

ПЕРСПЕКТИВЫ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МГУ

Брушков А.В., Комаров И.А., Кошурников А.В., Хрусталеv Л.Н., Чеверев В.Г.
*Геологический факультет, Московский Государственный университет имени
М.В.Ломоносова, Москва, Россия*

Особенностью современных изменений природной среды является потепление конца XX в. - начала XXI в., особенно заметное в последнее десятилетие. В криолитозоне в некоторых районах температура воздуха за последние 25 лет возросла до 2°C и более. Повышение температуры воздуха и увеличение количества осадков, особенно снега, приводит к изменению условий теплообмена, и в том числе за счет изменения влияния растительных покровов. Тенденция потепления, вероятно, сохранится в XXI века, что подтверждают модели глобального климата (IPCC, 2022). Связь температуры воздуха и температуры горных пород, как известно, не является прямой, но потепление климата ведет, как правило, к повышению температуры горных пород. Техногенез дополняет воздействие фоновых климатических изменений.

Потепление и связанное с ним повышение температур оснований зданий и инженерных сооружений, деградация вечной мерзлоты значительно повысили риски в строительстве и недропользовании, возросли эпидемиологические и экологические угрозы на осваиваемых территориях. Учитывая проектный запас прочности оснований по несущей способности, можно предполагать ее снижение и потерю на значительной части криолитозоны в ближайшие десятилетия. Кроме того, возросшие техногенные нагрузки и нарушения условий эксплуатации уже привели к значительному росту деформаций зданий и инженерных сооружений в Арктике. Доля деформированных объектов, по разным данным, достигает 40% и более; отмечается потеря несущей способности оснований даже недавно построенных зданий и сооружений. Наблюдаются современные деформации трубопроводов, автомобильных и железных дорог, энергетических и коммуникационных линий. При этом средний расчетный срок службы многих городских, муниципальных зданий и промышленных сооружений в Арктике без реконструкции и капитального ремонта во многих случаях превышен, в том числе для ответственных объектов – энергетических станций, зданий социальной инфраструктуры.

В связи с этим последние годы усилия специалистов МГУ и других организаций были направлены на разработку концепции мониторинга вечной мерзлоты, включающего геокриологический прогноз. Актуальность современной государственной системы мониторинга вечной мерзлоты определяется тем, что геокриологическая, инженерно-геологическая и гидрогеологическая изученность криолитозоны, в том числе мониторинговыми наблюдениями, картированием осваиваемых регионов, полевыми и лабораторными исследованиями мерзлых грунтов не соответствует темпам освоения Арктики. Сегодня, к сожалению, отсутствуют координация и регулирование работ недропользователей (градостроительных агломераций, промышленных предприятий и других собственников) по ведению геотехнического мониторинга (ГТМ), отсутствует межведомственный обмен информацией, массивы данных инженерных изысканий и ГТМ не доступны для экспертного и научного сообщества, прогнозы состояния вечной мерзлоты, как правило, не разрабатываются. Такой прогноз является частью мониторинга, который может быть выполнен при условии сбора данных по параметрам природной среды, требуемых для численного моделирования (Основы мерзлотного прогноза..., 2016). Мониторинг должен включать и разработку технических решений, обеспечивающих устойчивость объектов инфраструктуры. Состав наблюдаемых параметров вечной мерзлоты в существующих системах мониторинга, как правило, недостаточен для разработки прогнозов.

Одним из важных достижений кафедры геокриологии в последние годы является проведение научных исследований по теме «Надежность северной инфраструктуры в условиях меняющегося климата», частично опубликованных в монографии с тем же названием (Хрусталеv и др., 2011). Надежность северной инфраструктуры в условиях климатических изменений предлагается оценивать с учетом случайной изменчивости природно-климатической и техногенной информации. Опасность аварий сооружений оценивается до окончания срока их эксплуатации, что позволяет заблаговременно применять управляющие решения. Предложены методы управления надежностью оснований сооружений. Показано, что прогноз и управление надежностью северной инфраструктуры возможен лишь с позиций вероятностно-статистического подхода. Вероятностно – статистические методы расчета теплового и механического взаимодействия инженерных сооружений с окружающей средой имеют большие преимущества по сравнению с детерминистическими методами, входящими в состав почти всех нормативных документов. Они учитывают случайную изменчивость всей расчетной информации и на этой основе позволяют оценивать опасности (риски) возможных аварий сооружений

до окончания срока их эксплуатации, что невозможно сделать, используя детерминистические расчеты. В связи с этим вариантное проектирование приобретает новый смысл, появляется возможность оценивать варианты не только по стоимости, но и по вероятности их безаварийной работы. Кроме того, появляется возможность предсказывать аварии уже построенных зданий и на основе этих предсказаний принимать управляющие решения. Особое значение вероятностно-статистические методы приобретают в условиях климатических изменений – процесса по сути своей случайного и плохо прогнозируемого. Для этого случая авторами предлагается при оценке несущей способности многолетнемерзлых оснований использовать сочетание вероятностно-статистического метода с нормативным детерминистическим. Связующим звеном между ними служит коэффициент надежности, который находится из решения вероятностно-экономической задачи с использованием, разработанного на кафедре геокриологии метода прогноза температуры воздуха. На рисунке 1 в качестве примера показана карта изолиний коэффициента надежности.

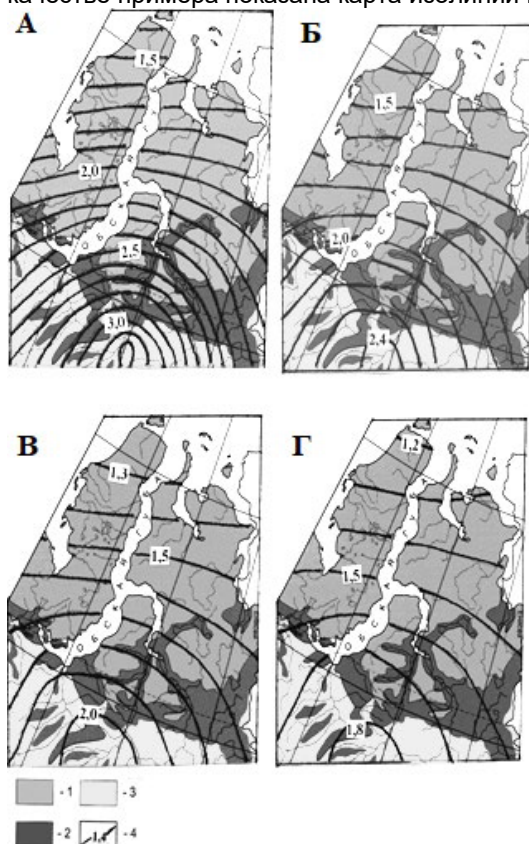


Рисунок 1. Карта изолиний кн на территории Западной Сибири: 1 – 3 геокриологические зоны; 4 – значения коэффициента кн; А – при погружении свай в грунт 6 м; Б – при погружении свай в грунт 8 м; В – при погружении свай в грунт 10 м; Г – при погружении свай в грунт 12 м

новый принцип комплексного анализа геолого-геофизических данных для изучения многолетнемерзлых пород на арктическом шельфе. Он заключается в комплексировании электромагнитных зондирований, лабораторных испытаний грунтов, буровых работ, термометрии и моделировании тепловых полей. Изучены мощности многолетнемерзлых толщ на различных участках арктического шельфа по результатам теплового моделирования. Их корреляция с мощностями высокоомного слоя указывает на присутствие на восточном секторе Российской Арктики газогидратной толщи. На основе аналитических и экспериментальных результатов, впервые построена карта кровли, подошвы и сплошности многолетнемерзлых пород для арктического шельфа России.

В настоящее время остро стоит проблема геокриологического образования. Несмотря на совершенствование программ подготовки, участие студентов в современных крупных проектах в

В связи обеспечением устойчивости мерзлых оснований в условиях климатических изменений актуальной областью научных исследований является разработка и применение термостабилизаторов, теплотехническое обоснование их применения в различных мерзлотных условиях. Специалисты кафедры участвуют в научно-практических работах по управлению температурным режимом мерзлых оснований на п-ве Ямал. Важным направлением научной деятельности кафедры является физико-химия и механика мерзлых горных пород. Получены новые научные результаты в исследованиях равновесий минерализованных растворов при промерзании и оттаивании, что позволяет выполнять прогноз химического состава кропэгов и засоленных горных пород, установлены закономерности криогенного метаморфизма поровых растворов пород и кропэгов морского типа засоления, в процессе изменения термобарических условий (Комаров и др., 2012). Выявление закономерностей криогенного метаморфизма позволяет разработать обоснованные методики проведения прогнозных и эпигнозных (палеорекострукции) оценок температурного и водно-ионного режима засоленных пород, определяющего состояние и эволюцию криолитозоны (зоны шельфа северных морей, приморские низменности), которые в настоящее время интенсивно осваиваются, в первую очередь, как газо- и нефтеносные районы. Разработана численная модель промерзающего грунта с учетом миграции влаги и формирования криогенного строения (Чевеверев и др., 2022). В этой численной модели положен новый для геокриологии фрактальный принцип построения пространства грунта.

На кафедре продолжены исследования Арктического шельфа. Разработан и реализован

криолитозоне, общий выпуск специалистов-геокриологов, в частности на кафедре геокриологии, в основном не превышающий 10 человек в год, недостаточен для обеспечения потребностей освоения Арктики и Сибири, особенно в связи с развертыванием системы мониторинга вечной мерзлоты. Необходимо также укрепление связей с предприятиями, целевая подготовка специалистов, а также развитие инженерных программ переподготовки для послевузовского образования.

Брушков А.В., Алексеев А.Г., Дроздов Д.С., Дубровин В.А. и др. Мониторинг вечной мерзлоты. Москва, Академический проект, 2024, 463 стр.

Комаров И.А., Мироненко М.В., Кияшко Н.В. Совершенствование нормативной базы, по расчетной оценке, теплофизических свойств засоленных пород и криопэгов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2012. № 2. С. 25-30.

Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях: учебное пособие для студентов геологических специальностей вузов. В. А. Кудрявцев, Л. С. Гарагуля, С.Н.Булдович, К. А. Кондратьева, В. Г. Меламед и др.; под ред. Л.С. Гарагули и А.В.Брушкова. – Издание 2-е, переработанное и дополненное, М. : Геоинфо, 216. 512 с.

Хрусталева Л.Н., Пармузин С.Ю., Емельянова Л.В. Надежность северной инфраструктуры в условиях меняющегося климата. - М.: Университетская книга, 2011. - 260 с.

Чеверев В.Г., Сафронов Е.В., Алексеев А.Г., Гречищева Э.С., 2022. Лабораторные методы определения теплофизических характеристик мерзлых и талых грунтов: аналитический обзор. Инженерная геология, Том XVII, № 1, с. 64–72, <https://doi.org/10.25296/1993-5056-2022-17-1-64-72>.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.