

Р. А. МАНГУШЕВ
А. В. МАЛЬЦЕВ
К. А. МАЛЬЦЕВА

РАЗРАБОТКА СТРАТЕГИИ ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОГО ВАРИАНТА ИНЪЕКЦИОННОГО ЗАКРЕПЛЕНИЯ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ИСТОРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

DEVELOPMENT OF A STRATEGY FOR SELECTING THE MOST EFFECTIVE METHOD OF INJECTION GROUTING FOR WATER-SATURATED SOILS OF HISTORICAL BUILDING FOUNDATIONS IN SAINT PETERSBURG

Исследование посвящено разработке стратегии выбора наиболее эффективного метода инъекционно-го закрепления водонасыщенных грунтов оснований исторических объектов Санкт-Петербурга. Рассмотрены инженерно-геологические условия города, характеризующиеся слабыми водонасыщенными грунтами (пески, суглинки, глины) и деградацией деревянных элементов конструкций фундаментов из-за гниения. Объектом исследования являются прочностные и деформационные характеристики грунтов, укрепленных микроцементными, органо-силикатными и акрилатными растворами, а также эффективность консервации деревянных лежней. Разработана предварительная методика, включающая лабораторные и полевые эксперименты с варьированием типа раствора, его концентрации и процентного содержания в грунте (10, 20, 25, 50 %). Методика опирается на действующие нормативные документы, позволяя оценить угол внутреннего трения (φ), силу сцепления (c), модуль деформации (E) и коэффициент фильтрации (K_f). Результаты исследования направлены на создание нормативной базы (СТО) для укрепления грунтов и сохранения объектов культурного наследия.

Ключевые слова: водонасыщенные грунты, инъектирование грунтов, микроцементные растворы, органо-силикатные составы, акрилатные растворы, прочностные характеристики, деформационные характеристики, консервация древесины

Study focused on developing a strategy for selecting the most effective method of injection grouting to stabilize water-saturated soils forming the foundations of historical buildings in Saint Petersburg. The engineering-geological conditions of the city, characterized by weak water-saturated soils (sands, loams, clays) and the degradation of wooden foundations due to decay, are analyzed. The research targets the strength and deformation properties of soils reinforced with microcement, organo-silicate, and acrylate grouts, as well as the effectiveness of preserving wooden foundation elements (timber beds). A preliminary methodology has been developed, incorporating laboratory and field experiments with variations in grout type, concentration, and proportion in the soil (10, 20, 25, 50 %). The methodology is based on is based on current regulatory documents, enabling the evaluation of the angle of internal friction (φ), cohesion (c), modulus of deformation (E), and filtration coefficient (K_f). The research outcomes aim to establish a regulatory framework (STO) for soil stabilization and the preservation of cultural heritage sites.

Keywords: water-saturated soils, soil injection, microcement grouts, organo-silicate compounds, acrylate grouts, strength properties, deformation properties, wood preservation

Введение

Санкт-Петербург, являясь культурным центром мирового значения, обладает уникальным архитектурным достоянием, включающим более 8000 объектов культурного наследия, из которых более 4000 имеют федеральное значение [1]. Исторический центр города, включенный в список объектов всемирного наследия ЮНЕСКО в 1990 году, представляет собой сложный

комплекс зданий и сооружений, построенных на слабых водонасыщенных грунтах [2]. Эти грунты, представленные преимущественно глинистыми и песчаными отложениями четвертичного возраста, характеризуются низкой несущей способностью и склонностью к тиксотропным изменениям при природных и техногенных воздействиях [3, 4]. Одной из проблем в таких грунтовых условиях являются неравномерные осадки оснований и деформации исторических

зданий, вызванные гниением деревянных элементов фундаментов, таких как лежни и сваи, которые традиционно использовались для распределения нагрузки на слабые грунты [5, 6]. Понижение уровня грунтовых вод в результате антропогенной деятельности техногенного характера привело к ускоренному разрушению этих элементов, что создает угрозу для сохранности исторических объектов [7]. В связи с этим возникает необходимость разработки эффективных методов укрепления грунтов оснований и, в том числе, консервации деревянных конструкций с использованием инъекционных технологий [8]. Эти технологии позволяют улучшить прочностные и деформационные характеристики грунтов путем инъекции в основание фундаментов специальных растворов, таких как микроцементы, органо-силикатные и акрилатные составы. Однако выбор наиболее эффективных растворов и технологий их применения требует всесторонних исследований и тщательного анализа инженерно-геологических условий, свойств растворов и их взаимодействия с различными типами грунтов.

Целью статьи является обоснование наиболее эффективных способов закрепления водонасыщенных песчаных и пылевато-глинистых грунтов оснований исторических объектов Санкт-Петербурга инъекционными растворами. Для достижения этой цели поставлены задачи, включающие оценку инженерно-геологических условий, анализ современных инъекционных растворов и технологий, разработку методики экспериментальных исследований и выбор оптимальных решений для различных типов грунтов.

1. Оценка инженерно-геологических условий как фактора риска для зданий

Санкт-Петербург расположен в зоне сложных грунтовых условий, обусловленных геологическим строением региона. Основания исторических объектов города представлены преимущественно водонасыщенными грунтами четвертичного возраста, включающими пески, суглинки и глины. Эти грунты характеризуются высокой обводненностью, низкой несущей способностью и значительной сжимаемостью. Исторически для строительства фундаментов использовались деревянные сваи и лежни, которые в условиях постоянного контакта с водой и воздухом подвержены биологическому разрушению (гниению). Понижение уровня грунтовых вод, вызванное техногенными факторами, такими как дренажные работы и освоение подземного городского пространства по причине урбанизации, приводит к окислению древесины и ускорению деграда-

ции фундаментов. Таким образом, укрепление грунтов и консервация деревянных элементов могут стать позитивным решением для сохранения зданий исторической застройки.

2. Методы инъекционного закрепления

Инъекционное закрепление грунтов представляет собой процесс введения в грунтовую среду специальных растворов, которые, затвердевая, повышают прочностные и деформационные характеристики массива [9]. Основные механизмы действия включают заполнение пор, связывание частиц грунта и создание прочной структуры. Эффективность метода зависит от типа грунта (его пористости, гранулометрического состава и т. п.), свойств инъекционного раствора (вязкости, времени схватывания) и технологии введения в грунт (давления, способа подачи).

Методы инъекционного закрепления классифицируются по типу растворов и способу их введения.

По типу растворов: цементация (на основе цемента, включая микроцементы), силикатизация (органо-силикатные составы), смолизация (акрилатные и полимерные растворы).

По способу введения: пропитка (низкое давление), струйная цементация (высокое давление с разрушением структуры грунта), гидро-разрывы (создание трещин для проникновения раствора), манжетная технология (локальная подача через специальные устройства).

Каждый из методов имеет свои преимущества и ограничения, которые необходимо учитывать при выборе стратегии закрепления для конкретных условий.

Современная геотехническая практика предлагает широкий спектр растворов для инъекционного закрепления грунтов. В настоящей статье рассматриваются три типа растворов, получивших практическое использование:

Микроцементные растворы – основаны на мелкодисперсном цементе с размером частиц менее 15 мкм. Благодаря высокой проникающей способности они эффективны для песчаных и пылеватых грунтов. Обеспечивают высокую прочность и устойчивость к вымыванию.

Органо-силикатные составы – представляют собой комбинацию силикатов натрия или калия с органическими добавками. Применяются для укрепления глинистых грунтов и обладают способностью к химическому взаимодействию с грунтовой средой, снижая водопроницаемость.

Акрилатные растворы – это полимерные гели с низкой вязкостью, которые подходят для мелкопористых грунтов. Отличаются быстрым схватыванием и эластичностью, что делает их

перспективными для консервации деревянных элементов за счет создания защитного слоя.

Выбор раствора определяется его проницаемостью в грунт, а также задачами укрепления (увеличение прочности, снижение деформаций, гидроизоляция).

При этом основными требованиями, предъявляемыми к инъекционным растворам, являются:

- *прочность и долговечность* – способность раствора обеспечивать долговременную устойчивость грунтов;
- *вязкость и текучесть* – оптимальные реологические свойства для проникновения в поры грунта;
- *время схватывания* – контроль скорости твердения раствора в зависимости от условий эксплуатации;
- *адгезия с грунтом* – обеспечение прочного сцепления раствора с частицами грунта;
- *устойчивость к усадке* – минимизация деформаций при твердении;
- *экологичность* – безопасность для окружающей среды;

▪ *химическая совместимость с грунтом* – отсутствие негативного взаимодействия с грунтовыми водами и минералами;

▪ *температурная устойчивость* – сохранение свойств при изменении температурных условий;

▪ *экономичность* – оптимальное соотношение стоимости и эффективности;

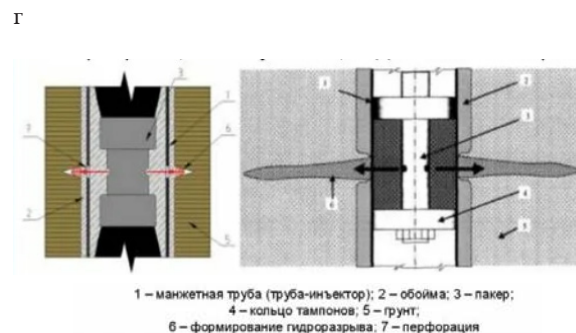
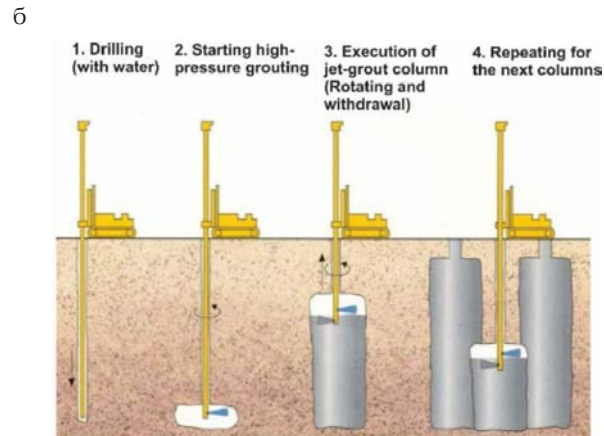
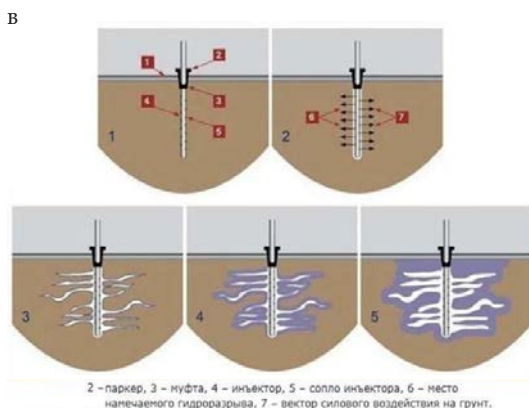
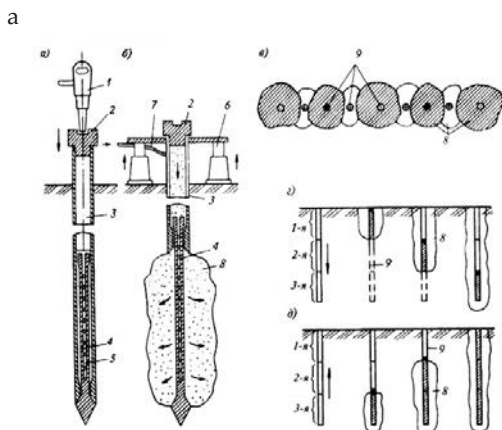
▪ *технологичность* – удобство применения в различных условиях [10].

Для реализации инъекционных методов применяются различные технологии (рис. 1).

Режим пропитки: раствор вводится под низким давлением, заполняя поры грунта без нарушения его структуры (рис. 1, а). Подходит для песчаных легко проницаемых грунтов.

Струйная цементация: высоконапорная струя раствора разрушает грунт, замещая его цементно-грунтовой смесью (рис. 1, б). Эффективна для создания укрепленных зон в неоднородных грунтах.

Гидроразрывы: раствор подается под давлением, вызывающим контролируемое растрескивание грунта, что улучшает проникновение в глинистые слои (рис. 1, в).



1 – манжетная труба (труба-инъектор); 2 – обойма; 3 – пакер;
4 – кольцо тампона; 5 – грунт;
6 – формирование гидроразрыва; 7 – перфорация

Рис. 1. Технологии инъекционного закрепления грунтов:

а – режим пропитки; б – струйная цементация; в – гидроразрывы; г – манжетная технология

Fig. 1. Technologies of injection soil stabilization:

a – impregnation mode; b – jet cementation; c – hydraulic fracturing; d – cuff technology

Манжетная технология: используются инъекционные трубы с манжетами для точечного введения раствора, минимизируя его расход (рис. 1, г).

Каждая технология требует адаптации к конкретным гидрогеологическим условиям и типу грунта, что подчеркивает необходимость дополнительного экспериментального обоснования [11].

Деревянные лежни и сваи, традиционно используемые в Санкт-Петербурге, подвержены гниению в условиях изменения уровня грунтовых вод [12]. Инъекционные растворы могут не только укреплять грунт, но и выполнять консервирующую функцию, проникая в древесину и предотвращая доступ кислорода и влаги. Теоретически, акрилатные растворы и органо-силикатные составы обладают наибольшим потенциалом для этой задачи благодаря их гидрофобным свойствам и способности к глубокому проникновению.

Основа таких исследований базируется на комплексном анализе взаимодействия грунтов и растворов, а также на особенностях применяемых инъекционных технологий. Для выбора оптимального варианта следует учитывать:

- инженерно-геологические условия (тип грунта, водонасыщенность, пористость);
- физико-химические свойства растворов (вязкость, время схватывания, адгезия к грунту и древесине);
- технологические параметры (давление, глубина инъекций, объем раствора).

Экспериментальные исследования в лабораторных и полевых условиях позволяют оценить эффективность каждого раствора и метода, а также разработать рекомендации для практического применения.

3. Разработка методики эффективного способа инъекционного закрепления

Для достижения цели исследования – научного обоснования выбора наиболее эффективного способа инъекционного закрепления водонасыщенных грунтов разработана предварительная методика, которая включает этапы теоретического анализа, лабораторных и полевых экспериментов.

Эта методика может корректироваться в процессе проведения исследований и по мере получения промежуточных результатов с учетом оценки инженерно-геологических условий, анализа свойств растворов и выбора технологий.

При разработке методики было принято решение руководствоваться следующими принципами:

- исследование должно базироваться на сравнении характеристик грунтовых свойств

до и после инъекционного закрепления, в первую очередь прочностных, деформационных и фильтрационных;

- основными параметрами для оценки закрепленных грунтов является угол внутреннего трения (φ), сила удельного сцепления (c), модуль деформации (E) и коэффициент фильтрации (K_f);

- при создании моделей закрепленных грунтов в лабораторных условиях в качестве варьируемых параметров приняты: тип грунта, тип раствора, его концентрация и процентное соотношение раствора в грунте (например 10, 20, 25, 50 %);

- методика проведения лабораторных и полевых испытаний грунтов должна быть разработана на основе действующих нормативных документов, таких как ГОСТ, СП и СТО, с целью обеспечения достоверности и соответствия установленным стандартам;

- результаты исследований станут обоснованием для выбора оптимального способа закрепления оснований грунтов оснований исторических объектов Санкт-Петербурга.

1. Подготовительный этап

На первом этапе проводится сбор и систематизация данных об инженерно-геологических и гидрогеологических условиях территории Санкт-Петербурга и прилегающих районов Ленинградской области. Основное внимание уделяется характеристикам водонасыщенных грунтов (песков, суглинков, глин), включая их гранулометрический состав, пористость, водопроницаемость и несущую способность. Для этого используются архивные данные геологических изысканий, а также результаты современных обследований оснований исторических зданий. Дополнительно анализируется состояние деревянных лежней фундаментов с учетом степени их биологического разрушения и остаточной прочности.

2. Выбор объектов исследования

Объектами исследования выбраны наиболее характерные для Санкт-Петербурга типы грунтов. Для оценки консервации деревянных элементов используются образцы лежней, извлеченные из исторических фундаментов, с различной степенью гниения. Выбор обусловлен необходимостью охвата разнообразных условий, встречающихся в историческом центре города [13].

3. Подготовка инъекционных растворов и обводнения

Для экспериментов отобрано три типа инъекционных растворов: микроцементные,

органо-силикатные и акрилатные, производимые отечественными предприятиями. Растворы готовятся в соответствии с техническими рекомендациями производителей с учетом их вязкости, времени схватывания и совместимости с грунтами.

Для проведения инъекций разработаны лабораторные установки, включающие насосы с регулируемым давлением (от 0,1 до 5,0 МПа) и инъекционные трубки с манжетами для локального введения растворов. В полевых условиях применяются мобильные буровые установки и оборудование для струйной цементации.

4. Лабораторные исследования

Предложенная методика лабораторных исследований направлена на сравнение свойств грунтов в естественном состоянии и после обработки инъекционными растворами.

Подготовка образцов грунта

Образцы грунта следует отбирать в соответствии с ГОСТ 12071-2014 «Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов с сохранением естественной структуры и влажности». В лаборатории из них должны быть подготовлены цилиндрические образцы диаметром 50 мм и высотой 25 мм ГОСТ 12248-2016 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости» для проведения испытаний по определению прочности и деформируемости.

Эксперименты по выявлению прочностных и деформационных характеристик образцов закрепленного грунта планируется проводить в прямоугольном лотке из оргстекла вместимостью 500 см³, где и будет происходить процесс нагнетания инъекционного раствора.

Определение прочностных характеристик образцов грунта

Для определения угла внутреннего трения (φ) и силы удельного сцепления (c) применяются прямые сдвиговые испытания или триаксиальные тесты. Используются стандарты, такие как ГОСТ 12248-2016, для сдвиговых испытаний и для триаксиальных тестов. Образцы тестируются в насыщенном или оптимально увлажненном состоянии для точности.

Определение деформационных характеристик образцов грунта

Модуль деформации (E) определяется с помощью одометрических испытаний (тесты на консолидацию), следуя ГОСТ 12248-2016.

Также триаксиальные тесты позволяют вычислить модуль Юнга по кривым напряжение-деформация.

Определение фильтрационных характеристик образцов грунта

Коэффициент фильтрации (K_f) измеряется с помощью тестов постоянного или переменного напора. Обработанные образцы должны достичь полного затвердевания перед испытаниями для оценки изменений их проницаемости.

5. Полевые эксперименты

Полевые испытания должны проводиться на специально выбранных участках с типичными грунтовыми условиями Санкт-Петербурга, предпочтительно – в исторических районах. Методика проведения экспериментов на реальных площадках предполагает следующие этапы: полноценное инъекционное закрепление грунтов основания, мониторинг для оценки изменения свойств грунта на протяжении одного-трех месяцев и отбор проб закрепленных зон для лабораторного анализа прочности и водопроницаемости [14].

Выводы

1. Разработана предварительная методика исследования инъекционного закрепления водонасыщенных грунтов с использованием различных типов растворов в лабораторных и полевых условиях.

2. Методика предусматривает варьирование такими параметрами, как тип раствора, его концентрация и процентное содержание в грунте, что позволяет оценить их влияние на прочностные, деформационные и фильтрационные характеристики грунтов, а также выявить качественные и количественные зависимости.

3. Результаты исследования позволяют обоснованно выбрать наиболее эффективный способ укрепления водонасыщенных грунтов оснований исторических объектов Санкт-Петербурга и консервации деревянных лежней с использованием инъекционных растворов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Матвеев А.В. Культурное наследие Санкт-Петербурга: проблемы сохранения и реставрации // Вестник СПбГУ. Искусствоведение. 2018. № 3. С. 45–52.
2. UNESCO World Heritage Centre. Historic Centre of Saint Petersburg and Related Groups of Monuments. 1990 [Электронный ресурс]. URL: <https://whc.unesco.org/en/list/540> (дата обращения: 02.02.2025).

3. Дашко Р.Э. Геотехнические особенности грунтов Санкт-Петербурга и их влияние на строительство // Геоэкология. 2015. № 4. С. 310–320.

4. Мангушев Р.А., Осокин А.И., Сотников С.Н. Геотехника Санкт-Петербурга: опыт строительства на слабых грунтах: монография / под ред. Р.А. Мангушева. М.: Изд-во АСВ, 2018. 374 с.

5. Смирнов В.А. Дegradaция деревянных фундаментов в условиях водонасыщенных грунтов // Строительство и архитектура. 2019. № 2. С. 78–85.

6. Балабанов М.С., Бутенко С.А., Леоненко А.С. Изменение прочности древесины и деревянных конструкций во времени // Градостроительство и архитектура. 2023. Т. 13, № 2. С. 4–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.1.

7. Иванов П.С. Антропогенные изменения гидрогеологических условий Санкт-Петербурга // Инженерная геология. 2020. № 1. С. 15–23.

8. Лебедев С.В. Инъекционные методы укрепления грунтов: обзор современных технологий // Гео-техника. 2017. № 3. С. 22–30.

9. Terzaghi K., Peck R.B. Soil Mechanics in Engineering Practice. 3rd ed. New York: Wiley, 1996. 592 p.

10. Bell F.G. Engineering Properties of Soils and Rocks. 4th ed. Oxford: Blackwell Science, 2000. 482 p.

11. Warner J. Practical Handbook of Grouting: Soil, Rock, and Structures. New York: Wiley, 2004. 720 p.

12. Мангушев Р.А., Осокин А.И., Усманов Р.А. Устройство и реконструкция оснований и фундаментов на слабых и структурно-неустойчивых грунтах: монография. 2-е изд., стер. Санкт-Петербург: Лань, 2021. 460 с.

13. Мангушев Р.А. Геотехнологии, применяемые для усиления оснований и фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге // Стройплощадка. 2011. № 4(90) [Электронный ресурс]. URL: <https://stroyprofile.com/archive/4608> (дата обращения: 11.02.2025).

14. Мальцев А.В., Карпенко Ж.Г., Карпов А.А. Геотехническая оценка строительства зданий в сложных инженерно-геологических условиях // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство и строительные технологии: сборник статей. Самара: СамГТУ, 2024. С. 237–251.

REFERENCES

1. Matveev A.V. Cultural heritage of St. Petersburg: problems of preservation and restoration. *Vestnik SPb-GU. Iskuststvovedenie* [Bulletin of St. Petersburg State University. Art criticism], 2018, no. 3, pp. 45–52. (in Russian)

2. UNESCO World Heritage Centre. *Historic Centre of Saint Petersburg and Related Groups of Monuments*. 1990. Available at: <https://whc.unesco.org/en/list/540> (accessed 02 February 2025).

3. Dashko R.E. Geotechnical features of soils of St. Petersburg and their impact on construction. *Geojekologija* [Geoeology], 2015, no. 4, pp. 310–320. (in Russian)

4. Mangushev R.A., Osokin A.I., Sotnikov S.N. *Geotekhnika Sankt-Peterburga: opyt stroitel'stva na slabyyh gruntah: monografiya / pod red. R.A. Mangusheva* [Geotechnics of St. Petersburg: construction experience on weak soils: monograph/ed. R.A. Mangusheva]. Moscow, Publishing House ACV, 2018. 374 p.

5. Smirnov V.A. Degradation of wooden foundations in water-saturated soil conditions. *Stroitel'stvo i arhitektura* [Construction and Architecture], 2019, no. 2, pp. 78–85. (in Russian)

6. Balabanov M.S., Butenko S.A., Leonenko A.S. Changes in the Strength of Wood and Wooden Structures in Time. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2023, vol. 13, no. 2, pp. 4–9. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2023.02.1

7. Ivanov P.S. Anthropogenic changes in hydrogeological conditions of St. Petersburg. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering Geology], 2020, no. 1, pp. 15–23. (in Russian)

8. Lebedev S.V. Injection methods of soil strengthening: review of modern technologies. *Geotekhnika* [Geotechnics], 2017, no. 3, pp. 22–30. (in Russian)

9. Terzaghi K., Peck R.B. Soil Mechanics in Engineering Practice. 3rd ed. New York: Wiley, 1996. 592 p.

10. Bell F.G. Engineering Properties of Soils and Rocks. 4th ed. Oxford: Blackwell Science, 2000. 482 p.

11. Warner J. Practical Handbook of Grouting: Soil, Rock, and Structures. New York: Wiley, 2004. 720 p.

12. Mangushev R.A., Osokin A.I., Usmanov R.A. *Ustrojstvo i rekonstrukcija osnovanij i fundamentov na slabyyh i strukturno-neustojchivyyh gruntah: monografiya. 2-e izd., ster.* [Construction and reconstruction of bases and foundations on weak and structurally unstable soils: monograph. 2nd ed., erased]. St. Petersburg: Lan, 2021. 460 p.

13. Mangushev R.A. *Geotechnologies used to strengthen the bases and foundations of buildings and structures in St. Petersburg. Construction site*. 2011. N. 4(90). Available at: <https://stroyprofile.com/archive/4608> (accessed 11 February 2025).

14. Maltsev A.V., Karpenko Zh.G., Karpov A.A. Geotechnical assessment of building construction in difficult geotechnical conditions. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'stvo i stroitel'nye tehnologii: sbornik statej* [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction and construction technologies: collection of articles]. Samara, SamSTU, 2024, pp. 237–251. (In Russian).

Об авторах:

МАНГУШЕВ Рашид Абдулович

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры геотехники, член-корр. РААСН
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет
190005, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-я Красноармейская, 4
E-mail: ramangushev@yandex.ru

МАЛЫЦЕВ Андрей Валентинович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры
строительной механики,
инженерной геологии, оснований и фундаментов
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: geologof@yandex.ru

МАЛЫЦЕВА Ксения Андреевна

аспирант строительного факультета
Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет
190005, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-я Красноармейская, 4
E-mail: ksenia2300@mail.ru

MANGUSHEV Rashid Ab.

Doctor of Engineering Sciences, Professor,
Professor of the Geotechnics Chair, Cor. Member of
RAASN
St. Petersburg State University of Architecture and Civil
Engineering
190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4
E-mail: ramangushev@yandex.ru

MALTSEV Andrey V.

PhD in Engineering Sciences, Associate Professor,
Associate Professor of the Structural Mechanics,
Engineering Geology, Base and Foundations Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244
E-mail: geologof@yandex.ru

MALTSEVA Ksenia An.

Post-graduate student of the Faculty of Civil Engineering
St. Petersburg State University of Architecture and Civil
Engineering
190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya st., 4
E-mail: ksenia2300@mail.ru

Для цитирования: Мангушев Р.А., Мальцев А.В., Мальцева К.А. Разработка стратегии выбора наиболее эффективного варианта инъекционного закрепления водонасыщенных грунтов оснований исторических объектов Санкт-Петербурга // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15, № 4. С. 27–33. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.04.04.

For citation: Mangushev R.A., Maltsev A.V., Maltseva K.A. Development of a strategy for selecting the most effective method of injection grouting for water-saturated soils of historical building foundations in Saint Petersburg. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 4, pp. 27–33. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.04.04.

Принята: 10.10.2025 г.