

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2026. Т. 28. № 4. С. 186–196.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2026; 28(4): 186–196.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.139

<https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-4-186-196>



EDN: RDRAQP

ВЛИЯНИЕ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ПОД ЗДАНИЕМ С ВЕНТИЛИРУЕМЫМ ПОДПОЛЬЕМ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НОРИЛЬСКА

Михаил Иванович Низовцев^{1,2}, Алексей Николаевич Стерлягов^{1,2}

¹Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН,
г. Новосибирск, Россия

²Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга,
г. Петропавловск-Камчатский, Россия

Аннотация. Актуальность выполненных исследований по влиянию граничных условий на изменение температуры многолетнемерзлых грунтов связана с тем, что значительная часть территории России расположена в зоне многолетней мерзлоты. Проектирование и строительство зданий и сооружений на этой территории требует учета воздействия разных граничных условий на изменение температуры в грунте. Поскольку инструментальные исследования теплового воздействия зданий и сооружений на вечноммерзлые грунты достаточно трудоемки и требуют длительного времени, весьма актуальным является использование численных расчетных методов для прогнозирования изменения состояния мерзлых грунтов.

Цель работы заключается в проведении анализа влияния разных граничных условий на глубину промерзания грунта под различными участками здания с вентилируемым подпольем в процессе эксплуатации в условиях г. Норильска.

Материалы и методы. Исследование выполнено с применением численных программных комплексов и с использованием лабораторных данных по теплофизическим характеристикам образцов грунта, отобранных из скважин на строительной площадке.

Полученные *результаты* показали, что снижение влажности поверхностных слоев грунта уменьшало влияние фазовых переходов на термоинерционные свойства грунта, что приводило к увеличению толщины деятельного слоя грунта, в котором наблюдаются годовые колебания температуры. Показано, что отсутствие снежного покрова и прямой солнечной радиации явилось фактором, который приводил к значительному снижению температуры грунта под вентилируемым подпольем здания по сравнению с температурой грунта в естественных условиях и уменьшению максимальной глубины его оттаивания. Получены данные по изменению температуры грунта с течением времени после завершения строительства в годовом цикле под различными участками здания с вентилируемым подпольем и в непосредственной близости от него в климатических условиях г. Норильска.

В результате выполненных исследований сделан *вывод*, что для зданий с вентилируемыми подпольями отдельные элементы конструкции здания при их утеплении могут располагаться непосредственно на поверхности грунта и дополнительного растепления грунта под ними происходить не будет.

Ключевые слова: многолетнемерзлые грунты, фазовые переходы, температура грунта, граничные условия

Финансирование: исследования выполнены в рамках Межведомственной программы комплексных научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий, реализуемой ФГБОУ ВО «КамГУ им. Витуса Беринга» по проекту «Исследования и моделирование жизненного цикла объектов возобновляемой энергетики на территории Камчатского края» (FZSS-2025-0008).

Для цитирования: Низовцев, М.И., Стерлягов, А.Н. Влияние граничных условий на изменение температуры многолетнемерзлых грунтов под зданием с вентилируемым подпольем для климатических условий Норильска // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2026. Т. 28. № 4. С. 186–196. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-4-186-196>. EDN: RDRAQP

ORIGINAL ARTICLE

INFLUENCE OF BOUNDARY CONDITIONS ON TEMPERATURE OF PERMAFROST SOIL UNDER A BUILDING WITH A VENTILATED BASEMENT IN NORILSK

Mikhail I. Nizovtsev^{1,2}, Aleksey N. Sterlyagov^{1,2}

¹The Kutateladze Institute of Thermal Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia

²Kamchatka State University named after Vitus Bering,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Abstract. The relevance of research conducted on the influence of boundary conditions on permafrost soil temperature is determined by the fact that a significant part of Russia is located in the permafrost zone. Design and construction of buildings in this area require consideration of the impact of various boundary conditions on the soil temperature. Since instrumental studies of this impact on permafrost soils are labor-intensive and time-consuming, the use of numerical calculation methods to predict changes in frozen soils is highly relevant.

Purpose: The aim of the study is to analyze the influence of various boundary conditions on the soil freezing depth under a building with a ventilated basement in Norilsk.

Methodology/approach: Numerical software and laboratory data on thermophysical properties of soil from boreholes at the construction site are used in this work.

Research findings: It is shown that the lower moisture content in the surface soil layers reduces the impact of phase transitions on thermal inertial properties of the soil, leading to an increased thickness of the active soil layer, where annual temperature fluctuations are observed. The absence of snow cover and direct solar radiation lead to a significant decrease in the soil temperature under the ventilated basement as compared to that under natural conditions and a decrease in the maximum thaw depth. The soil temperature changes over time after the construction completion in the annual cycle under various sections of the building with a ventilated basement and near is in climatic conditions of Norilsk.

Value: It is shown that insulated building elements can be located directly on the soil surface, and additional thawing of the soil beneath them does not occur.

Keywords: permafrost soil, phase transition, soil temperature, boundary conditions

Funding: This work was carried out within the frame of the Interdepartmental Program of Comprehensive Research of the Kamchatka Peninsula and adjacent waters, implemented by the Kamchatka State University named after Vitus Bering under the project "Research and Modeling of the Life Cycle of Renewable Energy Facilities in the Kamchatka Territory" (Project No. FZSS-2025-0008).

For citation: Nizovtsev, M.I., Sterlyagov, A.N. Influence of Boundary Conditions on Temperature of Permafrost Soil under a Building with a Ventilated Basement in Norilsk. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2026; 28(4): 186–196. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-4-186-196>. EDN: RDRAQP

Введение

Более 65 % территории России расположено в зоне многолетней мерзлоты, что определяет специфику проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений в этих условиях [1]. Проектирование и строительство сооружений на многолетнемерзлых грунтах требует учета их теплового воздействия и связанного с ним повышения температуры грунта [2], а также тенденции глобального потепления [3]. Повышение температуры многолетнемерзлого грунта приводит к изменению его свойств из-за увеличения содержания незамерзшей поровой воды, которая неравномерно распределена в грунте [4]. Содержание незамерзшей воды может также увеличиться в результате теплового воздействия при строительстве зданий, прокладке трубопроводов и т. д. [5]. Вследствие теплового воздействия происходит изменение свойств грунта, развитие процессов ползучести, что может вызвать дополнительные деформации и привести к угрозе устойчивости зданий и сооружений [6, 7]. Эти особенности теплофизических процессов необходимо учитывать при строительстве на многолетнемерзлых грунтах. Существует ряд апробированных технологий строительства в условиях многолетнемерзлых грунтов, наиболее распространенными среди них являются: устройство вентилируемого подполья, обеспечивающего отвод тепла от здания и препятствующего его проникновению в грунт; использование сезоннодействующих охлаждающих устройств для термостабилизации грунтов [8, 9]. Для оценки эффективности применяемых технологий необходим мониторинг состояния многолетней мерзлоты под зданиями и сооружениями в процессе строительства и эксплуатации [10]. На стадии проектирования для анализа состояния многолетней мерзлоты весьма эффективно применять численные методы [11]. Такой подход позволяет предварительно оценить итоговое воздействие всего спектра техногенных и природных факторов на состояние многолетней мерзлоты. Весьма актуальным является использование численных методов для прогнозирования прочности мерзлых грунтов [12] и процессов образования морозных трещин с учетом изменения температурных полей и физико-механических свойств мерзлых грунтов с течением времени [13]. В работе [11] приведены результаты сравнительных расчетов глубины промерзания грунта с использованием инженерных методов расчета, а также численных методов с применением программных комплексов Frost 3D и «Борей 3D» [14]. В результате этого исследования сделан вывод, что для совершенствования расчетных методов и повышения их точности необходимо их применять совместно с натурными измерениями.

Цель настоящей работы заключается в проведении расчетных исследований изменения температуры грунта под зданием с вентилируемым подпольем, строительство которого планируется на вечномерзлых грунтах в условиях г. Норильска. В расчетах использованы данные лабораторных исследований проб грунта в талом и мерзлом состоянии, отобранных из скважин на строительной площадке, а также результаты измерения температур по глубине

грунта. Дополнительная задача исследования заключается в рассмотрении влияния влажности грунта и связанных с ней фазовых переходов влаги при замерзании и оттаивании грунта на распределение температуры в многолетнемерзлых грунтах в годовом цикле.

Постановка задачи

Основой проведения расчетной работы стал проект многоэтажного жилого дома в г. Норильске. Здание запроектировано с вентилируемым подпольем для предотвращения оттаивания многолетнемерзлого грунта основания (рис. 1, а). Лифтовая шахта, занимающая небольшую площадь по сравнению с общей площадью здания, расположена на железобетонных блоках, установленных непосредственно на грунте (рис. 1, б). Перекрытие пола лифтовой шахты утеплено плитами экструзионного пенополистирола толщиной 200 мм. Согласно технологическим требованиям, в холодный период года в лифтовой шахте предусмотрено поддержание температуры воздуха $+5^{\circ}\text{C}$, что создает риск оттаивания (растепления) грунта под лифтовой шахтой.

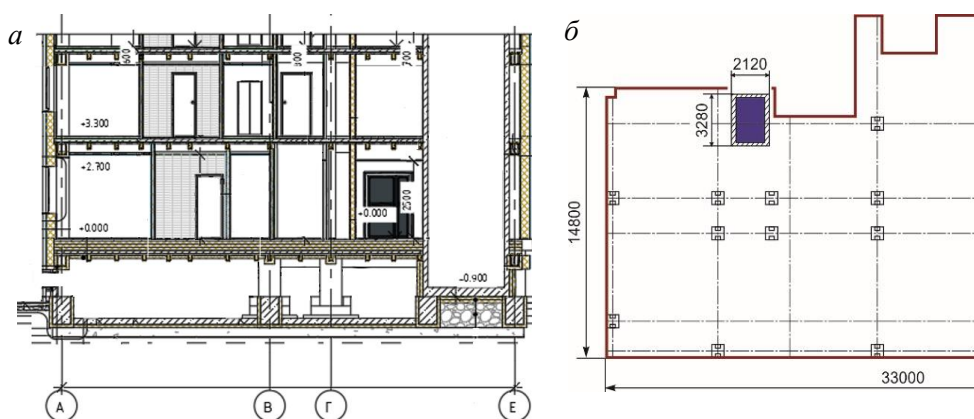


Рис. 1. Вентилируемое подполье здания на многолетнемерзлом грунте:

а – разрез по лифтовой шахте; б – фрагмент плана перекрытия 1-го этажа с лифтовой шахтой

Fig. 1. Ventilated basement on permafrost soil:

а – cross-section of the elevator shaft; б – 1st floor structure with the lift shaft

Для решения вопроса о возможном растеплении грунта под лифтовой шахтой были выполнены численные расчеты изменения температуры грунта под зданием с применением программных комплексов Frost 3D и «Борей 3D». Данные по составу и толщине слоев грунтов, а также теплофизические характеристики грунтов в талом и мерзлом состоянии были приняты по результатам инженерно-геологических изысканий на месте строительства.

В работе было принято решение расширить поставленную цель и рассмотреть при проведении расчетных исследований следующие задачи:

1. Вычислить изменение температуры по глубине грунта в естественных условиях и под вентилируемым подпольем в условиях г. Норильска в годовом цикле. Определить наибольшую глубину растепления грунта.

2. Выяснить влияние фазовых превращений влаги в грунте на распределение температуры в многолетнемерзлом грунте в годовом цикле.

3. Определить изменения распределения температуры грунта в годовом цикле при различных граничных условиях под зданием: под вентилируемым подпольем и под лифтовой шахтой.

Температура грунта в естественных условиях

На начальном этапе были выполнены расчеты температуры грунта в естественных условиях. Граничные условия на наружной поверхности грунта устанавливались для климатических условий г. Норильска. На рис. 2 приведены результаты расчетов изменения температуры грунта по глубине в различные месяцы в годовом цикле. Если условно выделить приповерхностный (деятельный) слой грунта, в котором в течение года изменение температуры не превышало $0,1^\circ\text{C}$, то граница этого слоя в естественных условиях находилась на глубине около 5 м. Ниже этой глубины в течение года температура грунта практически не изменялась и составляла $-1,7^\circ\text{C}$, что хорошо согласуется с результатами фактических измерений в натурных условиях. По результатам расчетов, максимальная глубина растепления грунта в естественных условиях наблюдалась в сентябре и составляла 1,26 м.

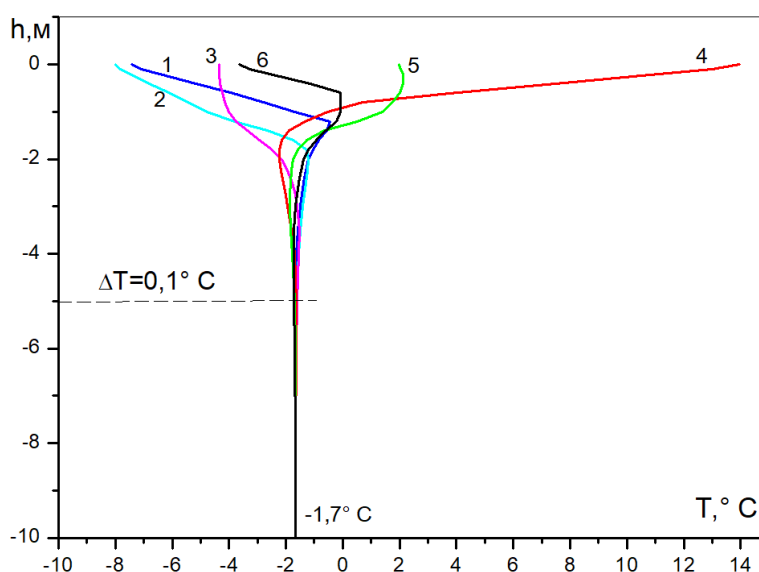


Рис. 2. Распределение температуры в грунте в естественных условиях:

1 – январь; 2 – март; 3 – май; 4 – июль; 5 – сентябрь; 6 – ноябрь

Fig. 2. Temperature distribution in the soil under natural conditions:

1 – January; 2 – March; 3 – May; 4 – July; 5 – September; 6 – November

Температура грунта без учета фазовых переходов

Для выяснения влияния фазовых переходов были выполнены расчеты изменения температуры по глубине грунта в естественных условиях без учета фазовых переходов, что соответствовало грунтам в сухом состоянии (рис. 3).

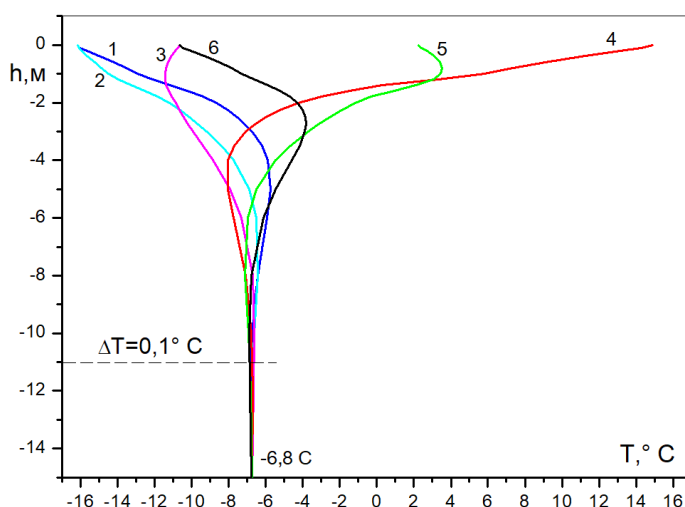


Рис. 3. Распределение температуры при отсутствии фазовых переходов:

1 – январь; 2 – март; 3 – май; 4 – июль; 5 – сентябрь; 6 – ноябрь

Fig. 3. Temperature distribution in the absence of phase transitions:

1 – January; 2 – March; 3 – May; 4 – July; 5 – September; 6 – November

Из анализа полученных результатов следует значительное снижение температуры грунта ниже деятельного слоя до $-6,8^{\circ}\text{C}$ вместо $-1,7^{\circ}\text{C}$ в естественных условиях (см. рис. 2). Кроме того, наблюдалось увеличение толщины деятельного слоя изменения температуры грунта до 11 м по сравнению с толщиной деятельного слоя в 5 м для грунта в естественных условиях. Таким образом, видно, что сухой грунт промерзает на большую глубину и до более низких температур, а учет фазовых переходов при расчетах теплообмена в грунтах имеет существенное значение. Можно сделать вывод, что наличие влаги в грунте за счет фазовых переходов повышает теплоинерционность грунта и снижает толщину деятельного слоя.

Температура грунта в условиях вентилируемого подполья

Для вентилируемого подполья в расчетах было изменено граничное условие на наружной поверхности грунта с учетом отсутствия снежного покрова в холодный период года и экранирования зданием солнечной радиации. На рис. 4 приведены результаты расчета изменения распределения температуры грунта в годовом цикле для условий вентилируемого подполья.

Полученные данные свидетельствуют, что в условиях вентилируемого подполья глубина деятельного слоя грунта существенно увеличилась по сравнению с естественными условиями до 12 м, а температура грунта на глубине значительно снизилась до $-10,1^{\circ}\text{C}$. Максимальная глубина растепления грунта под вентилируемым подпольем, по данным расчетов, наблюдалась в сентябре и составляла 1,1 м. Таким образом, можно сделать вывод, что отсутствие снежного покрова и прямой солнечной радиации является основным фактором, который приводит к снижению температуры грунта в условиях вентилируемого подполья здания по сравнению с температурой грунта в естественных условиях.

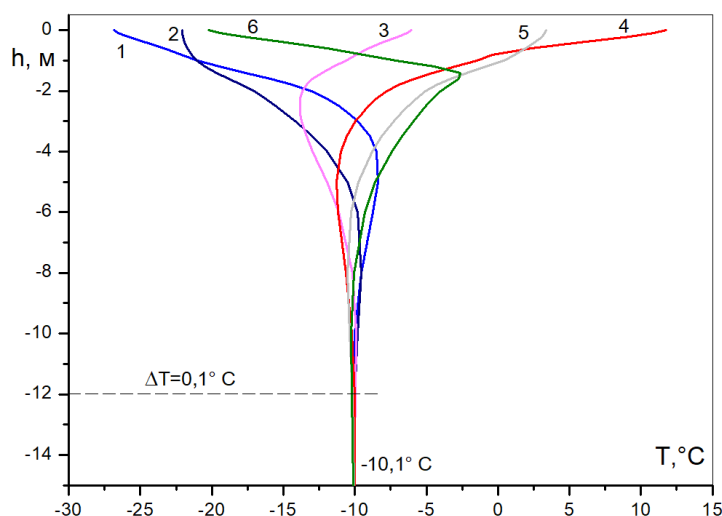


Рис. 4. Распределение температуры в условиях вентилируемого подполья:
1 – январь; 2 – март; 3 – май; 4 – июль; 5 – сентябрь; 6 – ноябрь

Fig. 4. Temperature distribution in the ventilated basement:
1 – January; 2 – March; 3 – May; 4 – July; 5 – September; 6 – November

Температура грунта под различными участками здания с вентилируемым подпольем и лифтовой шахтой на грунте

Рассмотрим температуру грунта под зданием с вентилируемым подпольем и лифтовой шахтой, расположенной непосредственно на грунте. План 1-го этажа с указанием общих размеров вентилируемого подполья представлен на рис. 1, б. Лифтовая шахта имеет небольшую площадь по отношению к площади всего здания, а пол лифтовой шахты утеплен. Для проведения расчетов был выбран расчетный участок грунта толщиной 50 м, на поверхности которого в центральной области выделена зона с граничными условиями, характерными для вентилируемого подполья, а в ее пределах – небольшой по площади участок лифтовой шахты. При расчетах в отопительный период температура воздуха в лифтовой шахте принималась равной 5 °С, а в неотапливаемый – равной температуре наружного воздуха. Площадь поверхности вокруг здания соответствовала поверхности грунта в естественных условиях, протяженность данного участка от каждой из сторон здания принималась равной 15 м. Таким образом, на наружной поверхности грунта были выделены три участка здания с разными граничными условиями, при этом распределение температуры грунта по глубине определялось по центру каждого из этих участков. Начальное распределение температуры по глубине грунта при расчетах принималось в виде распределения температуры для естественных условий.

Для определения максимальной глубины растепления грунта под зданием рассмотрим распределение температуры в поверхностных слоях грунта в сентябре при установившемся годовом цикле изменения температуры грунта. На рис. 5 представлены данные по распределению температуры грунта в сентябре для различных участков здания.

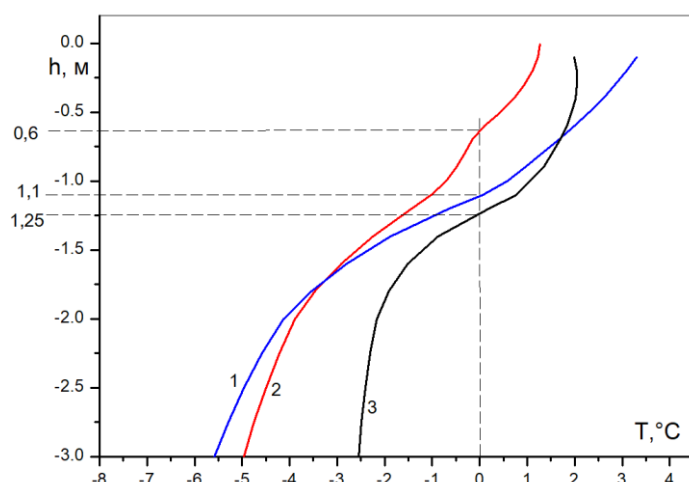


Рис. 5. Распределение температуры грунта в сентябре:

1 – под вентилируемым подпольем; 2 – под лифтовой шахтой; 3 – около здания в естественных условиях

Fig. 5. Distribution of soil temperature in September:

1 – under ventilated basement; 2 – under a lift shaft; 3 – near the building in natural conditions

Согласно результатам расчетов, в сентябре глубина оттаивания грунта около здания в естественных условиях составляет 1,25 м, под вентилируемым подпольем – 1,1 м, а под лифтовой шахтой – 0,6 м. Наименьшая глубина оттаивания грунта под лифтовой шахтой связана, с одной стороны, с хорошим утеплением пола лифтовой, а с другой – с инерционными тепловыми процессами в грунте.

Таким образом, выполненные расчеты показали, что в зданиях с вентилируемыми подпольями, возводимых в регионах с многолетнемерзлыми грунтами, отдельные элементы конструкций при их утеплении можно располагать непосредственно на поверхности грунта без риска растепления грунта под ними. Однако это решение следует обязательно подтверждать теплотехническими расчетами с учетом соотношения площадей подполья и элементов конструкции, расположенных на грунте, а также особенностей их утепления.

Заключение

В результате численных расчетов были получены данные по изменению температуры грунта в течение года под различными участками здания с вентилируемым подпольем в климатических условиях г. Норильска. Определено влияние граничных условий на глубину промерзания грунта под различными участками здания с вентилируемым подпольем в процессе эксплуатации. Выполненные расчеты показали, что грунт под лифтовой шахтой будет находиться в более мерзлом состоянии, чем под вентилируемым подпольем. Показано, что для зданий с вентилируемыми подпольями отдельные конструктивные элементы при их утеплении могут располагаться непосредственно на поверхности грунта и дополнительного оттаивания грунта под ними происходить не будет. По результатам выполненных расчетных исследований установлено:

1. В естественных климатических условиях г. Норильска наибольшее оттаивание грунта наблюдалось в сентябре. Максимальная глубина растепления в естественных условиях в сентябре составляла 1,26 м.

2. Снижение влажности поверхностных слоев грунта приводило к уменьшению влияния фазовых переходов на теплоинерционные свойства грунта, к увеличению толщины слоя грунта, в котором наблюдались годовые колебания температуры, и к снижению температуры грунта ниже зоны протаивания.

3. Отсутствие снежного покрова и прямой солнечной радиации явилось фактором, который приводил к значительному снижению температуры грунта под вентилируемым подпольем здания по сравнению с естественными условиями и уменьшению максимальной глубины его оттаивания в сентябре до 1,1 м.

4. Под полом лифтовой шахты при ее относительно небольшой площади по отношению к площади всего здания и при выполнении утепления не происходило дополнительного растепления грунта. Максимальная глубина оттаивания грунта под лифтовой шахтой в сентябре составляла 0,6 м.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анисимов, О.А., Бадина, С.В., Белолуцкая, М.А. и др. Изменение климата в Российской Арктике: риски и новые возможности. Москва : ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО, 2022. 105 с.
2. Shiklomanov, N.I., Streletskiy, D.A. Effect of climate change on Siberian infrastructure // Regional environmental changes in Siberia and their global consequences. Springer Dordrecht, 2012. P. 155–170. DOI: 10.1007/978-94-007-4569-8
3. Romanovsky, V.E., Kholodov, A.L., Marchenko, S.S., Drozdov, D.S., Malkova, G.V., Oberman, N.G., et al. Thermal state of permafrost in Russia // Permafrost and Periglacial Processes. 2010. V. 21. № 2. P. 136–155. DOI: 10.1002/ppp.683. EDN: MXNXKD
4. Chuvilin, E., Sokolova, N., Bukhanov, B. Changes in unfrozen water contents in warming permafrost soils // Geosciences (Switzerland). 2022. V. 12. № 6. P. 253. DOI: 10.3390/geosciences12060253. EDN: FGSMQC
5. Васильев, А.А., Гравис, А.Г., Губарьков, А.А. и др. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геоэкологического мониторинга в западном секторе Российской Арктики // Криосфера Земли. 2020. Т. 24. № 2. С. 15–30. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30). EDN: HROYGC
6. Власов, М.А., Никулин, Н.Ю., Герасимов, О.В., Петухов, А.А. Влияние ползучести грунта при укреплении оснований фундаментов зданий и сооружений на примере опытной площадки в городе Томске // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2026. Т. 28. № 1. С. 192–206. DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-192-206. EDN: OGERBE
7. Васильев, Г.Г., Джалибов, А.А., Леонович, И.А. Анализ причин возникновения деформаций инженерных сооружений объектов газового комплекса в криолитозоне // Записки Горного института. 2021. Т. 249. С. 377–385.
8. Горелик, Я.Б., Хабитов, А.Х. Об эффективности применения термостабилизаторов при строительстве на многолетнемерзлых грунтах // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2019. Т. 5. № 3. С. 25–46. EDN: OICVYB
9. Ананьев, В.В., Голованова, В.В., Ермолаев, В.А. Заглубленные сезонные термостабилизаторы грунта // Решетневские чтения : материалы XXIII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, 11–15 ноября 2019 г. В 2 частях. Часть 1 / под ред. Ю.Ю. Логинова. Красноярск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный

- университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2019. С. 76–77. EDN: QFXFAT
10. Федотов, А.А., Канибер, В.В., Храпов, П.В. Анализ и прогнозирование изменений температурного режима грунта в районе города Норильска // *International Journal of Open Information Technologies*. 2020. Т. 8. № 10. С. 51–65. EDN: OIJJGH
 11. Алексеев, А.Г. Расчет глубины сезонного промерзания грунтов инженерными и численными методами // *Вестник НИЦ Строительство*. 2024. № 3 (42). С. 56–82. DOI: 10.37538/2224-9494-2024-3(42)-56-82. EDN: RSJSVQ
 12. Kotov, P., Stanilovskaya, J. Long-term strength of frozen saline soils // *Magazine of Civil Engineering*. 2022. № 5 (113). DOI: 10.34910/MCE.113.7. EDN: PMAFVX
 13. Stetjukha, V.A. Frost cracks formation in permafrost regions // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. № 4 (104). DOI: 10.34910/MCE.104.5. EDN: SHJVOH
 14. Красильников, П.А., Андрианов, А.В., Ерофеев, Е.А. Обзор программного обеспечения для расчета динамики изменений температурного поля многолетнемерзлых грунтов в основании зданий и сооружений // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. 2024. № 7 (44). С. 104–111. EDN: JKIKGI

REFERENCES

1. Anisimov, O.A., Badina, S.V., Beloluckaya, M.A., et al. Climate Change in the Russian Arctic: Risks and New Opportunities. Moscow, 2022, 105 p. (In Russian)
2. Shiklomanov, N.I., Streletskiy, D.A. Effect of climate change on Siberian infrastructure. In: *Regional Environmental Changes in Siberia and their Global Consequences*. Springer Dordrecht, 2012. Pp. 155–170. DOI: 10.1007/978-94-007-4569-8
3. Romanovsky, V.E., Drozdov, D.S., Oberman, N.G., Malkova, G.V., Kholodo, A.L., Marchenko, S.S., et al. Thermal State of Permafrost in Russia. *Permafrost and Periglacial Processes*. 2010; 21(2): 136–155.
4. Chuvilin, E., Sokolova, N., Bukhanov, B. Changes in Unfrozen Water Contents in Warming Permafrost Soils. *Geosciences*. 2022; 12(6): 253. DOI: 10.3390/geosciences 12060253.
5. Vasil'ev, A.A., Gravis, A.G., Gubar'kov, A.A., et al. Permafrost Degradation: Results of Long-Term Geocryological Monitoring in the Western Russian Arctic. *Kriosfera zemli*. 2020; 24(2): 15–30. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30) (In Russian)
6. Vlasov, M.A., Nikulin, N.Yu., Gerasimov, O.V., Petuhov, A.A. Soil Creep in Building Foundation Strengthening on Experimental Site in Tomsk. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2026; 28(1): 192–206. DOI: 10.31675/1607-1859-2026-28-1-192-206 (In Russian)
7. Vasil'ev, G.G., Dzhalayabov, A.A., Leonovich, I.A. Analysis of Deformation Causes in Engineering Structures at Gas Complex Facilities in the Cryolithozone. *Zapiski Gornogo instituta*. 2021; 249: 377–385. (In Russian)
8. Gorelik, Ya.B., Habitov, A.H. On the Effectiveness of using Thermal Stabilizers in Construction on Permafrost Soils. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Fiziko-matematicheskoe modelirovanie. Neft', gaz, ehnergetika*. 2019; 5(3): 25–46. DOI: 10.21684/2411-7978-2019-5-3-25-46 (In Russian)
9. Anan'ev, V.V., Golovanova, V.V., Ermolaev, V.A. Buried Seasonal Soil Temperature Stabilizers. In: *Proc. 22nd Conf. 'Reshetnev Readings-2019'*. Krasnoyarsk, 2019. Pp. 76–77. EDN: QFXFAT (In Russian)
10. Fedotov, A.A., Kaniber, V.V., Hrapov, P.V. Analysis and Forecasting of Soil Temperature in the Norilsk Area. *International Journal of Open Information Technologies*. 2020; 8(10): 51–65. (In Russian)
11. Alekseev, A.G. Depth Analysis of Seasonal Soil Freezing using Engineering and Numerical Methods. *Vestnik NIC 'Stroitel'stvo'*. 2024; 3(42): 56–82. DOI: 10.37538/2224-9494-2024-3(42) (In Russian)
12. Kotov, P., Stanilovskaya, J. Long-term Strength of Frozen Saline Soils. *Magazine of Civil Engineering*. 2022; 113(5): 11307.
13. Stetjukha, V.A. Frost Cracks Formation in Permafrost Regions. *Magazine of Civil Engineering*. 2021; 104(4): 10405.

14. Krasil'nikov, P.A., Andrianov, A.V., Erofeev, E.A. An Overview of Software for Calculating the Dynamics of Temperature Field Changes in Permafrost in Building Foundations. *Geologiya*. 2024; (7): 104–111. (In Russian)

Сведения об авторах

Низовцев Михаил Иванович, докт. техн. наук, гл. научный сотрудник, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 1; ведущий научный сотрудник, Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, 683032, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная 4, nizovtsevmi@mail.ru

Стерлягов Алексей Николаевич, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева 1; научный сотрудник, Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, 683032, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная 4, 30j@mail.ru

Authors Details

Mikhail I. Nizovtsev, DSc, Chief Researcher, The Kutateladze Institute of Thermal Physics SB RAS, 1, Academician Lavrent'ev Str., 630090, Novosibirsk, Russia; Kamchatka State University named after Vitus Bering, 683032, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, nizovtsevmi@mail.ru

Aleksey N. Sterlyagov, PhD, Senior Researcher, The Kutateladze Institute of Thermal Physics SB RAS, 1, Academician Lavrent'ev Str., 630090, Novosibirsk, Russia; Kamchatka State University named after Vitus Bering, 683032, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 30j@mail.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.