



**Сборник докладов
Шестой конференции геокриологов России
«Мониторинг в криолитозоне»**

с участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов

**МГУ имени М.В. Ломоносова
14 - 17 июня 2022**

Пленарные доклады

Доклады по секциям:

Секция 1. Газы и газогидраты в криолитозоне

Секция 2. Геокриологическая съемка и картирование

Секция 3. Геокриологический мониторинг

Секция 4. Геофизические исследования в криолитозоне

Секция 5. Динамическая геокриология

Секция 6. Изменения климата и реакция криолитозоны

Секция 7. Инженерная геокриология и инженерные изыскания в криолитозоне

Секция 8. История, методология и образование в геокриологии

Секция 9. Литогенетическая геокриология

Секция 10. Основания и фундаменты зданий и инженерных сооружений в условиях изменения климата

Секция 11. Физико-химия, теплофизика и механика мерзлых грунтов

Секция 12. Региональная и историческая геокриология

Секция 13. Экологические и биологические проблемы криолитозоны

Москва
КДУ
2022

УДК (551.34+551.345+556.12+528.9)
ББК 26.36
М34

Сборник докладов Шестой конференции геокриологов России
М34 **«Мониторинг в криолитозоне»** с участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов. МГУ имени М.В. Ломоносова, 14 - 17 июня 2022 г. : сборник статей, [электронное издание сетевого распространения] / Под редакцией Р.Г. Мотенко. – М.: «КДУ», «Добросвет», 2022. – 1130 с. табл., ил. – URL: <https://bookonline.ru/node/44945> – doi: 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1231-0-2022-1130.

ISBN 978-5-7913-1231-0

Всероссийская конференция геокриологов с международным участием проводится в целях представления последних результатов и координации научных исследований, обобщения опыта изысканий, проектирования и эксплуатации зданий и инженерных сооружений в криолитозоне, определения приоритетов и разработки совместного плана действий для власти, науки и бизнеса в сфере мониторинга и изменений в криосфере, строительства и освоения Арктики. Рассматриваются проблемы по следующим научным направлениям: газы и газогидраты в криолитозоне; геокриологическая съемка и картирование; геокриологический мониторинг; геофизические исследования в криолитозоне; динамическая геокриология; изменения климата и реакция криолитозоны; инженерная геокриология и инженерные изыскания в криолитозоне; история, методология и образование в геокриологии; литогенетическая геокриология; основания и фундаменты зданий и инженерных сооружений в условиях изменения климата; физико-химия, теплофизика и механика мерзлых грунтов; региональная и историческая геокриология; экологические и биологические проблемы криолитозоны.

УДК (551.34+551.345+556.12+528.9)
ББК 26.36

Электронное издание сетевого распространения.
Технический редактор Лисицына О.М.
Компьютерная верстка Шевчик Ф.А., Зубкова А.В., Черняк Ю.В.
Опубликовано 08.06.2022.
Издательство «КДУ»: 8(495) 638-57-34. www.kdu.ru

ISBN 978-5-7913-1231-0

© Коллектив авторов, 2022
© Издательство «КДУ», 2022

- [3] Гапеев, С.И. Укрепление мерзлых оснований охлаждением / С.И. Гапеев. - М.: Стройиздат, 1969. - 104 с.
- [4] ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация.
- [5] Зворыкина Ю.В., Калабина М.В. О проявлениях глобальных изменений климата в Арктике // РЭЭ №5-6, 2019.
- [6] Ибрагимов, Э.В. Прогноз напряженно-деформированного состояния термостабилизированного основания / Э.В. Ибрагимов, Я.А. Кроник, В.Н. Парамонов // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 2018. - № 6. - С. 36-40.
- [7] Исаченко В.П., Осипов В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергоиздат, 1981. - 416 с.
- [8] Комаров И.А., Ананьев В.В., Бек Д.Д. Использование хладоресурса сжиженного природного газа для промораживания засоленных грунтов, вмещающих криопэги. // ОФМГ Основания, Фундаменты и Механика Грунтов, 2016, № 2, - С. 31-36.
- [9] Комаров, И.А., Ананьев В.В., Бек Д.Д., Исаев В.С. Проблемы термостабилизации грунтовых оснований инженерных сооружений. / Материалы V конференции гкриологов России, Москва, 2016. - С. 266-278.
- [10] Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. - М.: Энергия, 1980. - 288 с.
- [11] Кроник, Я.А. Динамика аварийности и безопасности природно-техногенных систем в криолитозоне / Я.А. Кроник // Материалы IV Конференции геокриологов России. - 2011. - Том 3., ч. 8. - С. 285-292.
- [12] Михеев М.А. Основы теплопередачи. - М. - Л.: ГЭИ, 1956. - 390 с.
- [13] Прокопюк И.В., Кривов Д.Н., Шевчик Ф.А. Современные подходы к организации мониторинга температуры многолетнемерзлых грунтов. / Материалы 5-ой конференции «День науки 2020». - «КДУ», «Добросвет» Москва, 2020. с. 61 – 67.
- [14] Попов А.П. Геотехнический мониторинг в криолитозоне. Экологическая или промышленная безопасность // Записки Горного института. – 2010. – Т. 188.
- [15] СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.
- [16] ТУ 28-99-39-001-70577056-2018 Термоколонка стабилизирующая ТКС. Технические условия.
- [17] Хрусталева, Л.Н. Основы геотехники в криолитозоне: учебник для студентов ВУЗ / Л.Н. Хрусталева. - М.: Изд. МГУ, 2005. - 544 с.
- [18] Хрусталева Л.Н., Пармузин С.Ю., Емельянова Л.В. Надежность северной инфраструктуры в условиях меняющегося климата: монография / Л.Н. Хрусталева, С.Ю. Пармузин, Л.В. Емельянова. – М.: Университетская книга, 2011. – 260 с.
- [19] Means for Maintaining Permafrost Foundations. Pat. USA. N 3, 217, 791, Cl 165-45 / Long E.L. - 1964.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ОБЪЕКТОВ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В САЛЕХАРДЕ: ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОГРАММА

Шейн А.Н.¹, Филимонов М.Ю.^{2,3}, Камнев Я.К.¹, Ваганова Н.А.^{2,3}

¹ Научный центр изучения Арктики, Салехард, Россия; *e-mail:*

A.N.Shein@yandex.ru

² Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского УрО РАН,
Екатеринбург, Россия;

e-mail: vna@imm.uran.ru, fmy@imm.uran.ru

³ Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

В работе описывается методика мониторинга температуры мерзлых грунтов при помощи термометрических скважин и компьютерного моделирования под зданиями со свайным фундаментом в городе Салехард. Температурные данные со скважин передаются на сервер для последующей обработки и становятся доступными для компьютерного моделирования трехмерных нестационарных тепловых полей в грунте во всей области свайного фундамента. Сравнение результатов численных расчетов с экспериментальными данными показали хорошее совпадение. На основе рассчитанных температурных полей вычислены несущие способности всех свай одного из зданий в заданный момент времени и дан прогноз их изменений в будущем.

AUTOMATED CONTROL OF SOIL TEMPERATURE OF FOUNDATIONS OF BUILDINGS IN SALEKHARD: EQUIPMENT AND PROGRAM

Shein A.N.¹, Filimonov M.Yu.^{2,3}, Kamnev Y.N.¹, Vaganova N.A.^{2,3}

¹ Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, Salekhard, Russia;
e-mail: A.N.Shein@yandex.ru

²Krasovskii Institute of Mathematics and Mechanics, Ural Branch of RAS,
Yekaterinburg, Russia;

e-mail: vna@imm.uran.ru, fmy@imm.uran.ru

³Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

The paper describes a method of monitoring the temperature of frozen soils using thermometric wells and computer simulation under buildings with pile foundations in the city of Salekhard. Temperature data from the wells are transferred to the server for further processing and become available for computer simulation of three-dimensional non-stationary thermal fields in the soil of the area of the pile foundation. The results of numerical calculations and the experimental data are in good agreement. Based on the computed temperature fields, the bearing capacities of all piles of one of the buildings at a time moment are calculated and a forecast of their changes in the future is given.

Введение

Криолитозона занимает 35 млн. км², что составляет больше четверти суши Северного полушария. Непосредственное отношение к криолитозоне имеет Россия, где вечная мерзлота занимает 60–65% территории или 11 млн. км² [1, 2]. Мерзлые грунты могут значительно различаться по структуре, степени льдистости, температуре и другим характеристикам. Все эти параметры должны учитываться при строительстве и эксплуатации капитальных объектов в условиях криолитозоны.

Сегодня российская Арктика развивается быстрыми темпами, а возведение и дальнейшая эксплуатация инфраструктуры в условиях многолетнемерзлых пород (ММП) сопровождаются рядом проблем. Всё больше исследований посвящено современному состоянию ММП и прогнозированию развития ситуации в зонах вечной мерзлоты [3, 4, 5, 6, 7]. По некоторым прогнозам несущая способность грунтов оснований зданий и сооружений за 1990–2010 г. по сравнению с климатической нормой 1960–1990 г. в некоторых районах уменьшилась до 45%, а к 2050 году уменьшится ещё на 25%. Такие оценки кажутся вполне реальными при рассмотрении текущей ситуации [8,9].

Большинство жилых зданий и промышленных сооружений в зоне вечной мерзлоты возводятся по принципу сохранения мерзлого состояния грунтов оснований. Однако, при строительстве объектов и дальнейшей эксплуатации используются устаревшие нормы и правила [10, 11]. Но эксплуатационные нормы носят рекомендательный характер и зачастую не выполняются эксплуатирующими организациями. В первую очередь это касается температуры, контроль которой необходим для подтверждения требуемой несущей способности грунтов основания и предотвращения опасных мерзлотных геологических процессов (термокарст, просадка, пучение и др.).

Для безопасной эксплуатации зданий и сооружений в зоне многолетних мерзлых грунтов в ЯНАО с 2018 г. разрабатывается система автоматизированного температурного мониторинга [12, 13], включая программу для расчёта нестационарных тепловых полей под зданиями со свайными фундаментами с возможностью пересчёта полученных значений в текущую и будущую несущую способность грунтов. Для апробации методики в 2020 г. администрация г. Салехарда предоставила четыре капитальных здания, где для отработки и оптимизации методики было пробурено и

оборудовано термометрическими косами около 80 скважин. Плотная сеть термометрических скважин позволяет получить уникальные данные, которые можно использовать для численного моделирования и прогнозирования температуры грунта во всей области расположения свайного фундамента.

Методика дистанционного мониторинга температуры грунта

Автоматизированный мониторинг за температурой грунтов заключается в устройстве термометрических скважин в вентилируемом подполье на глубину не менее фактической длины сваи под данным жилым сооружением (10 метров и более). Пробуренные скважины оборудованы термокосами (шаг термодатчиков 0.5 м до глубины 5 м, далее 1 м), подключёнными к системам автоматического мониторинга температуры САМ-мерзлота (производство ИП Кураков Сергей Анатольевич, город Томск). Погрешность калибровки датчиков измерения температуры: $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$. Разрешающая способность измерения температуры: 0.07°C .

Данное оборудование регистрирует и передаёт температуру грунтов основания здания в единую базу на удалённый сервер при помощи GSM модуля. Данные дублируются на специально разработанный веб-ресурс <https://monitoring.arctic.yanao.ru>. Для специалистов и всех заинтересованных лиц предусмотрен полный доступ к ресурсу, где реализованы следующие возможности:

- отображение объектов мониторинга на карте с возможностью просмотра расширенной информации (количество скважин, время установки и др.);
- отображение плана размещения термометрических скважин для капитальных объектов с возможностью просмотра информации по каждой из скважин;
- отображение данных в виде таблиц и графиков, а также их экспорт для выбранных термометрических скважин.

Результаты мониторинга температуры грунтов под жилыми зданиями

Для апробации методики под жилым зданием I и II оборудовано 24 и 16 скважин соответственно (рис. 1). Густота скважин обусловлена отработкой методики: определение оптимального расстояния между скважинами и тестирование разрабатываемой программы для расчёта нестационарных тепловых полей с возможностью пересчёта полученных значений в текущую и будущую несущую способность грунтов. Замер температур производится каждые 3 часа, данные передаются на сервер каждые 12 часов.

Оборудованная плотная сеть мониторинга позволяет провести трёхмерную интерполяцию температуры грунтов в основании фундамента. Такая интерполяция средненедельной температуры грунтов представлена на рисунке 2 для жилых зданий I и II в декабре 2020 г и мае 2021 г. Здесь сине-зелёным-жёлтым цветам соответствуют отрицательные температуры, а красным – положительные, красные точки – термометрические датчики, серые столбики – положение свай. В начале зимнего периода, в декабре (рис. 2а, 2в) температура грунтов находится на максимальных значениях $-1 - -2^{\circ}\text{C}$, а в мае (рис. 2б, 2г) температура опускается до $-6 - -7^{\circ}\text{C}$.

Под зданием I существует локальная талая зона, которая чётко видна на трёхмерной картине (красная область на рис. 2а). Повышение температуры грунта в этом месте, вероятно, вызвана утечками из коммуникаций, которые погружаются в землю в этом месте. Выявленная аномалия промерзает в зимней период, что можно увидеть в мае 2021 г (рис. 2б). Дальнейший мониторинг позволит выяснить и спрогнозировать влияние этого нарушения на мёрзлые породы под зданием и несущую способность грунтов.

Под зданием II, в отличие от первого объекта, не выявлено аномальных зон растепления (рис. 2в, 2г). Температурная картина равномерная слоистая, а грунты

находятся в мёрзлом состоянии. Есть температурные неоднородности в зоне отрицательных температур, причины которых предстоит выяснить в дальнейшем.

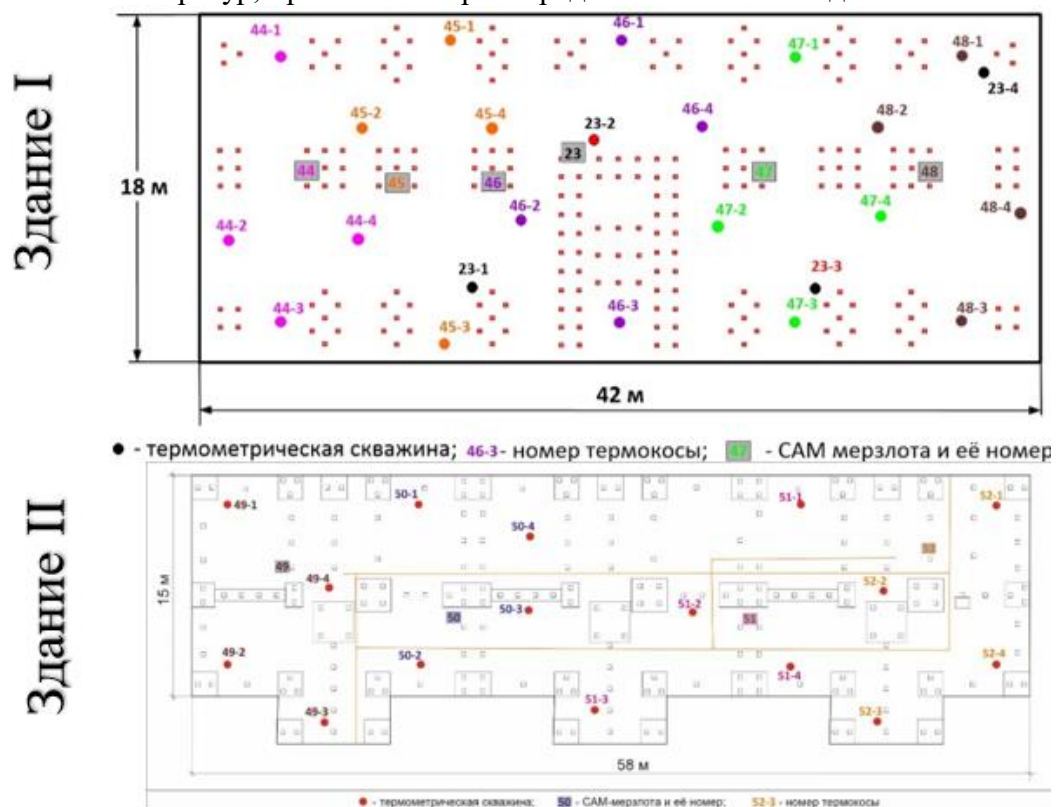


Рисунок 1. Схема расположение термометрического оборудования в скважинах под зданиями I и II.

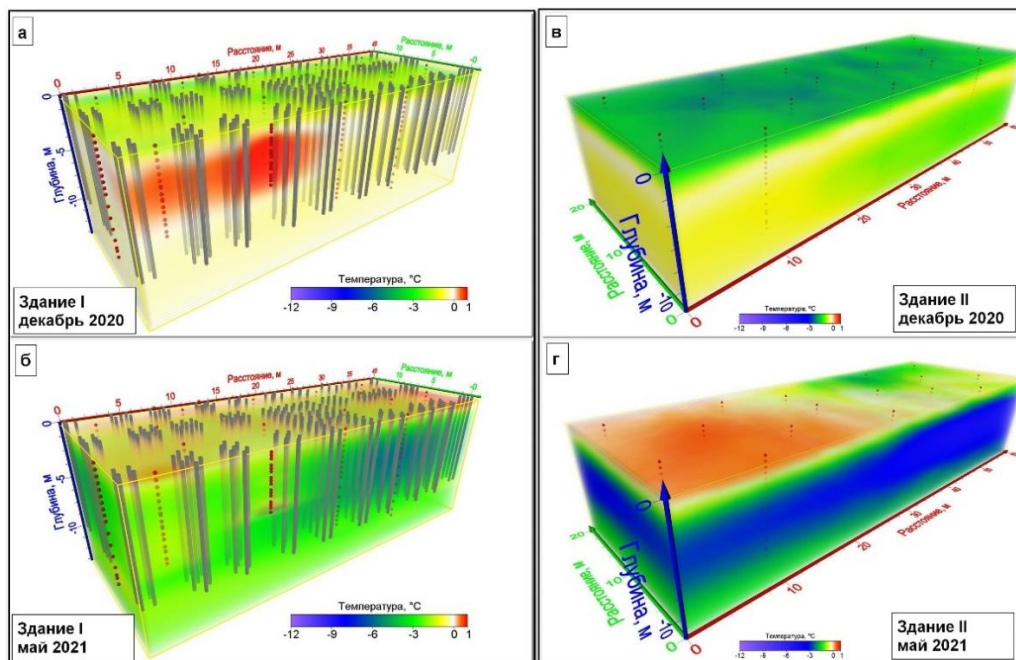


Рисунок 2. Трёхмерная интерполяция средненедельной температуры грунтов, измеренной в основании фундамента жилых зданий: (а) – 1-6 декабря 2020 г. здание I, (б) – 24-30 мая 2021 г. здание I, (в) – 1-6 декабря 2020 г. здание II, (г) – 24-30 мая 2021 г. здание II

Численное моделирование

Для моделирования тепловых полей в грунте, содержащим свайные фундаменты жилых зданий в северных городах, следует учитывать различные климатические и физические факторы. К первой группе факторов относится, сезонное изменение температуры воздуха, приводящее к периодическому протаиванию (промерзанию) грунта, снежный покров, учет солнечного излучения в случае необходимости и т.п. Ко второй группе факторов относятся теплофизические параметры грунтов, которые могут меняться при изменении температуры. Для полного моделирования тепловых полей в расчетной области, содержащей свайный фундамент, следует учитывать геометрические места расположения свай, их размеры, наличие сезоннодействующих охлаждающих устройств (СОУ) и возможные источники тепла, выявляемые в ходе мониторинга с помощью термометрических скважин.

На основе известных алгоритмов и моделей [14, 15, 16] реализована программа TИPFIS для расчета нестационарных тепловых полей под зданиями со свайными фундаментами в зоне распространения многолетнемёрзлых грунтов [13, 17, 18]. Численный алгоритм, реализованный в программе, учитывает данные мониторинга температуры грунта и технические особенности конкретного свайного фундамента.

Для тестирования разработанной программы было использовано здание I, где для температурного мониторинга грунта используется 24 скважины (рис. 1, сверху). Первые Накопленные данные наблюдений мониторинга были проанализированы в [13]. При бурении термометрических скважин проводилось подробное геологическое описание грунтов и анализ образцов грунтов, что позволило с некоторым приближением восстановить теплофизических характеристик грунта в области свайного фундамента и построить трёхмерную физико-геологическую модель основания здания I. Построенная модель использовалась при расчётах.

На рисунке 3 приведено рассчитанное поле температур на глубине 2.3 м в плоскости $\{x,y\}$ в декабре 2020 г. и январе 2021г. Отчетливо видна работа СОУ, усиливающаяся в январе: увеличивается охлаждённая область (оттенки синего). Аномальная тёплая область грунта (оттенки красного/жёлтого), выявленная с помощью термометрических скважин (области с координатами $\{7;4\}$ и $\{15;4\}$), в процессе работы СОУ начинает охлаждаться, что соответствует дальнейшему мониторингу температуры грунта. Отметим, что в этом численном эксперименте использовались среднемесячные температуры в проветриваемом подполье.

При использовании среднемесячных температур и игнорирование истории работы СОУ рассчитываемые данные существенно отличались от температур, измеренных в термоскважинах. Данный подход давал только качественный характер распределение температуры в основании здания. Дальнейшие расчёты показали, что при учете климатических параметров при проведении расчетов температурных полей необходимо использовать среднесуточную температуру воздуха на основании данных температурного мониторинга и учитывать всю историю эксплуатации свайного фундамента, в первую очередь работу СОУ. На рисунке 4 показаны экспериментальные (сплошные линии) и рассчитанные (точечные кривые) температурные данные.

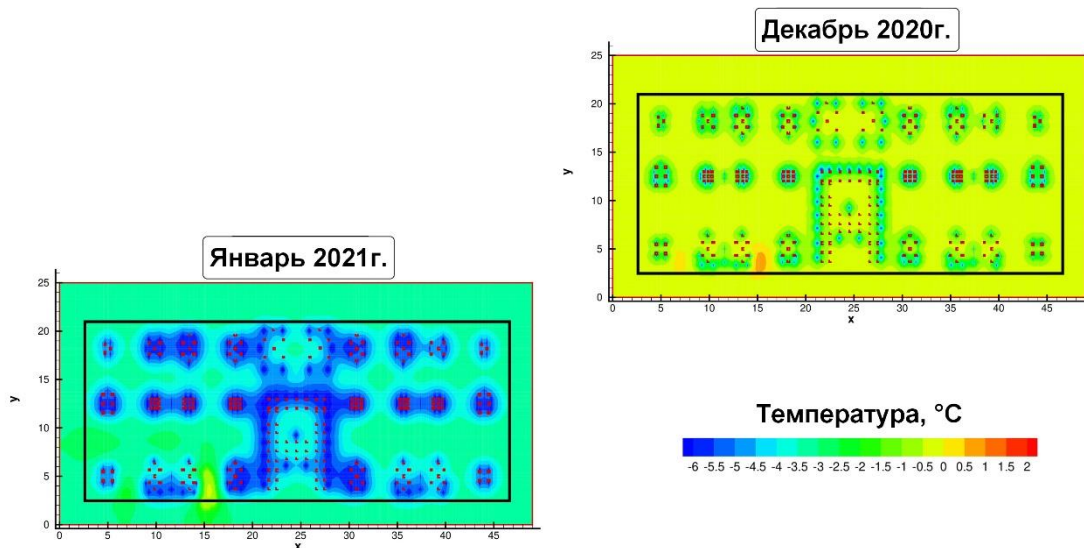


Рисунок 3. Поле температур на глубине 2.3 м под зданием I в декабре 2020 года и январе 2021 года в плоскости {x,y}.

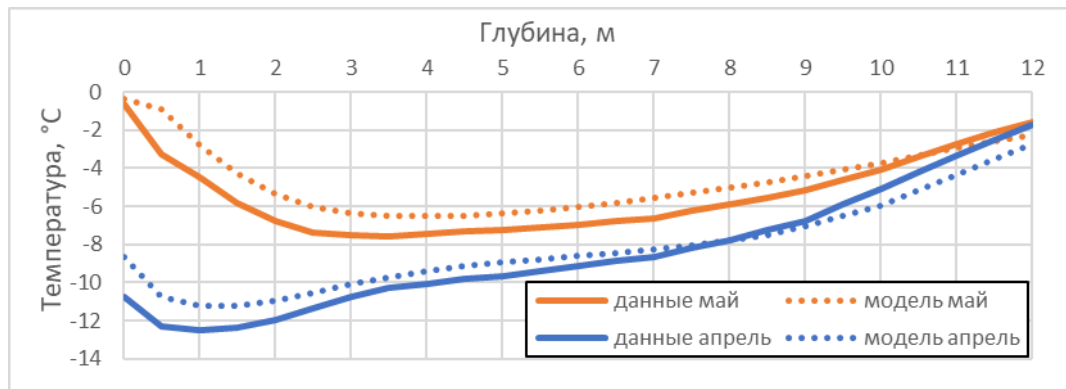


Рисунок 4. Полученная экспериментально и рассчитанная температура в скважине 44–1 под зданием I в апреле и мае 2021 года.

Для оценки несущей способности грунта в зоне свайного поля необходимо определить температуру на поверхности подземной части свай. Для здания I используются квадратные бурозабивные сваи: 229 свай со сторонами 300 мм и проектной глубиной подземной части 10 м. Для термостабилизации грунтов используется 186 СОУ (с диаметрами 38 мм и проектными глубинами подземных частей 10 м), большинство из которых, как и термометрические скважины расположены на площади проветриваемого подполья. На рисунке 5 представлена динамика распределения температуры на поверхности свай в декабре 2020 г. и январе 2021г.

Зная температуру на поверхности свай и используя действующий свод строительных правил [10], можно определить наименьшее и наибольшее значения несущей способности. Такой подход был реализован в отдельном модуле для программы TPFIS [18], проведены соответствующие тесты.

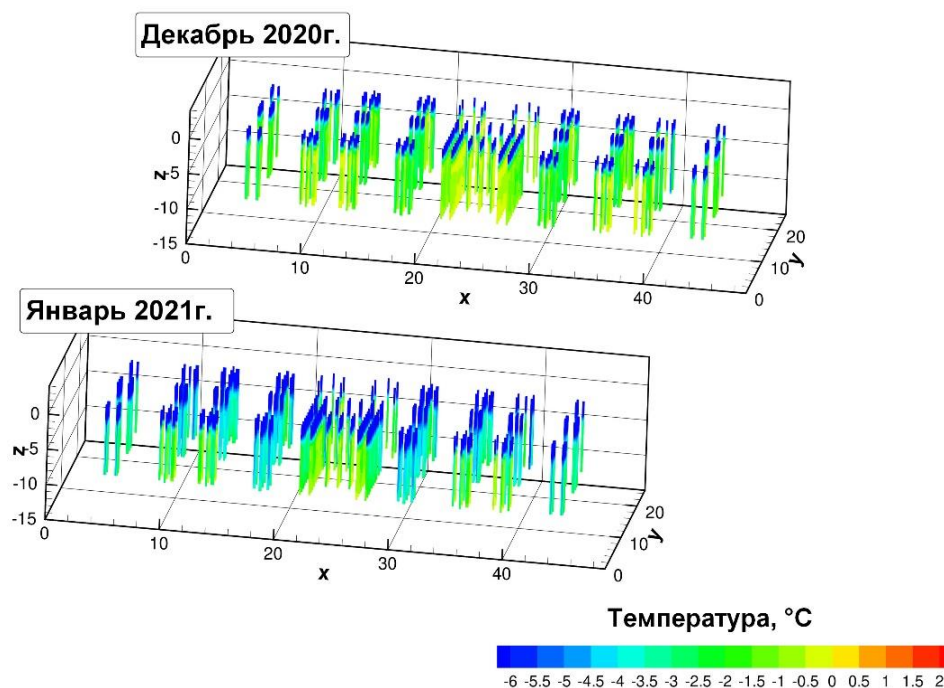


Рисунок 5. Рассчитанная температура на поверхности свай здания I в декабре 2020 года и январе 2021 года.

Заключение

Разработана система автоматизированного контроля температуры грунтов оснований объектов капитального строительства в г. Салехард, включающая приборную базу и программу для расчета нестационарных тепловых полей под зданиями со свайными фундаментами в зоне распространения многолетнемёрзлых грунтов.

В результате температурного мониторинга под зданием I выявлена локальная талая зона. Повышение температуры грунта в этом месте, вероятно, вызвана утечками из коммуникаций, которые погружаются в землю в этом месте. Дальнейший мониторинг позволит выяснить и спрогнозировать влияние этого нарушения на мёрзлые породы под зданием и несущую способность грунтов. Под зданием II температурная картина слоистая однородная, а грунты находятся в мёрзлом состоянии.

Установлено, что при компьютерном моделировании необходимо использовать среднедневную температуру. Кроме того, для здания I было показано, что необходимо учитывать не менее 3 предшествующих лет функционирования сезоннодействующих устройств в зоне свайного фундамента.

Разработан и протестирован программный модуль для расчета несущих способностей свай фундамента, опирающийся на теплотехнические расчеты температуры на поверхностях свай и строительные правила СП 25.13330.2021 [10].

Литература

1. Brown J., Ferrians Jr, O.J., Heginbottom J.A. and Melnikov E.S. (1997). Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions (p. 45). Reston, VA: US Geological Survey.
2. Brown J., Ferrians, Heginbottom J.A. and Melnikov E. (2002). Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions, Version 2. [online]. Boulder, Colorado USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center, DOI: 10.7265/skbg-kf16. (Accessed 15 Feb. 2021).
3. Nelson F.E., Anisimov O.A. and Shiklomanov N.I. (2001). Subsidence risk from thawing permafrost. Nature, 410, 889-890, DOI:10.1038/35073746.

4. Romanovsky V.E. and Osterkamp T.E. (2001) Permafrost: Changes and impacts / In R. Paepé & V. Melnikov (eds), *Permafrost Response on Economic Development, Environmental Security and Natural Resources*, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 297–315.
5. Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I. and Grebenets, V.I. (2012). Changes of foundation bearing capacity due to climate warming in Northwest Siberia. *Earth Cryosphere*, 16(1), 22-32. (in Russian with English summary).
6. Streletskiy, D. A., Suter, L. J., Shiklomanov, N. I., Porfiriev, B. N., and Eliseev, D. O. (2019). Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost. *Environmental Research Letters*, 14(2), 025003, DOI: 10.1088/1748-9326/aaf5e6.
7. Hjort, J., Karjalainen O., Aalto J., Westermann S., Romanovsky, V.E., Nelson F.E., Bernd Eitzelmüller and Luoto M. (2018). Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century. *Nature communications*, 9(1), 1-9, DOI: 10.1038/s41467-018-07557-4.
8. Grebenets V., Streletskiy D. and Shiklomanov N. (2012). Geotechnical safety issues in the cities of Polar Regions. *Geography, Environment, Sustainability*, 5(3), 104–119, DOI: 10.15356/2071-9388_03v05_2012_08.
9. Шейн, А. Н. Обзор научных и производственных работ по изучению многолетнемерзлых пород в естественных и антропогенных условиях / А. Н. Шейн, Я. К. Камнев // *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*. – 2020. – № 3(108). – С. 42–50. DOI: 10.26110/ARCTIC.2020.108.3.007
10. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. [Электронный ресурс] URL: <https://docs.cntd.ru/document/573659326> (дата обращения 15.03.2022 г.)
11. Постановление Госстроя РФ от 27.09.2003 N 170 «Об утверждении Правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда» [Электронный ресурс] / КонсультантПлюс: <http://www.consultant.ru/> URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44772/ (дата обращения 15.03.2022)
12. Громадский А.Н. Дистанционный контроль за температурным режимом вечномерзлых грунтов под зданиями г. Салехард / А.Н. Громадский, С.В. Арефьев, Н.Г. Волков, Я.К. Камнев, А.И. Сеницкий // *Научный вестник ЯНАО*. – 2019. – №3. – С. 17–21. DOI: 10.26110/ARCTIC.2019.104.3.003
13. Kamnev Y.K., Filimonov M.Y., Shein A.N., Vaganova N.A. Automated Monitoring The Temperature Under Buildings With Pile Foundations In Salekhard (Preliminary Results). *GEOGRAPHY, ENVIRONMENT, SUSTAINABILITY*. 0; <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-021>
14. Samarsky, A.A.; Vabishchevich P.N. *Computational Heat Transfer, Volume 2, The Finite Difference Methodology*; New York: Chichester, Wiley, 1995.
15. Vaganova, N.A.; Filimonov, M.Yu. Simulation of Cooling Devices and Effect for Thermal Stabilization of Soil in a Cryolithozone with Anthropogenic Impact. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 2019, 11386, 580–587. DOI: 10.1007/978-3-030-11539-5_68
16. Vaganova, N.; Filimonov, M. Simulation of freezing and thawing of soil in Arctic regions. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ* 2017, 72, 012006. DOI: 10.1088/1755-1315/72/1/012005
17. Н.А. Ваганова, М.Ю. Филимонов, Я.К. Камнев, А.Н. Шейн Расчет нестационарных температурных полей в зоне свайного фундамента зданий с учетом температурного мониторинга // *Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике*. Под ред. В.П. Мельникова и М.Р. Садуртдинова. - Салехард: 2021. – 75–77 с.
18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021660516. – М.: Роспатент, 28.06.2021. URL: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=EVM&DocNumber=2021660516&TypeFile=html (дата обращения 17.09.2021).