

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
2022

Содержание:

1. О параметрах мерзлотных условий, необходимых для наблюдений при геокриологическом мониторинге
А.В.Брушков, В.А.Дубровин В.А., М.Р.Садуртдинов, Д.С.Дроздов, Д.О.Сергеев . 2
2. Физическое и математическое моделирование пучения промерзающих грунтов в условиях переменной внешней нагрузки
Р.С. Бурнаев, Е.В. Сафронов, В.Г.Чеверев 4
3. К совершенствованию методов мониторинговых наблюдений состояния недр для природных условий геокриологического стационара Марре-Сале, Ямал
К.С. Сварник, В.А. Дубровин, В.Г. Чеверев 5
4. Выбросы метана и углекислого газа при замерзании почвы без вечной мерзлоты
Ли Чэнчжэн, А.В. Брушков, В. Г. Чеверев, А.В. Соколов 8

О ПАРАМЕТРАХ МЕРЗЛОТНЫХ УСЛОВИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ

А.В.Брушков, В.А.Дубровин В.А., М.Р.Садуртдинов, Д.С.Дроздов, Д.О.Сергеев

Обеспечение устойчивости оснований зданий и инженерных сооружений в условиях происходящего последние десятилетия изменения климата предполагает организацию геокриологического мониторинга. Геокриологический мониторинг можно разделить на фоновый (на ненарушенных территориях) и геотехнический (ГТМ), который проводится на застроенных или подвергающихся интенсивному воздействию человека территориях и в основаниях зданий и инженерных сооружений. При этом очевидно, что проектирование новых объектов следует вести, как и обеспечение устойчивости существующих, ориентируясь не на сегодняшние, а на прогнозные мерзлотно-климатические условия.

Основой прогноза является тепловое моделирование, которое может выполняться различными методами. В настоящее время преобладают расчеты, основанные на численных решениях задачи промерзания – оттаивания (задачи Стефана). Кроме того, существует ряд приближенных аналитических методов, позволяющих оценить вклад различных факторов в формирование температурного режима грунтов. Сегодня общей проблемой применения этих методов является преимущественно недостаток исходных данных, так как имеющиеся расчетные схемы позволяют учитывать значительное количество параметров.

Температурный режим верхних горизонтов криолитозоны определяется структурой радиационно-теплого баланса поверхности, тепловым влиянием наземных покровов, (снег, растительность, поверхностные воды), теплопоток из недр Земли, а также процессами теплопереноса в массиве пород. Основные параметры, характеризующие температурный режим пород – среднегодовая температура пород на подошве сезонно-талого слоя (СТС), среднегодовая температура на глубине нулевых годовых амплитуд, амплитуда колебания температуры на различных глубинах в течение годового цикла, глубина проникновения сезонных колебаний в мерзлый массив. Однако определяемые параметры геокриологического мониторинга не должны ограничиваться температурами грунтов (при фоновом мониторинге) и деформациями поверхности, а также зданий и сооружений (при ГТМ). Так, индикатором климатических изменений, в значительной степени определяющим состояние криолитозоны, является изменение режима и количества атмосферных осадков, особенно в зимний период. Увеличение мощности снежного покрова обуславливает отепляющее влияние на многолетнемерзлые породы, превышающее воздействие некоторых летних климатических факторов. Повышение температуры воздуха и увеличение количества летних осадков влечет за собой изменение условий теплообмена на поверхности за счет изменения видового состава

напочвенных растительных покровов и кустарников. Напочвенные покровы играют важную роль в формировании температурного режима вечной мерзлоты, преимущественно охлаждая грунты, но иногда оказывают и тепляющее влияние. Их уплотнение, сокращение мощности, видового состава, влажности отражается на температурах грунтов. Еще большую роль играют изменения поверхностного стока, образование участков увлажнения, которые часто быстро приводят к нарушению теплового состояния вечной мерзлоты. Имеют значение изменения влажности почвы и слоя сезонного протаивания, его глубины, динамика надмерзлотных вод, также влияющие на температуры мерзлых грунтов. Перечисленные факторы необходимо учитывать при составлении прогноза состояния вечной мерзлоты, без которого наблюдения сами по себе в значительной степени теряют свое значение.

Важно подчеркнуть, что для проведения расчетов и моделирования температурного режима грунтов необходимы количественные показатели теплофизических характеристик, определяемые сегодня преимущественно в лабораторных условиях. При этом перспективной задачей является разработка и совершенствование методов их определения в полевых условиях, что позволит значительно повысить точность численных прогнозов.

Основными задачами мониторинга криолитозоны являются: получение, сбор, обработка и анализ данных о состоянии криолитозоны; оценка состояния криолитозоны и прогнозирование его изменений; прогноз развития природных и техногенных процессов; разработка технических решений по предотвращению или снижению негативного воздействия опасных мерзлотных процессов на осваиваемой территории.

ФИЗИЧЕСКОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУЧЕНИЯ ПРОМЕРЗАЮЩИХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОЙ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ

Р.С. Бурнаев, Е.В. Сафронов, В.Г.Чеверев

В статье [1] были представлены результаты физического моделирования промерзания каолинитовой глины под воздействием внешней нагрузки, которые выявили экстремальный характер зависимости пучинистости грунта от внешнего механического воздействия. Для объяснения такого поведения была разработана математическая модель промерзания и пучения грунтов, учитывающая не только переменные граничные условия по тепло- и массообмену, но еще и переменную внешнюю нагрузку. В докладе представлены физическая постановка задачи математической модели, некоторые расчеты относительной деформации морозного пучения промерзающей пылеватой глины при переменных условиях по температуре и внешней нагрузке и проведено сопоставление экспериментальных и расчетных данных. Получены следующие результаты.

Подтверждается общая тенденция снижения степени пучинистости промерзающих грунтов (ϵ_{fn}) под действием внешней нагрузки (σ). В пределе, с увеличением нагрузки криогенная миграция прекращается и пучинистость грунта сводится к нулю. Однако в начальный период нагружения в диапазоне $0 \div 0,02$ МПа зависимость обратная, то есть увеличение нагрузки повышает степень пучинистости промерзающего грунта, вплоть до нагрузки $0,02 \div 0,1$ МПа. Дальнейшее повышение нагрузки снижает пучинистость грунта, подчиняясь общей тенденции.

Физический смысл экстремальной зависимости $\epsilon_{fn}(\sigma)$ вероятно обусловлен уплотнением грунта при небольших нагрузках за счет смыкания воздушных пор и микротрещин, что значительно улучшает контакты между частицами и агрегатами грунта. Это повышает его тепло-влажностопродность, а, соответственно, и пучинистость. По мере увеличения нагрузки до $0,1$ МПа резерв уплотнения за счет дефектов строения грунта завершается, и дальнейший рост нагрузки начинает существенно снижать плотность потока криогенной миграции, и, соответственно, относительную деформацию пучения.

Литература

1. Чеверев В.Г., Бурнаев Р.С., Гагарин В.Е., Сафронов Е.В. Влияние внешней нагрузки на степень морозной пучинистости глинистых грунтов //Криосфера Земли. 2013, т. XVII. №4, с. 57-62.

К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ
СОСТОЯНИЯ НЕДР ДЛЯ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО
СТАЦИОНАРА МАРРЕ-САЛЕ, ЯМАЛ

К.С. Сварник, В.А. Дубровин, В.Г. Чеверев

На геокриологическом стационаре Марре-Сале на западном побережье полуострова Ямал в период с августа по сентябрь 2021 г. силами полевого отряда ФГБУ «Гидроспецгеология» выполнялся комплекс мониторинговых работ, предусмотренных государственным геологическим заданием.

Геокриологический стационар Марре-Сале (с 1978 г.) является основным информационным объектом мониторинга криолитозоны в России в системе ФА «Роснедра» РФ, он 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.

В настоящее время мониторинговые работы на стационаре включают следующие виды полевых наблюдений:

- изучение теплового состояния мерзлых толщ в 14 специальных воздушно-сухих скважинах глубиной от 20 м до 100 м, оборудованных автоматизированной автономной термоизмерительной аппаратурой на базе «Логгер LPC» с ручным и дистанционным съемом накопленной в течении года мониторинговой информации.
- измерение глубины СТС на маршруте, протяженностью 11 км.
- видеосъемка на наблюдательных участках в прибрежной и материковой зоне с помощью БПЛА, включая съемки с вертолета.
- Восстановление (бурение) трех наблюдательных скважин глубиной до 30 м, описание и опробование разреза.

Экстремальные климатические условия и ландшафтные особенности Ямала, обусловленные наличием многолетнемерзлых толщ сплошного распространения в сочетании с высокой степенью заболоченности территории, приводят к созданию особых условий теплообмена в приповерхностном слое горных пород. В этой связи важно знать основные закономерности формирования температурного режима горных пород, как одного из главенствующих факторов состояния криолитозоны и устойчивости мерзлых толщ, поскольку

именно температурный режим определяет, как физико-механические свойства ММП, так и развитие, и протекание многочисленных криогенных процессов, в том числе опасных.

Климатические изменения в Арктике обусловили повсеместное повышение температурного режима мерзлых толщ, в том числе и на Ямале. За последние 10-12 лет в разрезе до глубины превышающей 30 м характерным является повышение температуры пород. На глубине 10 м тренд повышения температура изменялся от 0,06 град/год до 0.11 град/год. Однако в 2020 – 2021г.г. во всех без исключения наблюдательных скважинах отмечается незначительное понижение среднегодовых значений температуры ММП в верхней пяти-семи метровой части разреза.

Изменение теплового состояния мерзлых толщ в регионе происходит как за счет повышения летнего теплооборота, так и в результате возрастания количества зимних осадков и повышения мощности снега в начале зимнего периода.

Изучение закономерностей формирования снежного покрова в естественных условиях и, особенно, в пределах осваиваемой и застроенной территории является чрезвычайно важным методом мониторинговых исследований. Влияние перераспределения снега в арктической тундре по тепловому воздействию на ММП во много раз превышает воздействие климатических вариаций. Этот фактор, практически не учитывается в настоящее время при проектировании промышленных объектов в арктической криолитозоне. В силу сокращения финансирования мониторинговых работ зимние виды полевых исследований на Марре-Сале были прекращены 1996 году. Следует отметить, что современные технические средства проведения снегомерных наблюдений в настоящее время не разработаны, как и методы их обработки и экстраполяции результатов. Перспективным в этом плане представляется использование автоматизированных теодолитов и видеокамер с форматом 3D для выполнения инструментальных съемок территории в летний и зимний периоды. Разница в высотах летних и зимних замеров даст искомую мощность снежного покрова на конкретном участке.

Глубина сезонного протаивания пород в различных природно-территориальных комплексах на территории стационара Марре-Сале изменяется в течение всего периода наблюдений в пределах 15-18% и полностью определяется метеорологическими параметрами летнего периода. В силу этого она не может рассматриваться в качестве мерзлотного индикатора глобальных изменений климата, как принято считать авторами международной программы CALM.

Интенсивность протекания термоабразии (и сопутствующих процессов) также полностью определяются температурным режимом, количеством выпавших осадков и штормовой активностью морской акватории в летне-осенний период. Средняя скорость

разрушения берегов высоких морских равнин (от бровки до подошвы берегового уступа) в среднем не превышает 1,5-2,0 м в год, достигая в экстремальных случаях десятков метров разрушения с формированием термоэрозионных цирков на участках залегания макроледяных включений.

Картирование территории геокриологических стационаров является неотъемлемой и одной из главных задач мониторинга криолитозоны. Это положение определяется необходимостью установления границ экстраполяции результатов мониторинга на прилегающую территорию. Для стационара Марре-Сале составлены геокриологические карты масштаба 1:10000 -1:25000. Однако, для обеспечения достаточной кондиционности этих карт в качестве тепловых моделей территорий, необходимо увеличить количество наблюдательных скважин до 25-30. При этом не менее двух скважин следует пробурить на полную мощность мерзлоты (250-260 м).

Учитывая расположение стационара в прибрежно-шельфовой зоне, необходимо расширить сеть наблюдательных скважин на акватории Карского моря в пределах мелководной части шельфа до изобаты 5-10 м.

ВЫБРОСЫ МЕТАНА И УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ПРИ ЗАМЕРЗАНИИ ПОЧВЫ БЕЗ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Ли Чэнчжэн¹, А.В. Брушков¹, В. Г. Чеверев¹, А.В. Соколов²

¹Геологический факультет, Московский государственный университет

имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия;

²ВНИИИТ Москва, Россия.

Проведены полевые эксперименты по эмиссии углекислого газа и метана при промерзании почвы. Результаты были получены в районе п. Нахабино в Московской области при использовании газоанализатора «Комета-М». Были измерены концентрации метана и углекислого газа в воздухе, у поверхности и в верхнем горизонте почвы. Проанализировано влияние осадков, снегопада, температуры воздуха и глубины промерзания на выбросы газов. Наблюдалось повышение концентрации метана и углекислого газа в почве и воздухе с ростом снежного покрова. Ранее было описана эмиссия этих газов при промерзании, которая связывалась с повышением давления газа в талой зоне между промерзающим слоем и кровлей вечной мерзлоты [1, 2]. Нами впервые было обнаружено увеличение эмиссии углекислого газа и метана при промерзании сезонно-мерзлого слоя при отсутствии вечной мерзлоты.

Образование промерзшего слоя и снежного покрова играет решающую роль в накоплении метана и углекислого газа в почве. Концентрация метана на поверхности почвы под снежным покровом была в 57,6 раза выше, чем при отсутствии снега. Таким образом, образование снежного покрова предотвращает выброс метана и углекислого газа в атмосферу.

Литература

1. Mastepanov, M., Sigsgaard, C., Dlugokencky, E.J., Houweling, S., Ström, L., Tamstorf, M.P., Christensen, T.R., 2008. Large tundra methane burst during onset of freezing. *Nature* 456(7222): 628–630.
2. Wille, C., Kutzbach, L., Sachs, T., Wagner, D., PFEIFFER, E.M., 2008. Methane emission from Siberian arctic polygonal tundra: eddy covariance measurements and modeling. *Global Change Biology* 14(6): 1395-1408.