

УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ В ГОРОДАХ НОРИЛЬСКЕ И МУРМАНСКЕ

И.В. КОЛЫБИН, канд. техн. наук
А.В. СКОРИКОВ, канд. техн. наук
О.А. ПОТАПОВА✉

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

Аннотация

Введение. В рамках программы реновации в Норильске в ближайшие годы планируется комплексное изменение городской среды и инженерной инфраструктуры, предполагающее строительство новых жилых домов, детских садов, школ, поликлиник и восстановление зданий, которые имеют историческую ценность. В городе Мурманске в ближайшее время также планируется строительство более 400 тысяч квадратных метров жилья, детских садов и сопутствующей инфраструктуры.

Цель. Обобщение и анализ применяемых технических решений по основаниям и фундаментам в существующих в настоящее время жилых домах в городах Норильске и Мурманске, рассмотрение всех усложняющих факторов, касающихся геотехнической части проектирования, обзор рекомендаций по применению наиболее целесообразных технических решений для вновь строящихся жилых домов в этих городах.

Материалы и методы. Рассмотрен исторический опыт строительства жилых домов в городах Норильске и Мурманске, дана информация по аварийным ситуациям в жилых домах, сделаны выводы об их причинах, связанных с основаниями и фундаментами. Анализ выполнялся на основании литературных и архивных данных, а также по информации из других открытых источников СМИ в сети Интернет.

Результаты. На основании опыта работы АО «НИЦ «Строительство» приведены обобщенные рекомендации по принятию оптимальных технических решений по основаниям и фундаментам при проектировании жилых домов в городах Норильске и Мурманске.

Выводы. Для обеспечения устойчивости и надежной эксплуатации жилых домов в городах Норильске и Мурманске все принимаемые технические решения по фундаментам и способам подготовки оснований должны учитывать многолетний опыт проектирования и строительства в этих регионах и основываться на достоверных данных инженерно-геологических изысканий, а также быть подтверждены расчетами механического и теплового взаимодействий зданий с грунтами оснований в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Ключевые слова: многолетнемерзлые грунты, скальные грунты, жилые здания, основания, фундаменты, сваи, прогноз температуры, деформации, устойчивость, изменение климата

Для цитирования: Колыбин И.В., Скориков А.В., Потапова О.А. Учет особенностей инженерно-геологических условий при проектировании оснований и фундаментов в городах Норильске и Мурманске. Вестник НИЦ «Строительство». 2025;46(3):158–173. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-3\(46\)-158-173](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-3(46)-158-173)

Вклад авторов

Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку публикации.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках договора с Федеральным центром нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве (ФАО «ФЦС»).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 25.07.2025

Поступила после рецензирования 21.08.2025

Принята к публикации 28.08.2025

SPECIFIC FEATURES OF ENGINEERING AND GEOLOGICAL CONDITIONS IN THE DESIGN OF BASES AND FOUNDATIONS IN NORILSK AND MURMANSK

I.V. KOLYBIN, Cand. Sci. (Engineering)

A.V. SKORIKOV, Cand. Sci. (Engineering)

O.A. POTAPOVA✉

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

Abstract

Introduction. The Norilsk renovation program envisages comprehensive changes to the urban environment and engineering infrastructure in the coming years, including the construction of new residential buildings, kindergartens, schools, clinics, as well as the restoration of buildings of historical value. The City of Murmansk also plans to construct over 400,000 square meters of housing, kindergartens, and related infrastructure in the near future.

Aim. To summarize technical solutions used for bases and foundations in residential buildings in Norilsk and Murmansk, to consider all complicating factors related to geotechnical design, and to review recommendations on the most appropriate technical solutions for new residential buildings in these cities.

Materials and methods. The experience in constructing residential buildings in Norilsk and Murmansk is examined using literary and archival data, as well as information from other open sources in the media on the Internet. Data on emergency situations in residential buildings is provided, and conclusions are drawn about their causes related to bases and foundations.

Results. Summary recommendations for adopting optimal technical solutions for bases and foundations when designing residential buildings in Norilsk and Murmansk are provided from the experience of JSC Research Center of Construction.

Conclusions. For sustainability and reliable operation of residential buildings in Norilsk and Murmansk, all technical decisions regarding foundations and methods of preparing bases should consider the long-term experience of design and construction in these regions thus being supported by reliable data from engineering and geological surveys. Furthermore, calculations of the mechanical and thermal interactions of buildings with foundation soils in accordance with the requirements of current regulatory documents should be used.

Keywords: permafrost soils, rocky soils, residential buildings, bases, foundations, piles, temperature forecasts, deformations, stability, climate change

For citation: Kolybin I.V., Skorikov A.V., Potapova O.A. Specific features of engineering and geological conditions in the design of bases and foundations in Norilsk and Murmansk. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2025;46(3):158–173. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-3\(46\)-158-173](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2025-3(46)-158-173)

Authors contribution statement

All the authors have made an equal contribution to the preparation of the publication.

Funding

The study was carried out under the contract with Federal Center for Regulation, Standardization, and Technical Assessment in Construction (FAU "FCC").

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 25.07.2025

Revised 21.08.2025

Accepted 28.08.2025

Введение

Город Норильск – самый северный город мира с численностью населения более 150 тысяч человек, административно входит в Красноярский край и расположен в 300 км к северу от Северного полярного круга, в 2400 км от Северного полюса, отличается крайне суровым климатом субарктического типа. Это один из наиболее холодных и ветреных городов мира, находится на территории сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов с мощностью мерзлоты 100–400 м и более.

Основным фактором, влияющим на принятие решений по основаниям и фундаментам зданий и сооружений, является вопрос теплового взаимодействия сооружений с мерзлыми грунтами основания. С точки зрения СП 25.13330.2020 [1], рекомендациями которого следует руководствоваться при строительстве на территории распространения многолетнемерзлых грунтов, к которой относится город Норильск, при проектировании оснований и фундаментов в первую очередь следует определить принцип строительства с точки зрения использования мерзлых грунтов в основании.

Для обеспечения устойчивости зданий в период строительства и в течение всего периода эксплуатации необходимо учитывать все характерные особенности грунтового основания участка строительства, такие как прочностные и деформационные характеристики грунтов, слагающих основание, наличие и степень засоленности, уровень грунтовых вод, наличие, глубина заложения и температурный режим мерзлых грунтов, а также необходимо прогнозировать изменение вышеперечисленных характеристик основания на период эксплуатации объекта с учетом воздействия факторов строительства зданий в зависимости от их конструктивных и иных особенностей.

Город Мурманск расположен за Северным полярным кругом, большая часть города расположена на Кольском полуострове, окруженном Баренцевым и Белым морями. Территория г. Мурманска также характеризуется сложными инженерно-геологическими, климатическими и логистическими условиями.

В настоящее время в Мурманске происходит снос аварийных домов, при этом причинами аварийности признаны не проблемы с фундаментами, а общее ветшание жилого фонда; предполагается строительство нескольких сотен тысяч квадратных метров нового жилья.

Несмотря на то что Мурманская область на территории Кольского полуострова характеризуется наличием островного распространения многолетнемерзлых пород мощностью до 50 м, непосредственно в городе Мурманске многолетнемерзлые грунты отсутствуют. Для города Мурманска характерно наличие скальных грунтов с различным положением кровли скалы. Соответственно, основным определяющим фактором грунтового основания при выборе типа фундамента является наличие либо отсутствие и глубина заложения скальных пород, являющихся прочным недеформируемым основанием для всех типов зданий, а также наличие с поверхности слоев торфа и других слабых грунтов.

Особенности строительства в городе Норильске

Географические, климатические и геологические условия в городе Норильске

Город Норильск является основным населенным пунктом Норильского промышленного региона, куда также входят районы Талнах и Кайеркан, жилое образование Оганер и поселок Снежногорск. Город Дудинка, находящийся в 90 км к западу от Норильска, в состав Норильского промышленного региона не входит, однако неразрывно связан с ним, выполняя функцию морского и речного порта для всех предприятий района, он также связан с Норильском железной и шоссейной дорогами. С городами Российской Федерации сухопутное сообщение отсутствует, за исключением зимних технологических дорог через Дудинку или Снежногорск на автомобилях повышенной проходимости. Связь городов Норильского промышленного района с центральными районами России осуществляется авиатранспортом через аэропорт Алыкель, расположенный в 34,5 км от г. Норильска. Кроме воздушного сообщения основная доставка грузов производится морским и речным путем через порт Дудинку по Севморпути круглогодично, а в летний период и по реке Енисей.

Норильский промышленный регион относится к районам Крайнего Севера и Арктической зоне. Норильск отличается крайне суровым климатом субарктического типа. Полярная ночь длится с 26 ноября по 13 января, полярный день – с 20 мая по 20 июля.

Зима в городе – долгая и холодная (средняя температура января – около минус 27 °С), характерной особенностью которой является частое установление морозной погоды в совокупности с сильными ветрами. Период с отрицательной температурой длится около 240 дней в году, при этом отмечается более 50 дней с метелями. Климатическая зима длится с начала октября до конца мая. Снежный покров сохраняется от 7 до 9 месяцев в году. Лето – короткое, прохладное (средняя температура июля – плюс 14,3 °С).

Среднегодовая температура воздуха в Норильске равна минус 9,6 °С, годовой ход абсолютной температуры составляет 85 °С. Среднегодовая относительная влажность воздуха – около 76%.

Инженерно-геологические изыскания района начались с конца 40-х годов в связи с началом проектирования и строительства промышленного района г. Норильска и проводились ведущими организациями Москвы, Ленинграда, Красноярска и др.

Норильск расположен в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Район относится к Енисей-Путоранскому геокриологическому региону, в пределах которого

выделяются три геокриологические области: Приенисейская аккумулятивная долина, Норильско-Рыбнинская межгорная равнина, Норильское и Харалахское структурно-денудационное плато.

Приенисейская аккумулятивная равнина охватывает небольшой участок в северо-западной части района, мощность многолетнемерзлых пород в ее пределах достигает 200 м.

Норильско-Рыбнинская межгорная равнина пересекает территорию Норильского промышленного района с юго-востока на северо-запад; в пределах Норильско-Рыбнинской равнины мощность мерзлоты изменяется в зависимости от абсолютных отметок рельефа, составляя в поймах рек 15–20 м, а в пределах распространения ледово-морских и озерных террас – до 50 м. На предсклоновых участках территории мощность ММП (многолетнемерзлых пород) увеличивается до 100 м.

Норильское и Харалахское структурно-денудационное плато характеризуются горным и предгорным типами и охватывают, соответственно, южную и северо-восточную части территории Норильского промышленного района. Мощность мерзлых пород подчиняется ярко выраженной высотной зональности, составляя 100–150 м в средней части склонов и 150–400 м на поверхности плато.

Толща многолетнемерзлых грунтов в пределах Норильского региона является эпикриогенной, что в основном определяет особенности криогенного строения горных пород. При прочих равных условиях наблюдается закономерное уменьшение льдистости с глубиной от 0,2–0,6 до 0,03–0,2 д. е., что свидетельствует о формировании эпикриогенной толщи мерзлых пород в условиях закрытой системы. Максимальной льдистостью характеризуется верхняя часть разреза (первые 5–10 м), что объясняется миграцией влаги к фронту промерзания. В целом льдистость уменьшается от тонкодисперсных пород к крупнообломочным.

Инженерно-геокриологические условия города Норильска характеризуются на большей части территории распространением многолетнемерзлых грунтов сливающегося и несливающегося типов на всю разведанную глубину, также встречаются участки распространения талых грунтов с линзами вечномерзлых грунтов – перелетков. Грунты от незасоленных до средnezасоленных.

Мерзлые породы представлены скальными, крупнообломочными, песчаными и глинистыми грунтами. Температурный режим многолетнемерзлых грунтов в пределах Норильского промышленного района отличается существенным разнообразием, в зависимости от геоморфологических условий, мощности снежного покрова, характера растительности и литологии пород, слагающих мерзлую толщу. Мерзлые грунты встречаются как высокотемпературные, так и низкотемпературные, твердомерзлые, пластичномерзлые и сыпучемерзлые, от слабольшедистых до сильнольедистых, встречаются также отдельные линзы льда. На большей части территории Норильска в основании встречаются скальные грунты – габбро-долериты, диабазы, базальты и т. д. Глубина залегания кровли скальных пород изменяется от нескольких десятков метров до выхода скалы на поверхность. Кровля скальных грунтов перекрыта озерно-ледниковыми дисперсными отложениями (песками, супесями, суглинками и крупнообломочными гравийными грунтами).

Четвертичные отложения представлены мохово-растительным слоем и торфом различной мощности, щебеночными и галечниковыми грунтами с крупностью отдельных элементов до 400 мм с глинистыми и песчаными заполнителями. Также четвертичные отложения

представлены мореной – суглинками, супесями с содержанием крупнообломочного грунта крупностью элементов до 200–400 мм.

На поверхности застроенной территории практически повсеместно имеются техногенные насыпные грунты, представленные в основном крупнообломочными дисперсными грунтами с глинистым заполнителем. Частицы (обломки) являются продуктом разработки месторождений, представлены базальтами средней прочности и прочными, крупностью отдельных элементов до 600 мм.

На территории Норильского промышленного региона наиболее широко представлены термокарстовые озера, морозобойные трещины, морозное пучение, процессы заболачивания и подтопления.

Современное состояние жилой застройки города Норильска и причины деформаций зданий

В настоящее время в жилом фонде Норильска представлены в основном 5–12-этажные здания с централизованным отоплением, холодным и горячим водоснабжением, электро-снабжением, а также административные, спортивные и культурные сооружения, асфальтированные дороги и пр.

В соответствии с действующими нормативными документами, основным из которых является СП 25.13330.2020 [1] (регламентирующий проектирование и строительство оснований и фундаментов зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах), при строительстве зданий и сооружений применяются два принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований:

– принцип I – многолетнемерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения или с допущением их промораживания в период строительства и эксплуатации;

– принцип II – многолетнемерзлые грунты основания используются в оттаянном или оттаивающем состоянии (с их предварительным оттаиванием на расчетную глубину до начала возведения сооружения или с допущением их оттаивания в период эксплуатации сооружения).

В Норильске исторически сложилось так, что строительство велось только на участках, где на относительно небольшой глубине залегает скальный грунт, на который и опирались фундаменты. Позже, когда строительство начало распространяться на участки, сложенные дисперсными многолетнемерзлыми грунтами, их использование всегда предполагалось по принципу I с применением мероприятий по сохранению мерзлоты в основании зданий, основным из которых является устройство вентилируемых подполий под зданиями. Соответственно, основным типом фундамента в городе и в регионе в целом является фундамент из свай (преимущественно погруженных буроопускным или буронабивным способом), опирающихся либо на скальный, либо на мерзлый дисперсный грунт (в этом случае здание имеет вентилируемое подполье).

В процессе эксплуатации застроенной городской территории произошли изменения инженерно-геокриологических условий, а именно, отмечается частичная деградация мерзлоты, выраженная в формировании техногенных таликов различной мощности (от 5–10 м от поверхности земли до нескольких десятков метров) за счет многолетнего теплового влияния на грунты основания зданий, сооружений, подземных коммуникаций, возведенных насыпей и других изменений в условиях теплообмена с окружающей средой. Деградация,

т. е. постепенное опускание кровли мерзлоты, а также повышение ее температуры даже в спектре отрицательных значений, является для города основной проблемой, приводящей к деформациям и аварийному состоянию жилых домов: за последние 30 лет в Норильске признаны аварийными десятки зданий. Причиной разрушения сооружений в большинстве случаев является снижение несущей способности свайных фундаментов, а также их просадочные деформации, связанные в основном с оттаиванием или повышением температуры мерзлых грунтов основания по причинам протечек из коммуникаций (засоление и минерализация грунтов из-за утечек сточных вод, попадание в грунты теплой воды), неудовлетворительной работе вентилируемых подполий, отсутствием сети ливневой канализации и т. д.

Изменение климата в последние годы также вызывает деструктивные процессы повышения температуры грунтов в основаниях фундаментов, что в дальнейшем может привести к еще большему количеству деформаций сооружений.

В процессе техногенного освоения территории произошли изменения также и в части гидрогеологических условий: состав подземных вод изменился в результате вертикальной планировки местности и освоения территории. Степень минерализации и химический состав подземных вод существенно изменились в связи с попаданием в них промышленных и сточных вод от эксплуатируемых в городе Медного и Надеждинского заводов. В результате этого ранее неагрессивные воды после освоения территории стали агрессивными, что не всегда учитывалось при проектировании.

Также одной из значимых причин неравномерных деформаций зданий является морозное пучение: касательные силы морозного пучения, воздействующие на боковые поверхности свай и приводящие к их поднятию, а также силы нормального морозного пучения, воздействующие на горизонтальные конструкции – подошвы столбчатых фундаментов, опор сетей и т. д.

Рекомендации по проектированию оснований и фундаментов вновь строящихся жилых домов в городе Норильске

Предполагается, что строительство новых жилых домов в городах Норильске и Мурманске будет осуществляться в виде многоэтажных (5–12 и более этажей), длинных, многоподъездных зданий, ширина которых не будет превышать 24 м.

С точки зрения взаимодействия с грунтами основания и факторов, влияющих на проектирование фундаментов, жилые дома в городе Норильске можно классифицировать следующим образом:

1. По передаваемым на основание и фундаменты нагрузкам:
 - 1.1. Нагрузки, зависящие от этажности зданий:
 - малоэтажные жилые дома – дома в 1–4 этажа;
 - многоэтажные жилые дома – в основном это 5–12-этажные здания.
 - 1.2. Нагрузки, зависящие от материалов конструкции дома:
 - деревянные жилые дома (дома из дерева можно встретить в малоэтажном жилом фонде);
 - кирпичные жилые дома (также представлены в основном в малоэтажном строительстве 1–5-этажных домов);
 - дома из сборных железобетонных панелей;
 - дома из монолитного железобетона.
2. По габаритам зданий в плане:

- здания шириной до 12 м;
- здания шириной до 24 м;
- здания шириной свыше 24 м.

3. По конструктивным схемам зданий:

- здания с несущими колоннами;
- здания с несущими стенами;
- смешанная конструктивная схема.

4. По передаваемой в грунты основания тепловой нагрузке:

– здания с вентилируемыми подпольями, т. е. плита перекрытия 1-го этажа поднята над поверхностью земли на высоту 1,5–2 м, образуя под домом открытое проветриваемое пространство;

– здания без вентилируемых подполий, т. е. полы 1-го этажа устраиваются по плите, уложенной непосредственно на грунт, либо устраивается заглубленный подвал.

Важнейшей характеристикой грунтового основания, определяющей принятие решения по основанию и фундаменту здания в Норильске, является наличие и глубина заложения скальных грунтов в основании участка строительства. При наличии скальных грунтов до глубины 15–20 м строительство можно вести без применения мероприятий по защите многолетнемерзлых грунтов от оттаивания, т. е. по принципу II с допущением оттаивания мерзлых грунтов в процессе эксплуатации здания. Фундаменты всех несущих конструкций домов (в том числе фундаментные плиты и полы по грунту) в этом случае следует проектировать с опиранием на скальный грунт, который при оттаивании не меняет своих свойств – в виде свай (или фундаментов мелкого заложения при залегании кровли скалы на глубине до 3–5 м).

В случае расположения площадки строительства жилого дома на участке, сложенном дисперсными мерзлыми грунтами, основным фактором, влияющим на принятие решений по основаниям и фундаментам зданий и сооружений в Норильске, является вопрос теплового взаимодействия сооружений с мерзлыми грунтами основания, поскольку прочностные и деформационные характеристики мерзлых грунтов зависят от их температуры. Определяющим и обязательным расчетом при проектировании фундаментов является прогнозный теплотехнический расчет изменения температурного режима грунтов основания с учетом всех влияющих тепловых факторов на весь период строительства и эксплуатации зданий, в том числе с учетом тренда повышения температуры воздуха в процессе глобального изменения климата. Расчет фундаментов по несущей способности и по деформациям должен выполняться для наихудшего на весь расчетный период распределения температуры грунта.

Учитывая мерзлотно-грунтовые условия города Норильска, при отсутствии скальных грунтов в основании, практически всегда следует применять принцип I строительства. Это обусловлено тем, что:

– мерзлые низкотемпературные грунты обладают достаточно высокой несущей способностью и практически отсутствием деформируемости, т. е. по своим свойствам приравниваются к скальным грунтам;

– в процессе эксплуатации в пределах зоны теплового влияния здания оттаивание мерзлого грунта приводит к образованию просадочных неравномерных деформаций, связанных с оттаиванием ледяных частиц и последующему уплотнению грунта, что происходит в массиве грунта независимо от типа фундамента и глубины его заложения;

– помимо деформативности, оттаявший мерзлый грунт теряет свои прочностные свойства, что также приводит к снижению несущей способности фундаментов и неравномерным деформациям.

Обязательно должны быть предусмотрены мероприятия по обеспечению устойчивости грунтового массива на весь период эксплуатации здания, т. е. по предотвращению возникновения и развития деформаций сооружения, вызванных постепенным оттаиванием мерзлой толщи грунтов в течение эксплуатационного периода.

В качестве такого мероприятия следует предусматривать в конструкции зданий пространства вентилируемого подполья, препятствующего попаданию теплого воздуха в грунт основания.

Для сохранения и понижения температуры мерзлых грунтов и, соответственно, сохранения и повышения их несущей способности следует применять, наряду с вентилируемыми подпольями, также мероприятия по искусственному понижению температуры грунтов методами термостабилизации – вертикальными сезонно-охлаждающими устройствами, устанавливаемыми у свай.

Существует также множество других технических решений по термостабилизации грунтов, однако для свайного фундамента с вентилируемым подпольем оптимальным решением являются именно отдельно стоящие вертикальные термостабилизаторы заводской готовности, работающие в зимний период года за счет холодного воздуха, не требующие затрат на электроэнергию для работы холодильно-компрессорного оборудования.

Таким образом, основным применяемым в настоящее время и рекомендуемым в дальнейшем типом фундамента в городе Норильске является фундамент из свай с вентилируемым подпольем, что предотвращает оттаивание мерзлоты и обеспечивает передачу нагрузок от зданий на недеформируемый мерзлый грунт. Также рекомендуется рассмотрение применения методов искусственной термостабилизации для дополнительного понижения температуры грунтов или для отсекания теплового потока от здания (при отсутствии вентилируемых подполий).

Варианты фундаментов без свай, а также без вентилируемых подполий могут быть использованы, но с обязательным расчетным обоснованием прогнозного изменения температуры грунтов и с применением при необходимости дополнительных мероприятий по термостабилизации грунтов.

Учитывая наличие в Норильске завода ЖБИ, выпускающего железобетонные сваи, следует в первую очередь применять изделия местного производства – готовые железобетонные сваи квадратного сечения различной длины.

Использование принципа II с применением предварительного оттаивания на расчетную глубину не является целесообразным и технически осуществимым: учитывая тот факт, что в естественном состоянии мерзлый грунт может быть как низко-, так и высокотемпературным и может находиться в твердомерзлом и пластичномерзлом состоянии, т. е. кроме льда содержит большое количество незамерзшей воды, то технически будет возможным осуществить оттаивание на какую-либо незначительную глубину. Но при отсутствии фильтрации оттаявшие участки толщи будут находиться в текучем состоянии, при этом основная часть мерзлого массива останется в пластичномерзлом состоянии, а дальнейший процесс оттаивания при эксплуатации приведет к просадкам сооружения.

Как упоминалось выше, причиной разрушения сооружений, построенных на территории мерзлых грунтов, в большинстве случаев является повышение температуры мерзлых грунтов и их оттаивание, что приводит к резкой потере несущей способности основания и к возникновению неравномерных сверхнормативных деформаций фундаментов.

Также причиной сверхнормативных деформаций фундаментов, которые могут привести к аварийному состоянию зданий, являются воздействия на фундаментные конструкции сил морозного пучения – касательных, действующих на боковые поверхности свай и грани фундаментов мелкого заложения, и нормальных, действующих на подошвы фундаментных плит и других фундаментов мелкого заложения. В условиях города Норильска при отсутствии в основании скальных грунтов для строительства жилых домов не рекомендуется применение плитных фундаментов (кроме случая их опирания на скальный либо непучинистый грунт), также практически отсутствуют случаи рекомендации применения фундаментов мелкого заложения, но в случаях, когда такие фундаменты все-таки применяются, основными способами избежать воздействия нормальных и касательных сил морозного пучения являются:

- заглубление подошв фундаментов ниже слоя сезонного промерзания – оттаивания, максимальная глубина которого определена прогнозным теплотехническим расчетом;
- нанесение на боковые грани фундаментов лакокрасочных покрытий, снижающих силы смерзания поверхности с грунтом;
- замещение грунта под подошвой фундаментов и в пазухах обратной засыпки котлована непучинистым грунтом – песчаным средней крупности и крупным.

Актуальной проблемой является также защита свай от воздействия касательных сил морозного пучения. С этой целью следует предусматривать следующие мероприятия:

- заглубление свай ниже слоя сезонного промерзания – оттаивания на глубину, при которой несущая способность по боковой поверхности свай будет выше, чем расчетная касательная сила морозного пучения (при наличии выдергивающих нагрузок на сваи – суммарно с этой величиной);
- нанесение на верхнюю часть свай лакокрасочных покрытий, снижающих благодаря гладкой поверхности силу смерзания свай с грунтом в слое сезонного промерзания – оттаивания;
- применение анкерных конструкций свай;
- понижение температуры грунтов для увеличения сил смерзания по боковой поверхности в грунте ниже слоя сезонного промерзания – оттаивания, т. е. несущей способности свай;
- уменьшение глубины слоя сезонного промерзания – оттаивания с помощью укладки теплозащитных экранов на поверхность грунта (но этот метод следует применять только с учетом результатов теплотехнических расчетов, подтверждающих отсутствие многолетнего повышения температуры основания из-за препятствия к поступлению холодного воздуха; в основном только с учетом применения термостабилизации грунтов);
- устройство в верхней части свай выемки и замещения грунта в пределах слоя сезонного промерзания – оттаивания непучинистым грунтом.

Особенности строительства в городе Мурманске

Климатические и геологические условия в городе Мурманске

Мурманская область расположена на севере Европейской части России и входит в состав Северо-Западного федерального округа. Мурманск является крупнейшим незамерзающим портом России, расположенным за полярным кругом. Почти вся территория Мурманской области находится за полярным кругом и относится к районам Крайнего Севера и Арктическому региону, около 70% территории расположено на Кольском полуострове.

Климат в южной части умеренно холодный, в северной – субарктический морской, смягченный теплым Северо-Атлантическим течением (северо-восточное продолжение Гольфстрима), что позволяет осуществлять судоходство круглый год. Средняя температура воздуха наиболее холодных месяцев (январь-февраль) составляет от минус 8 °С на севере области (влияние теплого течения) до минус 12 – минус 15 °С в центральных районах. Летом, соответственно, плюс 8 °С и плюс 14 °С.

В городе Мурманске многолетнемерзлые грунты практически отсутствуют.

По степени благоприятности для градостроительного освоения выделяются следующие зоны:

I. Благоприятные, на которых возможно ведение любого вида строительства, не требующего больших капвложений в инженерную подготовку территории и работ по выполнению нулевого цикла. Благоприятные для строительства территории имеют прерывистое распространение, характеризуются уклонами поверхности до 10% и залеганием грунтовых вод на глубине свыше 2 м. Основаниями для фундаментов зданий и сооружений здесь служат ледниковые отложения, морские мелкозернистые, иногда гравелистые пески, глины и суглинки.

II. Ограниченно-благоприятные, на которых также возможны любые виды строительства, но требующие при этом значительных капитальных вложений в работы по выполнению нулевого цикла сооружений и инженерную подготовку территории. Как правило, строительство и особенно эксплуатация сооружений в пределах этих участков требуют особого внимания, контроля и затрат в течение всего процесса возведения и эксплуатации сооружений.

К ограниченно благоприятным для строительства относятся территории:

- с уклоном поверхности 10–20%;
- с грунтовыми водами на глубине менее 2 м;
- заболоченные с мощностью торфа до 2 м;
- с грунтами, имеющими пониженную несущую способность.

Основаниями для фундаментов здесь будут служить преимущественно скальные породы, реже – морена и морские отложения. Скальные грунты (граниты, гнейсы, жильные диабазы, габбро и т. п.) являются надежным основанием для любого вида строительства.

Заболоченные участки с мощностью торфа до 2 м занимают значительную территорию, особенно на западном берегу Кольского залива. Основанием для фундаментов будут служить коренные породы, морские, флювиогляциальные, моренные отложения, находящиеся в увлажненном состоянии.

III. Неблагоприятные – участки особо сложные по инженерно-геологическим условиям:

- территории с уклонами поверхности более 20%, занимающие небольшие площади в северной части города;

- крутые обрывистые склоны, уступы;
- поймы мелких рек и ручьев;
- карьеры и изрытости глубиной более 2 м, расположенные в разных частях города, но наибольшие по площади заняты ими в юго-восточной части, где глубина карьеров достигает 30–50 м;
- торфяники с мощностью торфа 2–8 м, занимающие небольшие площади. Торфяники не могут служить естественным основанием для фундаментов сооружений. Подстилаются они морскими супесями, суглинками и песками или озерно-ледниковыми и ледниковыми отложениями. Строительство на таких участках возможно с применением свайных оснований;
- территории, затопляемые при максимальных расчетных уровнях воды 1 % обеспеченности в Кольском заливе и озерах.

Технические решения по основаниям и фундаментам, применяемые в настоящее время для жилых домов в городе Мурманске

Распределение жилых территорий по виду застройки в Мурманске выглядит следующим образом:

- застройки индивидуальными жилыми домами – 83,1 га (6% от общей площади жилых территорий);
- застройки малоэтажными жилыми домами – 257,0 га (17%);
- застройки многоэтажными жилыми домами – 1012,4 га (67%);
- смешанная жилая застройка – 158,2 га (10%).

Плотность населения в границах жилой застройки имеет следующие значения:

- зона застройки индивидуальными жилыми домами – 10–15 чел./га;
- зона застройки малоэтажными жилыми домами – 120–140 чел./га;
- зона застройки многоэтажными жилыми домами – 220–250 чел./га;
- смешанная жилая застройка – 170–190 чел./га.

Плотность населения в границах города составила 19 чел./га.

Фундаменты зданий в городе Мурманске чаще всего выполняются в следующих вариантах, в зависимости от геологических условий:

- при относительно неглубоком залегании скальных грунтов (до 3–5 м) применяются фундаменты мелкого заложения (ленточные, столбчатые или плитные) с опиранием их подошв на кровлю скального грунта;
- при вскрытых скальных грунтах на глубинах до 5–12 м применяются свайные фундаменты в виде свай-стоек, нижние концы которых заделываются в скальный грунт;
- при залегании с поверхности торфяно-болотных отложений обычно выполняется либо их выемка и замещение этих отложений на песчано-гравийный грунт и опирание на этот грунт фундаментов мелкого заложения, либо прорезание торфов сваями и заглубление свай в несущие нижележащие слои;
- при наличии в основании моренных отложений, озерно-ледниковых, аллювиальных и т. д., представленных песками, супесями, суглинками и глинами, применяются как фундаменты мелкого заложения, так и свайные, в зависимости от физико-механических характеристик грунтов на конкретной площадке строительства и от передаваемых нагрузок на фундаменты.

Учитывая логистическую удаленность региона, сборные конструкции столбчатых и ленточных фундаментов мелкого заложения применяются достаточно редко, чаще используется монолитный железобетон.

Рекомендации по проектированию оснований и фундаментов вновь строящихся жилых домов в городе Мурманске

Для города Мурманска, на территории которого многолетнемерзлые грунты в основном отсутствуют, основным определяющим фактором грунтового основания при выборе типа фундамента является наличие либо отсутствие скальных пород, являющихся прочным недеформируемым основанием для всех типов зданий, не ухудшающим свои характеристики с течением времени.

Для вновь строящихся жилых домов рекомендованы те же технические решения по фундаментам, что и применяемые до этого, учитывая инженерно-геологические характеристики каждой конкретной площадки строительства.

Если кровля скальных грунтов залегает на глубине до 3–5 м, в качестве фундаментов рекомендуется применять различные конструкции фундаментов мелкого заложения, опирание которых осуществляется непосредственно на кровлю скального грунта. Устройство таких фундаментов следует осуществлять в открытых котлованах. Конструктивно фундаменты могут быть столбчатыми, ленточными и плитными, конструкция фундамента определяется конструкцией зданий и их опорных частей: под несущие колонны устраиваются столбчатые фундаменты, под стены дома – ленточные, также можно разработать единый плитный фундамент.

При залегании кровли скального грунта на глубине до 5–12 м, когда устройство фундаментов в открытом котловане уже технически и экономически нецелесообразно, следует применять свайные фундаменты в виде свай-стоек, нижние концы которых заделываются в скальный грунт.

В случае опирания фундаментов, как мелкого заложения, так и свайных, на скальный грунт следует обращать внимание на степень выветрелости кровли скалы, так как для передачи нагрузки от сооружения необходимо заглубить фундаменты ниже выветрелого слоя на прочный скальный грунт.

В случае отсутствия в инженерно-геологическом разрезе участка строительства скальных грунтов в пределах до 15–20 м в качестве несущего слоя основания следует рассматривать дисперсные грунты (пески, суглинки, глины), залегающие с поверхности: в этом случае могут применяться как фундаменты мелкого заложения, так и свайные в виде висячих свай.

В случае, если на участке строительства с поверхности залегает слой торфа, который обладает крайне низкими прочностными характеристиками и очень сильно деформируется под нагрузкой, то он не может служить основанием фундамента здания, поэтому следует предусматривать выемку и замещение этих слабых грунтов на уплотненный песчаный либо песчано-гравийный грунт и опирание на замещенный грунт фундаментов мелкого заложения. Также в данных условиях можно запроектировать свайный фундамент, который устраивается без выемки торфа, за счет прорезания слоя торфа сваями и заглубления свай в несущие нижележащие слои.

Фундаменты мелкого заложения могут быть запроектированы как в виде готовых сборных элементов, так и из монолитного железобетона, в зависимости от технического обеспечения площадки, стоимости доставки материалов и других экономических показателей.

Погружение свай осуществляется забивным или бурозабивным способом (для железобетонных свай квадратного сечения заводского изготовления), либо сваи выполняются буронабивными, т. е. устраиваются из монолитного железобетона непосредственно в скважине.

Список литературы

1. 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/>.
2. Мельников П.И. (ред.). Проблемы геокриологии: Сб. науч. тр. Москва: Наука; 1988.
3. Хрусталева Л.Н., Давыдова И.В. Прогноз потепления климата и его учет при оценке надежности оснований зданий на вечномерзлых грунтах. Криосфера Земли. 2007;XI(2):68–75.
4. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* [интернет]. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/118243/>.
5. РСН 67-87. Инженерные изыскания для строительства, составление прогноза изменений температурного режима вечномерзлых грунтов численными методами [интернет]. Режим доступа: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854917.pdf>.
6. Олофинская Н.Е., Бердин В.Х., Гершинкова Д.А., Добролюбова Ю.С., Маслобоев В.А. Комплексные климатические стратегии для устойчивого развития регионов российской Арктики в условиях изменения климата (модельный пример Мурманской области): Резюме. Москва: Российский региональный экологический центр; 2009.
7. Хрусталева Л.Н., Емельянова Л.В. Определение температурного коэффициента при расчете несущей способности вечномерзлого основания в условиях меняющегося климата. Основания, фундаменты и механика грунтов. 2013;(1):14–16.
8. Коновалов А.А. Прочностные свойства мерзлых грунтов при переменной температуре. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение; 1991.
9. Изменение климата, 2007: Смягчение изменений климата. Вклад Рабочей группы III в Четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата об оценках [интернет]. Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg3-sum-vol-ru.pdf>.
10. Об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2008 год. Москва: Росгидромет; 2009.
11. Павлов А.В. Мерзлотно-климатический мониторинг России: методология, результаты наблюдений, прогноз. Криосфера Земли. 1997;1(1):47–58.
12. Кобышева Н.В. (ред.). Климат России. СПб.: Гидрометеиздат; 2001.
13. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (в двух томах). Москва: Росгидромет; 2008.
14. Семенов А.В. Инструментальные климатические наблюдения на Кольском полуострове и особенности обслуживания региональных потребителей климатической информацией [доклад]. В: Адаптация к изменению климата и ее роль в обеспечении устойчивого развития регионов: Междунар. конф. Мурманск, 13 мая 2008 г.
15. Конищев В.Н. Реакция вечной мерзлоты на потепление климата. Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2009;(4):10–20.
16. Клименко В.В., Хрусталева Л.Н., Микушина О.В., Емельянова Л.В., Ершов Э.Д., Пармузин С.Ю., Терешин А.Г. Изменения климата и динамики толщ многолетнемерзлых пород на северо-западе России в ближайшие 300 лет. Криосфера Земли. 2007;XI(3):3–13.
17. Романенко Ф.А., Шиловцева О.А. Геоморфологические процессы в горах Кольского полуострова и изменения климата. Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2016;(6):78–86.

References

1. 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).
2. *Melnikov P.I.* (ed.). Problems of geocryology: Coll. sci. tr. Moscow: Nauka Publ.; 1988. (In Russian).
3. *Khrustalev L.N., Davydova I.V.* Forecast of climate warming and its consideration when assessing the reliability of building foundations on permafrost soils. *Earth's Cryosphere*. 2007;XI(2):68–75. (In Russian).
4. SP 131.13330.2020. Building climatology. Updated version of SNiP 23-01-99* [internet]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/docs/118243/>. (In Russian).
5. RSN 67-87. Engineering surveys for construction, forecasting changes in the temperature regime of permafrost soils using numerical methods [internet]. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294854/4294854917.pdf>. (In Russian).
6. *Olofinskaya N.E., Berdin V.Kh., Gershinkova D.A., Dobrolyubova Yu.S., Masloboev V.A.* Integrated climate strategies for sustainable development of Russian Arctic regions in the context of climate change (a model example of the Murmansk region) Abstract. Moscow: Russian Regional Ecological Center; 2009. (In Russian).
7. *Khrustalev L.N., Emelyanova L.V.* Determination of the temperature coefficient when calculating the bearing capacity of a permafrost foundation in a changing climate. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2013;(1):14–16. (In Russian).
8. *Konovalov A.A.* Strength properties of frozen soils at variable temperatures. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch; 1991. (In Russian).
9. Climate Change, 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change on assessments [internet]. Available at: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg3-sum-vol-ru.pdf>. (In Russian).
10. On the Features of the Climate in the Territory of the Russian Federation for 2008. Moscow: Roshydromet Publ.; 2009. (In Russian).
11. *Pavlov A.V.* Permafrost-climatic monitoring of Russia: methodology, observation results, forecast. *Earth's Cryosphere*. 1996;1(1):47–58. (In Russian).
12. *Kobysheva N.V.* (ed.). Climate of Russia. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ.; 2001. (In Russian).
13. Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in the Territory of the Russian Federation (in two volumes). Moscow: Roshydromet Publ.; 2008. (In Russian).
14. *Semenov A.V.* Instrumental climate observations on the Kola Peninsula and features of servicing regional consumers with climate information [report]. In: Adaptation to Climate Change and Its Role in Ensuring Sustainable Development of Regions, International Conference, Murmansk, May 13, 2008. (In Russian).
15. *Konishchev V.N.* Response of Permafrost to the Climate Warming. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*. 2009;(4):10–20. (In Russian).
16. *Klimenko V.V., Khrustalev L.N., Mikushina O.V., Emel'yanova L.V., Ershov E.D., Parmuzin S.Yu., Tereshin A.G.* Climate change and dynamics of the permafrost in Northwestern Russia within the next 300 years. *Earth's Cryosphere*. 2007;XI(3):3–13. (In Russian).
17. *Romanenko F.A., Shilovtseva O.A.* Geomorphologic Processes in the Kola Peninsula Mountains and the Climate Change. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*. 2016;(6):78–86. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Игорь Вячеславович Колыбин, канд. техн. наук, начальник управления по научно-технической и нормативной политике, НИИОСП им. Н.М. Герсеевича АО «НИЦ «Строительство», Москва
Igor V. Kolybin, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Department for Scientific, Technical and Regulatory Policy, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

Андрей Викторович Скориков, канд. техн. наук, заведующий лабораторией методов расчета подземных сооружений и геотехнического прогноза, НИИОСП им. Н.М. Герсеевича АО «НИЦ «Строительство», Москва

Andrey V. Skorikov, Cand. Sci. (Engineering), Head of the Laboratory for Analysis of Underground Structures and Geotechnical Forecasting, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow

Ольга Александровна Потапова✉, главный специалист лаборатории методов расчета подземных сооружений и геотехнического прогноза, НИИОСП им. Н.М. Герсеванова АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: pollara@mail.ru

Olga A. Potapova✉, Chief Expert of the Laboratory for Analysis of Underground Structures and Geotechnical Forecasting, Research Institute of Bases and Underground Structures named after N.M. Gersevanov, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: pollara@mail.ru

✉ Автор, ответственный за переписку / Corresponding author