

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора по научной работе

АО «НИИ «Строительство»

д.т.н., доцент,

Андрей Григорьевич Алексеев

«26» февраля 2026 г.



Отзыв

ведущей организации на диссертационную работу Чжоу Бичэн «Напряженно-деформированное состояние промерзающих грунтов при миграции влаги», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.7 - Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Диссертационная работа Чжоу Бичэн состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы из 156 наименований (в том числе 145 зарубежных) и приложений. Работа изложена на 135 страницах основного текста, содержит 52 рисунка и 7 таблиц, имеет одно приложение.

Основная цель выполненных исследований заключалась в установлении закономерности формирования напряженно-деформированного состояния и льдонакопления в промерзающих грунтах с учетом влагопереноса.

Сформулированная цель соответствует современным тенденциям в геокриологии и согласована с поставленными задачами. Автор выполнил анализ теоретических представления о формировании напряженно-деформированного состояния и льдонакопления в промерзающих грунтах, разработал одномерную численную модель гидротермического взаимодействия при промерзании грунтов в условиях без внешней нагрузки и оценил пригодность разработанной модели для прогноза льдовыделения и пучения на основе проведенных экспериментов. Чжоу Бичэн исследовал в условиях открытой системы и без внешней нагрузки закономерности формирования порового давления воды, миграции влаги и напряженно-деформированного состояния в промерзающих грунтах.

Актуальность работы обусловлена тем, что надежность строительных объектов в холодных регионах зависит от прогнозирования морозного пучения глинистых грунтов – процесса, вызывающего деформацию фундаментов из-за взаимодействия миграции влаги, температуры и давления поровой воды с образованием ледяных линз. Сложности прямых измерений порового давления

делают критически важной разработку математических моделей для оценки рисков и проектирования устойчивых конструкций. Таким образом, актуальность темы исследования не вызывает сомнений.

Научная новизна работы заключается в предложенном соотношении между основными термодинамическими параметрами в промерзающих водонасыщенных глинистых грунтах для определения порового давления воды, на основе которого разработана численная модель, которая отличается от существующих аналогов тем, что основана на сопряженном анализе теплопереноса, массопереноса, изменения порового давления и фазового равновесия. Модель гидротермического взаимодействия при промерзании грунтов верифицирована и пригодна для прогноза льдовыделения и морозного пучения грунтов как с полной, так и с неполной степенью влагонасыщения.

Теоретическая и практическая значимость исследования заключаются в том, что предложенная модель гидротермического взаимодействия позволяет прогнозировать поровое давление воды в различных температурных и влажностных условиях, в том числе в рамках инженерных проектов. В дальнейшем эта модель может быть модифицирована для учета подтока подземных вод при промерзании.

Чжоу Бичэн сформулировал три защищаемых положения.

Первое защищаемое положение состоит в определении основных соотношений параметров напряженно-деформированного состояния и температуры в промерзающей зоне глинистых грунтов, необходимые для численного моделирования и прогноза льдонакопления и пучения, а также в предложении формулы для расчета давления в поровой влаге при промерзании грунтов для случая формирования ледяных линз и без них. Утверждение обосновывается информационными материалами и выводами, приведенными в главе 2 диссертации.

Второе защищаемое положение утверждает, что разработана численная модель формирования напряженно-деформированного состояния и миграции влаги при промерзании глинистых грунтов на основе программной среды COMSOL, позволяющая выполнять прогноз льдонакопления и пучения в промерзающей зоне. Утверждение обосновывается информационными материалами и выводами, приведенными в главе 3 диссертации.

В третьем защищаемом положении утверждается, что разработанная численная модель напряженно-деформированного состояния и миграции влаги при промерзании грунтов верифицирована данными экспериментов. На основе физического и математического моделирования установлены особенности формирования давления поровой влаги, ее миграции, льдонакопления и распределения ледяных включений при движении фронта промерзания. В частности, показано, что наличие ледяных линз увеличивает давление поровой влаги. Утверждение обосновывается информационными материалами и выводами, приведенными в главе 4 диссертации.

По содержанию представленной диссертации в целом следует отметить успешное решение поставленных задач на современном методическом и научном уровне и общую методологическую грамотность планирования исследования.

В *первой главе* автор рассмотрел комплекс вопросов, связанных с морозным пучением грунтов. Прежде всего, дана оценка масштабов распространения мерзлых и сезонно-мерзлых грунтов, в том числе на территории Китая, и обозначена их значимость для крупных инфраструктурных проектов, реализуемых в холодных регионах. Детально проанализированы физические механизмы морозного пучения: процессы миграции влаги, образования и роста шпиров, роль температурного градиента, зоны промерзающей каймы и фронта промерзания. Автор систематизировал и сопоставил ключевые теоретические модели морозного пучения (капиллярную модель, гидродинамическую модель Харлана, модель сегрегационного потенциала Конрада и др.), указав их допущения, преимущества и ограничения.

Во *второй главе* автором проведён комплексный анализ механики мерзлых грунтов с опорой на принцип эффективных напряжений и уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Исследована зависимость параметров эффективного напряжения от порового давления воды, пористости и степени водонасыщения. Выполнен разбор модификации уравнения Клапейрона-Клаузиуса, на основе которого выведена упрощенная форма для расчета порового давления в мерзлых грунтах. Автором показано, что классическое уравнение систематически завышает фактические значения порового давления, что обосновывает необходимость его корректировки.

Автором предложена новая формула порового давления воды: она совмещает уравнение эффективных напряжений с уравнением Клапейрона-Клаузиуса и учитывает ключевой параметр – отношение объемной доли незамерзшей воды к объемной доле льда. На базе этой формулы и эмпирической зависимости Сюя построена теоретическая модель пучения грунта с использованием системы уравнений массопереноса, теплопереноса и фазового равновесия. Численная реализация модели выполнена в среде COMSOL, что позволило составить уравнения и построить сопряженные поля влажности и температуры, подтвердив согласованность результатов с экспериментальными данными.

В **третьей главе** Чжоу Бичэн рассмотрел проблему морозного пучения грунтов в районе вечной мерзлоты (в том числе на примере железной дороги Харбин-Дасинганлин), проанализировал механизмы миграции влаги и образования ледяных линз, провел анализ экспериментальных исследований на образцах каолиновой глины и монтмориллонита с применением сканирующей электронной микроскопии, разработал установку для испытаний на морозное пучение и построил численную модель на основе дифференциальных уравнений теплопередачи и массопереноса с параметрами модели VG. Сопоставление моделирования с экспериментами показало: модель адекватно описывает процессы для грунтов с низкой степенью насыщения (ошибка около 13%), но менее точна для насыщенных грунтов (ошибка до 25%) из-за упрощенного учета миграции в зонах с ледяными линзами. Результаты данных разработок важны для прогнозирования деформаций в инженерных задачах.

В *четвертой главе* автор провёл численное моделирование процесса морозного пучения водонасыщенного грунта. Для верификации модели выполнены эксперименты (с циклическим замораживанием-оттаиванием без нагрузки и с сжатием мерзлого грунта под нагрузкой) на образцах Цинхай-тибетской глины. Сопоставление экспериментальных данных и результатов моделирования показало: общее пиковое значение порового давления согласуется, но модель точнее описывает первый цикл замораживания-оттаивания и не учитывает разрушения структуры грунта и испарения воды в последующих циклах. Для повышения точности прогнозирования Чжоу Бичэн

предложил ввести дополнительные параметры, учитывающие количество циклов и свойства грунта.

Работа выделяется комплексной методологией: автор успешно сочетает аналитическое и физическое моделирование гидротермического взаимодействия грунтов, а затем верифицирует расчетные данные через сопоставление с результатами экспериментов. Отдельно стоит отметить высокий уровень аналитических навыков соискателя.

Однако, есть несколько замечаний к работе:

1. Глава 1 содержит лишь фрагментарный анализ исследований советских и российских ученых, внесших значительный вклад в изучение процессов морозного пучения и тепломассопереноса: автором учтены только работы Горелика Я. Б. Кроме того, в главе, как и в выводах, не отражены: направления, которые, по мнению диссертанта остаются неисследованными и что в конечном счете планировал исследовать соискатель. Не поставлена цель и задачи исследования.

2. В главе 2 не указаны условия, для которых выполнен сравнительный расчет, что затрудняет оценку его релевантности. Почему только один расчет? Кроме того, отсутствует оценка влияния изменения входных параметров (в том числе разновидности грунта и его физико-механических свойств) на сходимость результатов. Дополнительно стоит отметить низкое качество визуализации рисунка 2.2.4, затрудняющее его восприятие.

3. В главе 3 не представлено обоснование выбора температур испытаний при проведении исследований по замораживанию образцов. Почему минус 5°C и минус 10°C? Кроме того, отсутствует информация о кратности проведения экспериментов. Из рисунка 3.19 непонятно, чем отличаются образцы. Наконец, в разделе 3.1.1 описаны эксперименты, не несущие очевидной научной ценности, - при этом какой-либо аналитической обработки данных не представлено.

4. В главе 4 отсутствует информация о физико-механических свойствах Цинхай-тибетской глины, использованной в экспериментах. Без этих данных затруднена оценка репрезентативности результатов и их применимости к реальным условиям.

5. Заключение не в полной мере отражает суть защищаемых положений и не содержит рекомендаций по направлениям дальнейших исследований.

Заключение: В целом диссертационная работа Чжоу Бичэн, представленная на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, является законченным научным трудом, в котором содержатся решения задач, имеющих существенное значение для мерзлотоведения и геотехники. Она выполнена на современном научно-техническом уровне и отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук, п. 9 «Положение о присуждении ученых степеней», а ее автор Чжоу Бичэн заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.7 – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

Диссертация рассмотрена на заседании Центра геокриологических и геотехнических исследований НИИОСП им. Н.М. Герсееванова АО «НИЦ «Строительство», протокол заседания №2 от 20 февраля 2026 г.

Отзыв составил:

Заместитель директора

НИИОСП им. Н.М. Герсееванова, к.т.н.

 Дмитрий Евгеньевич Разводовский

АО «НИЦ «Строительство»

Заведующий Сектором лабораторных исследований

мерзлых грунтов Центра геокриологических и

геотехнических исследований

НИИОСП им. Н.М. Герсееванова

АО «НИЦ «Строительство»

 Эрика Станиславовна Гречищева

Сведения о ведущей организации:

Центр геокриологических и геотехнических исследований НИИОСП им. Н.М. Герсееванова

Акционерное общество «Научно-исследовательский центр «Строительство» (АО «НИЦ «Строительство»)

Юридический адрес: 141367, Московская область, город Сергиев Посад, пос. Загорские Дали, д. 6-11

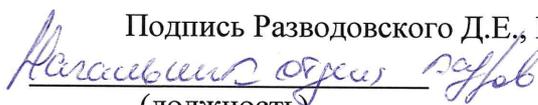
Почтовый адрес: 109428, Москва, ул. 2-я Институтская, д.6

Телефон: +7 (495) 602-00-70

e-mail: inf@cstroy.ru

Официальный сайт: <http://www.cstroy.ru>

Подпись Разводовского Д.Е., Гречищевой Э.С. заверяю:



(должность)

26.02.2026

 (Ф.И.О. заверяющего)

