

ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертационную работу
ПЕНЗЕВА Антона Петровича
на тему: «Влияние геологических факторов на эффективность упрочнения песчаных
грунтов растворами алифатических эпоксидных смол»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук
по специальности 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Работа А.П.Пензева, представленная к защите, посвящена решению важной проблемы в области технической мелиорации грунтов - поиску новых химических вяжущих материалов, способных обеспечить эффективное улучшение физико-механических свойств рыхлых песчаных отложений, в том числе грунтов пониженной проницаемости.

Актуальность выбранной темы не подлежит сомнению. Широкое распространение песчаных грунтов в верхней части геологического разреза, их частое использование в строительстве сопряжено с необходимостью поиска новых экологически безопасных способов улучшения качества оснований, в том числе путем инъекционного химического закрепления грунтов. Особенно актуален поиск новых вяжущих для мелкозернистых и пылеватых песчаных разностей, характеризующихся низкими коэффициентами фильтрации. Разнообразие химико-минерального состава, дисперсности и плотности сложения песков обуславливает необходимость исследования влияния данных литологических факторов на эффективность их химического инъекционного закрепления.

В качестве **цели исследования** автор определил изучение влияния состава и свойств песчаных грунтов на эффективность их закрепления новым химическим вяжущим оригинального, разработанного автором, состава на основе раствора коллоидного кремнезема и алифатической эпоксидной смолы. Сформулированные **задачи исследования** (из 7 пунктов) обеспечили полноту изучения большого набора показателей состава, строения и свойств грунтов с помощью широкого комплекса современных лабораторных и полевых методов. Это позволило всесторонне оценить эффективность закрепления грунтов и достигнуть поставленной в работе цели.

Научная и практическая новизна диссертационной работы заключается, прежде всего, в разработке нового инъекционного раствора для укрепления мелких и пылеватых песков и установление рабочих диапазонов его использования. Автором создана и опробована оригинальная стендовая установка для моделирования инъекционных работ в лабораторных условиях, позволяющая проводить измерения

большого количества параметров по площади и в объеме модели и проводить исследования, как для воздушно-сухих, так и для водонасыщенных песчаных грунтов.

Теоретическая значимость диссертационного исследования также не вызывает сомнения. Автором выявлены новые закономерности влияния минерального состава песчаных зерен, неорганических и органических поверхностных пленок на прочность и эффективный радиус закрепления. Им также разработан и апробирован новый методологический подход к последовательности проведения экспериментов по инъекционной обработке грунтов, включающий лабораторное закрепление песка в инъекционной трубке, физическое моделирование инъекционной обработки грунта на стенде авторской конструкции, а также натурные эксперименты. Каждый из методов имеет свои недостатки и преимущества, и только их комплексирование позволяет получить достоверные сведения об эффективности применяемой рецептуры.

На защиту выносятся 4 защищаемых положения, корректно сформулированные и в целом, соответствующие поставленным в работе задачам. Защищаемые положения доказаны проведенными исследованиями и подкреплены большим объемом полученного фактического материала.

К диссертации приложены два авторских патента: патент на полезную модель емкости лабораторной установки для исследования характера распространения инъекционного раствора для закрепления грунта и патент на изобретение инъекционного раствора для закрепления пескосодержащего массива, что, несомненно, усиливает значимость выполненной работы.

Структура и содержание работы. Текст диссертационной работы изложен на 185 страницах. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы, содержащего 174 наименования (из которых 62 иностранных источника) и 4 приложений. Работа содержит 117 графических иллюстраций, 20 таблиц и 4 приложения.

Первая глава диссертационной работы дает представление о современном состоянии химического инъекционного закрепления грунтов и состоит из двух частей. Первая часть главы посвящена собственно обзору современных способов обработки песчаных грунтов в массиве, в том числе методом инъекционной пропитки, а также обзору органических и неорганических вяжущих, используемых в технической мелиорации грунтов. Автор делает обоснованный вывод об ограниченной применимости существующих методов и недостаточной проработанности вопроса инъекционного закрепления слабопроницаемых мелкозернистых и пылеватых грунтов с коэффициентом фильтрации менее 2-5 м/сут, что подтверждает актуальность выбранной темы исследования. Во второй части этой главы автор дает подробный всесторонний анализ

песчаных грунтов как объектов технической мелиорации, который выполнен очень качественно и полно. Автор продемонстрировал глубокое знание основных опубликованных работ, умение анализировать и обобщать информацию из большого количества источников. В этом разделе удачно представлен обобщенный опыт исследований влияния различных показателей состава, дисперсности и состояния песчаных грунтов на эффективность их обработки различными инъекционными растворами.

Вторая глава посвящена характеристике объектов исследования. Для исследования автором была собрана большая коллекция природных песков различного генезиса и возраста, что отражается на их дисперсности, минеральном составе, сортированности и окатанности зерен. Кроме природных грунтов, для более тщательного выявления влияния каждого исследуемого фактора автор исследовал модельные искусственно приготовленные образцы с заданным гранулометрическим и минеральным составом, а также пески с искусственно нанесенными поверхностными органическими и неорганическими пленками разного состава. Всего было собрано, подготовлено и изучено (как следует из Приложения 3 к работе) 10 разновидностей природных и 12 разновидностей модельных грунтов с заданными характеристиками. Широкая представительность приготовленных экспериментальных серий образцов, позволившая детально и скрупулёзно исследовать выбранные факторы состава и строения производит очень благоприятное впечатление.

В третьей главе соискатель рассматривает методику проведения экспериментальных лабораторных и полевых исследований. Автором предложена комплексная методика изучения эффективности закрепления песчаных грунтов кремнеземисто-эпоксидным вяжущим, сочетающая лабораторные и полевые методы. Выигрышно смотрится общая схема последовательности операций, включающая полный комплекс лабораторных исследований незакрепленных и закрепленных грунтов, лабораторное закрепление песков в разборных инъекционных колоннах, а также полевые опытные испытания. Несомненным достоинством работы является дополнение стандартной методики лабораторного закрепления грунтов запатентованным авторским методом физического моделирования процесса закрепления на стенде оригинальной конструкции, который позволил автору получить более полное представление о распределении свойств модифицированных песчаных грунтов в обработанном объеме. Также необходимо отметить проведение полноценных полевых инъекционных работ и последующее промышленное внедрение рецептуры, подтвержденное приложенным актом.

Четвертая глава посвящена свойствам рабочего раствора и его компонентам. Рассмотрены основные свойства гелеобразующей системы и их изменение в течение индукционного периода. Преимуществом предложенной рецептуры, защищенной авторским патентом на изобретение, является низкая вязкость и высокая проницаемость раствора, а также возможность его использования при низких температурах вследствие экзотермических реакций взаимодействия компонентов. Кроме того, важным достоинством представленной кремнеземисто-эпоксидной рецептуры является тот факт, что увеличение времени гелеобразования при вариации дозировки отвердителя практически не влияет на прочность формирующегося полимера. Автором проведен комплекс исследований прочности образцов геля при их хранении в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях, определение величины краевого угла смачивания основных породообразующих минералов и минеральных пленок разного состава, а также адгезии кремнеземисто-эпоксидного геля к минералам и поверхностным пленкам песчаных грунтов.

В пятой главе приведены основные результаты исследований. Автор последовательно рассматривает каждый отдельный геологический фактор и его влияние на качество и эффективность инъекционной обработки, причем практически для всех образцов, характеризующих рассматриваемый фактор, выполнены электронно-микроскопические исследования. Автором выявлено двойственное влияние увеличения дисперсности грунтов на эффективность инъекционной обработки: снижение радиуса закрепления при росте физико-механических параметров модифицированных грунтов, что позволило ему определить оптимальный диапазон использования вяжущего. Отдельно рассматриваются вопросы влияния минерального состава, плотности сложения грунтов, состава водорастворимых солей, а также наличия искусственных и природных аутигенных образований. Выявлен механизм влияния поверхностных пленок на эффективность закрепления, который проявляется в увеличении адгезионной способности песчаных зерен и в изменении структуры формирующегося геля. Полученные экспериментальные данные подтверждает обоснованность защищаемых положений, сформулированных по результатам исследований в этой главе.

Шестая глава посвящена полевым исследованиям инъекционного закрепления песчаных грунтов. Автором проведено опытное инъекционное закрепление массива аллювиальных песчаных грунтов методом пропитки на территории Мещерского полигона МГУ, а также промышленное внедрение инъекционного раствора для закрепления тела дамбы шламохранилища, сложенного техногенными насыпными песками, в Пермском крае. Полученные результаты полевых работ показали хорошую сходимость значений

прочностных свойств модифицированных грунтов с лабораторными данными. Промышленное полевое внедрение, подтвержденное актом, проводилось с использованием стандартных методов полевой инъекции и доказало применимость разработанной рецептуры при отрицательных температурах. Особо стоит отметить сложность проведения полевого инъекционного опыта в зимний период, что повышает ценность полученных данных.

Седьмая глава посвящена физическому моделированию инъекционного закрепления методом пропитки. Лабораторное моделирование проводилось на разработанном автором запатентованном однокамерном стенде в воздушно-сухих и водонасыщенных условиях. Эта новая методика, предложенная автором, позволила дополнить результаты, полученные им при закреплении грунтов в инъекционных колоннах, более надежными и наглядными данными о распространении раствора в объеме грунта и построить схемы полей распределения плотности, влажности и прочности в закрепленном массиве. Как отмечает сам автор, физическое моделирование в лабораторных условиях вследствие его простоты и экономичности выгодно отличается от сложных и дорогостоящих полевых исследований. Многократно проведенные эксперименты на стенде продемонстрировали сопоставимые результаты с параллельными исследованиями в инъекционных колоннах.

В Заключении диссертационного исследования отражены основные полученные результаты по влиянию гранулометрического, минерального состава, состава водорастворимых солей и дисперсности песка на эффективность его закрепления разработанной рецептурой. Здесь же автор представляет обнаруженную им и подтвержденную различными аналитическими методами зональность строения модифицированного массива песчаного грунта. К сожалению, автор не делает главного вывода: насколько практически значимо влияние того или иного фактора, и надо ли детально учитывать химико-минеральный состав песков при планировании их промышленного инъекционного закрепления.

Автореферат диссертации отражает основное содержание и выводы работы. Текст диссертационной работы и автореферата в должной степени проиллюстрирован, снабжен таблицами и графиками.

Степень достоверности и обоснованности фактического материала сомнений не вызывает, объем лабораторных и полевых исследований автора впечатляет. Эксперименты выполнены на современном уровне. Личный вклад автора в проведенные исследования велик и не вызывает сомнений. Полученные результаты имеют неоспоримое

научное и практическое значение. Разработанная автором рецептура обладает производственным потенциалом.

Основные результаты диссертационного исследования были представлены автором на российских и международных конференциях и опубликованы в 3 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.6.7, а также в 3 статьях в сборниках. Автором также получены два патента - на изобретение и полезную модель.

Вместе с тем, к работе имеются **следующие вопросы и замечания:**

1. С точки зрения рецензента, в литературном обзоре неоправданно большое внимание уделено рассмотрению различных способов технической мелиорации грунтов, не имеющих непосредственного отношения к цели и задачам настоящего исследования. В то же время не полно проанализирован опыт химического инъекционного закрепления слабопроницаемых пылеватых и песчаных грунтов, мало внимания уделено применению для их закрепления синтетических смол и коллоидного кремнезема, входящих в состав разработанной автором рецептуры.
2. В качестве первой задачи исследования автором указана разработка нового состава химического вяжущего, однако факт разработки новой оригинальной рецептуры инъекционного закрепления и ее состав, защищенный авторским патентом на изобретение, не вынесен на защиту в диссертации. В тексте работы не описан процесс разработки состава нового вяжущего, недостаточно четко обосновано преимущество применения данной рецептуры перед другими, крайне отрывочно объяснена физико-химическая сущность взаимодействия компонентов раствора. Не дано четкого названия рецептуры. Автор в тексте называет свою рецептуру «модифицированным раствором алифатической эпоксидной смолы», однако в выводах к главе 4 пишет, что основой рецептуры является коллоидный кремнезем, а смола и третий компонент - отвердитель ПЭПА, играют роль модификантов и ускорителя гелеобразования.
3. Вызывает удивление, что выявленная автором и подтвержденная разными методами интересная зональность строения и свойств модифицированного массива песчаного грунта, не нашла отражение в защищаемых положениях.
4. В сформулированном в работе виде четвертое защищаемое положение, утверждающее о необходимости комплексирования лабораторных и полевых экспериментов для оценки эффективности химического закрепления грунтов выглядит очевидным и не требующим доказательства. Вероятно, в этом защищаемом положении автору следовало бы более четко подчеркнуть методическое преимущество дополнения

общеизвестного комплекса исследований разработанным им оригинальным приемом физического моделирования инъекционного закрепления грунтов в лабораторных условиях на установке авторской конструкции.

5. При представлении результатов экспериментальных исследований по закреплению песков в инъекционной колонне, автор, на взгляд оппонента, неоправданно много внимания уделяет графикам распределения изучаемых параметров по ее длине. Распределение вяжущего по длине колонны будет заведомо неравномерным в связи с известными технологическими недостатками данного метода, что ставит под сомнение целесообразность углубленного изучения такого рода зависимостей вместо усреднения полученных результатов. При этом, действительно важные закономерности не всегда представлены графически. Так, важное исследование влияния гранулометрического состава песков на прочность их закрепления, на результатах которого основывается первое защищаемое положение, в тексте соответствующего параграфа 5.1 не проиллюстрировано, к сожалению, общим графиком выявленной зависимости.

6. Непонятно, зачем к данной работе был привлечен столь широкий спектр природных песчаных грунтов (10 разновидностей). Как они использовались в экспериментах? Как следует из текста работы, в основном, все экспериментальные исследования строились на использовании только двух грунтов из 10 описанных - верхнечетвертичного аллювиального песка второй надпойменной террасы р. Клязьма и нижнемелового песка икшинской свиты.

7. В заключении автор пишет о долговечности эффекта закрепления разработанным химическим составом, доказанной на основании трехлетнего выдерживания образцов. Однако, в тексте глав нигде не упоминается об исследовании образцов столь долгого срока хранения.

8. У рецензента сложилось впечатление, что слишком большое количество фактического материала и множество проведенных очень разноплановых экспериментальных исследований не позволили автору детально и глубоко проанализировать все полученные результаты, о многих выявленных фактах и закономерностях упоминается лишь вскользь. Так, например, в работе не завершились выводами проведенные исследования влияния плотности и засоленности грунтов на эффективность их закрепления.

9. В работе встречаются стилистические и смысловые неточности. Так, автор неоднократно пишет об "использовании песчаных грунтов для инъекционной обработки", хотя именно грунт - объект обработки, и правильнее говорить об использовании "инъекционных растворов для обработки песчаных грунтов". Некорректно употребляется

выражение "увеличение гранулометрического состава грунтов" (стр.101), где, видимо речь идет об увеличении их дисперсности. Графики, представленные на рис. 26-28 следовало бы назвать не "зависимостями объема отвердителя от времени гелеобразования", что противоречит здравому смыслу, а наоборот.

10. Автор не всегда придерживается четкой структуры изложения материала: некоторые части текста не озаглавлены вообще (первые 8 страниц в начале главы 5), выводы следуют иногда в конце глав, иногда в конце параграфов. При этом в пределах одной главы (глава 5), некоторые параграфы завершаются выводами, а некоторые - нет, что вызывает недоумение.

Сделанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы, которая выполнена на высоком научном уровне и соответствует поставленным целям и задачам. Диссертант проявил себя самостоятельным исследователем, владеющим современными методами лабораторных и полевых исследований, умеющим ставить и креативно решать научные задачи, тщательно и ответственно анализировать полученные результаты.

Представленная диссертационная работа на тему «Влияние геологических факторов на эффективность упрочнения песчаных грунтов растворами алифатических эпоксидных смол» является законченным научным исследованием, в котором автором, на основании большого объема проведенных исследований решена научная проблема, имеющая теоретическое и прикладное значение в области технической мелиорации грунтов. Диссертация написана автором лично, содержит совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для защиты. Выводы по работе отражают ее содержание, обоснованы и соответствуют основным защищаемым положениям.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к диссертационным работам. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.7. «Инженерная геология, мерзловедение и грунтоведение (по геолого-минералогическим наукам)», а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова». Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям «Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова».

Считаю, что соискатель, Пензев Антон Петрович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение.

Официальный оппонент:

Кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории грунтоведения и механики грунтов
ФГБУН Институт геоэкологии им.Е.М.Сергеева Российской академии наук

ЕРЕМИНА Ольга Николаевна

02.12.2025

Контактные данные:

тел.: 9, e-mail: o_

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
04.00.07 Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Адрес места работы:

1010000, г. Москва, Уланский пер. 13, стр. 2, ФГБУН Институт геоэкологии
им.Е.М.Сергеева РАН (ИГЭ РАН), лаборатория грунтоведения и механики грунтов
Раб. тел. +7(495)623-31-11; E-mail: direct@geoenv.ru

Подпись сотрудника Института геоэкологии им.Е.М.Сергеева Российской академии наук
О.Н. Ереминой удостоверяю:

Начальник отдела кадров
С.В.Аверкина

02.12.2025