

УДК 551.345

EDN SZKFCF

<https://www.doi.org/10.47813/rosnio-III.2024.1001>

Влияние процессов криогенного метаморфизма поровых растворов на прогнозные оценки температурного режима засоленных многолетнемерзлых пород, на примере полуострова Ямал

К.А. Никитин*, И.А. Комаров

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

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

Аннотация. Работа посвящена усовершенствованию методики прогноза температурного режима засоленных многолетнемерзлых пород с учетом криогенного метаморфизма поровых растворов. Задача решена для трех районов полуострова Ямал. Выполнено математическое и термодинамическое моделирование температурных полей с учетом преобразования водно-ионного состава поровых растворов в процессе промерзания. Показано, что неучет процессов криогенного метаморфизма приводит к погрешности прогнозных оценок среднегодовой температуры многолетнемерзлых пород до 30 %.

Ключевые слова: засоленные многолетнемерзлые породы, математическое моделирование, термодинамическое моделирование, криогенный метаморфизм, геокриологический прогноз, температура пород, Ямал.

Effect of cryogenic metamorphization processes of pore solutions on predictive assessments of saline permafrost temperature state, by the example of the Yamal peninsula

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

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

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

Abstract. The work is devoted to improving the methodology for prediction of the saline permafrost temperature state, taking into account cryogenic metamorphization of pore solutions. The problem has been solved for three regions of the Yamal peninsula. Mathematical and thermodynamic modeling of temperature fields was carried out taking into account the changing of the water-ion composition of pore solutions during the freezing. It is shown that failure to take into account the processes of cryogenic metamorphization leads to an error in predictive assessments of the mean annual permafrost temperature of up to 30 %.

Keywords: saline permafrost, mathematical modeling, thermodynamic modeling, cryogenic metamorphization, geocryological forecast, ground temperature, Yamal.

1. Введение

В настоящее время ведется активное хозяйственное освоение полуострова Ямал. Для большинства проектируемых и эксплуатируемых инженерных сооружений основанием являются засоленные многолетнемерзлые грунты. Засоленность пород легкорастворимыми солями представляет одну из главных опасностей при длительной эксплуатации скважин, металлических и железобетонных фундаментов и опор сооружений [1, 2].

На основе результатов изучения химического состава и минерализации поровых растворов и водных вытяжек установлено, что засоленные многолетнемерзлые породы (ММП) на Ямале распространены севернее широты устья р. Байдараты-пос. Новый Порт [4]. В этом регионе породы засолены по всему разрезу криогенной толщи. Южнее выделенной границы отложения незасолены или слабозасолены с поверхности до глубины 50-100 м, что связано с их частичным рассолением в период голоценового оптимума [3].

С наличием солей в поровой влаге связаны процессы криогенного метаморфизма. А.В. Иванов [5] определял понятие «криогенный метаморфизм» как совокупность физико-химических процессов преобразования состава растворенных газов, минеральных и органических веществ, а также состояния систем: водно-солевых, окислительно-восстановительных и кислотно-основных в результате формирования и таяния льда при воздействии отрицательных температур. Несмотря на важную роль физико-химических реакций в формировании свойств пород при промерзании поровых растворов, отсутствуют общепринятые методики количественного учета криогенного метаморфизма при проведении геокриологического прогноза.

2. Цель исследования

Целью работы является исследование влияния криогенного метаморфизма на прогнозные оценки температуры ММП. Задача решена для нескольких регионов Ямала – западного и северо-западного побережья, нижнего течения Оби.

3. Методы и материалы исследования

Для выявления закономерностей криогенного метаморфизма поровых растворов засоленных пород в диапазоне отрицательных температур использовалась программа «FREEZBRINE», предназначенная для вычисления химического равновесия между

водными растворами электролитов, льдом и солями, с применением методов статистической термодинамики К. Питцера [11, 14, 15]. Входными данными в программу являлись опубликованные результаты химического анализа проб (общая минерализация и концентрация основных компонентов раствора) [9, 12, 13]. Выходные данные – содержание воды, ионов и солей в жидкой, твердой и газообразной фазе; плотность и объемы фаз; осмотический коэффициент, ионная сила и pH растворов и другие. На основе ранее разработанной методики и результатов программы определены теплофизические характеристики пород [6-8].

Для реализации прогноза температурного режима ММП к середине века решена одномерная нелинейная краевая задача теплопроводности с помощью программы «QFrost», в которой использованы явная конечно-разностная схема с регуляризацией, энтальпийная форма решения и метод балансов [10]. Динамика температурного режима оценена по среднегодовой температуре пород, определяемой на подошве слоя годовых теплооборотов.

Для количественного исследования влияния криогенного метаморфизма прогнозный расчет выполнен двумя независимыми итерациями. В первом случае использованы постоянные на период прогноза теплообменные характеристик пород, то есть без учета преобразования водно-ионного состава поровой влаги. Во втором случае эти характеристики менялись с учетом промерзания поровых растворов, изменения их общей минерализации и содержания ионов в зависимости от температуры, что было определено по результатам программы «FREEZBRINE». На завершающем этапе работы найдена разница между значениями температуры ММП для каждого года, полученными разными итерациями.

4. Выводы

Основные выводы проведенной работы заключаются в следующем:

1. Исследовано влияние криогенного метаморфизма на прогнозные оценки температурного режима засоленных ММП методами термодинамического и математического моделирования.
2. Неучет преобразования водно-ионного состава поровых растворов в процессе их промерзания на период геокриологического прогноза приводит к погрешности расчетов до 20-30 %. Результаты решения тепловой задачи с постоянными

теплообменными характеристиками пород являются заниженными и не отражают реальную физическую картину промерзания-протаивания в засоленных ММП.

Благодарности

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. Аксенов В.И. Засоленные мерзлые грунты арктического побережья как основание сооружений. М.: Все о мире строительства, 2008. 351 с.
2. Брушков А.В. Засоленные мерзлые породы Арктического побережья, их происхождение и свойства. М.: Изд-во МГУ, 1998. 332 с.
3. Дубиков Г.И. Состав и криогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири. М.: ГЕОС, 2002. 246 с.
4. Дубиков Г.И., Иванова Н.В. Засоленные мерзлые грунты и их распространение на территории СССР // Засоленные мерзлые грунты как основания сооружений. М.: Наука, 1990. С. 3-9.
5. Иванов А.В. Криогенная метаморфизация химического состава природных льдов, замерзающих и талых вод. Хабаровск: Дальнаука, 1998. 163 с.
6. Комаров И.А., Волков Н.Г. Методика прогноза температурного и водно-ионного составов засоленных пород и криопэгов // Проблемы строительства на засоленных грунтах. М.: Эпоха, 2007. С. 147-183.
7. Комаров И.А., Мироненко М.В. Моделирование водно-ионного состава засоленных мерзлых пород и криопэгов при изменении термобарических условий // Сборник трудов научной конференции «Актуальные направления развития прикладной математики в энергетике, энергоэффективности и информационно-коммуникационных технологиях». М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2010. С. 23-29.
8. 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.
9. Крицук Л.Н. Подземные льды Западной Сибири. М.: Научный мир, 2010. 352 с.

10. Песоцкий Д.Г. QFrost – программа для моделирования теплофизических процессов в грунтах. Свидетельство о гос. рег. пр. для ЭВМ № 20116614404, 22.04.2016 г.
11. Питцер К.С. Термодинамическая модель плотных водных растворов / Термодинамическое моделирование в геологии: минералы, флюиды и расплавы. М.: МИР, 1992. С. 110-153.
12. Фотиев С.М. Закономерности формирования ионно-солевого состава природных вод Ямала // Криосфера Земли. 1999. Т. III, № 2. С. 40-65.
13. Фотиев С.М. Криогенный метаморфизм пород и подземных вод (условия и результаты). Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. 280 с.
14. Marion G.M., Mironenko M.V., Roberts M.W. FREZCHEM: A geochemical model for cold aqueous solutions // Computers & Geosciences. 2009. Vol. 36 (1). PP. 10-15.
15. Mironenko M.V., Grant S.A., Marion G.M., Farren R.E. A chemical thermodynamic model for electrolyte solutions at subzero temperatures «FREZCHEM2». U.S. Army cold regions research and engineering laboratory report No. 97-5, 1997. PP. 1-42.