

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА



УДК 69.07

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.11

С.С. ПОРОШИНА

## РАСТЕПЛЕНИЕ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ПОД ЗДАНИЯМИ В НОРИЛЬСКЕ

PERMAFROST SOILS THAWING UNDER BUILDINGS IN NORILSK

*Рассмотрен опыт строительства зданий на вечной мерзлоте в городе Норильске, обозначены основные методы строительства в заданных условиях, выявлены их достоинства и недостатки. Проведено исследование локализации деформаций в здании, характера деформаций, показаны их последствия. Выявлено, что основной причиной массового разрушения зданий является растепление грунта под зданием. Обозначены основные возможные причины данного процесса. Проанализированы экономические затраты, связанные с ликвидацией последствий разрушений, вызванных растеплением грунта, и предложены методы решения данной проблемы.*

**Ключевые слова:** деформация зданий, растепление грунта, многолетняя (вечная) мерзлота, строительство в Норильске

*The experience of the construction of buildings on permafrost in the city of Norilsk is considered, the main methods of construction under the given conditions are indicated, their advantages and disadvantages are revealed. The study of the localization of deformations in the building, the nature of the deformations shows their consequences. It is revealed that the main cause of mass destruction of buildings is the fission of the soil under the building. The main possible causes of this process are indicated. The economic costs associated with the elimination of the consequences of destruction caused by the ground-breaking have been analyzed, and methods for solving this problem have been proposed.*

**Keywords:** buildings deformation, soil thawing, perennial (permafrost), construction in Norilsk

Значительная часть территории нашей страны находится в северных широтах с резкоконтинентальным холодным климатом. Зона Севера занимает около 70 % территории России [1] (рис. 1), однако проживает в ней всего 5 % населения страны.

Экономика России все больше зависит от развития северных территорий – основных поставщиков углеводородного сырья. Область вечной мерзлоты можно назвать стратегическим тылом России, топливно-энергетической базой и валютным цехом [2]. Здесь добывается 72 % всей нефти и газового конденсата, 93 % естественного газа, никелевые и железные руды, практически все алмазы; заготавливается 37 % деловой древесины, добывается основная часть цветных, редких металлов, золота, производятся другие важные виды продукции, обеспечивающие в совокупности до 60 % экспорта страны [3].

В настоящее время основная часть новых месторождений нефти и газа разрабатывается на вечной мерзлоте [4]. Освоение месторождений в таких

условиях приводит к значительному повышению капитальных затрат, связанных с необходимостью строительства новых зданий и сооружений, которые должны отвечать не только требованиям нормативной документации, но и комфортным условиям работы и проживания. Проектирование и эксплуатация объектов в местах распространения многолетнемерзлых грунтов является сложной инженерной задачей. И одной из наиболее значимых проблем является растепление грунта.

Многолетней (вечной) мерзлотой называют верхнюю часть земной коры, температура которой не поднимается выше 0 °С. В зоне многолетней мерзлоты грунтовые воды находятся в виде льда. Ее глубина иногда превышает тысячу метров [5]. Растепление грунта – это процесс, при котором порода передано количество тепла, достаточное не только для ее нагрева от естественной отрицательной температуры до 0 °С, но и для перехода содержащегося в породе льда-цемента в жидкое состояние. При фа-



Рис. 1. Районы Крайнего Севера и местности, приравненные к районам Крайнего Севера на территории России [2]

зовом переходе подземного льда в воду поглощается тепло и существенно изменяются механические, физико-химические, теплофизические, электрические свойства водной компоненты и самого грунта. Вследствие этих изменений происходит перестройка структуры грунта и резкое снижение прочностных и деформационных характеристик [6]. На рис. 2 схематично показан процесс, который наблюдается при оттаивании вечномерзлого грунта под зданием.

Как показано на рисунке, в результате растепления грунта под зданием образуется так называемая чаша оттаивания. Грунт при этом теряет свою монолитность, начинается неравномерная осадка здания, происходит деформация фундаментов, несущих и ограждающих конструкций. В итоге – полное или частичное разрушение здания.

### Опыт строительства на вечномерзлых грунтах в Норильске

К зоне Севера относятся полностью или частично 28 субъектов Российской Федерации. Объектом нашего исследования в данной работе стал город Норильск. Он является вторым по численности на-

селения городом в Красноярском крае [7], а также вторым в мире среди городов, находящихся за полярным кругом.

История строительства Норильска началась в 1921 г. Первые дома были деревянные. Отсутствие опыта строительства на вечной мерзлоте негативно отразилось на строениях – они очень быстро разрушались. Для сохранения домов в состоянии, пригодном для эксплуатации, требовалось постоянное наблюдение за состоянием конструкций. В зимний период происходило выпучивание замерзшего грунта, весной – сезонное оттаивание и растепление грунта не только под зданиями, но и вокруг них. Поэтому летом сооружение жилых барачков, складов и других зданий начиналось заново.

В 1935 г. началось строительство самого северного промышленного предприятия в мире – Норильского комбината. Строители и сотрудники комбината старались перебраться поближе к месту работы.

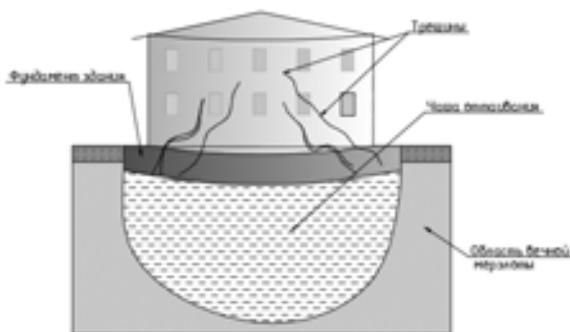


Рис. 2. Образование чаши оттаивания под зданием



Рис. 3. Панельный дом в Норильске с продуктами в подвальном помещении [20]



Рис. 4. Разрушение конструкций зданий в Норильске:  
а – здание по ул. Комсомольской, 1 [21];  
б – здание на улице Богдана Хмельницкого, 14 [22]



Рис. 5. Дом на сваях в Норильске [23]

Возникла проблема нехватки жилья [8]. Поэтому в 1940 г. на смену деревянным постройкам пришли двухэтажные бутово-керамзитовые здания, позже появились панельные дома и строения из кирпича. Для решения проблемы растепления грунта и сохранения его в мерзлом состоянии в подполье устраивали специальные продухи (рис. 3). Это способствовало проветриванию цокольного этажа для поддержания максимально низкой температуры и уменьшению застоя воды в подполье.

Данный метод способствовал увеличению долговечности зданий, но окончательно проблему не решил. Температура грунта в подполье постепенно увеличивается. В зимний период при сильных снегопадах происходит накопление снега перед продухами, их закрывает сугробом и проветривание не происходит. При сезонном оттаивании вся накопившаяся влага не успевает выветриться, происходит локальное замачивание и растепление грунтов. Это приводит к неравномерной осадке фундаментов и, как следствие, разрушению конструкций (рис. 4, а, б).

Ещё одним новшеством в проектировании и строительстве домов стал метод строительства домов на сваях (рис. 5). Он позволил снизить трудоемкость возведения фундаментов примерно в десять раз, а их стоимость — в два раза [9]. Этот метод предусматривал размещение свай в скважинах, заранее выдолбленных в мерзлой земле. По данным электронного проекта «Норильчане» [9], примерно с середины 1960-х гг. дома в Норильске возводились только на сваях.

В 1970-х гг. продолжалось совершенствование метода свайного фундаментирования. Этим занималась мерзлотная лаборатория. Специалисты моделировали поведение свай в различных условиях, в разных грунтах, под разными нагрузками. Позже, в 1997 г. было создано управление по надзору за состоянием оснований и фундаментов [10].

По неофициальным данным [10] на сегодняшний день практически под каждым зданием в Норильске устроены специальные скважины для изучения процессов, проходящих в недрах вечной мерзлоты. Всего в городе их более восьмисот.

Строительство зданий в Норильске свайным методом позволяет сохранять грунт под зданием в мерзлом состоянии. Растепление может произойти в случае неправильной эксплуатации здания, при аварийном замачивании грунта и при близком расположении инженерных сетей. Поэтому, чтобы мерзлый грунт не подвергался воздействию тепла, коммуникации в Норильске уложены на глубине 6 м, а коллекторы расположены вдалеке от зданий и сооружений.

Однако случаются непредвиденные ситуации. В конце 90-х в зимний период на ТЭЦ произошла серьёзная авария – вышли из строя несколько котлов обогрева. Коммунальными службами было принято решение произвести массовый сброс воды из системы отопления прямо под здания. После проведения очередных замеров учёные исследовательского института зафиксировали, что фундаменты домов, под которые утекала горячая вода, были разморожены. Многие строения спасти не удалось. Город лишился почти 50 зданий [11]. Случившееся ещё раз наглядно показало опасность процесса растепления грунта.

#### Затраты на ликвидацию последствий

Сегодня Норильск – это постоянно развивающийся промышленный центр Красноярского края, город со своей архитектурой, неповторимым северным индустриальным колоритом и своими «северными» проблемами.

Одна из таких проблем – сохранение и восстановление фундаментов зданий и сооружений в городе. Ежегодно из местного и краевого бюджета выделяются денежные средства на ремонтные работы. По данным электронной газеты «Заполярный вестник» [12], в 2010 г. была разработана долгосрочная целевая программа по капитальному ремонту объектов коммунальной инфраструктуры и жилищного фонда на 2011–2020 гг. [13]. Одно из приоритетных направлений этой программы – восстановление фундаментов зданий.

Так, к 2012 г. на особом контроле по состоянию грунтов и несущих конструкций в Норильске находилось 241 жилое здание. По сообщению администрации Норильска корреспондентам газеты «Заполярный вестник» [12], с 2007 по 2010 гг. были восстановлены конструкции фундаментов 61 жилого здания на общую сумму 126 082 тыс. рублей. В 2011 г. – 27 зданий на сумму 185 417,4 тыс. рублей, в 2012 г. – 31 здания на сумму 222 058,8 тыс. рублей.

По данным вещательной сети ВГТРК Норильск [14] за период с 2012 по 2016 гг. от губительной осадки спасены 155 городских зданий. На эти цели потрачено 862 млн рублей.

На официальном сайте города Норильска в 2017 г. была опубликована информация о том, что в 2018 г. в Норильске финансирование в разме-

ре 444,3 млн рублей направят на проведение работ по ремонту несущих конструкций нулевого цикла, восстановление и ремонт разрушенных элементов фасадов, восстановление аварийных участков стен 43 жилых домов [15].

Последствия растепления грунта часто бывают необратимыми. Неравномерная осадка и множественные деформации здания провоцируют развитие трещин на фундаменте и фасаде здания, вызывают разрушение фундамента, обрушение несущих и ограждающих конструкций. Стоит отметить, что восстановление фундаментов стоит на 20 % дороже строительства новых [16].

**Выводы.** Процесс растепления грунтов является актуальной проблемой, требующей глубокого и всестороннего исследования. Исходя из проведенного анализа аварийных случаев, видно, что главная проблема практически всех норильских зданий и сооружений – деградация мерзлоты и износ материалов фундаментов и наземных конструкций. Острота проблемы усугубляется возрастным характером массовой застройки – все дома были построены ещё в прошлом веке.

Наиболее частыми причинами растепления грунта можно назвать: недостаточное проветривание цокольного помещения, аварийное замачивание, засоление и минерализацию грунтов из-за утечек сточных вод и отсутствия сети ливневой канализации, неправильное расположение тепловых сетей относительно здания, ошибки при проектировании и строительстве, в числе которых недооценка изменений мерзлотно-грунтовых и гидрологических условий площадок в ходе строительства и эксплуатации зданий.

Первое, что необходимо сделать, – создать единую систему мониторинга за состоянием оснований и фундаментов зданий в Норильске. Это позволит вовремя реагировать на любые изменения состояния грунтов и фундаментов зданий.

Второе – это использование и совершенствование новых методов строительства. В качестве нового метода строительства на вечномёрзлых грунтах можно рассмотреть использование винтовых свай. На данный момент нет информации об апробации данного метода в Норильске. Однако автор статьи [17] акцентирует, что при установке винтовых свай полностью исключаются мокрые процессы, что является важным в условиях Крайнего Севера. Фундаменты на винтовых сваях не требуют проведения земляных работ. Кроме того, при возведении фундамента не требуется выравнивать участок и использовать строительную технику. Установка производится при помощи гидравлических механизмов различных строительных машин либо в отдельных случаях – вручную. Строительство фундамента на винтовых сваях можно вести в любое время года и при этом значительно сократить срок его возведения. Таким образом, можно сократить затраты и время возведения фундамента.

Ещё одним новшеством в устройстве свайных оснований стало применение термостабилизаторов. По данным авторов [18], это капсулированные трубчатые погружные жидкостные либо парожидкостные устройства, которые помещают в специальные скважины, пробуренные рядом с опорным фундаментом для создания мерзлотного экрана. В зимнее время конвекционная циркуляция теплоносителя (в простейшем варианте это керосин) в жидкостных устройствах и паров пропана в парожидкостных термостабилизаторах обеспечивает охлаждение грунтов основания. С наступлением летнего периода, как только температура верхнего, находящегося на наружном воздухе, конуса (конденсатора) устройства становится выше температуры теплоносителя, циркуляция прекращается и процесс приостанавливается с частичным инерционным оттаиванием верхнего слоя грунта до следующего похолодания.

Так, например, НПО «Фундаментстройаркос» разработало четыре основных вида сезоннодействующих охлаждающих устройств (СОУ): горизонтальные естественнодействующие трубчатые системы (ГЕТ), вертикальные естественнодействующие трубчатые системы (ВЕТ), индивидуальные термостабилизаторы; глубинные СОУ. Их применение обусловлено спецификой объекта.

Ввиду высоких экономических затрат в настоящее время данная технология не получила широкого применения для массового жилищного строительства. Система термостабилизации грунтов используется при прокладке трубопроводов, резервуаров до 100 000 м<sup>3</sup>, автомобильных и железных дорог, производственных зданий шириной до 120 м.

Третье – для более точного прогнозирования поведения вечномерзлого грунта существует необходимость программного моделирования процесса растепления грунта под зданиями. На сегодняшний день данная методика в основном используется для моделирования ореола оттаивания вокруг тепло- и нефтепровода в многолетнемерзлом грунте.

При моделировании процесса растепления грунта под зданиями будет производиться нестационарный расчет, что позволит оценить поведение конструкций, оснований и фундаментов зданий в реальных условиях эксплуатации. Моделирование поможет убедиться в эффективности и надежности принятых проектных решений с минимальными временными и материальными затратами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зона Севера // Электронная библиотека [Электронный ресурс]: libraryno.ru – Режим доступа: [http://libraryno.ru/5-5-zona-severa-region\\_ekonom/](http://libraryno.ru/5-5-zona-severa-region_ekonom/) (дата обращения: 17.01.2018).
2. Алёшина Т. Строительство на мерзлоте: опыт и новшества // Газета СФУ «Сибирский форум. Интеллектуальный диалог» 2010 [Электронная версия] – Режим доступа: <http://sibforum.sfu-kras.ru/node/106> (дата обращения: 17.01.2018).
3. Север как проблемная территория // Студопедия [Электронный ресурс]: studopedia.org – Режим доступа: <https://studopedia.org/8-151275.html> (дата обращения: 17.01.2018).
4. Бурение в вечной мерзлоте больше не проблема // Приборостроение//Наука и технологии [Электронный ресурс]: neftegaz.ru – Режим доступа: <https://neftegaz.ru/science/view/963-Burenie-v-vechnoy-merzlote-bolshe-ne-problema> (дата обращения: 19.01.2018).
5. Многолетняя мерзлота // Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]: wikipedia.org – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Многолетняя\\_мерзлота](https://ru.wikipedia.org/wiki/Многолетняя_мерзлота) (дата обращения: 19.01.2018).
6. Растепление мерзлой породы // Буровой портал [Электронный ресурс]: drillings.ru – Режим доступа: <http://www.drillings.ru/rastep> (дата обращения: 19.01.2018).
7. Официальный сайт города Норильска [Электронный ресурс]: norilsk-city – Режим доступа: <http://www.norilsk-city.ru/about/1242/> (дата обращения: 25.01.2018).
8. Стрючков С. Строили, строили // Газета «Заполярный вестник» 23.01.13 [Электронная версия] – Режим доступа: [http://www.norilsk-zv.ru/articles/stroili\\_stroili.html](http://www.norilsk-zv.ru/articles/stroili_stroili.html) (дата обращения: 17.01.2018).
9. Свайный фундамент // Информационный сайт «Норильчане» [Электронный ресурс]: norilchane.ru – Режим доступа: [http://norilchane.ru/norilsk/-/asset\\_publisher/W0Gy0SowOh9G/content/id/26054](http://norilchane.ru/norilsk/-/asset_publisher/W0Gy0SowOh9G/content/id/26054) (дата обращения: 17.01.2018).
10. Вечная мерзлота // Информационный сайт «Норильчане» [Электронный ресурс]: norilchane.ru – Режим доступа: [http://norilchane.ru/norilsk/-/asset\\_publisher/W0Gy0SowOh9G/content/id/21956](http://norilchane.ru/norilsk/-/asset_publisher/W0Gy0SowOh9G/content/id/21956) (дата обращения: 17.01.2018).
11. Туловский Е. Сколько нам осталось? // Газета «Заполярная правда» № 36 от 15.03.2008 [Электронная версия]: gazetazp.ru – Режим доступа: <http://gazetazp.ru/2008/36/6/> (дата обращения: 03.02.2018).
12. Стецевич Л. На чем Норильск стоять будет? // Газета «Заполярный вестник» 23.08.12 2008 [Электронная версия] – Режим доступа: [http://www.norilsk-zv.ru/articles/na\\_chem\\_norilsk\\_stoyat\\_budet.html](http://www.norilsk-zv.ru/articles/na_chem_norilsk_stoyat_budet.html) (дата обращения: 15.02.2018).
13. Постановление Правительства Красноярского края от 29 октября 2010 г. № 527-п об утверждении долгосрочной целевой программы «Развитие объектов социальной сферы, капитальный ремонт объектов муниципальной инфраструктуры и жилищного фонда муниципальных образований город Норильск и Таймыр

ский Долгано-Ненецкий муниципальный район на 2011 – 2020 годы».

14. Батыченкова М., Жуков Е., Химич Д. Здания спасут от осадки // ГТРК «Норильск» 21.07.16 [Электронная версия]: norilsk-tv.ru – Режим доступа: <http://www.norilsk-tv.ru/3412-zdaniya-spasut-ot-osadki.html> (дата обращения: 05.03.2018).

15. На капремонты жилых домов из городской казны выделяют 450 млн рублей // Новости 2017 // Официальный сайт города Норильска 07.12.17 [Электронный ресурс]: norilsk-city – Режим доступа: <http://www.norilsk-city.ru/press/actual/document77883.shtml> (дата обращения: 19.02.2018).

16. Вечная мерзлота и ее влияние на устойчивость зданий и сооружений // информационный портал HintFox 23.03.15 [Электронный ресурс]: hintfox.com – Режим доступа: <http://www.hintfox.com/article/vechnajamerzlotai-ee-vlijanie-na-yстойчивost-zdaniy-i-sooryzhenij.html> (дата обращения: 06.03.2018).

17. Турдагина Ю.П. Винтовые сваи в вечномёрзлых грунтах // Конференция «Молодежь и наука» 2014 [Электронная версия]: conf.sfu-kras.ru – Режим доступа: [http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/pdf/d03/s48/s48\\_012.pdf](http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/pdf/d03/s48/s48_012.pdf) (дата обращения: 18.03.2018).

18. Галкин М.Л., Рукавишников А.М., Генель Л.С. Термостабилизация вечномёрзлых грунтов // Сайт научно-производственного химического предприятия «Спектропласт» [Электронный ресурс]: splast.ru – Режим доступа: <http://www.splast.ru/coolants/articles/detail.php?ID=112> (дата обращения: 20.03.2018).

19. Кузинкова А. Перечень районов, приравненных к районам Крайнего Севера, 2017 год // Информационный сайт [Электронный ресурс]: SYL.ru – Режим доступа: <https://www.syl.ru/article/309097/perechen-rayonov-priravnennyih-k-rayonam-kraynego-severa-god> (дата обращения: 17.01.2018).

20. Болашенко С. Фото дома Ленинградская ул., 22 в городе Норильск 22.06.2010 // Онлайн карта [Электронный ресурс]: wikimapia.org – Режим доступа: <http://norilsk.wikimapia.org/photos/10> (дата обращения: 23.01.2018).

21. За полярным кругом. Норильск // Информационный сайт [Электронный ресурс]: Nibler.ru – Режим доступа <http://nibler.ru/cognitive/14374-za-polyarnym-krugom-norilsk.html> (дата обращения: 13.02.2018).

22. Фото дома на ул. Богдана Хмельницкого, 14 (Норильск) // Онлайн карта [Электронный ресурс]: wikimapia.org – Режим доступа: <http://wikimapia.org/15194561/ru/ул-Богдана-Хмельницкого-14> (дата обращения: 23.01.2018).

23. 20 фактов о Норильске, которых мы не знали // Развлекательный портал [Электронный ресурс]: ekabu.ru – Режим доступа: [https://ekabu.ru/115637-20-faktov-o-norilске-kotoryh-my-ne-znali\\_\\_raznoe.html#!](https://ekabu.ru/115637-20-faktov-o-norilске-kotoryh-my-ne-znali__raznoe.html#!) (дата обращения: 15.02.2018).

Об авторе:

**ПОРОШИНА Светлана Сергеевна**  
инженер ПТО ООО «Тепло»  
662200, Россия, Красноярский край,  
г. Назарово,  
ул. Школьная, 5  
E-mail: poroshinass@yandex.ru

**POROSHINA Svetlana S.**  
Engineer, Operation and Technical Department  
Ltd Teplo  
662200, Russia, Krasnoyarsk region, Nazarovo,  
Shkolnaya str., 5  
E-mail: poroshinass@yandex.ru

Для цитирования: Порошина С.С. Растепление вечномёрзлых грунтов под зданиями в Норильске // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №2. С. 65-70. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.11.  
For citation: Poroshina S.S. Permafrost Soils Thawing under Buildings in Norilsk // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, 2. Pp. 65-70. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.11.