

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ПРИГОДНОСТИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ И КРИОЛИТОЗОНЕ РОССИИ

А.Г. АЛЕКСЕЕВ<sup>1,2</sup>, д-р техн. наук  
П.М. САЗОНОВ<sup>1</sup>  
Д.В. ЗОРИН<sup>1,✉</sup>  
А.А. АЛЕКСЕЕВА<sup>1</sup>  
И.А. ДЫМЧЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Рязанский проспект, д. 59, г. Москва, 109428, Российская Федерация

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Ярославское шоссе, д. 26, г. Москва, 129337, Российская Федерация

## Аннотация

**Введение.** Основной причиной ухудшения состояния жилого и производственного фонда в Арктической зоне и криолитозоне России являются деформации, вызванные изменениями механических свойств многолетнемерзлых грунтов. Эти изменения усугубляются влиянием глобального потепления климата. Согласно данным Росгидромета на 2023 год, температура воздуха повышается на 0,5 °С за десятилетие. Подобные процессы требуют решения о разработке и внедрении мероприятий по улучшению строительных свойств оснований зданий и усилению фундаментов.

**Цель.** Разработка мероприятий по восстановлению эксплуатационной пригодности оснований и фундаментов зданий и сооружений в районах распространения многолетнемерзлых грунтов.

**Материалы и методы.** Теоретические исследования проведены на основе обзора и анализа современной научно-технической, нормативной и методической литературы по закреплению грунтов и усилению фундаментов, а также архивных данных по причинам деформирования оснований и фундаментов.

**Результаты.** Приведены достоинства, недостатки и область применения существующих способов. Определены перспективные технологии, требующие дополнительного изучения, к которым отнесены электрохимическое оттаивание и закрепление грунтов, инъекционная и струйная цементация, а также применение буроинъекционных и буронабивных свай при усилении фундаментов. Изложены результаты обобщения и анализа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по обследованию и мониторингу технического состояния ответственных зданий и сооружений городов девяти регионов, входящих в состав Арктической зоны России (Мурманская область, Республика Карелия, Архангельская область, Республика Коми, Ненецкий автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ, Красноярский край, Республика Саха (Якутия), Чукотский автономный округ).

**Выводы.** На основе анализа литературы разработаны мероприятия по восстановлению эксплуатационной пригодности оснований и фундаментов зданий и сооружений Арктической зоны России, включающие общие положения, рекомендации по обследованию технического состояния зданий и систем термостабилизации грунтов, по инженерным изысканиям на стадии реконструкции, по усилению фундаментов и закреплению грунтов их оснований, мониторингу реконструируемых зданий и контролю качества выполнения работ.

**Ключевые слова:** Арктическая зона, криолитозона, многолетнемерзлые грунты, обследование фундаментов, восстановление эксплуатационной пригодности, реконструкция, усиление фундаментов, закрепление грунтов

**Для цитирования:** Алексеев А.Г., Сазонов П.М., Зорин Д.В., Алексеева А.А., Дымченко И.А. Восстановление эксплуатационной пригодности оснований и фундаментов в Арктической зоне и криолитозоне России. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;43(4):66–80. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4\(43\)-66-80](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4(43)-66-80)

#### **Вклад авторов**

Алексеев А.Г., Сазонов П.М., Зорин Д.В. – на основе анализа литературы разработаны мероприятия по восстановлению эксплуатационной пригодности оснований и фундаментов объектов инфраструктуры Арктической зоны России.

Алексеева А.А., Зорин Д.В. – проведен обзор и анализ современной научно-технической, нормативной и методической литературы по закреплению грунтов оснований и усилению фундаментов.

Дымченко И.А., Зорин Д.В. – проведен обзор и анализ современной научно-технической, нормативной и методической литературы и данных архивных отчетов по причинам деформирования оснований зданий и сооружений.

#### **Финансирование**

Исследование выполнено в рамках договорных работ между АО «НИЦ «Строительство» и ФАУ «ФЦС».

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Поступила в редакцию 18.11.2024*

*Поступила после рецензирования 01.12.2024*

*Принята к публикации 05.12.2024*

## **RESTORATION OF SERVICEABILITY OF BASES AND FOUNDATIONS IN THE ARCTIC ZONE AND PERMAFROST ZONE OF RUSSIA**

A.G. ALEKSEEV<sup>1,2</sup>, Dr. Sci. (Engineering)

P.M. SAZONOV<sup>1</sup>

D.V. ZORIN<sup>1,✉</sup>

A.A. ALEKSEEVA<sup>1</sup>

I.A. DYMCHENKO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Ryazanskiy ave., 59, Moscow, 109428, Russian Federation*

<sup>2</sup> *Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation*

#### **Abstract**

*Introduction.* The key reason for the deterioration of housing stock and production assets in the Arctic zone and the permafrost zone of Russia lies in deformation induced by changes in the mechanical properties of permafrost soils. These changes are exacerbated by the impact of global warming. The Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring reported in 2023 that the air temperature rose by 0.5 °C per decade. Such processes necessitate the development and implementation of measures to enhance the construction properties of building bases and foundations.

*Aim.* To develop measures for restoring the serviceability of bases and foundations of buildings and structures in the areas of permafrost soils.

**Materials and methods.** Theoretical studies were based on a review and analysis of contemporary scientific, technical, regulatory, and methodological literature concerning soil stabilization and foundation reinforcement, as well as archival data on the causes of base and foundation deformations.

**Results.** The advantages, disadvantages, and areas of application of existing methods are presented. Promising technologies requiring further investigation are identified, including electrochemical thawing and consolidation of soils, injection and jet grouting as well as the use of bored cast-in-situ and augercast piles for foundation reinforcement. The study outlines the results of generalization and analysis of research and development work on inspection and monitoring of the technical condition of critical buildings and structures in the cities of nine regions that are part of the Arctic zone of Russia (Murmansk Region, Republic of Karelia, Arkhangelsk Region, Komi Republic, Nenets Autonomous Okrug, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug, Krasnoyarsk Territory, Republic of Sakha (Yakutia), and Chukotka Autonomous Okrug).

**Conclusions.** The literature analysis underlay the development of measures for restoring the serviceability of bases and foundations of buildings and structures in the Arctic zone of Russia. These measures include general provisions, recommendations for assessing the technical condition of buildings and systems for thermal stabilization of soils, engineering surveys during reconstruction, foundation reinforcement, soil stabilization at their bases, monitoring of reconstructed buildings, and quality control of work performed.

**Keywords:** Arctic zone, permafrost zone, permafrost soils, foundation survey, restoration of serviceability, reconstruction, foundation reinforcement, soil stabilization

**For citation:** Alekseev A.G., Sazonov P.M., Zorin D.V., Alekseeva A.A., Dymchenko I.A. Restoration of serviceability of bases and foundations in the Arctic zone and permafrost zone of Russia. *Vestnik NIC Stroitel' stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;43(4):66–80. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4\(43\)-66-80](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-4(43)-66-80)

#### **Authors contribution statement**

Alekseev A.G., Sazonov P.M., Zorin D.V. – literature analysis, development of measures to restore the serviceability of bases and foundations of infrastructure facilities in the Arctic zone of Russia.

Alekseeva A.A., Zorin D.V. – review and analysis of contemporary scientific, technical, regulatory, and methodological literature on soil stabilization for bases and foundation reinforcement.

Dymchenko I.A., Zorin D.V. – review and analysis of contemporary scientific, technical, regulatory, methodological literature, as well as archival reports on the causes of building and structure foundation deformations.

#### **Funding**

The study was carried out under the contract between JSC Research Center of Construction and Federal Center for Regulation, Standardization and Technical Assessment in Construction (FAU “FCC”).

#### **Conflict of interest**

The authors declare no conflict of interest.

*Received 18.11.2024*

*Revised 01.12.2024*

*Accepted 05.12.2024*

## **Введение**

Возрастающие темпы строительства социальной инфраструктуры и необходимость повышения уровня жизни населения требуют пристального внимания, особенно в регионах со сложными климатическими условиями, таких как Арктическая зона и криолитозона России. Здесь проблема недостаточного строительства жилья усугубляется значительным объемом ветхого и аварийного фонда. На фоне растущей доли аварийного жилья в Арктических регионах вопрос технического состояния зданий приобретает первостепенное значение.

Известно, что в последние годы удельный вес аварийного жилья в Арктике вырос. Например, на сегодня доля аварийного жилья в Архангельской области составляет 8,2%, в Республике Саха (Якутия) – 7,5%, в Ямало-Ненецком автономном округе – 6,9%, в Ненецком автономном округе – 5,2% [1]. Большое влияние на техническое состояние зданий и сооружений оказывают деформации оснований и фундаментов.

В криолитозоне эти деформации часто связаны с ухудшением строительных свойств многолетнемерзлых грунтов, происходящим при повышении их температуры. Этот процесс ускоряется в условиях глобального потепления климата. Повышение температуры воздуха на 2023 год, по данным Росгидромета, составляет 0,5 °C за 10 лет [2].

Как отмечает В.П. Мельников и др. [3], в условиях повышения среднегодовой температуры приземного воздуха ущерб для зданий и инженерных сооружений в Арктической зоне к середине столетия может достигнуть порядка 5–7 трлн руб. К районам с наибольшим возможным экономическим ущербом для гражданских зданий относятся городской округ Воркута Республики Коми, Ямало-Ненецкий автономный округ, а также Таймырский Долгано-Ненецкий район Красноярского края.

Это обуславливает необходимость разработки мероприятий по улучшению строительных свойств оснований и усилению фундаментов многоквартирных домов в населенных пунктах Арктической зоны и криолитозоны России в соответствии с Решением Совета по вопросам развития Дальнего Востока, Арктики и Антарктики при Совете Федерации.

Занятие и удержание лидерских позиций в освоении и использовании Арктики, а также повышение возможности качественной адаптации экосистем, населения и отраслей экономики к климатическим изменениям сегодня являются приоритетами научно-технологического развития страны в соответствии со Стратегией научно-технологического развития России, утвержденной в 2016 г., что подтверждает актуальность проводимых исследований.

В каждом конкретном регионе геокриологические, климатические и другие условия могут различаться существенным образом. В зависимости от этих условий негативные воздействия и подверженные этим воздействиям конструкции зданий также различаются.

**Целью** работы, описанной в данной статье, являлась разработка мероприятий по восстановлению эксплуатационной пригодности оснований и фундаментов зданий и сооружений в криолитозоне.

Для достижения цели решался комплекс задач:

– систематизация данных архивных отчетов по причинам деформирования оснований в Арктической зоне и криолитозоне России и описание зависимости этого деформирования от условий эксплуатации зданий и сооружений;

– обзор и анализ современной научно-технической литературы по закреплению грунтов оснований и усилению фундаментов с определением достоинств, недостатков и областей применения существующих способов, а также установлением пробелов в действующей нормативной документации;

– разработка мероприятия по восстановлению эксплуатационной пригодности оснований и фундаментов, включающего область применения, сроки выполнения и состав поверочных расчетов оснований и фундаментов, критерии, определяющие необходимость проведения мероприятий, информацию о последовательности выполнения работ, используемом оборудовании, основных технологических параметрах и мероприятиях по контролю качества выполненных работ.

## Причины деформирования фундаментов зданий в Арктике и криолитозоне

В период 2019–2020 гг. сотрудники НИИОСП им. Н. М. Герсевича провели обширные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на оценку технического состояния ключевых зданий и сооружений в городах девяти российских регионов, составляющих Арктическую зону.

В процессе обследования были выявлены основные дефекты конструкций, проведены измерения прочности железобетонных фундаментов и определены температуры многолетнемерзлых грунтов оснований. Основными дефектами, обнаруженными в конструкциях зданий, оказались трещины вследствие осадки фундаментов и разрушения, вызванные замачиванием. Осадки фундаментов зачастую связаны с изменением свойств грунтов из-за повышения температур или полного оттаивания.

Диаграмма, представленная на рис. 1, иллюстрирует распределение дефектов по их типам в городах: Мурманской области (Мурманск, Апатиты), Республики Карелия (Кемь, Лоухи), Архангельской области (Архангельск, Мезень), Республики Коми (Воркута, поселок Воргашор), Ненецкого автономного округа (Нарьян-Мар, поселок Искателей), Ямало-Ненецкого автономного округа (Салехард, Новый Уренгой), Красноярского края (Норильск, Дудинка), Республики Саха (Якутск, Мирный) и Чукотского автономного округа (Анадырь, поселок Угольные Копи).

Анализ диаграммы на рис. 1 показывает, что существует зависимость между среднегодовой температурой приземного воздуха в рассматриваемом регионе и распространением различных типов дефектов (разрушения, трещины, замачивание конструкций).

На рис. 2 представлены зависимости процентного отношения каждого типа дефектов к их общему количеству от среднегодовой температуры приземного воздуха.

Коэффициенты детерминации составляют от 0,75 до 0,89, что подтверждает наличие данных зависимостей.

Как известно, среднегодовая температура приземного воздуха определяет температурное состояние грунтов основания. К районам распространения многолетнемерзлых грунтов относятся области отрицательных среднегодовых температур воздуха.

Из графика на рис. 2 видно, что со снижением среднегодовой температуры воздуха увеличивается доля трещин в общем количестве дефектов. Развитие трещин, в отличие от разрушений и замачивания, зависящих от долговечности и надежности конструкций и материалов, связано в первую очередь с возникающими неравномерными деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений.

Полученные выводы учтены при анализе современной научно-технической, нормативной и методической литературы по закреплению грунтов и усилению фундаментов.

## Анализ способов закрепления грунтов и усиления фундаментов

Требования по закреплению грунтов и усилению фундаментов устанавливаются следующими нормативными документами:

- СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83\* Основания зданий и сооружений» [4];
- СП 24.13330.2021 «СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты» [5];
- СП 45.13330.2017 «СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты» [6].

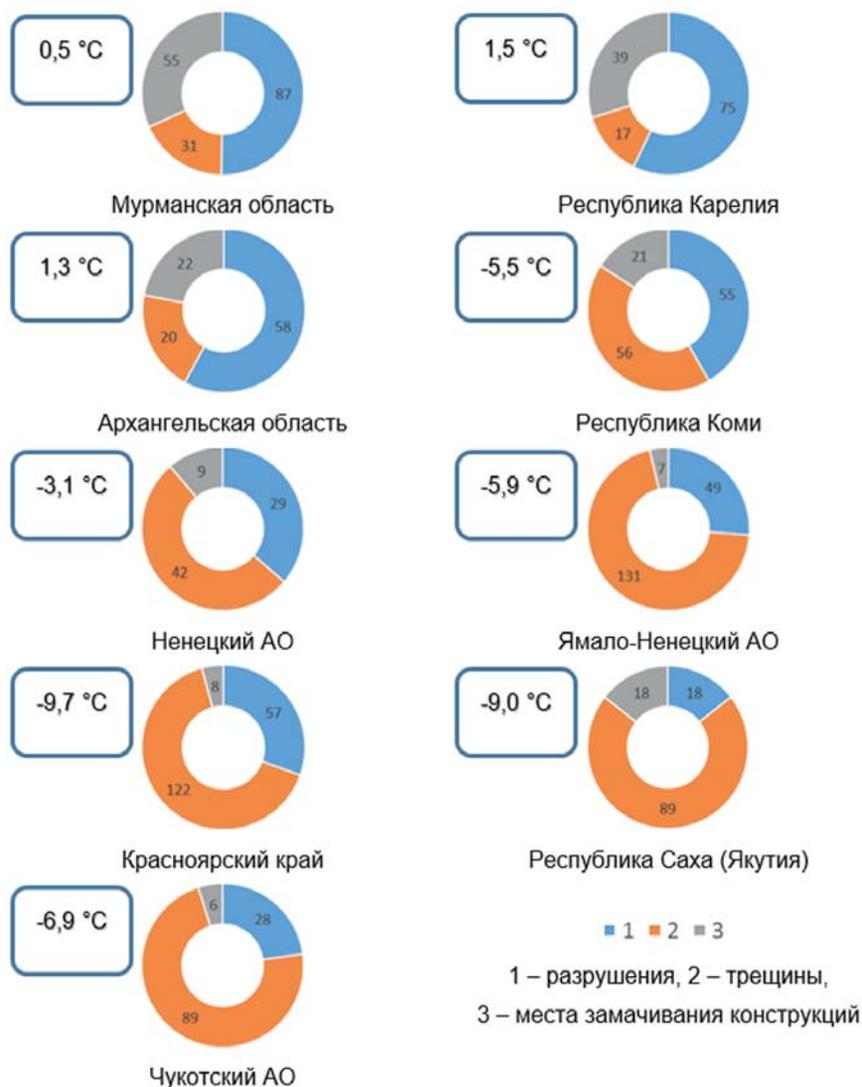


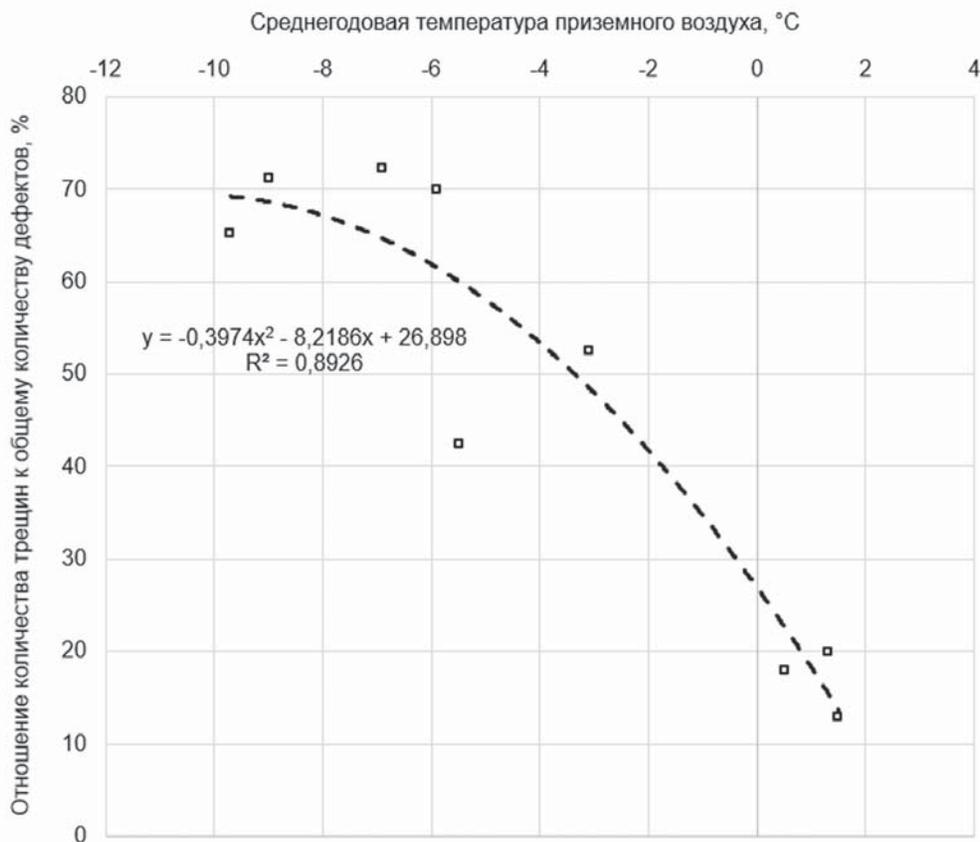
Рис. 1. Сравнительная диаграмма количества дефектов по их типу при среднегодовой температуре приземного воздуха в регионе

Fig. 1. Comparative diagram of the number of defects by their type at the average annual temperature of surface air in the region

СП 22.13330.2016 [4] содержит раздел по проектированию немерзлых оснований при реконструкции зданий и сооружений, включающий указания по оценке влияния строительного-монтажных работ на окружающую застройку, и раздел по способам уменьшения деформаций оснований и их влиянии на здания и сооружения.

Особенности проектирования свайных фундаментов при реконструкции сооружений отражены в одном из разделов СП 24.13330.2021 [5].

СП 45.13330.2017 [6] распространяется на производство и приемку земляных работ, устройство оснований и фундаментов при реконструкции зданий и сооружений, содержит разделы по закреплению, уплотнению, армированию и искусственному замораживанию грунтов.



**Рис. 2.** Зависимость процентного отношения осадочных трещин к общему количеству дефектов от среднегодовой температуры приземного воздуха

**Fig. 2.** Dependence of the percentage ratio of settlement cracks to the total number of defects on the average annual surface air temperature

Нормативные требования по закреплению мерзлых грунтов и усилению фундаментов в СП 25.13330.2020 «СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» [7] отсутствуют. СП 496.1325800.2020 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Правила производства работ» [8] содержит требования по земляным работам и устройству фундаментов на многолетнемерзлых грунтах, включая мероприятия по адаптации строительных конструкций к восприятию деформаций, обусловленных постепенным оттаиванием основания, а также требования по установке сезонно-действующих охлаждающих устройств (СОУ) и систем термостабилизации грунта (ТСГ).

С 1960 по 2000 г. в Северном отделении НИИОСП Госстроя СССР в городе Воркуте проведено большое количество научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ на темы электрооттаивания, замораживания и закрепления оснований в районах распространения многолетнемерзлых грунтов.

В 1974 г. разработаны «Рекомендации по проектированию и устройству оснований и фундаментов с предпостроечным оттаиванием вечномерзлых грунтов» [9], включая

способы электро-, гидро- и парооттаивания. В Рекомендациях излагаются способы расчета глубины оттаивания мерзлых грунтов и осадки оттаивающих грунтов во времени, способы оттаивания, рекомендации по расчету фундаментов, а также контролю выполнения строительного-монтажных работ и мониторингу при эксплуатации.

В 1977 г. разработано «Руководство по технологии физико-химического укрепления промерзающих и оттаивающих грунтов» [10]. Руководство содержит способы предпостроечного улучшения строительных свойств грунтов, включающие оттаивание при положительных и отрицательной температуре грунтов слоя сезонного промерзания и оттаивания и многолетнемерзлых грунтов при помощи электроэнергии и химических реагентов, а также способы уплотнения и противопучинистой стабилизации.

В 1984 г. разработаны «Рекомендации по проектированию и применению в строительстве охлаждающих установок, работающих без энергетических затрат» [11], в которых рассмотрены конструкции парожидкостных охлаждающих установок, характеристики теплоносителей, особенности монтажа, испытаний, эксплуатации и заправки.

В 2018 г. в НИИОСП им. Н. М. Герсеева проведены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по исследованию буроинъекционных свай и струйной технологии в многолетнемерзлых грунтах.

В 2020 г. проведено исследование физико-механических свойств повторно замороженных грунтов в зонах локальных таликов, в 2023 г. – исследование влияния технологии устройства буроопускных свай в районах распространения многолетнемерзлых грунтов на их несущую способность при использовании оснований по принципу I, где рассмотрены вопросы применения цементно-песчаного раствора для заполнения скважин и воздействия на сваи касательных сил морозного пучения.

Выбор способов закрепления грунтов или усиления фундаментов во многом зависит от причин, вызывающих необходимость усиления, и условий проведения соответствующих мероприятий [12]. В районах распространения многолетнемерзлых грунтов особыми условиями проведения мероприятий по закреплению грунтов и усилению фундаментов являются отрицательная температура и структурная неустойчивость основания. В связи с этим арсенал применяемых способов существенно сокращается.

В настоящее время в качестве способов улучшения механических свойств грунтов при использовании оснований по принципу I применяется искусственное замораживание, а при использовании оснований по принципу II – искусственное оттаивание с последующим уплотнением.

Для закрепления грунтов с помощью заморозки проводится тепловизионная диагностика СОУ, ремонт или дозаправка и при необходимости – установка дополнительных термостабилизаторов грунта. Количество СОУ, требующихся для дополнительной установки, определяется по результатам теплотехнического расчета.

При необходимости заморозки основания в сжатые сроки или в теплый период года могут применяться термостабилизаторы грунта круглогодичного действия с заданным режимом работы. Требуемый режим работы термостабилизаторов также устанавливается теплотехническим расчетом.

Мероприятия по замораживанию грунтов, в том числе с помощью термостабилизаторов грунта, не рекомендуется применять для оттаявших пучинистых грунтов в связи с возможными деформациями оснований и фундаментов, возникающими при замерзании грунтов.

При этом известны такие способы закрепления грунтов, как электрохимическое закрепление и силикатизация, цементация и струйная цементация, а также способы усиления фундаментов с использованием буронабивных и буроинъекционных свай. Далее приведены достоинства, недостатки и область применения этих способов.

После оттаивания многолетнемерзлые сильнольдистые грунты нуждаются в повышении прочности, уменьшении сжимаемости под нагрузками и в других видах улучшения. В качестве методов улучшения строительных свойств оттаивающих грунтов могут использоваться: электрообработка постоянным электрическим током, электрохимическая обработка и силикатизация.

Силикатизация может применяться в песчаных, в том числе оттаивающих, грунтах. Достоинствами способа являются наличие разработанных и апробированных технологий в оттаивающих грунтах, возможность совмещения процессов оттаивания и закрепления и существенный радиус усиления грунта вокруг скважины до 1 м. Недостатками – высокая стоимость химических веществ, длительный процесс затвердевания и отсутствие достаточного опыта применения в мерзлых грунтах.

Несмотря на наличие большого числа разработок в советский период, метод силикатизации оттаивающих грунтов в криолитозоне не применяется. Сегодня требуется проанализировать и обобщить накопленную базу данных по опыту проектирования искусственного оттаивания и силикатизации оттаивающих грунтов для дальнейшего использования технологии при реконструкции зданий и сооружений в криолитозоне.

Инъекция цементных растворов для закрепления грунтов в Арктической зоне и криолитозоне России также является актуальным направлением для исследований. Об этом свидетельствует сравнительно большое количество опубликованных результатов научно-исследовательских и практических работ.

В статье [13] приведены результаты замещения грунтов, подверженных морозному пучению, при сооружении сухого дока в с. Белокаменка Мурманской области. Для замещения пучинистых грунтов в зоне контакта ограждающей конструкции котлована, выполненной из стального трубного шпунта, с донными отложениями использовалась технология струйной цементации Jet-1 с условным диаметром формируемой грунтоцементной колонны 600–800 мм.

О возможности цементации оттаивающих трещиноватых сланцев и песчаников, а также щебенистых и древесных грунтов свидетельствует опыт производства работ на обогатительной фабрике в Каларском районе Забайкальского края [14]. Для стабилизации и укрепления основания фундаментов машин, механизмов и несущих конструкций промышленного здания использовалась цементация грунтов через горизонтально-направленные скважины, расположенные под фундаментом на глубине 6,5–7,0 м.

Потенциально эффективным методом закрепления грунтов, используемых по принципу II, является струйная цементация, которую можно применять для одновременного оттаивания и закрепления путем глубинного перемешивания грунтов с раствором.

В работе [15] изложены результаты статических испытаний фрагментов грунтоцементных колонн в мерзлом грунте и результаты испытаний по определению прочности грунтоцемента, твердевшего при отрицательной температуре. Авторы полагают, что использование технологии струйной цементации в криолитозоне возможно и перспективно, а в определенных геотехнических условиях применение технологии позволит сократить сроки строительства и снизить экономические затраты.

Это отчасти подтверждается наличием разработанных НИИОСП в 1986 г. «Рекомендаций по устройству свайных фундаментов в вечномёрзлых грунтах с применением гидроструйной технологии» [16], в которых описана технология проходки скважин с помощью гидроструи под высоким давлением – до 20–40 МПа, а также методика расчета буронабивных свай с уширенной пятой в многолетнемёрзлых грунтах, в том числе свай, изготовленных с химическими добавками для обеспечения твердения бетона.

Цементация может применяться в трещиноватых скальных, крупнообломочных и гравелистых песчаных грунтах. Струйная цементация – во всем диапазоне гранулометрического состава грунтов (от крупнообломочных до мелкодисперсных глинистых грунтов). Достоинствами способов являются значительное улучшение характеристик грунта и возможность устройства грунтоцементных колонн. Недостатками – отсутствие достаточного опыта применения в мерзлых грунтах, ограниченное применение при отрицательных температурах из-за необходимости твердения растворов и возможность возникновения разнородности цементной матрицы.

Значимым научным направлением для исследований является устройство буронабивных и буроинъекционных свай в многолетнемёрзлых грунтах, используемых по принципу I, с сохранением мерзлого состояния грунтов, и по принципу II, с оттаиванием основания, при реконструкции зданий и сооружений в криолитозоне.

Возможность устройства буронабивных свай в многолетнемёрзлых грунтах, наряду с использованием буроопускных свай, всегда интересовала исследователей и строителей северных городов (Норильск, Якутск, Мирный, Воркута и др.). Вопросами устройства буронабивных свай в криолитозоне начиная с 1960 года занимались в Северном отделении НИИОСП, НИИЖБ, Институте мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, Якутском филиале Красноярского Промстройниипроекта.

В настоящее время в центре геокриологических и геотехнических исследований НИИОСП им. Н. М. Герсеванова ведется разработка способов устройства буронабивных и буроинъекционных свай в условиях отрицательной температуры многолетнемёрзлых грунтов путем использования различных составов раствора с химическими добавками.

Опубликованы результаты двух научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ [17–19], в рамках которых обобщены данные по значениям параметра расчетного сопротивления грунтов сдвигу на контакте с буровыми сваями, изготовленными с применением различных химических добавок. Проведены статические испытания опытных буронабивных свай на площадке в городе Якутске. Разработаны коэффициенты условия работы многолетнемёрзлых грунтов на боковой поверхности буровых свай.

Различные технологии устройства буронабивных и буроинъекционных свай могут применяться во всем диапазоне гранулометрического состава дисперсных грунтов, а также в скальных и крупнообломочных грунтах. Достоинствами способов являются снижение стоимости усиления фундамента, вариативность конструкции, возможность устройства уширений и возможность работы в стесненных условиях вентилируемого подполья. Недостатками – отсутствие достаточного опыта применения в мерзлых грунтах и необходимость обеспечения твердения растворов при отрицательных температурах.

Полученные в ходе анализа способов закрепления грунтов и усиления фундаментов результаты позволяют сделать вывод о необходимости увеличения объемов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, апробирования технологий на реальных

строительных объектах и разработки мероприятий по восстановлению эксплуатационной пригодности оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах.

## **Мероприятия по восстановлению эксплуатационной пригодности**

Геотехнический мониторинг оснований и фундаментов в криолитозоне проводится в течение всего срока эксплуатации зданий [7]. Для установления причин деформирования строительных конструкций, в том числе основания и фундаментов, проводится обследование технического состояния. Далее выполняются расчеты конструкций по предельным состояниям, устанавливается наличие отказов строительного объекта в соответствии с ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» [20].

Надежность работы здания определяется совместной работой основания, фундамента и надземных конструкций, а отказы в работе возникают в результате нарушения их надежной работы. В данном случае проводится реконструкция здания, выполняется закрепление грунтов основания или усиление строительных конструкций.

Отказы оснований могут возникать из-за отклонений от требований нормативных документов по изысканиям и проектированию, а также отклонений от проектной документации при строительстве и эксплуатации. Также они могут возникать в результате активизации опасных геологических процессов [21].

В результате проведенных работ определены основные причины возникновения отказов зданий в криолитозоне:

- снижение механических характеристик мерзлых грунтов при повышении температуры и активизации опасных геокриологических процессов;
- снижение механических характеристик мерзлых грунтов в результате воздействия подземных вод и техногенного замачивания;
- воздействие на фундаменты сил морозного пучения грунтов;
- деградация механических свойств материалов фундаментов при замачивании и переменном замерзании-оттаивании;
- проведение земляных работ в пределах или вблизи застройки.

Реконструкция зданий зачастую происходит в условиях стесненной застройки. Это предопределяет необходимость использования специального оборудования и способов производства работ. Возможность применения стандартных способов закрепления грунтов и усиления фундаментов зачастую отсутствует. Способ выбирается исходя из необходимости обеспечить совместную работу новых конструкций и материалов с основанием и существующими фундаментами и зависит от нагрузок, конструкции фундаментов, геокриологических и других условий.

В связи с этим следует регламентировать процессы определения отказов оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах, проведения обследования их технического состояния с учетом выбранного принципа использования грунтов, назначения компенсирующих мероприятий до наступления отказов, назначения мероприятий по восстановлению эксплуатационной пригодности.

В качестве компенсирующих мероприятий до наступления отказов при повышении температуры основания может выполняться контроль температуры внутреннего воздуха, дополнительная теплоизоляция перекрытия, повышение продуваемости подполья,

организация отвода поверхностных вод, ремонт коммуникаций (при утечках), расчистка снега, тепловизионная диагностика, ремонт, дозаправка, а при необходимости установка новых термостабилизирующих устройств.

При возникновении непредвиденных деформаций фундаментов в качестве компенсирующих мероприятий могут выполняться внеплановые ремонтно-восстановительные работы, рихтовка фундаментов, устройство дополнительной теплоизоляции и термостабилизаторов, организация отвода поверхностных вод.

## Выводы

1. В результате работы установлено, что существует зависимость процентного отношения типа дефектов к их общему количеству от среднегодовой температуры приземного воздуха. Со снижением температуры воздуха увеличивается доля трещин в общем количестве дефектов. Развитие трещин связано в первую очередь с возникающими неравномерными деформациями фундаментов зданий при повышении температуры грунтов.

2. Действующие нормативно-технические документы не содержат требований по закреплению оснований и усилению фундаментов в криолитозоне. Перспективными способами являются электрохимическое закрепление и силикатизация, цементация и струйная цементация, использование буронабивных и буроинъекционных свай. При этом их основным недостатком является отсутствие достаточного опыта применения в мерзлых грунтах.

3. Полученные результаты говорят о необходимости увеличения объемов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, апробирования технологий на реальных строительных объектах и разработки нового свода правил «Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Обследование и восстановление эксплуатационной пригодности».

## Список литературы

1. Куценко С.Ю., Павленко В.И., Платэ А.Н., Лексин А.Б. Особенности состояния жилищно-бытовых условий населения Арктической зоны Российской Федерации как одного из важнейших факторов устойчивого развития макрорегиона. Вестник Евразийской науки [интернет]. 2020;12(1):53. Режим доступа: <https://esj.today/PDF/79ECVN120.pdf>
2. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2023 год [интернет]. Москва; 2024. Режим доступа: [https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2024/RF\\_Climate\\_report\\_2023\\_2.pdf](https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2024/RF_Climate_report_2023_2.pdf).
3. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В., Бадина С.В., Дроздов Д.С., Дубровин В.А. Оценка ущерба жилым и промышленным зданиям и сооружениям при изменении температур и оттаивании многолетнемерзлых грунтов в Арктической зоне Российской Федерации к середине XXI века. Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2021;(1):14–31. <https://doi.org/10.31857/s0869780921010070>
4. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* [интернет]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14627/>
5. СП 24.13330.2021. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. Москва: Российский институт стандартизации; 2022. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/142011/>
6. СП 45.13330.2017. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 [интернет]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14715/>
7. СП 25.13330.2020. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 [интернет]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/117292/>

8. СП 496.1325800.2020. Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Правила производства работ [интернет]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/120034/>
9. Рекомендации по проектированию и устройству оснований и фундаментов с предпостроечным оттаиванием вечномерзлых грунтов. Москва: НИИОСП Госстроя СССР; 1974.
10. Руководство по технологии физико-химического укрепления промерзающих и оттаивающих грунтов. Москва: НИИОСП Госстроя СССР, Стройиздат; 1977.
11. Рекомендации по проектированию и применению в строительстве охлаждающих установок, работающих без энергетических затрат. Москва: НИИОСП Госстроя СССР; 1984.
12. Украинченко Д.А., Беловодский А.Ю., Бикситов Г.К. Обзор существующих методов улучшения свойств структурно неустойчивых грунтов. В: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием), Оренбург, 25–27 января 2021 года. Оренбург: Оренбургский государственный университет; 2021, с. 460–466.
13. Технологии строительства в криолитозоне. Гидротехника. 2020;1(58):84.
14. Маковецкий О.А., Рубцова С.С. Особенности применения технологии Jet grouting в многолетнемерзлых грунтах. Фундаменты. 2022;3(9):32–34.
15. Алексеев А.Г., Зорин Д.В., Алексеенко В.А. Струйная цементация для устройства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах. Промышленное и гражданское строительство. 2021;(8):27–32. <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2021.08.27-32>
16. Рекомендации по устройству свайных фундаментов в вечномерзлых грунтах с применением гидроструйной технологии. Москва: НИИОСП Госстроя СССР; 1986.
17. Алексеев А.Г., Зорин Д.В. Буровые сваи, затворенные с применением химических добавок, в многолетнемерзлых грунтах. Фундаменты. 2022;2(8):33–35.
18. Alekseev A.G., Sazonov P.M., Zorin D.V., Vinogradova S.A. Application of pile foundations in structurally unstable soils. MATEC Web of Conferences. 2019;265:05020. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926505020>
19. Alekseev A., Zorin D. Interaction of the augercast micropiles with permafrost. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018;365:042056. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/4/042056>
20. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкции и оснований. Основные положения. Москва: Стандартинформ; 2019.
21. Рекомендации по проектированию и устройству оснований, фундаментов и подземных сооружений при реконструкции гражданских зданий и исторической застройки. Москва: Москомархитектура; 1998.

## References

1. Kutsenko S.Y., Pavlenko V.I., Plate A.N., Leksin A.B. Features of housing and living conditions of the population of the Arctic zone of the Russian Federation as one of the most important factors of sustainable development. The Eurasian Scientific Journal [internet]. 2020;12(1):53. Available at: <https://esj.today/PDF/79ECVN120.pdf>. (In Russian).
2. State Hydrological Institute of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring of the Russian Federation. Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2023 [internet]. Moscow; 2024. Available at: [https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2024/RF\\_Climate\\_report\\_2023\\_2.pdf](https://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2024/RF_Climate_report_2023_2.pdf). (In Russian).
3. Melnikov V.P., Osipov V.I., Brouchkov A.V., Badina S.V., Drozdov D.S., Dubrovin V.A., et al. Damage assessment for residential and industrial buildings and structures due to temperatures change and permafrost thawing in the arctic zone of the Russian Federation by the middle of the XXI century. Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya. 2021;(1):14–31. (In Russian). <https://doi.org/10.31857/S0869780921010070>
4. СП 22.13330.2016. Soil bases of buildings and structures. Updated version of SNiP 2.02.01-83\* [internet]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14627/> (In Russian).
5. СП 24.13330.2021. Pile foundations. Updated version of SNiP 2.02.03-85. Moscow: Russian Institute of Standardization; 2020. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/142011/> (In Russian).
6. СП 45.13330.2017. Earthworks, Grounds and Footings. Updated version of SNiP 3.02.01-87 [internet]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/14715/> (In Russian).

7. SP 25.13330.2020. Soil bases and foundations on permafrost soils. Updated version of SNiP 2.02.04-88 [internet]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/117292/> (In Russian).
8. SP 496.1325800.2020. Soil bases and foundations of buildings and constructions on permafrost soils. Rules for production of works [internet]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/120034/> (In Russian).
9. Recommendations for the design and installation of foundations and foundations with pre-construction thawing of permafrost soils. Moscow: NIIOSP Gosstroy of the USSR; 1974. (In Russian).
10. Manual on the technology of physico-chemical strengthening of freezing and thawing soils. Moscow: NIIOSP Gosstroy of the USSR, Stroyizdat Publ.; 1977. (In Russian).
11. Recommendations for the design and application in the construction of cooling installations operating without energy costs. Moscow: NIIOSP Gosstroy of the USSR; 1984. (In Russian).
12. *Ukrainchenko D.A., Belovodsky A.Y., Bixitov G.K.* Review of existing methods for improving the properties of structurally unstable soils. In: University complex as a regional center of education, science and culture: materials of the All-Russian Scientific and Methodological Conference (with international participation), Orenburg, January 25–27, 2021. Orenburg: Orenburg State University; 2021, pp. 460–466. (In Russian).
13. Construction technologies in the cryolithozone. The Hydrotechnika. 2020;(1(58)):84. (In Russian).
14. *Makovetsky O.A., Rubtsova S.S.* Features of the application of Jet grouting technology in permafrost soils. Foundations. 2022;(3(9)):32–34. (In Russian).
15. *Alekseev A.G., Zorin D.V., Alekseenko V.A.* Jet-cementation for the construction of foundations on permafrost soils. Promyshlennoe i Grazhdanskoe Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering. 2021;(8):27–32. (In Russian). <https://doi.org/10.33622/0869-7019.2021.08.27-32>
16. Recommendations for the installation of pile foundations in permafrost soils using hydrojet technology. Moscow: NIIOSP Gosstroy of the USSR; 1986. (In Russian).
17. *Alekseev A.G., Zorin D.V.* Drilling piles closed with the use of chemical additives in permafrost soils. Foundations. 2022;(2(8)):33–35. (In Russian).
18. *Alekseev A.G., Sazonov P.M., Zorin D.V., Vinogradova S.A.* Application of pile foundations in structurally unstable soils. MATEC Web of Conferences. 2019; 265:05020. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201926505020>
19. *Alekseev A., Zorin D.* Interaction of the augercast micropiles with permafrost. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018;365:042056. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/4/042056>
20. State Standard 27751-2014. Reliability for constructions and foundations. General principles. Moscow: Standartinform Publ.; 2019. (In Russian).
21. Recommendations on the design and construction of foundations, foundations and underground structures during the reconstruction of civil buildings and historical buildings. Moscow: Moskomarchitecture; 1998. (In Russian).

## Информация об авторах / Information about the authors

**Андрей Григорьевич Алексеев**, д-р техн. наук, начальник центра геокриологических и геотехнических исследований, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство»; доцент кафедры механики грунтов и геотехники, НИУ МГСУ, Москва

e-mail: [adr-alekseev@yandex.ru](mailto:adr-alekseev@yandex.ru)

тел.: +7 (926) 129-71-01

**Andrey G. Alekseev**, Dr. Sci. (Engineering), Head of the Center for Geocryological and Geotechnical Research, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction; Associate Professor, Department of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow

e-mail: [adr-alekseev@yandex.ru](mailto:adr-alekseev@yandex.ru)

tel.: +7 (926) 129-71-01

**Павел Михайлович Сазонов**, заведующий сектором проектирования и геокриологических исследований лаборатории механики мерзлых грунтов и расчета оснований (№ 8), НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: [sazonov-pm@yandex.ru](mailto:sazonov-pm@yandex.ru)

тел.: +7 (926) 914-57-47

**Pavel M. Sazonov**, Head of the Design and Geocryological Research Sector, Laboratory of Frozen Soil Mechanics and Foundation Calculation Methods (No. 8), Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: sazonov-pm@yandex.ru  
tel.: +7 (926) 914-57-47

**Дмитрий Васильевич Зорин**✉, ведущий инженер сектора проектирования и геокриологических исследований лаборатории механики мерзлых грунтов и расчета оснований (№ 8), НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: zorinsved@mail.ru  
тел.: +7 (915) 117-65-34

**Dmitry V. Zorin**✉, Leading Engineer, Design and Geocryological Research Sector, Laboratory of Frozen Soil Mechanics and Foundation Calculation Methods (No. 8), Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: zorinsved@mail.ru  
tel.: +7 (915) 117-65-34

**Анастасия Андреевна Алексеева**, инженер центра геокриологических и геотехнических исследований, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: n.alexeeva20082001@gmail.com  
тел.: +7 (925) 704-28-64

**Anastasia A. Alekseeva**, Engineer, Center for Geocryological and Geotechnical Research, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: n.alexeeva20082001@gmail.com  
tel.: +7 (925) 704-28-64

**Илья Александрович Дымченко**, инженер сектора проектирования и геокриологических исследований лаборатории механики мерзлых грунтов и расчета оснований (№ 8), НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва  
e-mail: 89212002055i@gmail.com  
тел.: +7 (921) 200-20-55

**Ilya A. Dymchenko**, Engineer, Design and Geocryological Research Sector, Laboratory of Frozen Soil Mechanics and Foundation Calculation Methods (No. 8), Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow  
e-mail: 89212002055i@gmail.com  
tel.: +7 (921) 200-20-55

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author