.
Васюган	низинные	162	6,9	0,8	120
Большой Юган	низинные	105	6,8	1,4	122
Вах	верховые	50	5,6	1,6	70
Тром-Юган	верховые	37	5,6	1,6	72

Для водосборной территории Иго типа со слабокислой рН наибольшее негативное влияние на экологическую устойчивость района нефтегазодобычи влияет использование буровых вод, как правило, использующиеся для откачки нефти и газа, что в свою очередь нарушает экологическое равновесие и приводит к образованию очагов мертвой зоны.

Для минимизации неблагоприятных последствий использования буровых вод требуется их очистка, позволяющая снизить содержание реакционных солей (тетрабората натрия), входящих в состав буровых вод.

### Литература

- Новиков С.М. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири. – СПб.: ВВМ, 2009;.
- Потапова Т.М., Новиков С.М. Оценка антропогенных изменений химического состава болотных вод и стока растворенных веществ с территории естественных и мелиоративных болот // Вестн. СПбГУ. Сер.7. Вып. 2. – 2006. – С.85-95
- Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим под редакцией Иванова К.Е., С.М. Новикова, –Л.: Гидрометеиздат, 1976
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 15 Алтай и Западная Сибирь выпуск 2 Средняя Обь, – Л.: Гидрометеиздат, 1972.

## Сопоставление длительного эквивалентного сцепления суглинка по двум прогнозным уравнениям

Юань Фэй

*Кафедра геокриологии, Московский Государственный Университет имени Ломоносова, Москва, Россия*

Мёрзлыми называются грунты обладают реологическими свойствами, которые проявляются в виде ползучести, релаксации напряжений, снижения прочности во времени.

Работа посвящена исследованию длительной прочности методом вдавливания шарикового штампа, который разработан Н.А. Цытовичем, С.С. Вяловым, широко применяется в практике. Он заключается в приложении постоянной нагрузки Р на штамп и определения глубины его погружения в грунт во времени t. По значению осадки штампа  $S_t$  определяется эквивалентное сцепление  $C_{eqt}$  во времени.

$$C_{eqt} = \frac{0.18P}{\pi d S_t}, \text{ где } d\text{--диаметр штампа (1)}$$

Испытаны 5 образцов суглинка различной плотности и влажности при температуре -1 и -4°C. Полученные зависимости эквивалентного сцепления от физических свойств и температуры грунта, показали, что с увеличением льдистости и уменьшением плотности, эквивалентное сцепление снижается. Понижение температуры обусловило увеличение прочности, что связано с уменьшением содержания незамерзшей воды.

По данным испытаний выполнен прогноз эквивалентного сцепления  $C_{eq30}$  на период времени 30 лет по уравнениям (2) С.С. Вялова и (3) Wu, Zhang, Zhu.

$$C_{eq30} = \frac{\beta}{\ln \frac{t + t^*}{B}} \tag{2}$$

$$C_{eq30} = \frac{C_H}{\left(\frac{t}{t_H}\right)^{\beta_\theta}} \tag{3}$$

где  $t^*$  - единичное время;  $\beta$  и  $B$  - опытные параметры (рис 1);  $\beta_\theta$  - опытный параметр;  $C_H, t_H$  - эквивалентное сцепление на начальный опытный период  $t_H$  (рис 2).

Сопоставление результатов по обоим уравнениям показало – логарифмическое уравнение С.С. Вялова дает завышенное значение длительного эквивалентного сцепления по сравнению со степенным уравнением Wu, Zhang, Zhu. Это указывает на необходимость тщательного выбора прогнозных уравнений длительной прочности на основе опытных данных.

По полученным прогнозным значениям  $C_{eq30}$  рассчитано также сопротивление нормальному давлению R.

$$R = 5.7C_{eqt} \tag{4}$$

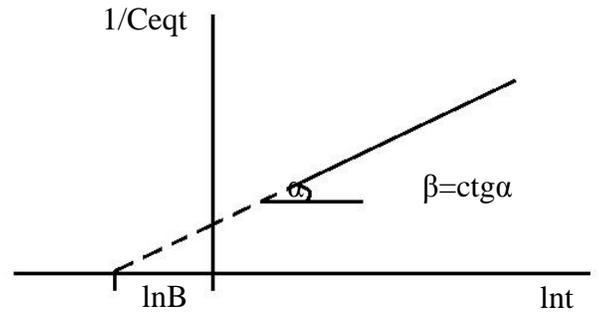


Рис.1. График для определения параметров уравнения (2)

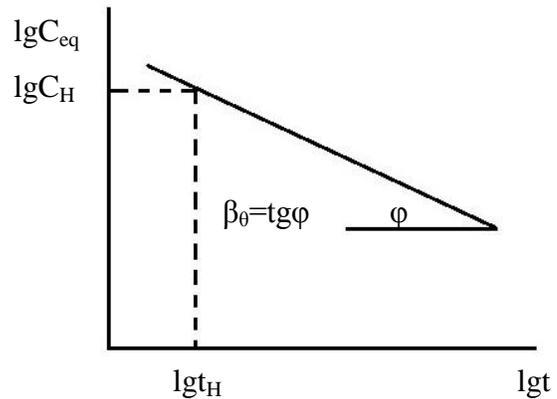


Рис.2. График для определения параметров уравнения (3)

Таблица. Результаты расчета сцепления  $C_{eq30}$ , и сопротивления нормальному давлению R разными методами

№ обр.	Свойства грунта суглинок, аллювий Плейстоценового возраста	По уравнению			
		С.С. Вялова (вверху)		Wu, Zhang, Zhu (внизу)	
		$C_{eq30}$ , МПа		R, МПа	
		-1°C	-4°C	-1°C	-4°C
1	$\rho=1.87\text{г/см}^3$ , $W=30.6\%$	-	0.098	-	0.556
		0.013	0.049	0.074	0.279
2	$\rho=1.89\text{г/см}^3$ , $W=29.0\%$	-	0.092	-	0.523
		0.024	0.045	0.137	0.257
3	$\rho=1.67\text{г/см}^3$ , $W=36.6\%$	-	0.049	-	0.278
		0.025	0.044	0.143	0.251
4	$\rho=1.94\text{г/см}^3$ , $W=18.2\%$	0.041	0.060	0.233	0.342
		0.003	0.040	0.017	0.226
5	$\rho=1.92\text{г/см}^3$ , $W=26.5\%$	-	0.079	-	0.453
		0.026	0.026	0.148	0.148

**Литература**

- Вялов С.С., Цитович Н.А. 1956. Оценка несущей способности связных грунтов по величине вдавливания сферического штампа // Докл. АН СССР. №6.-С.1193-1196.
- Вялов С.С. 1978. Реологические основы механики грунтов. – М.: Высшая школа.-447с.
- Роман Л.Т. 2002. Механика мерзлых грунтов. – М:МАИК / Наука / Интерпериодика ". – 426с.
- СНиП 2. 02. 04 – 88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. – М.: НИИОСП. 1982.13 с.
- Wu Z., Zhang J., Zhu Y. 1983.Field experiments creep of ground ice on Qianghai – Xizang plateau // Professional papers on permafrost studies of Qinghai – Xizang plateau. Lanzhou: Academia Sinica. China, . P. 120-123.

## Карты геокриологического районирования Арктических регионов криолитозоны

Н.В.Ястреба, Л.Н.Крицук, В.А.Дубровин

*Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО), Московская область, Россия*

В связи с начавшимся хозяйственным освоением северных регионов криолитозоны, богатых полезными ископаемыми, возникла настоятельная необходимость в составлении карт, призванных отразить закономерности формирования и современного состояния геокриологических условий осваиваемых районов, а также информацию о наличии и условиях залегания мощных подземных льдов, широко распространенных в этих регионах.

Как показал опыт десятилетних картосоставительных работ авторов доклада наиболее информативными для труднодоступных и практически неосвоенных районов криолитозоны являются карты геокриологического районирования. Принципы и методика составления подобных карт были разработаны в институте ВСЕГИНГЕО в процессе многолетних инженерно-геокриологических работ на севере Западной Сибири в конце прошлого века.

Согласно этим разработкам в основе геокриологического районирования лежит типизация территории по характеру тепло-массообмена горных пород с атмосферой и литосферой. Выделенные участки разных типов (разнопорядковые морфоструктуры) в таком случае будут характеризоваться различными компонентами геокриологических условий или их комплексами, а также разной реакцией геологической среды на техногенные воздействия. При этом территориально разобщенные участки, характеризующиеся близкими условиями тепло-массообмена (в пределах одной геологической структуры и одной природно-климатической подзоны) оказываются подобными в геокриологическом и эколого-геологическом отношении [Крицук 2010; Крицук и Дубровин 2003].

Разработанная методика позволяет типизировать геокриологические условия с выделением (в зависимости от масштаба карты) типов мерзлых толщ, их групп либо частей, различающихся устойчивым комплексом интервальных значений параметров криолитозоны. Размеры и количество элементов районирования находятся в прямой зависимости от задач районирования и масштаба составляемых карт.

Выраженность в рельефе разнопорядковых морфоструктур является методической основой использования при районировании и картографировании территории криолитозоны материалов дистанционного зондирования Земли [Дубровин и др. 2011].

В процессе сплошного дешифрирования космических материалов разного пространственного разрешения (панхроматических и спектральнозональных) составляются ландшафтно-индикационные карты, которые являются картографической основой для составления карт геокриологического районирования. Выявленные в результате комплексных геокриологических исследований (дистанционных и наземных) ландшафтные индикаторы геокриологических условий (комплексные и частные)

позволяют экстраполировать данные наземных работ на значительные территории.

Специфической особенностью составляемых по разработанной методике карт является учет всех основных факторов теплообмена горных пород с атмосферой и литосферой, формирующих комплекс геокриологических условий различных районов и регионов – **природно-климатических**, т.е. зональных; **геолого-структурных**, т.е. региональных и **ландшафтно-геоморфологических**, т.е. местных (с учетом масштаба составляемых карт).

Разработанная методика была реализована авторами при составлении разномасштабных (от крупных до обзорных) карт разных районов криолитозоны Западной Сибири, всей криолитозоны России и Карского шельфа, а также обзорной карты Аляски и Канады.

Идея составления последней карты возникла у одного из авторов международной циркумарктической карты (составленной в 1991г коллективом авторов разных стран) с целью убедиться в универсальности закономерностей формирования и пространственного размещения залежеобразующих подземных льдов, установленных для Западной Сибири [Крицук 2010]. Основой для составления карты геокриологического районирования Аляски и Канады явилась «Circumarctic map of permafrost and ice conditions», изданная в 1997г [Heginbottom and all 1993]. С этой карты взяты границы геокриологических зон (уточненные для территории Аляски по более крупномасштабной карте [Broun and all 2008], характеризующих площадное распространение мерзлых пород, а также информация по распространению природных льдов (подземных и поверхностных).

Основным отличием составленной нами карты от опубликованных ранее является учет геолого-структурных и неотектонических особенностей картируемых регионов, важное значение которых для формирования компонентов геокриологических условий было установлено при изучении криолитозоны Западной Сибири [Крицук 2010].

На основе анализа опубликованных физических, тектонических и геоморфологических карт (путем использования ГИС-технологий) и сплошного дешифрирования космических снимков разного разрешения (Google Earth) были выделены регионы трех порядков, представленных разнопорядковыми морфоструктурами и различающихся геологическими и гидрогеологическими условиями, а также комплексом геокриологических условий.

Регионы I порядка представляют собой тектонические структуры, выделенные на тектонической карте Северной Америки [Тектонические карты континентов 1967]; регионы II порядка представляют собой крупные морфоструктуры, взятые с «Геоморфологической карты Америки» м-ба 1:30 000 000 [Физико-географический атлас

мира 1964]. Регионы I и II порядков разделены границами с соответствующими индексами, а регионам III порядка (в роли которых выступают новейшие морфоструктуры, различающиеся абсолютными отметками рельефа) отдано основное изобразительное средство - цвет. Далее с обзорной карты м-ба 1:45 000 000 на составляемую карту были перенесены зоны разломов (красным цветом), а на основе дешифрирования КС выделены крупные кольцевые и линейные неотектонические морфоструктуры. В пределах этих морфоструктур, по сложившемуся у авторов представлению, возможно существование на разной глубине мощных макроледяных тел, сформировавшихся при неравномерном промерзании подземных вод разных горизонтов и комплексов [Крицук 2010]. Характерно, что показанные на циркумарктической карте («Circumarctic map of permafrost and ice condition») скопления подземных льдов на севере Канады и Аляски безусловно тяготеют к зонам разломов.

Дешифрирование космических снимков позволило сделать выводы об особенностях распространения подземных льдов Аляски и Канады.

Здесь, так же как и в России, в распространении подземных льдов отмечается их приуроченность к тектонически активным участкам земной коры, связанным с зонами глубинных разломов, омоложенных в кайнозой. Обнажения мощных подземных льдов наблюдаются на морских побережьях, берегах озер и в долинах рек (где они вскрываются в настоящее время либо существовали прежде) на участках с крутыми петлеобразными изгибами русел и подрезания ими крутого берега. Многочисленные пинго Канады, изучавшиеся в 70-80 гг. прошлого века Р.Маккеем, генетически связаны с днищами древних озер, явно тектонического происхождения, на что указывает их вытянутая форма и линейная ориентированность в направлении главных зон разломов. При дренировании этих озер в их днищах формируются полигонально-концентрические морфоструктуры, включающие жильные льды, которые находятся в парагенетической связи со льдами пинго. Подобные же полигональные структуры широко развиты в долинах рек на севере Аляски, где они приурочены к современным или древним спущенным озерам («хасыреям») на пойме и низких террасах (рис.1).

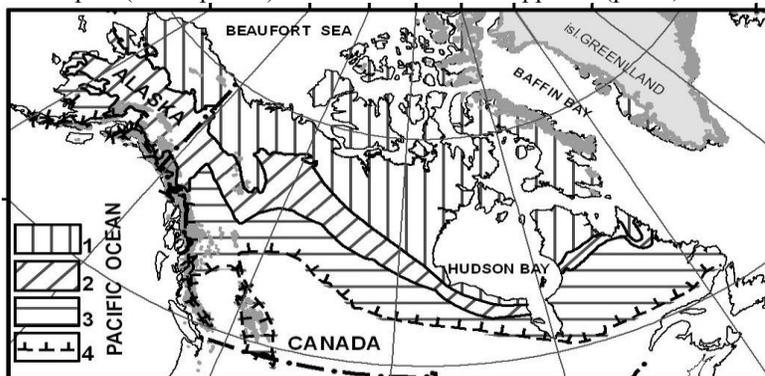


Рис.1. Схема «Карты геокриологического районирования криолитозоны Аляски и Канады» (масштаб 1:10 000 000)

Зоны распространения многолетнемерзлых пород:  
1-сплошной; 2 – прерывистой; 3 – островной; 4 – южная граница распространения многолетнемерзлых пород.

Составленная карта геокриологического районирования в отличие от «Circumarctic map of permafrost and ice condition» позволяет судить об особенностях геологических, гидрогеологических и геокриологических условий и их различиях во всей мерзлой толще пород на глубину до ее подошвы, а также экстраполировать данные измерений температуры ММП и их мощности на подобные в отношении условий теплообмена горных пород с атмосферой и литосферой районы. А анализ разломной тектоники позволяет прогнозировать вероятность наличия мощных подземных льдов. Кроме того, эта карта может служить основой для составления карт более крупного масштаба на основе дешифрирования космических снимков высокого пространственного разрешения. Опубликованный опыт подобной работы имеется у авторов доклада при составлении карт геокриологического районирования трассы газопровода Бованенково – Байдарацкая Губа в масштабе 1:10 000 (2011г).

Карты геокриологического районирования, составленные по разработанной методике, легко читаются, т.к. они не перегружены фактическими данными, которые представляются в таблицах-экспликациях.

По сравнению с другими видами карт цифровые карты геокриологического районирования, составленные по данной методике, наиболее предпочтительны для интегральной оценки состояния криолитозоны, разработки сценариев геокриологического прогноза и отражения вариаций прогнозных оценок.

Отражение основных закономерностей формирования геокриологических условий на мелко- и среднемасштабных картах геокриологического районирования позволяет оценивать особенности геокриологических условий больших территорий, прогнозировать их изменения при хозяйственном освоении, выбирать оптимальные с точки зрения устойчивости геологической среды и проектируемых сооружений участки, а также планировать природоохранные мероприятия.

## Литература

- Дубровин В.А., Крицук Л.Н., и Ястреба Н.В. 2011. Карта геокриологического районирования криолитозоны России для выбора объектов мониторинга и обоснования наблюдательных сетей. Разведка и охрана недр. М., №9: 52-57.
- Крицук Л.Н. 2010. Подземные льды Западной Сибири. М. Научный Мир, 350с.
- Крицук Л.Н. и Дубровин В.А. 2003. Карты геокриологического районирования как основа геозкологической оценки осваиваемой территории криолитозоны. // Разведка и охрана недр. М., №7: 15-20. №7.
- Heginbottom J.A., Broun J., Melnikov E.S. and Ferrians O.J. 1993. Circumarctic map of permafrost and ice conditions. In Proc., Sixth Int. Conference on Permafrost, Beijing, Vol.2, pp. 1132-1136.
- Broun J. and all. 2008. Permafrost Characteristics of Alaska. Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks, Desember update to July NICOP.

## Моделирование состояния вечной мерзлоты в контрастных климатических условиях

П.А.Морозова

*Институт географии РАН, лаборатория климатологии, Москва, Россия*

В рамках данной работы проводится моделирование состояния вечномёрзлых грунтов для контрастных климатических условий. Под «контрастными климатическими условиями» понимаются типичные срезы палеовремени, которые рассматриваются в рамках международного проекта PMIP [<http://pmip.lsce.ipsl.fr>]. Первым таким типичным срезом является эпоха позднелейстоценового криохрона (21 000 календарных лет назад, в дальнейшем 21 т.к.л.н.), то есть максимум последнего оледенения. Вторым – эпоха оптимума голоцена (6 т.к.л.н.), то есть пример теплого климата. Третий, так называемый «базовый» срез – это современный климат. Главной задачей проекта PMIP является сопоставление результатов ведущих климатических моделей по воспроизведению климатов вышеозначенных эпох, а также их сравнение с «эталоном». Таким «эталоном» для современных климатических условий являются данные наблюдений, а для палеоклиматических «срезов» данные палеореконовструкций. Сравнение результатов моделирования с фактическими данными (наблюдений и реконструкций) позволит оценить качество воспроизведения как современных климатических условий, так и контрастных (позднелейстоценового криохрона и оптимума голоцена).

Для решения задачи численного моделирования вечной мерзлоты используется модель теплообмена на суше SPONSOR, разработанная в лаборатории климатологии ИГ РАН и участвовавшей во всех международных экспериментах сравнения таких моделей [Slater *et al.*, 2001; Etchevers *et al.*, 2004; *и др.*]. Модель SPONSOR рассчитывает все составляющие теплового и водного баланса на суше, а также переменные состояния (эффективную температуру поверхности ландшафта, температуру в почве, её влагосодержание, количество замёрзшей воды в почве, альбедо и т.д.). Все перечисленные параметры рассчитываются на каждом шаге по времени (для устойчивой работы модели шаг должен составлять не более 6 часов). При работе модели требуется на каждом шаге задать значения нескольких метеорологических переменных (температуры и влажности воздуха, скорости ветра, осадков, потоков радиации и т.д.). Для работы схемы требуются значения ряда ландшафтных параметров, часть

из которых может иметь сезонный ход. Эти параметры жёстко связаны с типом растительности либо с типом почвы в каждой ячейке суши. Кроме того, задаются (в качестве нижних граничных условий по теплу и влаге) значения глубинной температуры грунта и глубины залегания грунтовых вод. Число и толщина расчётных уровней в почве может меняться. Детальное описание модели SPONSOR приведено в работах [Shmakin, 1998; Шмакин, Рубинштейн, 2006].

Граничными условиями для модели SPONSOR в данном случае являются выходные данные климатических моделей, участвующих в проекте PMIP. Таким образом, возможно проведение ряда численных экспериментов по воспроизведению мерзлотных условий позднелейстоценового криохрона, оптимума голоцена и современного климата. Такой подход позволяет более детально проследить динамику криолитозоны Северной Евразии, оценить чувствительность мерзлоты к изменившимся климатическим условиям, с одной стороны, а с другой – оценить качество работы модели путем сопоставления полученных результатов с данными палеореконовструкций.

### Литература

- Официальный сайт PMIP: <http://pmip.lsce.ipsl.fr>  
 Шмакин А.Б., Рубинштейн К.Г. 2006. Валидация динамико-статистического метода детализации метеорологических параметров // Труды Гидрометцентра России, вып. 341, с. 186-208  
 Slater A.G., Schlosser C.A. 2001, Desborough C.E. et al. The representation of snow in land surface schemes: results from PILPS 2(d) // Journal of Hydrometeorology, vol. 2, No.1, pp.7-25  
 Etchevers P., Martin E., Brown R. et al. 2004 Validation of the energy budget of an alpine snowpack simulated by several snow models (SnowMIP project) // Annals of Glaciology, vol.38, pp. 150-158  
 Shmakin A.B. 1998, The updated version of SPONSOR land surface scheme: PILPS-influenced improvements // Global and Planetary Change, 1998, vol. 19, No. 1-4, pp. 49-62.

## Тема изменений климата в новом «Докладе о социально-экономическом развитии Арктики (2014 год)»

А.Н.Пилясов

*Центр экономики Севера и Арктики Совета по изучению производительных сил  
Минэкономразвития России и РАН (СОПС), Москва, Россия*

В.И.Сморчкова

*Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ*

Разработка первого доклада о социально-экономическом развитии Арктики была инициирована Арктическим советом в 2002 году. Он вышел с 2004 году и, безусловно, стал важным событием для научной общественности, вовлеченной в арктическую проблематику. Его непосредственным продолжением стал проект по арктическим социальным индикаторам и проект «Эконор», с помощью которых впервые была консолидирована и представлена в едином формате информация о социально-экономических процессах в арктических регионах мира. Можно считать, что и российский Доклад о положении в Арктике, который был разработан Экспертным советом при Председателе Совета Федерации Федерального Собрания в 2010 году, стал достойным продолжением и развитием первого «Arctic Human Development Report».

Спустя десять лет после разработки первого Доклада о социально-экономическом развитии циркумполярной зоны рабочая группа Арктического совета по устойчивому развитию инициировала разработку второго доклада, срок подготовки которого – 2012-2014 гг. Основная идея нового доклада – отразить те тренды в социальных и экономических процессах, которые наметились в полярных странах за период, прошедший после разработки первого документа.

Также, важнейшей, сквозной, задачей, поставленной перед всеми авторами глав этого документа, является разработка темы изменений климата и их влияния как на арктические регионы и страны в целом, так и на судьбу северных малых приморских сообществ и поселений в

частности. Т.о., должно быть отобразено влияние климата на различные уровни административного управления и разные «измерения» экономики – деятельность крупных компаний, работу малого и среднего бизнеса, оказание социальных услуг и т.д. Тема изменений климата, наряду с гендерной проблематикой и темой глобализации, должна быть сквозной и охватывающей во всех главах Доклада.

В процессе нашей работы накапливается эмпирический материал о социальных и экономических издержках и выгодах, которые изменений климата создают для аборигенных и переселенческих сообществ. Ученые Аляски, северной Канады, стран Северной Европы и России представляют доказательства и теоретические осмысливают новый для арктической экономики феномен, воздействие которого в последние два десятилетия постоянно возрастало. В докладах Конгрессов Международной ассоциации социальных исследователей Арктики звучит «человеческое измерение» – тот социально-экономический эффект, который вызывается сокращением ледовитого покрова в Северном Ледовитом океане и уменьшением площади криолитозоны в последние два десятилетия. Приводятся убедительные доказательства того, что изменения климата и связанные с этим процессы в биосфере, в экосистемах, в криолитозоне Земли, – это не только объект исследования природных феноменов и принятия технологических решений, но прежде всего фактор, требующий немедленной разработки всеобъемлющих социальных программ.

## Погребенные почвы Колымской низменности: их место и роль в ландшафтах Палеарктики

Л.А.Фоминых, Б.Н.Золотарева, Д.Л.Пинский

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (ИФХиБПП РАН),  
Пушино, Московская обл., Россия

### Реферат

В экстремально холодных аридных условиях заключительного этапа позднего плейстоцена (времени МИС 2-3) на низменностях Северо-Востока Азии аккумулятивное почвообразование с формированием высокопродуктивных ландшафтов протекало в термокарстовых котловинах – аласах и аласных долинах – ныне «вымерших» оазисах Палеарктики, отдаленном аналоге современных аласов Центральноякутской котловины

**Ключевые слова:** оазисы Палеарктики; озерный термокарст; палеопедогенез; поздний плейстоцен; тектонические процессы

Исследованы погребенные почвы различных геолого – геоморфологических районов Колымской субарктики. Голоценовое почвообразование представлено в долине Колымы разновозрастными палеопочвами, вскрывающимися в обрывах рек, стариц и озер низкой и высокой поймы и I надпойменной террасы - Халлерчинской тундры [Фоминых и др., 1986, Гугалинская, Фоминых 1988, Gugalinskaya et al. 1988].

Позднеплейстоценовые почвы исследованы в ареале отложений ледового комплекса – едом на Приморской низменности и предгорной равнине. Эти почвы являются хранителями информации о житницах древних ландшафтов, кормивших в условиях очень сурового климата многочисленный стада травоядных животных «мамонтной фауны». Интерес к ним и по сей день велик у огромного круга естествоиспытателей и прежде всего, в связи с проблемой плейстоценовой «тундростепи». Выявлены особенности генезиса этих почв [Фоминых, Гугалинская 1989, 1990, Fominykh 1991], их возраст, закономерности встречаемости и место в палеорельефе исследуемой территории [Фоминых и др. 2010]. Местобитания палеопочв каргинско-сартанского возраста (МИС-3-2) – это аласы и аласные долины, которые в результате избирательного термокарста сформировались в тектонически активных зонах – в прибортовых частях едомных массивов. Цикличность криолитопедогенеза аласных котловин отражает последовательность процессов осадконакопления-почвообразования, определивших дискретный характер заполнения древних чаш протаивания.

К настоящему времени на значительных площадях основные массивы этих аласов разрушены и освоены современными речными долинами. Сохранилась только тыловая часть с обилием костного материала, проецируемого на бечевник из разрушающихся их стенок, с включениями в ряде мест погребенных древесных остатков и серией погребенных почв, обнаруживающих, как и вмещающие их отложения, признаки засоления [Фоминых, Золотарева 2008, 2010]. Время формирования палеопочв в

пределах древнего аласа Алазеи (рис.1), в ареале островного распространения едом (40, 23, 19 т.л.н.) – отвечает главным природным рубежам позднего плейстоцена [Свиточ 1987]. Отложения в основании одновозрастной аласной котловины, расположенной ниже по течению р. Алазеи (обнажение №82, [Шер 1971]) охарактеризованы радиоуглеродной датой  $37980 \pm 860$ ; МАГ-158 [Шер и др. 1979] Дата 40 тыс. лет – это возраст палеопочвы над головой плейстоценовой ледяной жилы.

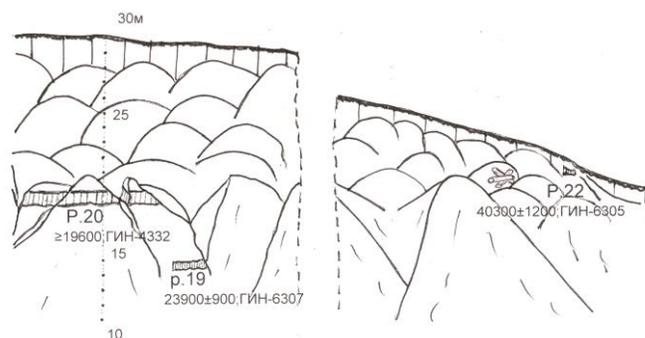


Рис. Топография палеопочв в обрыве правобережья р. Алазеи, осложненном байджерами.

Эта дата фиксирует время завершения седиментогенеза и стабилизации поверхности едомы, формирования здесь полигонального микрорельефа. Процесс почвообразования в межполигонных канавках над головами плейстоценовых ледяных жил сформировал торфянисто-глеевые почвы. Подобные почвы, но более молодого возраста (конец МИС-2 – начало МИС-1) исследовал Д.Браун на мысе Бэрроу, Аляска [1965, 1967].

Палеопочвы являются реперами биогеоморфологической эволюции древних аккумулятивных ландшафтов. Все изученные почвы относятся к ряду нелесных. Но на определенных стадиях формирования разновозрастных термокарстовых котловин в них поселялась древесная растительность на фоне окружающих открытых

пространств. Результаты палеоботанических и палинологических исследований, а также факт обнаружения ископаемых древесных остатков (*Betula alba*, *Alnus fruticosa*, и др.) в аласах разных частей Колымской тундры [Каплина, Ложкин 1979; Архангелов и др. 1981, Каплина 2011], включая и Арктические острова [Ермолаев 1932] трактуется исследователями как прямое доказательство потепления климата в определенные отрезки времени соответствующих периодов прошлого. Однако, согласно новым представлениям о геотемпературной эволюции мерзлых толщ криолитозоны Северной Евразии, «Заключительный этап позднего плейстоцена – период 40-10 т.л.н. – выделяется как единый криохрон с очень суровыми зимами, внутри которого осцилляции температур воздуха и мерзлых толщ были незначительными, а голоцен – последние 10 тыс. лет – характеризовался более мягкими геокриологическими условиями по сравнению с плейстоценовым криохроном, за счет менее суровых зим» [Васильчук 1992]. Согласно данным Васильковского и Карташовой [1961, и др.] на Северо-Востоке Азии (СВА) в послеледниковое время климатические и геоботанические изменения были незначительны, что не дает оснований для представлений о возможности фронтального продвижения леса на север даже в межледниковых условиях голоцена. Исследование закономерностей современного размещения лесных и безлесных экосистем на южных пределах тундры СВА [Берман и др. 1998] продемонстрировало возможность смены тундры лесом (и наоборот) без коренной перестройки гидротермических характеристик климата в регионе, а только за счет изменения ветрового режима и вариаций температурно-влажностных показателей конкретных местообитаний по элементам микрорельефа.

Все палеопочвы, различаясь по мощности, гумусовым характеристикам и физико-химическим показателям, имеют аккумулятивный облик. Они, как правило, совершенно не похожи на примитивные профили плакорных почв современных мерзлотных ландшафтов Колымской субарктики – криоземов едомных останцов и/или доминирующих по площади разнообразных криогидроморфных глееземов озерно-болотно-тундровых ландшафтов долины Колымы, и вторичных плакоров междуречий (арены развития голоценового площадного термокарста).

Палеопочвы естественных ландшафтов всех временных интервалов характеризуют почвообразование только аккумулятивных и трансаккумулятивных местообитаний. Исследованные нами плейстоценовые почвы – это центральное звено ландшафтов древних аласов – оазисов Палеарктики. Анализ имеющегося у нас материала по погребенным почвам плейстоцен-голоценового времени позволяет заключить, что к реконструкции региональных климатических характеристик (теплее-холоднее, суше-влажнее) основанных на педогумусовом методе диагностики палеосреды [Дергачева 1997], следует относиться с пониманием того, что условия образования этих палеопочв неадекватны таковым на плакорах конкретного хроноинтервала.

## Благодарности

Мы благодарны Л.Д. Сулержицкому (ГИН РАН) за определения радиоуглеродного возраста наших палеопочв, конструктивное обсуждение полученных результатов, полезные советы и ценные замечания.

## Литература

Архангелов А.А., Кузнецова Т.П., Льянос-Мас А.В., Михалев Д.В. 1981. Криолитогенез аласных отложений (на примере мыса Чукочий) // Проблемы криолитологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, Вып. IX. С. 125-138 (на русском языке).

Берман Д.И., Алфимов А.В., Мажитова Г.Г., Прокопец М.Е. 1998. Роль ветра в дивергенции экосистем с мерзлотными и сезонномерзлыми почвами в Северном Охотоморье // Почвоведение. № 5. С. 593-599 (на русском языке).

Васильчук Ю.К. 1992. Изотопно-кислородный состав подземных льдов (опыт палеогеокриологических реконструкций). Т.1. М.; 420 с (на русском языке).

Васильковский А.П., Карташова Г.Г. 1961. Природа вокруг Усть-Бельского человека. Записки Чукотского краеведческого музея 2, Магадан (на русском языке).

Дергачева М.И. 1997. Археологическое почвоведение Гл. 5 Педогумусовый метод диагностики и реконструкции палеоприродной среды С. 98-114 Новосибирск СО РАН (на русском языке)

Ермолаев М.М. 1932. Геологический и геоморфологический очерк о. Бол. Ляховского // Труды Совета по изучению производительных сил АН СССР. Сер. Якутская. Вып.7. Ч.1. Ленинград(на русском языке)

Каплина Т.Н., Ложкин А.В. 1979. Возраст аласных отложений Приморских низменностей Якутии. Изв. АН СССР, сер. геологическая. № 2. С. 69-76 (на русском языке)

Каплина Т.Н. 2011. Древние аласные комплексы Северной Якутии (Сообщение 1) // Криосфера Земли Т.ХV №2, с.3-13 (на русском языке)

Свиточ А.А. 1987. Палеогеография плейстоцена. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 188 с (на русском языке).

Фоминых Л.А., Гугалинская Л.А. 1989. Педогенез как индикатор экологических условий формирования едомных отложений//Тез. Докл.V Всесоюзной конф. «Теория почвенного криогенеза». Пушино ОНТИ НЦБИ, С. 47-48 (на русском языке).

Фоминых Л.А., Гугалинская Л.А. 1990. Почвообразование и осадконакопление на Колымской низменности в позднем плейстоцене и голоцене // Тез. докл. Ш Межд. симп. "Четвертичная стратиграфия и события Евразии и Тихоокеанского региона. Якутск. Т.П. С. 61-63 (на русском языке).

Фоминых Л.А., Золотарева Б.Н. 2008. К вопросу о засолении современных и древних почв экстроконтинентальных регионов мерзлотной области Севера // V Всероссийский съезд Докучаевского общества почвоведов. Ростов-на-Дону. С. 268 (на русском языке)

Фоминых Л.А., Золотарева Б.Н., Пинский Д.Л. 2010. Сравнительный анализ палеопочв в древних ландшафтах Севера России // Криосфера Земли Т.ХIV №2. с.56-68 (на русском языке)

Фоминых Л.А., Кудрявцева Н.Н., Гиличинский Д.А. 1986. Погребенные почвы Северо-Востока Якутии (Халлерчинская тундра)// Эволюция и возраст почв СССР. Пушино, ОНТИ НЦБИ АН СССР, С. 109-120 (на русском языке).

Шер А.В., Каплина Т.Н., Гитерман Р.Е., Ложкин А.В., Архангелов А.А., Вирина Е.Н. Зажигин В.С., Киселев С.В., Кузнецов Ю.В. 1979. Путеводитель научной экскурсии по проблеме «Позднекайнозойские отложения Колымской низменности». Тур XI август Москва 117 с (на русском языке).

Шер А.В. 1971. Млекопитающие и стратиграфия плейстоцена Северо-Востока СССР и Северной Америки М., Наука 310 с. (на русском языке).

Brown J. 1965. Radiocarbon dating, Barrow, Alaska // Arctic. 18. P. 36-48.

Brown J. 1967. Tundra soils formed over ice wedges. Northern Alaska // Soil sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 31. P. 686-691.

Gugalinskaya L.A., Kudriavtseva N.N., Fominykh L.A. 1988. History of Soil formation in Khalarchin tundra in Holocene // Междунар. симп. "Стратиграфия и корреляция четвертичных отложений стран Азии и Тихоокеанского региона. Владивосток, С. 30-31.

Fominykh L.A. 1991. History of Soil formation in late Pleistocene and Holocene on the North-East Asia lowlands // XIII International Congress (INQUA). August 2-9, 1991. Beijing. China. P.99.

## Именной указатель

- Абатурова И.В., 1  
 Абрамов А.А., 156  
 Агафонцева А.Н., 3  
 Александров С.В., 248  
 Алексютина Д.М., 5  
 Алифанов В.М., 7, 52  
 Андреев А.О., 9  
 Андрианов В.Н., 10  
 Аникин Г.В., 12  
 Анисимов О.А., 13  
 Антонов В.В., 15  
 Арабский А.К., 189  
 Артемьев Ю.М., 17  
 Баженов А.И., 19  
 Бажин А.С., 21  
 Балакирев И.В., 23  
 Барабанова Е.А., 68  
 Баранов Ю.Б., 226  
 Баранская А.В., 24, 296  
 Басистый В.А., 87  
 Баулин В.В., 26  
 Башкин В.Н., 189  
 Белова Н.Г., 27, 296  
 Бельдиман И.Н., 29  
 Бердников Н.М., 31  
 Берюляев А.А., 33  
 Беспалова Ю.В., 34, 292  
 Бешенцев В.А., 36  
 Бобрик А.А., 38  
 Бобылев Л.П., 336  
 Борцов А.В., 40  
 Булдакова Е.В., 42  
 Буханов Б.А., 44  
 Быкова А.В., 46, 353  
 Быкова А.П., 48  
 Быковский А.И., 50  
 Вагапов И.М., 52, 236  
 Вагина И.М., 160  
 Васильев А.А., 346  
 Васильева Т.В., 294  
 Великин С.А., 54, 257  
 Величко А.А., 55  
 Вениаминова А.М., 56  
 Вепренцев О.Н., 73  
 Вепренцева Н.А., 73  
 Вершинин И.В., 50  
 Ветрова А.А., 185  
 Власов В.А., 58, 190  
 Власова Ю.А., 98  
 Гаврилов Г.О., 60  
 Гаврилова С.А., 62  
 Гагарин Л.А., 63  
 Галкин А.Ф., 65  
 Гашева О.С., 66  
 Гашева С.С., 66  
 Георгиади А.Г., 68  
 Герасимов А.Г., 70  
 Гиличинский Д.А., 160, 310  
 Глаголев М., 162  
 Голубев В.Н., 72  
 Голубев Е.В., 73  
 Голубева Е.И., 306  
 Гончарова О.Ю., 38  
 Горбатюк А.Ю., 75  
 Горбачев П.А., 296  
 Горбунов Д.Н., 77  
 Горбунова И.А., 306  
 Гордеева Т.В., 78  
 Горобцов Д.Н., 79  
 Горяйнов М.С., 143  
 Гравис А.Г., 31, 156  
 Гребенец В.И., 294, 351  
 Гребенкин С.И., 163  
 Гречищев С.Е., 81  
 Гречищева Э.С., 81  
 Григорьев М.Н., 278  
 Григорьева Ю.В., 83  
 Гугалинская Л.А., 85, 236  
 Гулый С.А., 87, 288  
 Гусельников В.Л., 172  
 Гюнтер Ф., 278  
 Давыдов С.П., 89, 310  
 Давыдова А.И., 89  
 Данзанова М.В., 91, 242  
 Дворников Ю.А., 70, 93  
 Дебольский М.В., 94  
 Денисевич Е.В., 96  
 Дмитриева С.П., 254  
 Дмитриева С.П., 98  
 Дмитриевский А.Н., 100  
 Дмитрук В.В., 119  
 Добытин Я.Н., 102  
 Долгушин В.А., 103, 119  
 Доманский В.О., 266  
 Домбровская Е.А., 105  
 Дрейк Х., 162  
 Дроздов Д.С., 156, 173  
 Дручина О.Е., 266  
 Дубровин В.А., 290, 358  
 Дугинов Л.А., 107  
 Дыдышко П.И., 109  
 Емельянова И.А., 1  
 Ермак А.А., 19  
 Ермохина К.А., 137  
 Ефремов В.С., 242  
 Железняк М.Н., 87, 112, 214, 282, 288  
 Жижин В.И., 114  
 Жильцова Е.Л., 144  
 Жихарева И.Г., 116  
 Жукова Е.А., 303  
 Заводовский А.Г., 58, 117, 190  
 Земесзиркс К.Э., 336  
 Земляной А.А., 103, 119  
 Зепалов Ф.Н., 214  
 Зимин М.В., 137  
 Зозуля Г.П., 103, 119  
 Золотарева Б.Н., 362  
 Иванов Е.Н., 121  
 Иванов К.С., 123  
 Иванов М.Н., 124  
 Иванов С.Н., 126  
 Иванова Н.В., 263  
 Ивашкевич О.И., 152  
 Икан А.В., 170  
 Исаев О.Н., 128  
 Казанский О.А., 131, 214  
 Казбакова Х.Т., 133  
 Кайль Е.К., 152  
 Калёнова Л.Ф., 21  
 Калинин П.И., 185  
 Каргаполов В.Д., 135  
 Кауркин В.Д., 270  
 Кизяков А.И., 137  
 Ким П.К., 177  
 Киселевская К.Е., 139  
 Кистанов О.Г., 141, 183  
 Кожина Л.Ю., 143  
 Кокорев В.А., 144  
 Коновалов А.А., 126, 133, 146  
 Кононова Е.А., 148  
 Копа-Овдиенко Н.В., 150  
 Коркин С.Е., 152  
 Корнеева Е.Е., 272, 353  
 Коробова Т.А., 154  
 Коронкевич Н.И., 68  
 Коростелев А.С., 262  
 Коростелёв Ю.В., 156  
 Коротников Р.В., 158  
 Коцюрбенко О., 162  
 Кошечев А.Г., 226  
 Краев Г.Н., 160, 296  
 Кривушин К.В., 162  
 Крицук Л.Н., 358  
 Крюков А.В., 163  
 Крюков В.А., 165

- Кряжев А.В., 103  
Кузнецов В.Г., 262  
Кузнецов Д.Е., 150  
Кузнецова И.Л., 263  
Кузькин В.И., 164  
Кулешов В.В., 165  
Курчатова А.Н., 19, 168  
Кутвицкая Н.Б., 98, 107, 158, 170, 259  
Лаврентьев Н.В., 55  
Лавров С.А., 13  
Ларин С.И., 172  
Лаухин С.А., 172, 173  
Лашин В.В., 175  
Лашина Н.В., 175  
Лебедев М.С., 46  
Лебедева Л.С., 29, 336  
Лейбман М.О., 137, 156  
Липихин Д.В., 177  
Лисицына О.М., 40  
Литовко А.В., 179  
Лобастов Г.В., 317  
Лобастова С.А., 46, 181  
Лукин Д.В., 183  
Лупачев А.В., 185  
Лупачик М.В., 187  
Луценкова Е.О., 189  
Магомедгаджиева М.А., 259  
Мадыгулов М.Ш., 58, 117, 190  
Макарычева Е.М., 192  
Маклюк О.В., 189  
Максимов А.В., 338  
Малкова Г.В., 274  
Мальгина Н.С., 194  
Мальшев А.В., 54  
Мальшкіна О.И., 196  
Манджиев Д.С., 198  
Мандровский К.П., 200  
Маняшин А.В., 201  
Маняшин С.А., 201  
Маршак В.Д., 165  
Маслаков А.А., 15, 206  
Матусевич В.М., 36, 203  
Матюхин А.Г., 198  
Мацкепладзе И.Г., 205  
Мейер Х., 303  
Мельник П.Э., 206  
Мельников А.Е., 208  
Меньшиков С.Н., 210  
Мерданов Ш.М., 348  
Милукова И.П., 68  
Минкин М.А., 158  
Миронова Т.Е., 212  
Мисайлов И.Е., 114, 214  
Митрофанова Е.Ю., 194  
Михайлова М.М., 217  
Михайловский П.В., 219  
Моисеенко Т.И., 223  
Молчанова Ю.В., 221  
Монастырев Б.В., 226  
Монастырев С.Б., 226  
Мороз Е.Д., 98  
Морозов И.С., 210  
Морозов С.С., 227  
Морозова Л., 229  
Морозова П.А., 360  
Мотенко Р.Г., 5  
Мулламуров Д.Р., 230  
Наймушина А.Г., 232  
Нак Г.И., 205  
Неклюдов В.В., 54  
Несынова Э.Ю., 26  
Нечаев В.П., 55  
Никишова А.С., 23  
Николаев Д.С., 189  
Новик Е.А., 83  
Новоселов В.В., 234  
Овердуин П., 278  
Овчинников А.Ю., 52, 236  
Овчинникова А.А., 185  
Огородов С.А., 150  
Орехов П.Т., 252  
Осокин А.Б., 210  
Останин О.В., 238  
Остроумов В.Е., 89, 310  
Остроумова Е.А., 240  
Павлов А.В., 81  
Павлов С.С., 208  
Павлова Н.А., 242  
Павлунин В.Б., 353  
Паньков О.О., 244, 276  
Панюков Д.А., 246, 250  
Папина Т.С., 194  
Пармузин И., 263  
Пармузин С.Ю., 212  
Парфенов В.Г., 248  
Пендин В.В., 173  
Перлова Е.В., 226  
Перльштейн Г.З., 192  
Пермяков В.Н., 248  
Петров Г.Л., 248  
Пилясов А.Н., 361  
Пинский Д.Л., 362  
Писарев А.Д., 246, 250  
Познаркова С.В., 286  
Попенко Ф.Е., 242  
Попов К.А., 252  
Потапова Т.М., 355  
Протодьяконов В.В., 254  
Пульников Е.А., 255  
Пустовойт Г.П., 163  
Радостева А.В., 257  
Ракашов А.А., 116  
Ракова А.И., 259  
Растегаев И.К., 200  
Резанова Т.П., 34  
Речапов Д.А., 262  
Ривкин Ф.М., 263  
Ривкина Е.М., 160  
Рогач А.Н., 265  
Рогов В.В., 75, 168  
Розовский М.Х., 107  
Романовский В.Е., 288  
Рузанов В.Т., 288  
Рузова О.В., 266  
Русанова Г.В., 268  
Рязанов А.В., 107, 158, 170, 270  
Сабреков А., 162  
Савельева С.Д., 272  
Садуртдинов М.Р., 274, 290  
Самсонова В.В., 230, 266, 276  
Сандаков А.В., 278  
Сапронова Н.Н., 298  
Северский Э.В., 280  
Семёнов В.П., 282  
Семенова О.М., 29  
Семенова Т.В., 36, 203  
Семерня А.А., 284  
Сергеев Д.О., 192  
Сергиевская Я.Е., 286  
Серииков С.И., 114, 288  
Сильницкий П.Ф., 301  
Скапинцев А.Е., 170  
Скачков Ю.Б., 288  
Скворцов А.Г., 274, 290  
Скрыпникова М.Г., 292  
Слагода Е.А., 19, 168  
Смирнов А.М., 294  
Сморчкова В.И., 361  
Сократов С.А., 72  
Соловьев И.В., 298  
Соловьева С.В., 232  
Сороковиков В.А., 89, 310  
Соромотин А.В., 223  
Спасенникова К.А., 12  
Спиричев М.Ю., 348  
Станиловская Ю.В., 192, 296  
Старииков А.И., 298  
Субботин А.М., 21

- Сызранцев В.Н., 299  
 Тагиева Н.К., 200  
 Тананаев Н.И., 286  
 Тарасенко А.А., 301  
 Тарасенко Д.А., 301  
 Титков С.Н., 338  
 Тумской В.Е., 303  
 Угаров А.Н., 192  
 Украинцева Н.Г., 105, 252  
 Унанян К.Л., 305  
 Урбан А.А., 296  
 Усачева А.А., 306  
 Ухова Ю.А., 308  
 Федоров-Давыдов Д.Г., 89, 310  
 Федосеев Н.Ф., 312  
 Федосеева В.И., 312  
 Фоминых Л.А., 362  
 Фролов В.С., 314  
 Фролов Д.М., 72, 316  
 Хабибуллин И.Л., 181, 317  
 Хангер С., 162  
 Хилимонюк В.З., 163  
 Хименков А.Н., 192  
 Холодов А.А., 288
- Холодов А.Л., 89, 310  
 Хольнов А.П., 319  
 Хомутов А.В., 137, 296  
 Хренов Н.Н., 100, 319  
 Хрусталеv Л.Н., 325  
 Хусаинова Р.Г., 65, 322  
 Царапов М.Н., 323  
 Царев А.М., 274, 290  
 Цвезинский А.С., 150  
 Цеева А.Н., 254  
 Чекрыгина С.Н., 10  
 Чербунина М.Ю., 325  
 Черепанов А.О., 327  
 Черкасов А.М., 205  
 Черкасов В.А., 143  
 Чеснокова И.В., 329  
 Чехина И.В., 263  
 Чижев А.Д., 60  
 Чикишев Е.М., 331  
 Чихарев В.А., 333  
 Чубарева Е.С., 335  
 Чувилин Е.М., 44, 187  
 Шалина Е.В., 336  
 Шаманова И.И., 338
- Шаруха А.В., 348  
 Шахтарова О.В., 268  
 Шевелева Д.В., 340  
 Шейнкман В.С., 246, 250  
 Шепитько Т.В., 205  
 Шестакова А.А., 342  
 Шестернев Д.М., 344  
 Шигапов А.И., 270  
 Широков Р.С., 346  
 Шитый В.П., 348  
 Шишканова Л.В., 226  
 Шмакова Л.А., 349  
 Шмелев Д.Г., 296  
 Шмельов Д.Г., 160, 351  
 Шмидт В.В., 116  
 Шпунтов С.М., 351  
 Шпунтова А.М., 353  
 Шумская Н.К., 355  
 Щипанов В.П., 190  
 Юань Фэй, 356  
 Юдкевич А.И., 26  
 Якушкин С.В., 244  
 Ястреба Н.В., 358  
 Яхонтов Д.А., 158



*Том расширенных тезисов подготовили: Татьяна Коробова, Николай Бердников, Андрей Гравис, Екатерина Домбровская – аспиранты ИКЗ СО РАН*