

Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова

Геологический факультет



НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

***ЛОМОНОСОВСКИЕ
ЧТЕНИЯ***

СЕКЦИЯ ГЕОЛОГИИ

***Подсекция
геокриологии***

Руководитель – зав. кафедрой, профессор Брушков А.В.

СБОРНИК
ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

Москва
2026

Содержание:

| | |
|---|----|
| 1. Прогноз в составе комплексного мониторинга вечной мерзлоты | |
| А.В. Брушков | 2 |
| 2. База данных «Хановой» для решения задач геокриологической съемки | |
| А.А. Фалалеева | 5 |
| 3. Температурный режим грунтов Лено-Амгинского междуречья (на примере района оз. Сырдах) | |
| М.И. Мельников, А.В. Брушков | 7 |
| 4. Экспериментальное исследование длительной ползучести мерзлых грунтов | |
| Тао Дачжи, А.В. Брушков | 9 |
| 5. Основные причины деформаций зданий в п. Амдерма | |
| Ю.В.Черняк, А.В. Брушков | 10 |
| 6. Моделирование теплового взаимодействия подземных резервуаров в многолетнемерзлых породах на примере Среднего Ямала | |
| Т.В. Печенкин, В.З. Хилимонюк, С.Н. Булдович | 12 |

ПРОГНОЗ В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Зав. кафедрой геокриологии А.В. Брушков

Вечномерзлые грунты (ВМГ) являются основаниями зданий и инженерных сооружений на около 65% территории России. Как правило, вечная мерзлота обеспечивает высокую несущую способность фундаментов. При этом свойства ВМГ в значительной степени зависят от температурного режима. В течение последних десятилетий происходит заметное потепление в Арктике. Можно уже наблюдать активизацию деформаций и разрушений инфраструктуры на Севере. Предупреждение неблагоприятных явлений возможно при условии изучения закономерностей развития и разработки прогнозов состояния вечной мерзлоты. Это может быть сделано только на основе геокриологического мониторинга, включающего в себя наблюдения, анализ данных, разработку прогнозов и технических решений по обеспечению устойчивости зданий и сооружений.

Геокриологический мониторинг целесообразно разделять на фоновый мониторинг и геотехнический (на территории застройки). Фоновый мониторинг вечной мерзлоты – комплекс наблюдений за параметрами вечной мерзлоты, определяющих ее состояние в естественных (ненарушенных) условиях, достаточными для разработки геокриологических прогнозов и составления прогнозных карт. При проведении мониторинга необходим сбор данных о влиянии климатических параметров на тепловое состояние мерзлых толщ в зависимости от свойств горных пород, напочвенных покровов и почв, ландшафтов в целом. Важен правильный выбор площадок фоновых наблюдений. Такие площадки должны быть представительными (репрезентативными), типичными для региона исследований, чтобы наблюдаемые закономерности изменения природных условий можно было бы распространить на изучаемый регион. Из-за значительных изменений мерзлотных условий по площади следует применять метод ландшафтного микрорайонирования и ключевых участков, т.е. организацию полигонов, где изучались бы характерные для данного региона ландшафты, с учетом геологических и географических условий.

Геотехнический мониторинг вечной мерзлоты – комплекс наблюдений за параметрами вечной мерзлоты, определяющих ее состояние в нарушенных условиях, на застроенной территории, а также состоянием вечномерзлых грунтов оснований зданий и инженерных сооружений для обеспечения их надежной эксплуатации, анализ данных и прогноз состояния оснований. Геотехнический мониторинг выполняется, как правило, службами промышленных предприятий и организаций. И фоновый, и геотехнический мониторинг должны быть частью единой системы мониторинга. Данные фонового мониторинга необходимы для анализа данных геотехнического мониторинга при новом строительстве, они также необходимы при анализе

данных геотехнического мониторинга. В частности, для определения причин изменения температуры в основании, когда таких причин может быть много.

Геокриологический прогноз, при котором оцениваются возможные будущие изменения температурного режима грунтов, сезонного промерзания и оттаивания, положение кровли мерзлоты, криогенные процессы и другие составляющие мерзлотных условий, является необходимой составной частью мониторинга, которая обеспечивает его эффективность. Для непосредственных наблюдений порой используются значительные ресурсы, но недостаток наблюдаемых параметров и отсутствие прогнозов обесценивают результаты мониторинга. В частности, если наблюдения свидетельствуют о повышении температуры в основании, как правило, они сопровождаются деформациями фундаментов и надземных конструкций. Отечественные разработки в области геокриологического прогноза хорошо известны [1, 2], получили распространение и признание компьютерные программы кафедры геокриологии [3,4] и другие [5,6 и др.].

Целью будущей комплексной системы мониторинга вечной мерзлоты является [7]: обеспечение безопасной эксплуатации объектов промышленного, гражданского строительства и ЖКХ, транспортных систем; изучение мерзлотных условий территорий; использование криогенного потенциала вечной мерзлоты; выявление и прогнозирование природных и техногенных процессов, влияющих на состояние вечной мерзлоты; разработка мероприятий по снижению негативного воздействия опасных криогенных процессов; обеспечение межведомственного взаимодействия; информационное обеспечение предприятий, государственных структур власти и граждан информацией о состоянии вечной мерзлоты и прогнозе его изменения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / В. А. Кудрявцев, (и др.). Москва : Изд. Моск. ун-та, 1974. 431 с
2. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / А. В. Брушков, Л.С.Гарагуля, С. Н. Булдович, и др. Геоинфо Москва, 2016. 512 с.
3. Программа расчета теплового взаимодействия инженерных сооружений с вечномерзлыми грунтами WARM / Хрусталеv Л.Н., Емельянов Н.В., Пустовойт Г.П., Яковлев С.В. Свидетельство № 940281. РосАПО, 1994.
4. Программа расчета теплового взаимодействия сооружений с многолетнемерзлыми грунтами QFrost. Песоцкий Д.Г. Свидетельство № 2016614404. Государственный реестр программ для ЭВМ, 22.04.16.

5. Программный комплекс Борей 3D. Усачев А.А. Роспатент, номер регистрации 2018660189 от 17.08.2018. <https://www.boreas3d.ru/>
6. Пакет программ для прогнозных расчетов при проектировании на многолетнемерзлых грунтах Frost 3d. <https://frost3d.ru/>
7. Мониторинг вечной мерзлоты. Брушков А.В., Алексеев А.Г., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Железняк М.Н., Осокин А.Б., Садуртдинов М.Р., Сергеев Д.О., Бадина С.В., Великин С.А., Жданеев О.В., Кузнецов М.Е., Малкова Г.В., Остарков Н.А., Федоров Р.Ю., Фролов К.Н. издательство Акад. проект (М.), 463 с. 2024

БАЗА ДАННЫХ «ХАНОВЕЙ» ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Науч. сотр. А.А. Фалалеева

Основу базы пространственных геоданных для геокриологических исследований с рабочим названием «Хановей» составляют материалы, собранные в течение десяти лет во время проведения научно-производственной практики магистрантов кафедры геокриологии на территории Воркутинского учебно-научного полигона, в том числе данные литературных и фондовых исследований, натурных наблюдений, геофизических исследований и результаты геокриологической съемки.

В базе пространственных геоданных «Хановей» используется глобальная трехмерная геодезическая система координат, принятая в 1984 г. – WGS 1984, поперечная проекция Меркатора. Структура базы пространственных геоданных «Хановей» приведена в табл.1.

Табл. 1 Смысловое соответствие названий слоев в базе пространственных геоданных «Хановей» (Khanovey.gdb)

| Название на английском языке | Название на русском языке |
|-------------------------------------|--|
| Drilling_data | Данные бурения |
| Geophysical_data | Геофизические данные, полученные методом сейсморазведки, методом зондирования становлением поля в ближней зоне, методом георадиолокационного зондирования, методом электротомографии |
| CALM | Местоположение площадки циркумполярного мониторинга деятельного слоя «CALM» |
| Топо | Данные топографической съемки |
| DEM | Цифровая модель рельефа |
| LIDAR | Данные лидарной съемки |
| Orthophoto | Ортофотоплан |
| Research_area | Полигоны исследования |
| Satellite_image | Космический снимок Google |

Целью работы было создание базы пространственных геоданных по материалам полевых исследований с использованием данных дистанционного зондирования, топографической и лидарной съемки, геофизических исследований, на основании которых может быть получена серия карт: карта-схема фактического материала (рис.1), карта-схема ландшафтного микрорайонирования, карта температурного режима многолетнемерзлых пород, карта глубины залегания кровли многолетнемерзлых пород, карта мощности слоя сезонного оттаивания, карта геокриологических процессов и явлений. В качестве примера на рис. 1 приводится схема

фактического материала, которая наглядно отражает расположение площадки мониторинга сезонно талого слоя «CALM» [1] и скважин, где пунсоном зеленого цвета обозначена инженерно-геологическая скважина, красным – термометрические скважины.

Рис. 1 Расположение площадки циркумполярного мониторинга деятельного слоя и скважин на участке Хановой (в подложке - космический снимок Google 2019 г.)



ЛИТЕРАТУРА

1. Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) URL: <https://www2.gwu.edu/~calm/>, дата обращения 24.02.2026

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ГРУНТОВ ЛЕНО-АМГИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ (НА ПРИМЕРЕ РАЙОНА ОЗ. СЫРДАХ)

Асп. М.И. Мельников, зав. кафедрой геокриологии А.В. Брушков

В современный период отмечается повышение среднегодовой температуры воздуха в Якутии, ведущее к прогрессирующему росту температуры в верхних горизонтах многолетнемерзлых пород (ММП) и активизации криогенных процессов [1, 2]. Это делает прогноз реакции криолитозоны на текущий тренд потепления исключительно важной научной задачей. Особую значимость эта задача приобретает для Центральной Якутии – наиболее хозяйственно-освоенной части Республики Саха (Якутии). Ландшафты на этой территории сложены уникальными льдонасыщенными плейстоценовыми толщами (едомами с повторно-жильными льдами) и в настоящее время они претерпевают наиболее интенсивные изменения вследствие деградации подземных льдов [2]. Процессы термокарстообразования и таяния льдов уже приводят к серьёзным экологическим нарушениям и несут катастрофические риски для устойчивости объектов инфраструктуры. Таким образом, получение достоверной оценки современного теплового состояния ММП и моделирование их температурного режима являются критически важными для обоснования адаптационных мер и обеспечения экологической безопасности региона. Существующие прогнозные модели часто имеют высокую неопределённость, связанную со сложным и изменчивым во времени взаимодействием множества факторов, определяющих теплообмен на поверхности и в толще пород. К ним относятся изменчивость радиационного баланса, свойств снежного и растительного покрова, теплофизических характеристик оттаивающих/протаивающих грунтов, а также усиливающее антропогенное воздействие. Недостаточный количественный учёт этой пространственно-временной изменчивости ограничивает надёжность долгосрочных прогнозов. В связи с этим разработка и применение усовершенствованных математических моделей, способных интегрировать изменчивость ключевых параметров, представляет собой актуальную задачу, решение которой позволит повысить точность прогнозирования динамики теплового состояния ММП.

Цель работы – на основе комплекса геокриологических данных и методов математического моделирования дать оценку современного состояния верхних горизонтов криолитозоны, определить характер и масштабы реакции многолетнемерзлых пород на климатические изменения и выполнить прогноз их теплового режима для территории Лено-Амгинского междуречья в условиях меняющегося климата. Нами было проведено сравнение различных моделей геокриологических условий Лено-Амгинского междуречья, а также составлены прогнозы при различных климатических сценариях. Кроме того, показана динамика

температурного режима горных пород Лено-Амгинского междуречья (на примере района оз. Сырдах) и выявлены закономерности ее формирования в связи с влиянием снежного и растительного покрова, а также климатическим потеплением. Результаты данного исследования имеют прикладную ценность для обеспечения устойчивого и безопасного освоения территории Центральной Якутии. Полученные данные и разработанные модели могут быть использованы для оценки устойчивости криогенных ландшафтов к климатическим изменениям и антропогенным воздействиям. В частности, установлено, что а) мощность сезонно-талого слоя (СТС) демонстрирует положительный тренд, наиболее выраженный на нарушенных территориях; б) температура на подошве СТС повышается со скоростью от +0.05 до +0.21 °С/год; в) скорость потепления многолетнемерзлых пород (температура на глубине нулевых годовых амплитуд) в 5–10 раз превышает скорость роста среднегодовой температуры воздуха, что свидетельствует о существенной роли обратных связей (в первую очередь, снежного покрова) в усилении климатического сигнала в криолитозоне; г) выявлена пространственная иерархия уязвимости ландшафтов: наибольшей чувствительностью характеризуются нарушенные участки и аласные котловины, и наиболее стабильны ландшафты дренированных межгаласий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тепловодообмен в мерзлотных ландшафтах Восточной Сибири и его факторы / Под ред. Золотокрылина А.Н, Георгиади А.Г. – Москва: ООО «Триада», 2007 г. – 576 с.
2. Федоров, А.Н. Мерзлотные ландшафты Якутии / А.Н. Федоров, Т.А. Ботулу, С.П. Варламов, И.С. Васильев, С.П. Грибанова, И.В. Дорофеев, И.В. Климовский, В.В. Самсонова, П.А. Соловьев. – Новосибирск, 1989. – 170 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Асп. Тао Дачжи, зав. кафедрой геокриологии А.В. Брушков

Изменение скорости деформации мерзлых грунтов имеет важное значение для обеспечения долговечности и безопасности инженерных сооружений, в частности, в районах вечной мерзлоты. Важно проведение длительных экспериментов, которые отражают реальные условия в основаниях. Одним из важных аспектов исследований длительной ползучести является изучение изменения микростроения.

В нашем исследовании изучались образцы грунта из морских и аллювиальных отложений п-ва Ямал с различным содержанием соли и влажности. Испытания на одноосное сжатие для определения деформационных свойств мерзлых засоленных грунтов производились одновременно с испытаниями на прочность [1], и изучением микростроения образцов.

В целом в результате длительных экспериментов, продолжавшихся несколько лет, было установлено, что скорости деформации образцов в некоторых случаях увеличиваются, затем уменьшаются, и остаются постоянными. В ходе микроскопического анализа после испытаний были выявлены значительные изменения в структуре частиц грунта и распределении ледяных шлиров. Результаты показали, что макростроение испытанных образцов отличалось наличием центральной зоной уплотнения, где наблюдаются крупные (более 1 мм) включения льда-цемента, а также тенденция к расположению их в наклонном положении к оси образца. В некоторых частях образцов ледяные шлиры образуют расположение в виде растянутой буквы V («птичка»), а также выделяются наклонные перекрещивающиеся шлиры в виде сильно растянутой X. В уплотненных участках наблюдалось перекрестное расположение ледяных шлиров и уплотненная укладка песчаных частиц, что отличалось от исходных характеристик образцов. В боковых участках образцов наблюдалось разуплотнение и формирование ячеистых структур. В ходе испытаний на одноосное сжатие и ступенчатую нагрузку было выявлено образование конусообразных зон уплотнения в образцах песка. В некоторых образцах наблюдалось разрушение агрегатов частиц скелета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вялов С.С., Городецкий С.Э. и др. Методика определения характеристик ползучести, длительной прочности и сжимаемости мерзлых грунтов. НИИОСП. М, Наука, 1966

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИИ ЗДАНИЙ В П. АМДЕРМА

Инж. Ю.В.Черняк, зав. кафедрой геокриологии А.В. Брушков

В настоящее время в поселке Амдерма большинство зданий сильно деформировано и непригодно для дальнейшего проживания. Состояние пригодных для эксплуатации объектов с каждым годом ухудшается. Своеобразие инженерно-геологических особенностей мерзлых засоленных грунтов определяется большим содержанием по сравнению с другими мерзлыми грунтами количества незамерзшей воды и ухудшением, в связи с этим их физико-механических свойств. В настоящее время имеется небольшое количество данных о деформации инженерных сооружений на засоленных мерзлых грунтах на Арктическом побережье. Многие аспекты, связанные с особенностями и типами деформаций сооружений, а также с причинами, их вызвавшими, в данный момент неизвестны.

Осмотр состояния технических этажей, подполий зданий и расположенных в них коммуникаций выполнялся согласно [1]. Деформации оснований и фундаментов фиксировались в соответствии с [2]. В ходе обследований были получены следующие данные: величина осадок фундаментов; характер, место и величина раскрытия трещин на фундаментных конструкциях и стенах здания; физико-механические свойства основания на время проведения обследования; измерены относительные вертикальные и горизонтальные перемещения, крен фундамента, состояние поверхности, ее увлажнение и др.

В поселке применяется главным образом свайный тип фундамента, фундаменты в виде плиты встречаются редко, только для временных сооружений или без тепловыделения. Проектная высота подполья составляет, по измерениям, в среднем 1.5 м; толщина железобетонного ростверка в большинстве случаев – 0.5 м. Большинство зданий и инженерных сооружений построено по I принципу (с сохранением мерзлого состояния грунтов). Исключение составляют всего 4 объекта (причем 3 из них – котельные и электростанции), построенные по II принципу (грунты предварительно оттаивают или используют грунты, оттаивающие в период эксплуатации). Определяющими критериями для выбора II принципа строительства, вероятно, являлись выделение тепла при эксплуатации, а также близкое залегание к поверхности скальных грунтов.

Установлено, что в поселке деформировано 59% от общего количества зданий, из них 80% деревянных, 46% кирпичных и бетонных и 31% зданий из легких конструкций; не деформировано только 40% тепловыделяющих объектов (котельные и электростанции). Выделены основные факторы деформаций оснований: повышение температуры грунтов из-за снегонакопления; засоленность грунтов; обводненность подполья или территорий рядом со

зданием; термокарст; береговые и склоновые процессы; повышение температуры в результате климатических изменений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по наблюдению за состоянием грунтов оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых на вечномёрзлых грунтах. НИИОСП. М.: Стройиздат, 1982.
2. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. НИИОСП. М.: Стройиздат, 1975.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ПОДЗЕМНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ
НА ПРИМЕРЕ СРЕДНЕГО ЯМАЛА

Студент Т.В. Печенкин, доцент В.З. Хилимонюк, доцент С.Н. Булдович

В настоящий момент происходит освоение месторождений полуострова Ямал с применением технологии создания подземных резервуаров. Резервуары формируются в толщах многолетнемерзлых песков методом скважинной гидродобычи, их объём достигает нескольких тысяч кубических метров. При размещении таких объектов группами на ограниченной площади возникает проблема их взаимного теплового влияния. Перекрытие талых зон может существенно изменить сроки промерзания захоронённых флюидов и повлиять на устойчивость мерзлого массива [1].

Цель работы — разработка трёхмерной численной модели теплового взаимодействия подземных резервуаров, установление зависимости времени полного промерзания флюидов от расстояния между ними и температурного режима многолетнемерзлых пород и определение критического расстояния, при котором тепловое взаимодействие становится несущественным.

Рассматривается регулярное шахматное размещение резервуаров с расстоянием между центрами от 30 до 160 м. Температура вмещающих пород принимается равной -3 и -5 °С [2, 3]. Значения среднемесячных температур рассчитаны на основе данных за 2010-2020 г. [4].

Расчёты выполнены в двух программных комплексах — QFrost и Cryo3D. В QFrost задача решалась в двумерной осесимметричной постановке, что требует допущений о симметрии теплового поля [5].

Программа Cryo3D была разработана специально для данной работы. Она реализована на языке Java 21 и решает нестационарное уравнение теплопроводности в трёхмерной постановке с учётом фазового перехода методом энтальпии и использованием явной конечно-разностной схемы. Трёхмерный подход позволяет анализировать реальное пространственное распределение температур.

Результаты показывают, что при расстояниях менее 60–70 м тепловое взаимодействие существенно увеличивает время промерзания флюидов. Температурный режим массива является определяющим фактором динамики процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксютин О.Е., Казарян В.А., Ишков А.Г., Хлопцов В.Г., Теплов М.К., Хрулёв А.С., Савич О.И., Сурин С.Д. Строительство и эксплуатация резервуаров в многолетнемерзлых осадочных породах. - М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2013. - 432 с.

2. Геокриология СССР. Западная Сибирь/Под ред. Э. Д. Ершова. - М.: Недра, 1989. -454 с.: ил.
3. Криосфера нефтегазоконденсатных месторождений полуострова Ямал. Т. 2. Криосфера Бованен-ковского нефтегазоконденсатного месторождения М.: ООО "Газпром Экспо", 2013. 424 с.
4. Описание массива данных месячных сумм осадков..., 2020
5. Песоцкий, Д.Г. QFrost - ПО для моделирования теплофизических процессов в грунтах / Д. Г. Песоцкий, М. С. Торгонский. - 2009 -. 2015.