

*А. Н. Шейн*<sup>1,2\*</sup>

## **Характеристики температурного поля грунтовых оснований фундаментов зданий г. Салехард по данным мониторинга за 2023 г.**

<sup>1</sup> ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики», г. Салехард, Российская Федерация

<sup>2</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,  
г. Новосибирск, Российская Федерация

\* e-mail: a.n.shein@yandex.ru

**Аннотация.** В работе приводятся характеристики температурного поля грунтовых оснований фундаментов зданий г. Салехард, полученные по данным температурного мониторинга объектов капитального строительства в 2023 г. В результате анализа средних значений среднемесячной температуры оснований фундаментов зданий г. Салехард на глубинах 5-10 м за ноябрь 2023 года выявлено два здания с признаками оттаявшего грунтового основания: среднее значение температуры 0.86 и 0.28°C. Анализируя максимальные значения температуры в основаниях объектов выявлено ещё два дополнительных объекта с ослабленными тёплыми зонами.

**Ключевые слова:** термометрия, мерзлота, мониторинг, свайный фундамент

*A. N. Shein*<sup>1,2\*</sup>

## **Characteristics of the temperature field of the soil bases of the foundations of buildings in Salekhard according to monitoring data for 2023**

<sup>1</sup> Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, Salekhard, Russian Federation

<sup>2</sup> Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS,  
Novosibirsk, Russian Federation

\* e-mail: a.n.shein@yandex.ru

**Abstract.** The paper presents the characteristics of the temperature field of the ground foundations of buildings in Salekhard, obtained from the data of temperature monitoring of capital construction facilities in 2023. As a result of the analysis of the average values of the average monthly temperature of the foundations of buildings in Salekhard at depths of 5-10 m in November 2023, two buildings with signs of thawed soil foundation were identified: the average temperature of 0.86 and 0.28°C. Analyzing the maximum temperature values in the bases of the objects, two additional objects with weakened warm zones were identified.

**Keywords:** thermometry, permafrost, monitoring, pile foundation

### ***Введение***

Мерзлота занимает значительную (60-65%) часть северной территории РФ, которая продолжает активно развиваться ввиду богатства полезными ископаемыми и рекреационными ресурсами. Помимо труднодоступности Арктических территорий, мёрзлые породы осложняют их освоение из-за возникающих сложностей при возведении и дальнейшей эксплуатации инфраструктуры в таких

условиях [Шейн, Камнев, 2020]. Трудности возникают не только из-за сложного строения пород, но и ускорившихся в последнее время процессов деградации мерзлоты ввиду потепления климата. Например, вблизи г. Салехард, в настоящее время среднегодовая температура составляет около  $-4.3$  °С, а годовая сумма осадков – около 500 мм, тогда как в начале метеонаблюдений эти величины составляли  $-8.2$  °С и 180 мм соответственно. Наиболее активно температура воздуха повышалась в последние 30 лет. За период с 1990 по 2021 г. величина линейного тренда составила  $+0.06$  °С / год, по осадкам –  $+2.08$  мм/год [2]. В этой связи в последнее время крайне актуальны исследования текущего и прогнозного состояния мерзлоты, что необходимо для формирования планов по адаптации к климатическим изменениям; для проектных, изыскательных работах и их контроля; управления рисками и т.д.

Наиболее значимые с практической, экономической и социальной точки зрения являются работы по прогнозированию устойчивости уже возведённой и планируемой к строительству инфраструктуры на арктических и приарктических территориях – оценке несущей способности многолетнемёрзлых грунтов. Этому посвящена целая серия работ [3-5], где утверждается, что 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 %. При текущем тренде потепления климата к 2050 году несущая способность грунтов уменьшится ещё на 25% и более.

Очевидно, что учесть все факторы воздействия на вечную мерзлоту в антропогенных условиях крайне сложно. Тем не менее, проведение мониторинга температурного режима грунтов в основании действующей инфраструктуры, представляется наиболее очевидным выходом из сложившейся ситуации. Это позволит на ранних этапах выявлять начавшиеся негативные изменения в несущей способности грунтов и вовремя на них реагировать. С целью решения этой задачи и максимальной её автоматизации для эксплуатирующих организаций разрабатывается система автоматизированного контроля температуры грунтов оснований объектов капитального строительства в г. Салехард.

### ***Методы и материалы***

Система автоматизированного контроля температуры грунтов оснований объектов капитального строительства в настоящее время апробируется в г. Салехард и является составляющей региональной сети наблюдения за мерзлотой. Получаемая информация о мёрзлых грунтах под зданием позволит определить текущее состояние грунтового основания и прогнозировать развитие ситуации. С 2018 года в Салехарде оборудовано более 300 термометрических скважин под 34 капитальными объектами округа. Данные с приборов поступают на сервер в автоматическом режиме и собираются в единую систему хранения и визуализации геокриологической информации ГИС «ЯМАЛ-АРКТИКА» <https://monitoring.arctic.yanao.ru> [6-7]. Для специалистов и всех заинтересованных лиц предусмотрен полный доступ к ресурсу, где отображаются объекты мониторинга с информацией по расположению

скважин, возможностью отображения в виде графиков и экспорта полученных данных.

Для анализа использовались температуры грунтов, полученные в основаниях 30 зданий г. Салехард, где оборудованы термометрические скважины производителей ИП Кураков (г. Томск) и ООО «Русгеотех» (г. Москва). Установленные комплекты термометрической аппаратуры прошли тестирование и были запрограммированы на период измерения 3 ч, в соответствии с периодом измерения ближайшей метеостанции в аэропорту г. Салехард. Погрешность калибровки датчиков измерения температуры:  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ . Разрешающая способность измерения температуры:  $0.07^{\circ}\text{C}$ .

### *Результаты*

Для анализа использовались среднемесячная температуры грунтов в основании 30 капитальных объектов за ноябрь 2023 года, где по сети скважин проводится мониторинг, не менее 4 под каждым зданием. В каждой скважине установлены датчики через 0,5 м до 5 метров и далее до 12 метров каждый метр. После получения среднемесячной температуры грунтов на всех глубинах, по всем скважинам под зданием анализировались значение на интервале глубин 5-10 м. Далее можно вычислить среднее, максимальное и минимальное значение среднемесячных температур по всему зданию в целом. Глубины для анализа выбраны как наиболее рабочие и значимые для стабильности свайного фундамента: сезонно-талый слой не превышает 5 метров, а стандартная глубина заложения свай составляет 10 м. Среднемесячные значения рассчитывались для ноября – в этом месяце температуры грунтов близки к максимальным за год.

На рисунке 1 представлена схема расположения объектов мониторинга г. Салехард (разноцветные круглые маркеры) в цветовой гамме, отвечающей средним значениям среднемесячной температуры на глубинах 5-10 м за ноябрь 2023 года. В соответствии с СП 25.13330.2020 таблица Б.1 [8] температура замерзания песка  $-0.1^{\circ}\text{C}$ . На данном этапе работы, будем считать это значение предельно допустимым для мёрзлых грунтов под объектами мониторинга. Более высокие значения температуры – отклонение от нормы или вненормативные. Таким образом, красные тона соответствуют температурам грунтов с очевидным отклонениями от нормы (выше  $-0.1^{\circ}\text{C}$ ), желтые – на грани допустимых ( $-0.1^{\circ}\text{C}$  -  $-0.3^{\circ}\text{C}$ ), оттенки зелёного – в норме (ниже  $-0.3^{\circ}\text{C}$ ). При этом стоит понимать, что при приближении к жёлтой зоне каждый объект стоит анализировать в соответствии с литологией и проектной документацией.

При визуальном анализе, можно заметить, что вненормативные значения температуры грунтов имеют два объекта (рис. 1, красный и оранжевый маркер в центре схемы). Среднее значение температуры здесь  $0.86$  и  $0.28^{\circ}\text{C}$ , что явно сигнализирует о талом состоянии грунтов. Одно из обозначенных зданий признано аварийным, где сейчас проходят мероприятия по стабилизации состояния грунтов, второе подлежит капитальной реконструкции. Температура грунтов остальных зданий находятся в пределах нормативных значений от  $-0.39^{\circ}\text{C}$  до  $-2.7^{\circ}\text{C}$ .

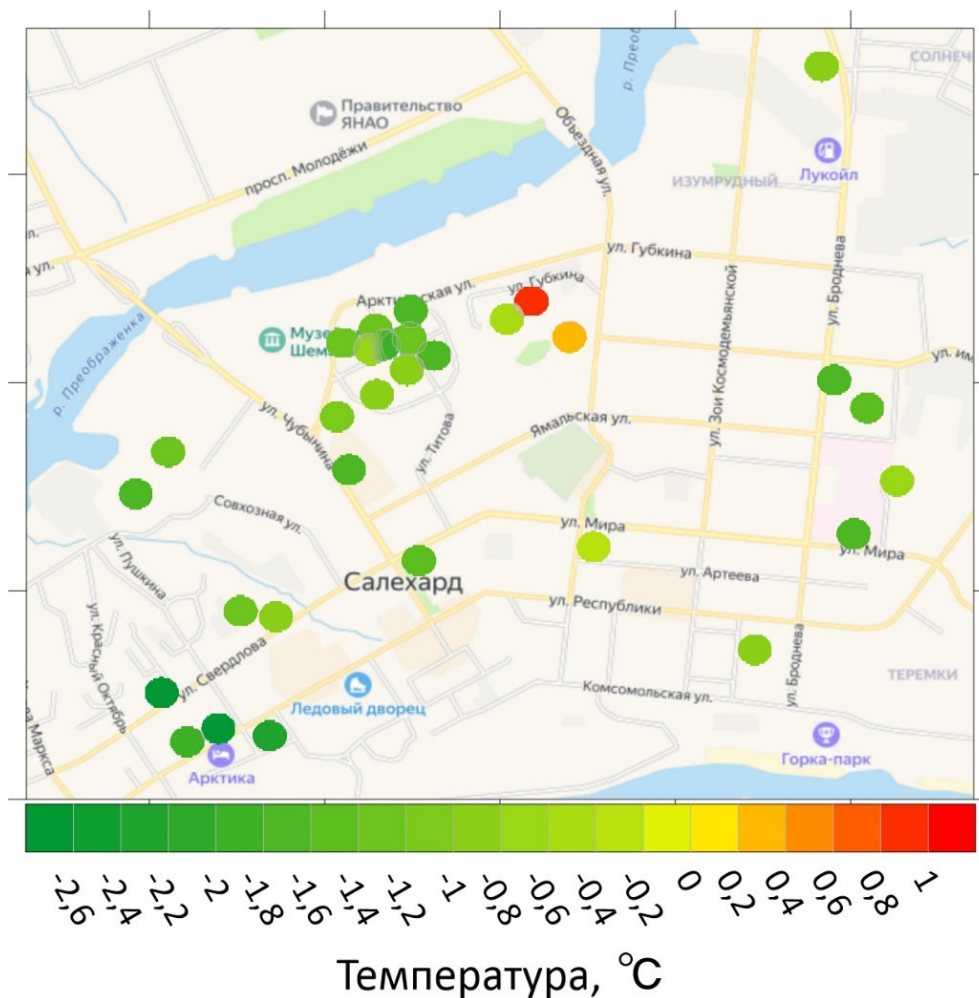


Рис. 1. Схема расположения объектов мониторинга г. Салехард в цветовой гамме, отвечающей средним значениям среднемесячной температуры на глубинах 5-10 м за ноябрь 2023 года

Ещё одна характеристика состояний грунтового основания объекта представлена на рисунке 2 – максимальная среднемесячная температура (рис. 2). Анализировались также температуры на глубинах 5-10 м за ноябрь 2023 года. Цветовая гамма идентична на обоих рисунках 1-2. Здесь визуально можно заметить смещение цветовых оттенков маркеров в жёлтую область, что сигнализирует о предельно допустимых значениях температуры. Это говорит о существовании скважин (зон/областей) с повышенными значениями температуры в основании таких контролируемых зданий. Тем не менее, помимо упомянутых ранее двух объектов, в красную зону переходят ещё два объекта. Максимальная температура грунтов остальных зданий от  $-0.1^{\circ}\text{C}$  до  $-2^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, несмотря на нормальную обстановку в целом по зданию (исходя из среднего значения), анализируя максимальные значения температуры в основаниях объектов можно выявлять объекты с ослабленными зонами, ставить их на особый контроль, выявлять динамику и причины распространения температурной аномалии с последующими рекомендациями к мероприятиям по стабилизации ситуации.

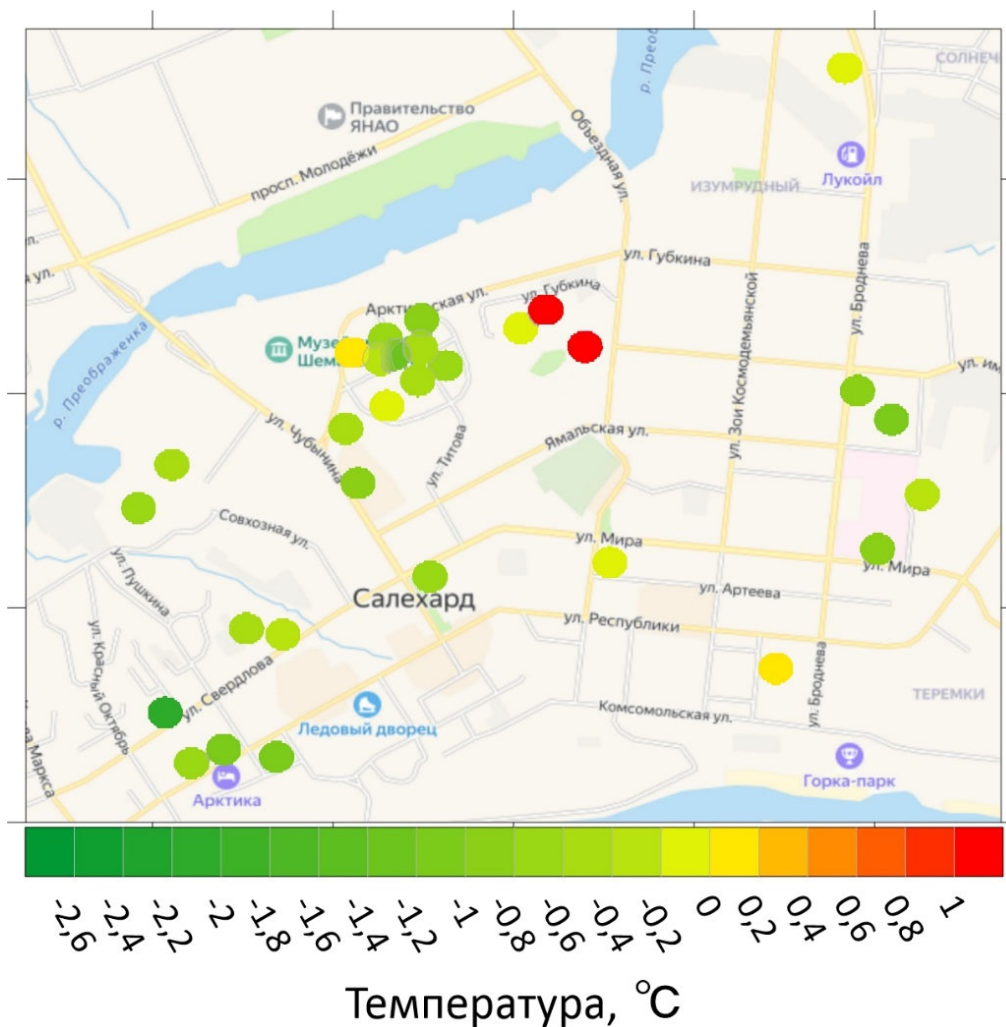


Рис. 2. Схема расположения объектов мониторинга г. Салехард в цветовой гамме, отвечающей максимальным значениям среднемесячной температуры на глубинах 5-10 м за ноябрь 2023 года

### *Обсуждение*

Анализ минимальных значений и дисперсии среднемесячной температуры в основании объектов может послужить дополнительной информацией к первым двум характеристикам.

Инженерно-геологические и мерзлотные условия в криолитозоне, как правило, обладают значительной неоднородностью. Поэтому при проектировании объекта, за редким исключением, выбирается или создаётся максимально однородная горизонтально-слоистая литология для основания фундамента капитального сооружения. Как следствие, при соблюдении норм и правил эксплуатации здания, в такой среде предполагается однородное температурное поле по глубине – значения температуры изменяются в узком диапазоне по профилю глубин во всех точках грунтового основания. Для определения меры разброса среднемесячных значений температуры под всем зданием относительно их среднего на определённой глубине или по зданию в целом предлагается использовать дисперсию в её классическом понимании.

Повышенное значение дисперсии, может быть признаком неоднородности температурного поля или наличия положительных или отрицательных отклонений от средней температуры – тепловых аномалий. Для апробации дополнительного инструмента выявления температурных отклонений в основаниях капитальных объектов от нормативных была рассчитана дисперсия для 30 объектов. Максимальную дисперсию имеют температурные данные под упомянутыми ранее зданиями с положительными значениями температур. Это говорит о том, что в дополнения к вненормативным значениям температурное поле носит неоднородный характер. Помимо двух уже подтверждённых объектов, был выделен ещё один с большим разбросом температурных значений, хотя остальные параметры оказались в пределах нормы. Это здание требует более детального анализа. Стоит заметить, что требуется и планируется дальнейшее апробирование и обоснованность применения дисперсии как источника дополнительной информации о состоянии грунтов в основании здания.

Таким образом, описательная статистика может быть основой для предварительного анализа данных автоматизированного температурного мониторинга. Визуализация статистических характеристик позволяет наглядно представить данные температурного мониторинга и выявить объекты с негативными изменения в мёрзлом грунтовом основании.

### *Заключение*

В результате анализа средних значений среднемесячной температуры оснований фундаментов зданий г. Салехард на глубинах 5-10 м за ноябрь 2023 года выявлено два здания с признаками оттаявшего грунтового основания: среднее значение температуры 0.86 и 0.28°C. Здания находятся в аварийном и предаварийном состоянии.

Анализируя максимальные значения температуры в основаниях объектов, можно выявлять объекты с ослабленными зонами: в красную вненормативную зону перешли ещё два здания, где необходимо контролировать динамику и выявить возможные причины возникновения области с повышенными значениями температуры грунтов.

Система автоматизированного контроля температуры грунтов оснований объектов капитального строительства в г. Салехард, которая насчитывает более 300 термометрических скважин под 34 капитальными объектами округа, является эффективным инструментом для контроля температуры мёрзлых грунтовых оснований зданий.

Приведённая визуализация статистических характеристик позволяет наглядно представить данные температурного мониторинга и выявить объекты с негативными изменениями в мёрзлом грунтовом основании.

### *Благодарности*

Работа выполнена в рамках проекта Западно-Сибирского межрегионального НОЦ «Прогноз деградации мерзлоты и технология автоматизированного контроля несущей способности мерзлых грунтов под объектами капитального строи-

тельства» при поддержке правительства Ямало-Ненецкого автономного округа. Автор благодарен специалистам участка инженерных изысканий ГАУ ЯНАО Научный центр изучения Арктики за создание мониторинговой инфраструктуры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шеин А.Н. Обзор научных и производственных работ по изучению многолетнемерзлых пород в естественных и антропогенных условиях / А.Н. Шеин, Я.К. Камнев // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2020. – (108), №3. – С. 42-50. DOI: 10.26110/ARCTIC.2020.108.3.007
2. Демидов Н.Э., Гунар А.Ю., Балихин Е.И., Гагарин В.Е., Гузева А.В., Дежникова А.А., Казанцев В.С., Кошурников А.В., Нарижная А.И. Строение, газосодержание и термическое состояние многолетних бугров пучения (булгунняхов) в долине р. Вась-Юган (окрестности г. Салехард, Западная Сибирь) // Геофизические процессы и биосфера. 2022. Т. 21, № 3. С. 27–38. <https://doi.org/10.21455/GPB2022.3-4>
3. Romanovsky V.E. & Osterkamp T.E. Permafrost: Changes and impacts / In R. Paepe & V. Melnikov (eds), Permafrost Response on Economic Development, Environmental Security and Natural Resources. – Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001. – P. 297–315.
4. Стрелецкий Д.А., Шикломанов Н.И., Гребенец В.И. Изменение несущей способности мёрзлых грунтов в связи с потеплением климата на севере Западной Сибири // Криосфера Земли. – 2012. – Т. XVI. – №1. – С. 22-32.
5. Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost / D.A. Streletskiy, L.J Suter, N.I Shiklomanov, B.N. Porfiriev and D.O. Eliseev // Environ. Res. Lett. – 2019. – Vol. 14 – №2. – 025003. DOI: 10.1088/1748-9326/aaf5e6
6. Дистанционный контроль за температурным режимом вечномёрзлых грунтов под зданиями г. Салехард / А.Н. Громадский, С.В. Арефьев, Н.Г. Волков, Я.К. Камнев, А.И. Синицкий // Научный вестник ЯНАО. – 2019. – №3. – С. 17-21
7. Система автоматизированного геокриологического мониторинга [online] Available at: <https://monitoring.arctic.yanao.ru/> (дата обращения: 13.04.2024).
8. СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства российской федерации. – М., 2020. – 135 с.

© А. Н. Шеин, 2024