

А. Н. Шейн¹✉, А. А. Башкова^{1,2}

Влияние коммунальных аварий на тепловой режим многолетнемёрзлого грунта в основании свайных фундаментов капитальных зданий в г. Салехард

¹Научный центр изучения Арктики, г. Салехард, Российская Федерация

²Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Тюмень, Российская Федерация
e-mail: A.N.Shein@yandex.ru

Аннотация. Многолетнемёрзлые породы (ММП) занимают более 60% территории России. Климатические изменения увеличивают риски для инфраструктуры, возведённой на этой территории ввиду деградации ММП. Отдельно стоит выделить коммунальные аварии, влияние которых на температурный режим грунтовых оснований изучено недостаточно. В работе проанализированы две аварии под зданиями в г. Салехард с использованием данных системы автоматизированного мониторинга, которая включает более 50 зданий, где оборудовано свыше 370 скважин. Первая авария (зима 2020/21 г.) привела к образованию наледи высотой до 1,8 м в проветриваемом подполье. При наличии качественной бетонной стяжки тепловой режим оснований сохранился в равновесии. Вторая авария (ноябрь 2024 г.) с прорывом горячей воды вызвала локальную тепловую аномалию, которая стабилизировалась после устранения утечки. Показано, что коммунальные аварии могут быть не критичны для состояния мерзлоты в основании зданий при соблюдении норм эксплуатации и ненарушенном режиме работы всех проектных решений термостабилизации грунта.

Ключевые слова: свайный фундамент, мерзлота, температурный мониторинг, коммунальная авария

A. N. Shein¹✉, A. A. Bashkova^{1,2}

The impact of municipal accidents on the thermal regime of permafrost at the base of pile foundations of capital buildings in Salekhard

¹Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous Okrug, Salekhard, Russian Federation

²Institute of the Earth's Cryosphere of the Tyumen Scientific Center SB RAS,
Tyumen, Russian Federation
e-mail: A.N.Shein@yandex.ru

Abstract. Permafrost occupy more than 60% of the territory of Russia. Climatic changes increase the risks for the infrastructure built on this territory due to the degradation of permafrost. Separately, it is necessary to consider communal accidents, the effect of which on the temperature regime of the frozen bases of buildings has not been sufficiently studied. The paper analyzes two accidents under buildings in Salekhard using data from an automated monitoring system that includes more than 50 buildings with over 370 wells. The first accident (winter 2020/21) led to the formation of ice up to 1.8 m high in the ventilated underfloor space. In the presence of high-quality concrete screed, the thermal regime of the foundations remained in balance. The second accident (November 2024) with a hot water breakthrough caused a local thermal anomaly, which stabilized after the leak was eliminated. It is shown that communal accidents may not be critical for the state of permafrost at the base

of buildings if the operating standards are observed and all engineering solutions for soil thermal stabilization are undisturbed.

Keywords: piling foundations; permafrost; temperature monitoring, municipal accidents

Введение

Многолетнемёрзлые породы (ММП) занимают более четверти земной коры, а в России – 60–65 % территории, имеющей стратегическое значение для экономики страны. Вместе с тем на состояние ММП в значительной степени влияют происходящие климатические изменения, и, по прогнозам, тенденция к потеплению сохранится [1–2]. В связи с этим в последние годы активно развивается изучение состояния криолитозоны и внедряются системы геотехнического мониторинга капитальных объектов [3–4].

Значительная часть инфраструктуры в криолитозоне возводятся по принципу сохранения мерзлого состояния грунтов оснований и в первую очередь зависит от состояния мёрзлых пород. Однако климатические изменения – это не единственный фактор, влияющий на устойчивость Арктической инфраструктуры. Комплекс изысканий и проектирования в области ММП находится в кризисе, а мероприятия по контролю параметров надёжности объектов носят необязательный характер и часто не выполняются. В будущем актуализация и соблюдение правил может исправить ситуацию. Тем не менее коммунальные аварии неизбежны, а изучение их влияния на тепловой режим мерзлого грунтового основания свайного фундамента необходимо для предотвращения опасных геокриологических процессов. В работе рассмотрено влияние двух коммунальных аварий под зданиями в г. Салехард на температуру мерзлых грунтов основания.

Методы и материалы

В Ямало-Ненецком АО для безопасной эксплуатации зданий и сооружений в зоне многолетних мерзлых грунтов Научным центром изучения Арктики при поддержке правительства ЯНАО с 2018 г. разрабатывается система автоматизированного температурного мониторинга. Система содержит элементы – термометрические косы, интегрированные в информационную систему сбора и передачи информации «Ямал-Арктика», для первичного анализа, выгрузки и визуализации данных [5–8]. В систему включено уже более 50 объектов в г. Салехард, под которыми оборудовано свыше 370 термометрических скважин, где ведутся регулярные наблюдения. Для большинства скважин выполнены описание, отбор образцов грунта и сделаны их лабораторные анализы, что позволит строить модели грунтовых оснований объектов и проводить качественные расчёты температурного поля под зданием и оценивать текущее и прогнозное состояние грунтового основания.

Скважины системы оснащены термометрическим оборудованием до глубин 9–15 м – отметок, превышающих длину свай. Скважины оборудованы термометрическими косами производства ИП Кураков (г. Томск) и ООО Русгеотех, НТП «Горизонт», ООО «Криолаб» с логгерами. Датчики до 5 м располагаются через 0.5 м, ниже – через 1 м на всю оставшуюся глубину термометрической

скважины. Логгеры автоматически записывают значения температур грунтов каждые 3 ч с инструментальной погрешностью 0.1°C и отправляются на сервера производителей и затем аккумулируются в ИС «Ямал-Арктика». Ведётся постоянный анализ поступающих данных, а для специалистов и всех заинтересованных лиц предусмотрен доступ к ресурсу.

В зимний сезон 2020/21 г. произошла коммунальная авария под зданием I в г. Салехард, в результате чего образовалась наледь в проветриваемом подполье (ПП). Под данным капитальным объектом в декабре 2020 г. было оборудовано 16 скважин по плотной равномерной сети, что позволяет детально проследить влияние аварии на тепловой режим грунтового основания здания.

На рисунке 1 показано развитие аварии в феврале-апреле 2021 года. К 7 апреля 2021 года утечка воды привела к формированию ледяного слоя высотой 1.8 метра в самой высокой точке (рис. 1, слева), расположенной в окрестности термометрической скважины 50-4.



Рис. 1. Фото коммунальной аварии под зданием I в г. Салехард 02 февраля 2021 и 7 апреля 2021 года

Под зданием II появилась тепловая аномалия, зафиксированная скважиной 33554564 и связанная с коммунальной аварией в виде прорыва горячей воды, возникшей в начале ноября 2024 г. Рассмотрим влияние этих двух аварий на изменение температурного режима под зданиями.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 2 показано изменение температуры воздуха в ПП и уровне дневной поверхности, расположенных на термокосах 50–1, 50–2, 50–3, 50–4. Эти скважины находятся вблизи источника питания наледи, которая оказывает непосредственное влияние на температурные данные. Термодатчик 50–4(0) на уровне поверхности ПП (рис. 2) дольше всех находится в области отрицательных температур, что означает максимальное влияние образовавшегося ледового слоя на область вблизи этой скважины. Наледь полностью растаяла не ранее 19 июля 2021 года (рис. 2, зелёная кривая). Почти два месяца летнее тепло сдерживалось льдом, что влияло на тепловой режим верхней части грунтового основания.

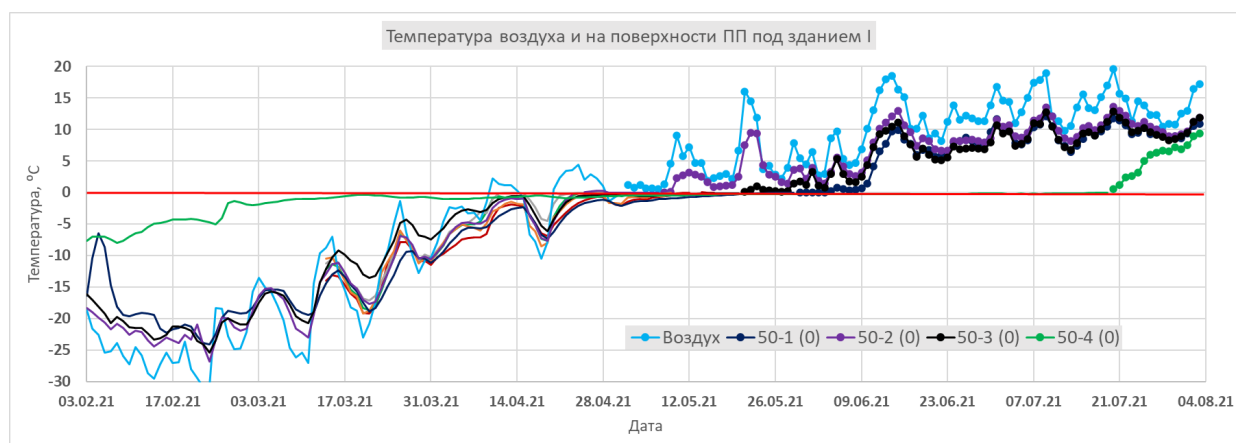


Рис. 2. Показания температуры воздуха в ПП и датчиков на уровне поверхности подполья, расположенных на термокосах 50–1, 50–2, 50–3, 50–4 под зданием I за период с 03.03.21 по 04.08.21 г.

Чтобы узнать влияние наледи на всю толщу основания, построены температурные профили по глубине для всех скважин, обработанных под зданием I (рис. 3). Рассмотрим моменты близкие к минимальным и максимальным температурам грунтов основания за год – 1 июня (рис. 3а) и 1 ноября (рис. 3б) 2021 г. соответственно. Значения температуры в скважине 50-4 не отличаются от средних значений по дому как в июне, так и в ноябре. Исключение – первые 1.5 метра грунтового основания в июне 2021 г. (рис. 3а, оранжевая кривая): если во всех скважинах грунты к 1 июня уже оттаяли до глубин 1-1.5 метра, то вблизи скважины 50-4 ещё сохранились отрицательные температуры даже в верхней части.

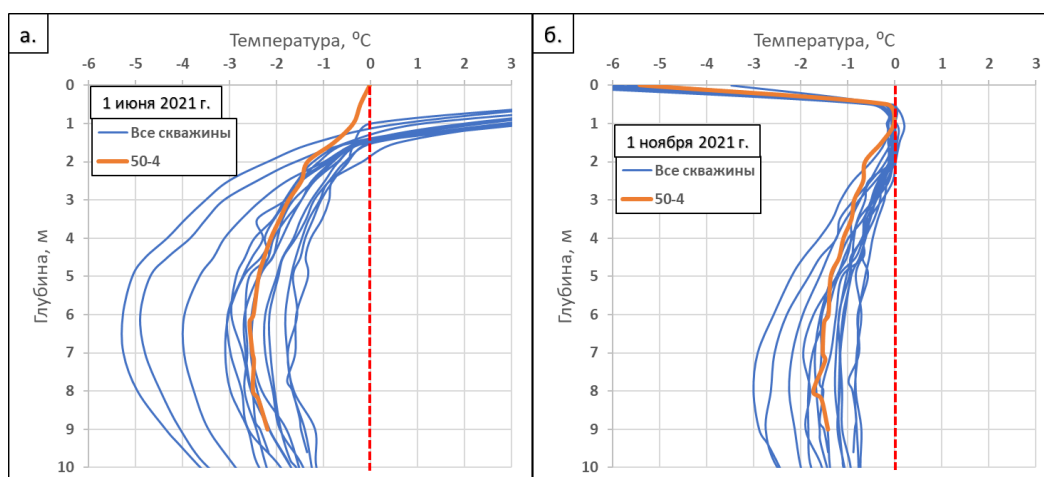


Рис. 3. Температура грунтов под зданием I во всех скважинах (синие кривые) по сравнению со скважиной 50-4 (оранжевая кривая) 1 июня (а) и 1 ноября (б) 2021 г.

Помимо сравнения области максимального влияния наледи с общим температурным фоном по зданию I (рис. 3), были построены температуры в один и тот же момент времени для разных лет (рис. 4). В мае 2021 года можно наблюдать отличие температурной кривой от последующих лет в тот же момент времени (рис. 4а) – грунты в 2021 году теплее на 2-3⁰С. Такое отличие может быть связано с отопляющим эффектом наледи в зимний период – холодный воздух не проникает в грунты через лёд. Кроме того, залитые льдом сезонные охлаждающие устройства (см. рис. 1) перестали функционировать. Тем не менее, в ноябре 2021 г., когда температура грунтов в основании здания I близка к максимальной за год, значения в скважине 50-4 не отличаются от последующих лет. Что говорит о стабилизации ситуации. Можно предположить, что не проникшая за зимний сезон 2020/21 волна холода и блокировка летнего тепла наледью оставили тепловой режим грунтового основания здания I в равновесии.

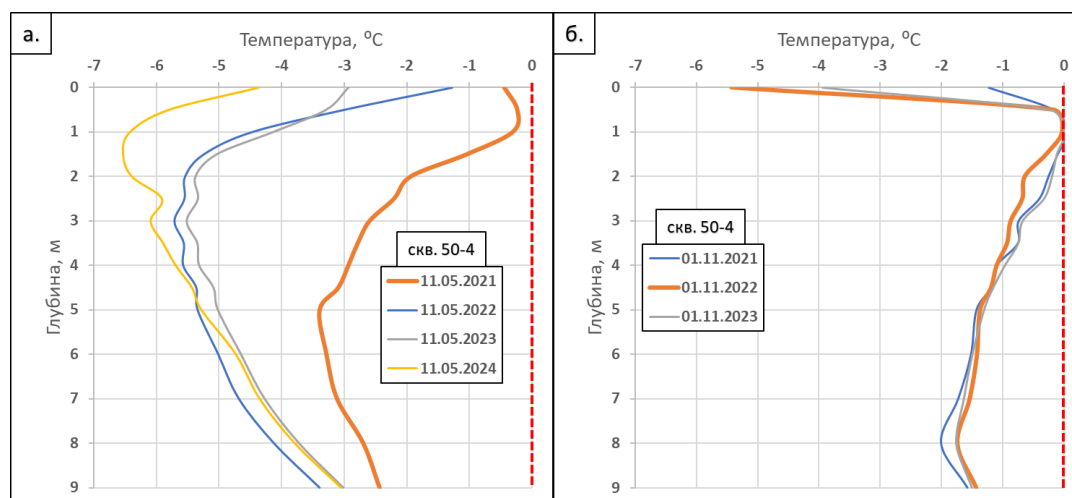


Рис. 4. Температура грунтов под зданием I в скважине 50-4 за 11 мая и 01 ноября для разных лет

Таким образом, образовавшаяся техногенная наледь под зданием I в г. Салехард не вызвала критических изменений теплового режима грунтового основания на рассмотренном временном отрезке. Вероятно, одна из основных причин стабилизации – это хорошее качество бетонной стяжки в ПП, которая не позволила массе воды при оттаивании наледи проникать в грунты основания.

В 2024 году под зданием II появилась тепловая аномалия, зафиксированная скважиной 33554564 (рис. 5), где произошёл скачок температур последовательно на датчиках до 5 метров в глубину. Это связано с коммунальной аварией в виде прорыва горячей воды, возникшей в начале ноября 2024 г. и устранённой только в конце года.

Моменты начала аварии и её устранение чётко видно на показаниях датчиков (рис. 5, красная полупрозрачная область): резкий скачок – прорыв, переход к понижению температуры – момент устранения. После устранения аварии грунты стабилизировались, но за зимний период не остыли до исходных, зафиксированных до аварии, температур.

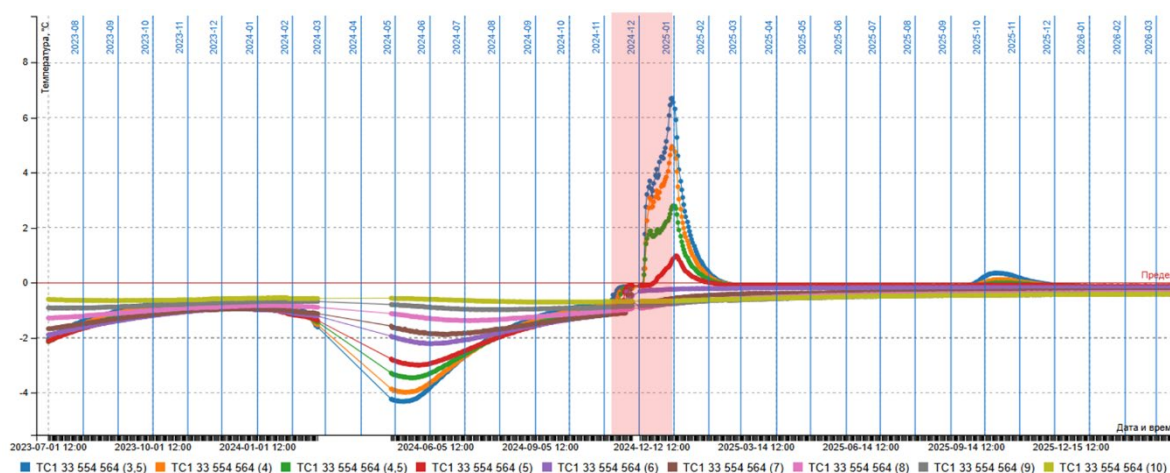


Рис. 5. Среднедневные температура грунтов в основании здания II в скважине 33554564 за период 25.06.2023 г. - 13.03.2025 г.

Шифр кривых – номер термокосы со значением глубины в скобках

На рис. 6. построены среднemesячные температуры грунтов в основании здания II в скважине 33554564 в феврале 2024-2026 гг. Видно, что после аварии в 2025 году (рис. 6, красная кривая) грунты оттаяли до 5 метров. В 2026 году температура грунтов на всю контролируемую глубину продолжают охлаждаться и уже перешла в отрицательную зону (рис. 6, синяя кривая), но ещё не достигла доаварийных значений (рис. 6, зелёная кривая). Этому способствует технологии термостабилизации грунтов: проветриваемое подполье и сезонные охлаждающие устройства.

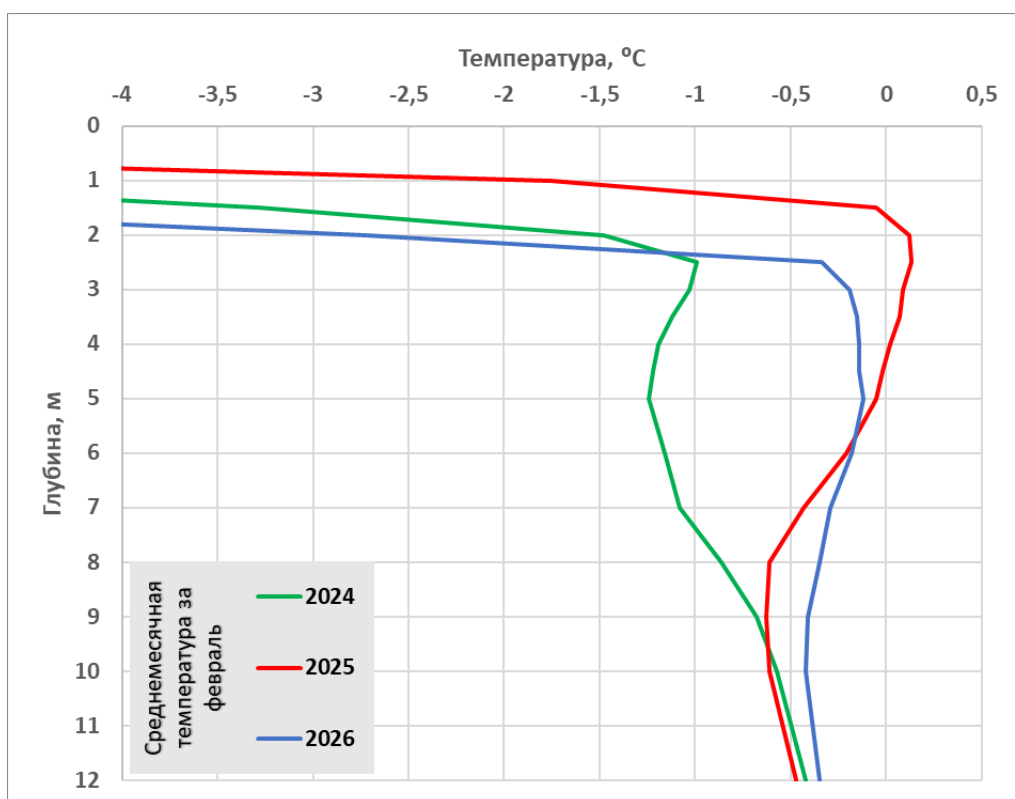


Рис. 6. Среднемесячная температура грунтов в основании здания II в скважине 33554564 в феврале 2024-2026 гг.

Таким образом, на двух объектах капитального строительства в г. Салехард, возведённых по принципу сохранения ММГ в основании показано, что неукоснительное соблюдение норм и правил эксплуатации зданий, позволяют нивелировать негативное воздействие коммунальных авария на тепловой режим мерзлоты в основании свайного фундамента. Тем не менее, коммунальные аварии неизбежны, а изучение их влияния на тепловой режим мёрзлого грунтового основания свайного фундамента необходимо для предотвращения опасных для устойчивости сооружений геокриологических процессов.

Заключение

На примере здания I в г. Салехард, показано, что при образовании наледей в ПП не проникшая за зимний сезон 2020/21 волна холода и блокировка летнего тепла наледью летом оставляют тепловой режим грунтовых оснований в равновесии. Условие стабилизации – это качественная бетонная стяжка в ПП, которая не позволяет массе воды при оттаивании наледи проникать в грунты основания.

При прорыве горячей воды и нарушенной целостности стяжки могут возникнуть локальные тепловые аномалии. Тем не менее, при оперативном устранении утечки, состояние грунтового основания может стабилизироваться за коротки отрезок времени, который зависит от климатических показателей, состояния СОУ и режима работы ПП, что можно наблюдать во втором примере под зданием II данной работы.

В качестве общего вывода можно сказать, что коммунальные аварии могут быть не критичны для состояния грунтового основания капитального объекта, возведённого на мёрзлых грунтах при соблюдении норм и правил эксплуатации объектов капитального строительства и ненарушенном режиме работы всех проектных решений (режим работы ПП, стяжка подполья, исправные СОУ).

Техногенные образования должны учитываться при теплотехническом численном моделировании, которое в свою очередь необходимы для более точного детального прогноза стабильности грунтового основания.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке правительства Ямало-Ненецкого автономного округа. Авторы благодарны специалистам участка инженерных изысканий ГАУ ЯНАО Научный центр изучения Арктики за создание мониторинговой инфраструктуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brown J., Ferrians O., Heginbottom J.A., Melnikov E. Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions, Version 2 [Electronic resource]. – Boulder, Colorado USA : NSIDC: National Snow and Ice Data Center, 2002. – DOI: 10.7265/skbg-kf16. – URL: <https://nsidc.org/data/ggd318/versions/2> (accessed: 20.04.2023).
2. Malkova G., Drozdov D., Vasiliev A., [et al.]. Spatial and Temporal Variability of Permafrost in the Western Part of the Russian Arctic // *Energies*. – 2022. – Vol. 15, no. 7. – P. 1-19. – DOI: 10.3390/en15072311.
3. Шеин А.Н., Камнев Я.К. Обзор научных и производственных работ по изучению многолетнемерзлых пород в естественных и антропогенных условиях // *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*. – 2020. – № 3(108). – С. 42–50. – DOI: 10.26110/ARCTIC.2020.108.3.007.
4. Melnikov V.P., Osipov V.I., Brouchkov A.V., [et al.]. Development of geocryological monitoring of undisturbed and disturbed Russian permafrost areas on the basis of geotechnical monitoring systems of the energy industry // *Earth's Cryosphere*. – 2022. – Vol. XXVI, no. 4. – P. 3–15.
5. System of automated geocryological monitoring [Electronic resource]. – URL: <https://monitoring.arctic.yanao.ru/> (accessed: 22.03.2026).
6. Громадский А.Н., Арефьев С.В. [и др.]. Дистанционный контроль за температурным режимом вечномёрзлых грунтов под зданиями г. Салехард // *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*. – 2019. – № 3(104). – С. 17-21. – DOI: 10.26110/ARCTIC.2019.104.3.003.
7. Kamnev Y.K., Filimonov M.Yu., Shein A.N., Vaganova N.A. Automated Monitoring The Temperature Under Buildings With Pile Foundations In Salekhard // *Geography, Environment, Sustainability*. – 2021. – Vol. 14, no. 4. – P. 75-82. – DOI: 10.24057/2071-9388-2021-021.
8. Башкова А.А., Шеин А.Н., Горелик Я.Б. Мониторинг грунтов основания здания на искусственном новообразовании мерзлоты // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2025. – № 2. – С. 41-51. – DOI: 10.33622/0869-7019.2025.02.41-51.

© А. Н. Шеин, А. А. Башкова, 2026