

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ПФИЦ УрО РАН,
д-р физ.-мат. наук, чл.-корр. РАН



О.А. Плехов

«5» октября 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Пермский федеральный исследовательский центр
Уральского отделения Российской академии наук

Диссертация «Разработка методики расчета параметров искусственного замораживания пород в условиях переноса минерализованной влаги» выполнена в лаборатории математического моделирования геотехнических процессов Горного института Уральского отделения Российской академии наук – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр («ГИ УрО РАН»).

Соискатель Бублик Сергей Анатольевич с 2017 года по настоящее время работает в «ГИ УрО РАН». В настоящий момент он является младшим научным сотрудником лаборатории математического моделирования геотехнических процессов. В 2020–2024 соискатель обучался в очной аспирантуре ПФИЦ УрО РАН по направлению подготовки 21.06.01 «Геология, разведка и разработка полезных ископаемых».

Научный руководитель — ученый секретарь, заведующий лабораторией математического моделирования геотехнических процессов «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» — филиала Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, д-р техн. наук Семин Михаил Александрович.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

I. Оценка выполненной соискателем работы

Диссертация соискателя посвящена проблеме формирования ледопородного ограждения (ЛПО) при строительстве шахтных стволов способом искусственного замораживания пород при наличии в них растворенных солей. Наличие солей в поровой влаге (минерализация влаги) приводит к снижению температуры начала замерзания воды и увеличению количества незамороженной воды в объеме ЛПО. Все это в

совокупности приводит к снижению гидроизоляционных и прочностных свойств ЛПО. Существующие на сегодняшний день исследования по замораживанию пород, насыщенные минерализованной влагой, основаны на малом количестве эмпирических данных и не отвечают на вопросы, связанные с влиянием растворенных солей на теплофизические и прочностные свойства различных пород. Кроме того, результаты большей части данных исследований пригодны лишь для задач мерзлотоведения и не могут быть перенесены на решение вопросов, связанных с формированием ЛПО.

В своей диссертационной работе соискатель представил математическую модель искусственного замораживания пород, насыщенных минерализованной влагой, учитывающую в явном виде зависимость кривой содержания незамороженной воды от температуры и величины растворенной соли. Ранее данную кривую в задачах мониторинга формирования ЛПО учитывали неявно, что приводило к необходимости частых калибровок теплофизических свойств пород в процессе расчета. Также в разработанной модели учтено наличие процесса морозного пучения, который ранее в задачах мониторинга формирования ЛПО не учитывался. Разработанная модель позволила: повысить точность моделирования, выраженную в сокращении количества калибровок теплофизических свойств пород в процессе расчета; выявить закономерности протекания тепломассообменных процессов в замораживаемых породах; оценить влияние соли на несущую способность ЛПО. Полученные результаты позволили автору разработать новую методику расчета технологических параметров искусственного замораживания влажных засоленных пород.

Основной идеей диссертационной работы является расчет формирования ЛПО строящихся шахтных стволов в породах, содержащих минерализованную влагу, основывающийся на математической модели, учитывающей изменение содержания незамороженной воды и снижение гидравлической проницаемости при замораживании влажного засоленного массива.

II. Личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации

При непосредственном участии соискателя проведены: постановка задач; анализ и обработка результатов экспериментальных исследований в лабораторных условиях; постановка математической модели, настройка ее параметров, валидация и проведение численных экспериментов, обработка и анализ полученных результатов.

III. Степень достоверности полученных результатов

Достоверность результатов работы соискателя подтверждается соответствием фундаментальным физическим законам, сопоставимостью результатов численного моделирования и натурных измерений, соответствием приведенных результатов данным, полученным другими авторами, экспериментальными исследованиями в натурных условиях.

IV. Новизна и практическая значимость исследования

Предложены параметризованные аналитические зависимости теплофизических и прочностных свойств пород от температуры и количества растворенной соли, которые могут быть применены для описания свойств основных типов пород на калийных рудниках и использованы для параметризации теплофизических моделей.

Разработанная математическая модель искусственного замораживания пород может быть применена для оперативного мониторинга формирования ЛПО при наличии в породах растворенной соли. Данная модель в настоящее время внедрена в программный комплекс FrozenWall, используемый в практике искусственного замораживания пород для проектирования, мониторинга и контроля состояния ЛПО.

Разработанная методика расчета технологических параметров искусственного замораживания пород может быть применена для стволов, в интервале проходки которых содержатся растворенные соли. Применение данной методики позволяет повысить точность и надежность принимаемых проектных параметров ЛПО и параметров системы замораживания.

V. Ценность научных работ соискателя

В диссертационной работе представлены зависимости свойств влажных засоленных пород различного типа от температуры, построенные по результатам лабораторных экспериментов, позволяющие повысить точность моделирования искусственного замораживания пород и прогнозировать влияние минерализации поровой влаги на несущую способность ЛПО.

На основе проведенных лабораторных исследований и полученных зависимостей теплофизических и прочностных свойств пород от температуры и минерализации влаги разработана математическая модель тепломассопереноса во влажном засоленном породном массиве, учитывающая влияние температуры и наличия растворенной соли на содержание незамороженной воды и относительную гидравлическую проницаемость. Она позволяет описывать нестационарное изменение температурного поля,

пространственную неоднородность распределения влажности и содержания соли в процессе формирования и поддержания ЛПО.

Полученные по результатам математического моделирования зависимости основных параметров ЛПО от содержания соли в породах различного типа стали основой для разработки методики расчета искусственного замораживания влажных засоленных пород, позволяющей повысить безопасность проходки стволов в сложных гидрохимических и гидрогеологических условиях. Данная методика была использована при проектировании искусственного замораживания на горнодобывающем предприятии ООО «ЕвроХим-СаратовКалий».

VI. Специальность, которой соответствует диссертация

Диссертационная работа соответствует следующему пункту паспорта специальности паспорта специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»:

- п. 11 «Гидро-, аэро-, газо- и термодинамические процессы, методы и средства управления ими в массивах горных пород и грунтов, горных выработках и выработанном пространстве».

VII. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в том числе 9 публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ.

Наиболее значимые из работ, опубликованных по представленной теме:

1. Семин М.А., Бровка Г.П., Пугин А.В., **Бублик С.А.**, Желнин М.С. Исследование влияния неоднородности поля температур на прочность ледопородных ограждений стволов шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – №. 9. – С. 79-93.
2. Semin M., Levin L., **Bublik S.**, Brovka G., Brovka A., Agutin K. Parameterization of the Model of Artificial Clay Freezing Considering the Effect of Pore Water Salinity // Fluids. – 2022. – Т. 7. – №. 6. – Статья № 186.
3. **Бублик С.А.**, Семин М.А. Анализ подходов к расчету фильтрационных течений подземных вод при моделировании формирования ледопородных ограждений // Вычислительная механика сплошных сред. – 2023. – Т. 16. – №. 1. – С. 46-60.
4. **Bublik S.**, Semin M., Levin L., Brovka A., Dedyulya I. Experimental and Theoretical Study of the Influence of Saline Soils on Frozen Wall Formation // Applied Sciences. – 2023. – Т. 13 – №. 18. – Статья № 26.

5. Semin M.A., **Bublik S.A.** Phase Transitions in Saline Pore Water in Artificial Ground Freezing // Journal of Mining Science. – 2023. – Т. 59. – №. 4. – С. 98-109.
6. Semin M., Levin L., **Bublik S.** Influence of soil salinity on the bearing capacity of the frozen wall // Frattura ed Integrità Strutturale. – 2024. – Т. 18. – №. 69. – С. 106-114.
7. Пугин А.В., Агеева К.М., **Бублик С.А.** Исследование критериев надежности ледопородного ограждения при контроле и управлении искусственным замораживанием горных пород // Недропользование. – 2024. – Т. 24. – №. 4. – С. 247-259.
8. Семин М.А., Левин Л.Ю., **Бублик С.А.**, Бровка Г.П. Влияние концентрации растворенной соли на миграцию влаги в искусственно замораживаемых грунтах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2025. – №. 2. – С. 111-122.
9. Левин Л.Ю., Семин М.А., Вшивков А.Н., Пантелеев И.А., **Бублик С.А.**, Угольников М.В., Ложкин Д.В., Плехов О.А. Экспериментальное исследование закономерностей тепломассопереноса во влажном засоленном песке при осевом замораживании // Геосистемы переходных зон. – 2025. – Т. 9. – №. 4. – С. 1-13.

VII. Апробация диссертационной работы

Научные положения и основные результаты исследований докладывались и обсуждались на VI Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти чл.-корр. РАН Новопашина М.Д. «Геомеханические и геотехнологические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России» (г. Якутск, 2021 г.), ежегодной научной сессии «ГИ УрО РАН» (г. Пермь, 2023 г.), XXIII зимней школе по механике сплошных сред ИМСС (г. Пермь, 2023 г.), XXIV зимней школе по механике сплошных сред ИМСС (г. Пермь, 2025 г.), семинаре в рамках научного проекта Международных исследовательских групп по теме «Исследование влияния миграции минерализованных подземных вод на формирование и механические характеристики ледопородных ограждений строящихся горных выработок» (г. Пермь, 2023 г.).

В диссертационной работе отсутствуют заимствованные материалы без ссылки на автора и (или) источник заимствования, результаты научных работ, выполненных Бубликом С.А. в соавторстве, без ссылок на соавторов.

Диссертация Бублик Сергея Анатольевича «Разработка методики расчета параметров искусственного замораживания пород в условиях переноса минерализованной влаги» удовлетворяет требованиям пп. 9-14 «Положения о

присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, и рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Диссертация С.А. Бублика «Разработка методики расчета параметров искусственного замораживания пород в условиях переноса минерализованной влаги» обсуждена и одобрена на заседании Научного семинара «ГИ УрО РАН» под руководством академика РАН А.А. Баряха 5 декабря 2025 года, протокол 4/25.

Присутствовало на заседании 25 человек, из них 8 докторов и 12 кандидатов наук. Результаты открытого голосования научных работников «ГИ УрО РАН»: «за» - 25 чел.; «против» - 0 чел.; «воздержалось» - 0 чел.

Директор «ГИ УрО РАН»
д.т.н., чл.-корр. РАН



Л.Ю. Левин

Председатель заседания
Научного семинара «ГИ УРО РАН»
Руководитель научного направления
«Горные науки» ПФИЦ УРО РАН,
д.т.н. академик РАН



А.А. Барях