

УДК 551.345

EDN [CCWIFG](#)

Методика прогнозирования температуры засоленных многолетнемерзлых пород полуострова Ямал в период климатических изменений

И.А. Комаров, К.А. Никитин*

МГУ имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991, Россия

*E-mail: nikitin.kirill@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты разработки и применения методики прогноза температурного режима засоленных многолетнемерзлых пород в ходе изменений климата. Задача решена для трех районов полуострова Ямал. Разработанная методика позволяет учитывать изменения водно-ионного состава поровых растворов в процессе их промерзания. Применение комплексной методики для моделирования температурных полей позволяет сократить погрешности прогнозных расчетов.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, термический режим, изменение климата, моделирование.

Methodology for prediction of saline permafrost temperature of Yamal peninsula under climate change

I.A. Komarov, K.A. Nikitin*

Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russia

*E-mail: nikitin.kirill@yandex.ru

Abstract. The results of the development and application of a methodology for predicting the thermal regime of saline permafrost under climate change are presented. The problem has been solved for three regions of the Yamal peninsula. The developed methodology makes it possible to take into account changes of the water-ion composition of pore solutions during their freezing. The use of a complex methodology for modeling temperature fields allows us to reduce the errors in forecast calculations.

Keywords: permafrost, thermal regime, climate change, modeling.

1. Введение

В связи с хозяйственным освоением территории Ямала повышается актуальность разработки комплексной методики прогноза температурного режима засоленных многолетнемерзлых пород (ММП). Пренебрежение влиянием засоленности может привести к серьезным погрешностям прогнозных расчетов, особенно с учетом эффекта изменения климата. Влияние степени засоленности важно для оценки величины теплофизических, массообменных, прочностных и деформационных свойств пород, определяющих устойчивость грунтовых оснований [4].

Полуостров Ямал характеризуется широким распространением ММП. Засоленность находится в пределах 0,05-2,5 % [3]. Состав поровых растворов преимущественно хлоридно-натриевый с незначительным количеством сульфатов [1]. Условия залегания засоленных пород неоднородны: с севера на юг сокращается площадь, занятая ММП, повышается их температура, увеличиваются глубина сезонного оттаивания и прерывистость мерзлой толщи в разрезе.

2. Цель исследования

Целью работы является разработка методики прогнозирования температуры засоленных ММП с учетом изменения климата к середине века.

3. Методы и материалы исследования

Прогноз температурного режима выполнен для нескольких районов Ямала – западного и северо-западного побережья, нижнего течения Оби. На основе результатов наблюдений на репрезентативных метеостанциях разработан сценарий изменения среднегодовой температуры воздуха по методике авторетроспективного анализа, предложенного Л.Н. Хрустальевым [2, 10, 11].

Математическое моделирование температурного режима засоленных пород с учетом тренда повышения температуры воздуха выполнено в программе «QFrost» [9]. Прогнозная задача – одномерная, решена для однородного полупространства. Использована явная схема с регуляризацией, что позволило в несколько раз увеличить шаг во времени и во столько же раз сократить время счета. Использована энтальпийная форма решения и метод балансов, что привело к наглядной физической интерпретации результатов и существенно повысило точность определения положения границ промерзания-оттаивания [8].

Динамика температурного режима оценивается по среднегодовой температуре пород, определяемой на подошве слоя годовых теплооборотов. Теплофизические характеристики пород оценены с помощью результатов программы «FREEZBRINE» по методике, предложенной ранее [5, 6, 7, 12]. В ходе вычисления в модели менялись теплообменные характеристики с учетом промерзания поровых растворов. В пределах каждого района задача решена для двух типов модельных разрезов (песок и суглинок).

4. Полученные результаты

В пределах западного побережья Ямала к середине века среднегодовая температура песков может достигнуть $-3,5...-4,7$ °С, суглинков $-4,0...-4,9$ °С. На северо-западном побережье температура в песках может составить $-4,8...-6,0$ °С, в суглинках $-5,2...-6,2$ °С. Для нижнего течения Оби прогнозируемая температура песков может измениться до $-1,5...-2,5$ °С, суглинков до $-1,6...-2,6$ °С.

5. Выводы

Разработанная методика прогнозирования сочетает моделирование температурных полей с учетом изменяющихся теплообменных характеристик, связанных с преобразованием водно-ионного состава поровых растворов в процессе их промерзания.

Работа выполнена в рамках проекта № 601.19-01/34, грант Правительства ЯНАО «Разработка комплексной методики мерзлотного (геокриологического) прогноза температурного и водно-ионного режима засоленных мерзлых пород п-ова Ямал, с учетом глобального изменения климата».

Список литературы

1. Брушков А.В. Засоленные мерзлые породы Арктического побережья, их происхождение и свойства / А.В. Брушков. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 330 с
2. Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). – meteo.ru/data. Дата обращения 15.09.2023
3. Дубиков Г.И., Иванова Н.В. Засоленные мерзлые грунты и их распространение на территории СССР // Засоленные мерзлые грунты как основания сооружений / Г.И. Дубиков, Н.В. Иванова. – М.: Наука, 1990. – С. 3-9
4. Комаров И.А. Термодинамика и тепломассообмен в дисперсных мерзлых породах / И.А. Комаров. – М.: Научный мир, 2003. – 608 с

5. Комаров И.А., Волков Н.Г. Методика прогноза температурного и водно-ионного состава засоленных пород и криопэгов / И.А. Комаров, Н.Г. Волков // Проблемы строительства на засоленных грунтах. – 2007. – С. 147-183
6. Комаров И.А., Мироненко М.В. Моделирование водно-ионного состава засоленных мерзлых пород и криопэгов при изменении термобарических условий / И.А. Комаров, М.В. Мироненко // Сборник трудов научной конференции «Актуальные направления развития прикладной математики в энергетике, энергоэффективности и информационно-коммуникационных технологиях». – М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2010. – 23-29 с
7. Комаров И.А. Совершенствование нормативной базы по расчетной оценке теплофизических свойств засоленных пород и криопэгов / И.А. Комаров, М.В. Мироненко, Н.В. Кияшко // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2012. – № 2. – С. 25-30
8. Основы геокриологии. Ч. 5. Инженерная геокриология / под ред. Ершова Э.Д. – М.: Изд-во МГУ, 1999. – 526 с
9. Песоцкий Д.Г. QFrost – программа для моделирования теплофизических процессов в грунтах. Свидетельство о гос. рег. пр. для ЭВМ № 20116614404, 22.04.2016 г.
10. Хрусталева Л.Н. Многолетнее изменение температуры воздуха и устойчивость проектируемых в криолитозоне сооружений / Л.Н. Хрусталева, А.В. Медведев, Г.П. Пустовойт // Криосфера Земли. – 2000. – Т. IV. – № 3. – С. 35-41
11. Хрусталева Л.Н. Надежность северной инфраструктуры в условиях меняющегося климата / Л.Н. Хрусталева, С.Ю. Пармузин, Л.В. Емельянова. – М.: Университетская книга, 2011. – 80-103 с
12. Marion G.M. FREZCHEM: A geochemical model for cold aqueous solutions / G.M. Marion, M.V. Mironenko, M.W. Roberts // Computers & Geosciences. – 2009. – Vol. 36(1). – P. 10-15