

С.В. БАДИНА

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗДЕРЖЕК НА АДАПТАЦИЮ СОЦИАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ К МЕНЯЮЩИМСЯ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ (НА ПРИМЕРЕ НОРИЛЬСКА)*

Климатические изменения, усиление антропогенного воздействия приводят к таянию многолетней мерзлоты и, как следствие, к разрушениям и деформациям зданий и сооружений, построенных на ней. Это является причиной значительных дополнительных финансовых издержек, связанных с необходимостью применения специфических технологий строительства и эксплуатации зданий в криолитозоне, а также прямых и косвенных ущербов от потери основных фондов. Согласно прогнозам геокриологических изменений, в Арктической зоне России эти негативные тенденции должны усилиться в будущем. В статье на примере города Норильска проанализированы некоторые проблемы, связанные с оценкой издержек на адаптацию объектов здравоохранения и образования, построенных на мерзлоте, к изменению инженерно-геокриологических условий до середины XXI в. Проведенный анализ показал, что величина вероятных издержек для рассматриваемой группы объектов, связанных с прямыми ущербами от деформаций и разрушений зданий, а также необходимостью их ликвидации и замещающего строительства, существенно превышает финансовые средства, заложенные на это в соответствующих документах стратегического планирования Норильска. Действенным механизмом по перераспределению ущерба во времени и его снижению является установка систем термостабилизации грунтов оснований. Кратко проанализирована география производства и потребления данного вида продукции. Полученные результаты могут быть использованы для разработки аналогичных оценок и адаптационных программ в городах криолитозоны России.

Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации, многолетняя мерзлота, основные фонды, ущербы, социальная инфраструктура.

JEL: I10, I20, R53

* Статья подготовлена по результатам исследования, выполненного при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-55-71003 «Быстрые изменения окружающей среды в Арктике: последствия для благополучия населения, устойчивости развития и демографии Арктического региона».

Данная работа является продолжением цикла статей, посвященного проблемам адаптации жилищного фонда и объектов социальной инфраструктуры арктических городов, расположенных в зоне распространения многолетней мерзлоты, к трансформирующимся вследствие климатического и антропогенного факторов инженерно-геоэкологическим условиям [1; 2]. Для прогнозов деградации многолетней мерзлоты до середины XXI в. характерна *высокая степень неопределенности*, соответственно, оценки *будущих ущербов*, необходимые для грамотного выстраивания адаптационных программ, также имеют вероятностный характер. С другой стороны, системного и всеобъемлющего *мониторинга* текущей ситуации, позволяющего отслеживать недавно произошедшие и происходящие в данный момент изменения по всей территории криолитозоны России, не ведется. В связи с этим особый интерес представляет *анализ пионерных практик* решения проблемы, разработки стратегий и механизмов в конкретных городах, поскольку они могут стать отправной точкой для экстраполяции позитивного опыта на территории, для которых также актуальна эта проблема. Одним из ключевых моментов при этом является экономическая сторона вопроса: как в условиях ограниченных финансовых ресурсов на адаптацию добиться максимальной эффективности осуществляемых мероприятий?

Обеспеченность социальной инфраструктурой — одно из ключевых условий жизнедеятельности населения в экстремальных природных условиях Арктики. В связи с этим ее сохранность и бесперебойное функционирование — одна из важнейших стратегических задач сбалансированного социально-экономического развития арктических регионов. Соответственно, и первоочередные адаптационные мероприятия также должны быть направлены именно на поддержание данного вида основных фондов.

В предыдущих работах [1] была осуществлена оценка стоимости недвижимой части основных фондов здравоохранения и образования для муниципальных образований криолитозоны Российской Арктики в целях прогнозирования вероятного ущерба от последствий климатических изменений. Проведенное исследование показало, что при худшем сценарии потепления климата вследствие деградации многолетней мерзлоты в криолитозоне Арктической зоны Российской Федерации разрушению и деформациям до 2050 г. могут быть подвергнуты здания и сооружения здравоохранения и образования общей стоимостью порядка 43 и 122 млрд руб. соответственно.

Однако полученные значения характеризуют *лишь долю прямых ущербов*. Совокупный прямой ущерб очевидно существенно превышает указанные значения и может быть выражен как сумма трех компонентов — непосредственной потери стоимости основных фондов, оцененной в вышеуказанной работе, издержек на ликвидацию деформированных и разрушенных фондов и оценочной полной восстановительной стоимости (замещающего строительства). Таким образом, одной из задач статьи является разработка подхода к оценке двух недостающих компонентов *прямого* ущерба.

Эту задачу предлагается осуществить на примере Норильска — одного из крупнейших городов, расположенных в криолитозоне России, и вместе с тем одного из старейших центров изучения и мониторинга многолетней мерзлоты, геотехнических условий, где в настоящее время осуществляется активная работа по созданию и реализации программ адаптации основных фондов к последствиям климатических и антропогенных изменений мерзлотных условий¹.

Необходимо также учитывать, что потенциальные *косвенные* ущербы от утраты объектов социальной инфраструктуры весьма многообразны и варьируются в широких пределах — от потери привлекательности территории для постоянного проживания ввиду снижения качества жизни до повышения смертности населения из-за сбоев в функционировании системы здравоохранения. Пример Норильска в этом плане особенно интересен, поскольку он представляет собой *в значительной степени транспортно-изолированную территорию*, связность которой с материком в холодное время года осуществляется лишь посредством воздушного транспорта, который сильно зависим от погодных условий. В случае возникновения крупных чрезвычайных ситуаций, приводящих к нарушениям систем жизнеобеспечения города, могут требоваться экстраординарные меры по защите населения. Так, например, экстремально холодной зимой 1979 г. произошла крупная авария на газопроводе, обеспечивающем энергетическую инфраструктуру всего Норильского промышленного района. Это повлекло за собой остановку теплоснабжения и заставило высшее руководство рассматривать даже нереалистичные планы эвакуации всего населения².

***Программа реновации социальной инфраструктуры Норильска
в контексте мер по адаптации к меняющимся
инженерно-геокриологическим условиям***

В соответствии с Национальным планом мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата в 2022 г. началась разработка отраслевых и региональных планов адаптации. Согласно разработан- ным Минэкономразвития России рекомендациям³, «адаптация к измене-

¹ В Норильске был создан научно-исследовательский отдел по изучению геотехнических проблем строительства в условиях многолетней мерзлоты еще в 1959 г. С 1 апреля 1987 г. отдел вошел в состав НИИОСП им. Н.М. Герсеева Госстроя СССР. С февраля 2010 г. по сегодняшний день ООО «Научно-производственное объединение «Фундамент» является наследником его научно-технической и интеллектуальной собственности (Геотехническая безопасность в Арктике. История и перспективы. URL: <https://www.npofundament.com/post/геотехнической-безопасность-в-арктике-история-и-перспективы> (дата обращения: 04.12.2023).

² Стрючков С. Авария. Город без тепла. URL: <https://goarctic.ru/news/avariya-gorod-bez-tepla/> (дата обращения: 04.12.2023).

³ Приказ Минэкономразвития России от 13 мая 2021 г. № 267 «Об утверждении методических рекомендаций и показателей по вопросам адаптации к изменениям климата» (вместе с «Методическими рекомендациями по оценке климатических рисков», «Методическими рекомендациями по ранжированию адаптационных мероприятий по степени их приоритетности», «Методическими рекомендациями по формированию отраслевых, региональных и корпоративных планов адаптации к изменениям климата»).

ниям климата — это процесс приспособления к существующему или ожидаемому климату и его воздействиям, целью которого является *уменьшение ущерба или использование благоприятных возможностей*». Тем самым подчеркивается, что климатические изменения несут в себе не только угрозы для населения и экономики, но и открывают новые перспективы, которые при грамотном управлении могут существенным образом компенсировать негативные эффекты. Соответствующий план был принят и в Красноярском крае⁴. При этом в документе в качестве мероприятий, направленных на решение проблемы деградации многолетней мерзлоты, обозначена необходимость «мониторинга за температурой многолетнемерзлых грунтов оснований и деформационным поведением строительных конструкций фундаментов» (промышленных объектов и жилой инфраструктуры). Указано, что мероприятие носит лишь рекомендательный характер и издержки на его осуществление возложены на предприятия энергетики, т.е. зона ответственности весьма ограничена.

При этом на локальном уровне, в Норильске, расположенном в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, ведется достаточно активная работа, направленная на решение проблемы разрушения основных фондов вследствие изменения инженерно-геокриологических условий. С 2011 г. продолжается активная работа по реновации жилищного фонда и объектов социальной инфраструктуры, в т.ч. вследствие проблем, связанных с деградацией многолетней мерзлоты под воздействием антропогенного и климатического факторов. Программа реновации осуществляется из средств бюджетов всех уровней, но основная доля финансирования приходится на ПАО «ГМК «Норильский Никель»».

В Стратегии социально-экономического развития Норильска до 2035 г. указано, что в городе (одном из немногих в криолитозоне России) ведется работа по формированию *единой системы наблюдений за многоквартирными домами*. К началу 2023 г. термостабилизаторами и датчиками наклона были оснащены свыше 50 домов (т.е. лишь порядка 6% от общего жилищного фонда города). Около 30% домов находятся на особом контроле у специалистов по изучению мерзлоты из-за растепления грунтового основания фундаментов; осуществляется мониторинг более 30% зданий с разрушением строительных конструкций, имеющих деформации различной степени. Также отмечаются аналогичные проблемы и у объектов социальной инфраструктуры. До 2035 г. запланирована установка *систем непрерывного геотехнического мониторинга* на всех зданиях и сооружениях на территории Норильского промышленного района, для чего будет создан специализированный *Арктический мерзлотный центр*.

В качестве примера можно привести данные мониторинга температуры в основании фундаментов многоквартирных домов Норильска, представленные автору в ходе экспедиционных исследований в Норильском промышленном районе за 2013–2014 гг. НПО «Фундаментстройаркос».

⁴ Приложение к Распоряжению Правительства Красноярского края от 10 августа 2023 г. № 565-р План адаптации к изменениям климата на территории Красноярского края. URL: <https://base.garant.ru/407520051/> (дата обращения: 01.09.2023).

Из 82 обследованных жилых домов в указанные годы температура грунта по данным ежемесячных геотермических замеров достигла и/или превысила нулевые значения на 29 объектах, т.е. *свыше 1/3 выборки имели потенциал деформаций*. С учетом трендов потепления климата [3], закономерно увеличивается доля жилищного фонда и объектов социальной инфраструктуры, где происходит оттаивание мерзлых оснований.

В 2021 г. между «Норникелем», Министерством по развитию Дальнего Востока и Арктики, Красноярским краем и городом Норильском заключено четырехстороннее соглашение о взаимодействии и сотрудничестве в целях реализации комплексных мер социально-экономического развития Норильска до 2024 г. и перспективу до 2035 г. Этот план включает в себя следующее: реновацию жилищного фонда; строительство объектов социальной инфраструктуры; модернизацию ЖКХ; организацию выплат на покупку жилья норильчанам, переезжающим в районы с благоприятными климатическими условиями. Общий объем финансирования этих мероприятий с 2021 по 2035 гг. должен составить 120 млрд руб., из них 81,3 млрд — доля «Норникеля». Из этих средств на развитие непосредственно социальной инфраструктуры планируется выделить 6,8 млрд руб. (порядка 6%).

Особое значение в рамках модернизации системы здравоохранения в Норильске имеет развитие *полярной медицины*, что также является *уникальным* и важным в контексте климатических изменений направлением для страны в целом. Развитие таких значимых сфер, как исследования адаптации здоровья населения к экстремальным климатическим условиям, а также их изменениям, психофизиологических аспектов адаптации, специфических проблем (резистентности к инфекциям, лекарственно-го метаболизма, офтальмологических проблем, болезней сердца и органов дыхания и пр.) в условиях Крайнего Севера, эпидемиологических и социально-медицинских исследований [4], несомненно, требуют соответствующего современного инфраструктурного обеспечения.

***Оценка издержек на адаптацию социальной инфраструктуры
города Норильска с учетом прогнозов изменения
инженерно-геокриологических условий до 2050 г.***

Российские и зарубежные исследователи представили значительное количество прогнозов ущерба для инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации, результаты которых существенно *варьируют* между собой [5–9]. В том числе отдельное внимание уделяется рассмотрению и социальной инфраструктуры [10]. Поскольку прошло определенное время с момента публикации большинства прогнозов, появилась возможность их эмпирической верификации, важно понимать, насколько они реально соотносятся с процессами, происходящими в настоящее время. Обращаясь к инструментарию косвенных оценок в мелком географическом масштабе, отделить мерзлотный фактор от других представляется *фактически неразрешимой задачей*. Вместе с тем необходимо достоверное представление о реальной вели-

чине текущих издержек, обусловленных влиянием деградации многолетней мерзлоты на инфраструктуру в регионах криолитозоны России, и, главное, как они могут измениться в будущем с учетом климатических изменений.

Информация о текущих деформациях и последующем выводе из эксплуатации зданий и сооружений весьма *ограничена и фрагментирована*. В основном об этой проблеме можно судить, исходя из анализа немногочисленных косвенных данных (документов стратегического планирования регионов и муниципальных образований, планов реновации основных фондов, показателей структуры инвестиций в основной капитал и др.). Ценным информационным ресурсом в плане понимания фактических издержек может являться *сметная документация* конкретных проектов, позволяющая определять структуру затрат на строительство, ремонт либо ликвидацию аналогичных объектов в разных природно- и экономико-географических условиях.

При прогнозировании прямых ущербов не вполне корректно прибегать к сметным нормативам или усредненным статистическим данным, имеющимся по региону в целом, поскольку они, как правило, приводят к заниженным, значительно расходящимся с действительностью результатам. В связи с этим в данном исследовании предлагается обратиться к рассмотрению конкретных реализуемых в Норильске проектов. Для этих целей были проанализированы тендеры на Интернет-ресурсе «РосТендер»⁵, где муниципальные власти размещают тендеры на оказание услуг, в т.ч. в сфере строительства и ремонта объектов социальной инфраструктуры и дается весьма широкий спектр сопутствующих документов. В дополнение к указанным источникам в работе использованы материалы, полученные в ходе экспедиционных исследований автора в Норильский промышленный район.

Анализ сметной документации, сопоставление конкретных объектов капитального строительства, запланированных к сносу в Норильском промышленном районе, позволили рассчитать реальные современные показатели ликвидационной стоимости 1 м² среднестатистического здания. Поскольку необходимо принимать во внимание, что ликвидируемые объекты имеют разные характеристики, то в основу дальнейших расчетов легли усредненные значения — 2 500 руб. на 1 м².

По состоянию на 2021 г. на территории Норильска функционируют 10 краевых учреждений здравоохранения, из которых 4 — поликлинических (всего в работе рассмотрено 22 здания). Здания большинства учреждений построены в 1950–1980-е гг. и имеют большой физический и моральный износ. В городе работают 38 муниципальных дошкольных образовательных учреждений на 12 602 места. Количество общеобразовательных учреждений — 36. Касательно состояния учреждений общего образования необходимо отметить, что строительство новых общеобразовательных учреждений в Норильске не осуществлялось с 90-х гг. XX в. На территории городского округа 30% учреждений построены

⁵ РосТендер. URL: <https://rostender.info/> (дата обращения: 22.11.2023).

в 1950–1970-х гг., только 4 учреждения в 1990-х гг., после 1996 г. новые школы не строились⁶.

Нами была создана база данных объектов социальной инфраструктуры Норильска, включающая наименование объекта, фактический адрес, этажность, площадь. Общая площадь объектов социальной инфраструктуры рассчитана посредством измерения их площадей в горизонтальном сечении (площади сняты с открытого картографического ресурса *OpenStreetMap*) и соотнесения с этажностью (определена в ходе экспедиционных исследований, а также фотографий и панорамных снимков искомых зданий с поисково-информационной картографической службы Яндексa) с применением геоинформационных методов (посредством инструментария пакетов *ArcGIS*).

Данные о *средней стоимости строительства* объектов здравоохранения и образования были взяты, исходя из анализа сметной документации проектов, запланированных к строительству в соответствии с муниципальной программой «Комплексное социально-экономическое развитие города Норильска». Данные о *ликвидационной стоимости* аналогичных объектов капитального строительства также были получены путем анализа сметной документации тендеров по сносу аварийных жилых и нежилых зданий в Норильске с ресурса «РосТендер». Усредненные значения были положены в основу расчетов. Результаты расчетов представлены в *таблице 1*.

Т а б л и ц а 1

Издержки на адаптацию объектов здравоохранения и образования Норильска к изменению инженерно-геокриологических условий до 2050 г. (в ценах 2023 г., млн руб.)

Вид деятельности	Среднегодовой*) прямой ущерб для зданий и сооружений	Среднегодовая*) стоимость ликвидации деформированных зданий	Среднегодовая*) стоимость нового строительства зданий взамен ликвидированных	Среднегодовые объемы инвестиций в строительство объектов (по данным 2021–2035 гг.)
Здравоохранение	1 593	35	3 980	155
Образование	4 519	38	5 548	295

Источник: рассчитано автором.

*) За 27 лет.

Как видно, уровень текущих затрат (столбец «Среднегодовые объемы инвестиций в строительство объектов /по данным 2021–2035 гг./») *слабо соответствует издержкам*, которые могут возникнуть в ближайшем буду-

⁶ Стратегия социально-экономического развития муниципального образования город Норильск до 2035 года как опорного города Арктики (Восточной Арктики). URL: <https://www.norilsk-city.ru/docs/22661/docstrplan/strat2030/index.shtml> (дата обращения: 01.12.2023).

щем. Очевидно, что имеющиеся финансовые ресурсы весьма ограничены и при реализации худших сценариев геокриологических изменений потребуются изыскание значительных дополнительных средств. Особенно это актуально для других городов криолитозоны России, где отсутствует столь *крупный бизнес*, как «Норникель», способный взять на себя большую долю издержек, и еще не началась даже на уровне разработки документов работа по реновации и замещению социальной инфраструктуры.

В связи с вышеописанными тенденциями представляется необходимым развитие *геотехнического мониторинга* для существующих зданий, что позволит значительным образом *перераспределить издержки во времени* посредством своевременной установки систем термостабилизации грунтов, приоритизации в планах сноса ветхого и аварийного жилья, исходя из реальной ситуации. Но для этого необходимо понимание возможностей производства и поставки данных систем в России.

География производства и потребления систем термостабилизации грунтов в России

В Комплексном плане социально-экономического развития Норильска⁷ предусмотрено такое важнейшее *адаптационное мероприятие*, направленное на сохранение мерзлоты и уже построенных на ней зданий и сооружений, как *внедрение систем термостабилизации грунтов оснований фундаментов*. Эти системы будут установлены как для поддержания многоквартирных жилых домов, так и объектов социальной инфраструктуры (всего 51 объект), общий объем финансирования — 3,3 млрд руб.

Термостабилизация грунтов — это метод сохранения отрицательной температуры грунтов оснований с целью обеспечения устойчивости зданий и сооружений. Она осуществляется при помощи *систем термостабилизаторов* (сезоннодействующих охлаждающих устройств) — герметичных трубок, заполненных хладагентом. Трубка термостабилизатора состоит из двух основных секций: испарителя (подземной) и конденсатора (надземной). Циркуляция хладагента внутри трубки позволяет охлаждать грунт. Система начинает действовать, когда температура окружающей среды опускается ниже температуры грунта, где располагается испаритель. При этом в конденсаторной части происходит снижение давления и хладагент начинает конденсироваться на внутренние стенки устройства. В испарительной части хладагент начинает вскипать и испаряться. При этом тепло переносится из грунта в окружающую среду, тем самым понижая его температуру⁸. Важной особенностью термостабилизаторов является *автономность их работы*,

⁷ Комплексный план социально-экономического развития Норильска. URL: <http://static.government.ru/media/files/ifhn6ujdljb9jSSOOxeJssLuTtqsEx26.pdf> (дата обращения: 01.12.2023).

⁸ Системы температурной стабилизации вечномёрзлых грунтов. Журнал технических решений. URL: <https://www.npo-fsa.ru/sites/default/files/tehresh-pdf.pdf> (дата обращения: 04.12.2023).

т.е. независимость от внешних источников энергии, и, соответственно, низкие издержки на эксплуатацию.

С одной стороны, острая потребность в системах термостабилизации в России, потенциал роста спроса в связи с меняющимися климатическими условиями в будущем, уход иностранных компаний и комплектовщиков с рынка и прочие факторы вызывают интерес к исследованию экономико-географических аспектов данного вида промышленного производства. С другой стороны, нормативы, имеющиеся в действующих справочниках базовых цен, касающиеся термостабилизации, весьма приблизительны и усреднены. Зачастую они не учитывают всех особенностей конкретных территорий, для которых необходимо осуществлять расчет. В связи с этим важной исследовательской задачей является нахождение *величин реальных издержек*, связанных с разными этапами процесса термостабилизации грунтов в разных регионах. Это необходимо для последующей оценки объемов финансирования мероприятий по адаптации существующих основных фондов к меняющимся инженерно-геологическим условиям.

Можно утверждать, что отрасль производства систем термостабилизации грунтов развивается достаточно динамичными темпами и характеризуется устойчивым потребительским спросом, определяемым в первую очередь процессами потепления климата, оттаиванием многолетней мерзлоты и нарушением устойчивости фундаментов недвижимой части основных фондов. Необходимость предупреждения климатобусловленных рисков в долгосрочной перспективе будет являться ключевым драйвером развития производства данных систем. Вместе с тем область применения соответствующих установок *ограничивается* территориальными границами населенных пунктов с многоэтажной застройкой в зоне распространения многолетней мерзлоты, наличием значительного накопленного социально-экономического потенциала на данных территориях, для которого характерен риск возникновения природных и техногенных катастроф, разрушений вследствие оттаивания мерзлых грунтов оснований фундаментов.

С учетом особой значимости для территории и хозяйственной системы Российской Федерации исследуемой отрасли материального производства необходимо обеспечение консолидированной поддержки ее развития, формирования международной специализации России на рассматриваемом виде экономической деятельности, стимулирование конкуренции, например, с китайскими производителями.

На основании данных Интернет-ресурса «РосТендер» за 2016–2023 гг. по всем заявкам на тендеры, связанным с термостабилизацией грунта, можно сделать вывод, что ключевым потребителем систем термостабилизации (как в абсолютном стоимостном выражении, так и по числу заявок) в целом является топливно-энергетический комплекс и его основные составляющие – нефтегазодобывающая промышленность, трубопроводный транспорт, объекты энергетической инфраструктуры.

Т а б л и ц а 2
Ключевые компании – производители термостабилизаторов грунта в России, 2023 г.

Компания	Регион деятельности	Объемы производства (в месяц)	Выручка, 2021 г., тыс. руб.	Чистая прибыль, 2021 г., тыс. руб.	Основные виды деятельности
1	2	3	4	5	6
НПО «Север»	Владимирская область	Нет данных	759 312	48 730	Проектирование. Производство средств для термостабилизации грунтов и инженерно-геокриологического мониторинга
АО «СалаватСтройТЭК»	Владимирская область, Волгоградская область, Тюменская область	Нет данных	12 378 718	894 786	Производство балластирующих и защитных конструкций, труб с наружным утепляющим бетонным покрытием, изоляционных, геосинтетических, композитных материалов, термостабилизаторов грунта. Производство и комплексные поставки специализированной продукции на объекты строительства, ремонта и реконструкции единой системы газоснабжения ПАО «Газпром»
ООО «ПОЛИТЕХНОЛ»	Москва	Нет данных	78 477	26 167	Разработка, производство и поставка конструкций и материалов для объектов реконструкции и строительства магистральных нефтегазопроводов, дорожного, гидротехнического и гражданского строительства. Термостабилизаторы грунта
ООО НПО «Фундаментстрой-аркос»	Тюменская область	10 000 термостабилизаторов и 100 систем ГЕТ/ВЕТ*)	2 049 923	352 920	Проектирование и производство термостабилизаторов грунта. Строительно-монтажные работы

Источник: составлено автором по данным официальных сайтов компаний и аналитической системы «СПАРК-Интерфакс».

*) Горизонтальные и вертикальные естественно действующие трубчатые системы.

О к о н ч а н и е т а б л . 2

1	2	3	4	5	6
ООО «СВ-Сервис»	Тульская область	Нет данных	187 828	53	Производство промышленных изделий для нефтяных и газовых компаний, конструкции и технологии для строительства и ремонта различных объектов ТЭК, дорожного строительства, спортивного, гидротехнического, гражданского и военного назначения
ООО «Системы связи и технологического контроля»	Пермский край	Нет данных	–	–	Термоэлектрическая продукция
ООО «Ньюфрост»	Московская область	2500 термостабилизаторов	149 659	71 070	Термостабилизаторы грунта
ОАО «МОСФУНДАМЕНТ-ПРОЕКТ»	Москва	2500–3500 термостабилизаторов	71 315	12 216	Проектирование и изыскания. Строительно-монтажные работы. Термостабилизаторы грунта
ООО «Севермаш»	Ярославская область	Нет данных	595 157	651	Оборудование для атомной, водородной энергетики, общепромышленное оборудование. Термостабилизаторы грунта
ООО «МобиДик»	Курганская область	15 000 термостабилизаторов	865 982	58 004	Термостабилизаторы грунта

Таким образом, основные заказчики работ, связанных с термостабилизацией грунтов, *локализованы в наиболее экономически развитых регионах криолитозоны*, специализирующихся на добыче углеводородного сырья: в Ямало-Ненецком автономном округе, Красноярском крае, Иркутской области, Якутии, Тюменской области, Ненецком автономном округе. Также единичные тендеры проводят организации из Республики Коми, Забайкальского края, Амурской, Мурманской, Архангельской и Свердловской областей.

География производства имеет выраженную ориентацию на квалифицированные трудовые ресурсы, поскольку большинство рассмотренных компаний также занимаются НИОКР, проектными изысканиями. Таким образом, большинство из них сосредоточено в Москве и соседних регионах, со сложившейся промышленной специализацией на сложных наукоемких отраслях. В лучшей доступности к потребителю расположены компании в Тюмени, Кургане и Перми.

По финансовым показателям (чистая прибыль за 2021 г.) крупнейшими компаниями являются АО «СалаватСтройТЭК» (находится в структуре «Газпрома») и ООО НПО «Фундаментстройаркос». Также в отрасли присутствуют проблемные убыточные или близкие к этому положению компании. По показателю выручки можно косвенно судить о приблизительном объеме рынка систем термостабилизации грунта, величине спроса на отечественную продукцию в данной отрасли на сегодняшний день в России. В 2021 г. этот показатель составил порядка 17 млрд руб. Нужно отметить, что эта цифра несколько завышена, поскольку, как показано в *таблице 2*, некоторые из ключевых компаний производят значительный спектр дополнительной номенклатуры.

Исходя из открытых данных, большинство компаний производит порядка 2,5–3,5 термостабилизаторов в месяц, а более узкоспециализированные — до 10–15 тыс. шт. Таким образом, на основании этих мощностей *косвенно можно оценить физические объемы годового производства* данного вида продукции в России и, соответственно, спрос на него.

В связи с широким разнообразием видов продукции компании-производители не размещают прайс-листы на свою продукцию в открытых источниках. Как правило, расчет цен производится на основании конструкторской документации (опросных листов) заказчика. Однако можно сделать *косвенные оценки приблизительной стоимости продукции*. Так, согласно приложению к приказу Минстроя России от 14 октября 2021 г. № 746/пр «О внесении изменений в федеральный реестр сметных нормативов информации о федеральных единичных расценках и отдельных составляющих к ним»⁹, прямые затраты на установку термостабилизатора грунта диаметром до 38 мм длиной до 13 м в многолетнемерзлых грунтах составляют 7 263,93 руб. Реальные рыночные

⁹ Приказ Минстроя России от 14 октября 2021 г. № 746/пр «О внесении изменений в федеральный реестр сметных нормативов информации о федеральных единичных расценках и отдельных составляющих к ним». URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/133076/> (дата обращения: 01.12.2023).

цены, разумеется, значительно превышают эту сумму. По данным НПО «Фундаментстройаркос», 1 средний термостабилизатор обеспечивает площадь замораживания порядка 4 м² [11], а удельная стоимость стабилизации 1 м² замороженного грунта в плане здания, составляет от 10 000 до 80 000 руб. за м² [6]. Такой разброс цен связан с техническими решениями и расценками в зависимости от категории грунтов и глубины бурения.

Таким образом, если приблизительно оценить средние издержки на термостабилизацию существующих объектов социальной инфраструктуры Норильска, то они могут варьировать в достаточно широких пределах и составить от 607 млн руб. до 4,9 млрд руб. для зданий и сооружений здравоохранения; от 1,2 млрд руб. до 22 млрд руб. для недвижимой части основных фондов образования (в ценах 2023 г.). Таким образом, эти издержки *значительно ниже* величины совокупных ущербов (см. табл. 1), но вариативность их значений во многом зависит от *начальных условий*. Иными словами, необходимы *своевременные* решения в области установки систем термостабилизации в целях минимизации издержек и пролонгирования во времени замещающего строительства взамен не подлежащих восстановлению деформированных фондов.

Заключение

Норильск еще в советский период являлся городом передовых градостроительных практик и функциональных решений, направленных на то, чтобы закрепить население и сделать жизнь людей в городе с одними из самых экстремальных для проживания климатическими и экологическими условиями в России максимально комфортной и безопасной [12]. Сегодня город сталкивается с новыми вызовами, связанными с климатическими изменениями и последствиями антропогенного воздействия в пределах промышленного района на хрупкие арктические экосистемы.

При этом Норильск можно назвать в настоящий момент одним из арктических городов-пионеров, где ведется достаточно активная работа по геотехническому мониторингу и адаптации жилищного фонда и объектов социальной инфраструктуры к меняющимся условиям. Многочисленные программы и стратегии, в т.ч. направленные на поддержание таких критически важных объектов инфраструктуры, как объекты здравоохранения и образования, уже успешно реализуются. Однако, как показало проведенное исследование, этих мер, даже с учетом финансовых возможностей этого центра локализации крупного бизнеса, может оказаться недостаточно, если сопоставлять их с величиной ожидаемых ущербов от деградации многолетней мерзлоты до 2050 г.

Для того чтобы выиграть время и не допустить массовых деформаций и разрушения зданий и сооружений, построенных на мерзлоте по первому принципу, с последующим выводом их из эксплуатации, необходимо

применять своевременные адаптационные мероприятия, например, связанные с установкой систем термостабилизации, позволяющих сохранять грунты оснований в мерзлом состоянии.

Проведенный анализ показал, что в настоящее время в целом по стране основные усилия направлены на поддержание объектов энергетики и нефтегазодобывающей промышленности, т.е. обеспечение работы ключевых отраслей российского экспорта. Возможно, численные значения искомых показателей, выявленные в статье, в дальнейшем могут лечь в основу построения прогнозов издержек на адаптацию к климатическим изменениям, ущерба от деградации многолетней мерзлоты для других городов криолитозоны России, где больше пробелов в статистической информации.

Список литературы

1. Бадина С.В. Вероятные последствия деградации многолетней мерзлоты для социальной инфраструктуры Российской Арктики // *Федерализм*. 2022. Т. 27. № 4 (108). С. 155–167.
2. Бадина С.В. Прогнозирование издержек на адаптацию жилищного фонда к меняющимся геокриологическим условиям (на примере Норильска) // *Федерализм*. 2023. Т. 28. № 2 (110). С. 47–65.
3. Kislov A., Alyautdinov A., Baranskaya A., Belova N., Bogatova D., Vikulina M., Zheleznova I., Surkova G. A Spatially Detailed Projection of Environmental Conditions in the Arctic Initiated by Climate Change // *Atmosphere*. 2023. Vol. 14. N 6. URL: https://www.researchgate.net/publication/371464128_A_Spatially_Detailed_Projection_of_Environmental_Conditions_in_the_Arctic_Initiated_by_Climate_Change (дата обращения: 04.12.2023).
4. Клинические аспекты полярной медицины / под ред. В.П. Казначеева. М.: Медицина, 1986. 208 с.
5. Анисимов О.А., Белолуцкая М.А. Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России // *Метеорология и гидрология*. 2002. № 6. С. 15–22.
6. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В. и др. Оценка ущерба жилым и промышленным зданиям и сооружениям при изменении температур и оттаивании многолетнемерзлых грунтов в Арктической зоне Российской Федерации к середине XXI века // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2021. № 1. С. 14–31.
7. Hjort J., Karjalainen O., Aalto J., Westermann S. Degrading Permafrost Puts Arctic Infrastructure at Risk by Midcentury // *Nature Communications*. 2018. Vol. 9 (1). URL: https://www.researchgate.net/publication/329348012_Degrading_permafrost_puts_Arctic_infrastructure_at_risk_by_mid-century (дата обращения: 04.12.2023).
8. Streletskiy D.A., Suter L., Shiklomanov N.I., Porfiriev B.N. Assessment of Climate Change Impacts on Buildings, Structures and Infrastructure in the Russian Regions on Permafrost // *Environmental Research Letters*. 2019. Vol. 14. N 2. URL: https://www.researchgate.net/publication/330813756_Assessment_of_climate_change_impacts_on_buildings_structures_and_infrastructure_in_the_Russian_regions_on_permafrost (дата обращения: 04.12.2023).

9. Suter L., Shiklomanov N., Streletskiy D. Assessment of the cost of climate Change Impacts on Critical Infrastructure in the Circumpolar Arctic // *Polar Geography*. 2019. Vol. 42. P. 267–286.

10. Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А. Экономическая оценка последствий деградации многолетней мерзлоты для объектов системы здравоохранения российской Арктики // *Вестник РАН*. 2021. Т. 91. № 12. С. 1125–1136.

11. Аникин Г.В., Плотников С.Н., Спасенникова К.А. Расчет динамики промерзания грунта под воздействием одиночного термосифона // *Криосфера Земли*. 2013. Т. 17. № 1. С. 51–55.

12. Замятина Н.Ю. Норильск – город фронта // *Вестник Евразии*. 2007. № 1. С. 167–192.

References

1. Badina S.V. Veroyatnye posledstviia degradatsii mnogoletnei merzloty dlia sotsial'noi infrastruktury Rossiiskoi Arktiki [Probable Consequences of the Degradation of Permafrost for the Social Infrastructure of the Russian Arctic], *Federalizm* [Federalism], 2022, Vol. 27, No. 4 (108), pp. 155–167. (In Russ.).

2. Badina S.V. Prognozirovanie izderzhek na adaptatsiiu zhilishchnogo fonda k meniaiushchimsia geokriologicheskim usloviyam (na primere Noril'ska) [Forecasting the Costs of Adapting Housing Stock to Changing Geocryological Conditions (on the Example of Noril'sk)], *Federalizm* [Federalism], 2023, Vol. 28, No. 2 (110), pp. 47–65. (In Russ.).

3. Kislov A., Alyautdinov A., Baranskaya A., Belova N., Bogatova D., Vikulina M., Zheleznova I., Surkova G. A Spatially Detailed Projection of Environmental Conditions in the Arctic Initiated by Climate Change, *Atmosphere*, 2023, Vol. 14, No. 6. Available at: https://www.researchgate.net/publication/371464128_A_Spatially_Detailed_Projection_of_Environmental_Conditions_in_the_Arctic_Initiated_by_Climate_Change (accessed 04 December 2023).

4. Klinicheskie aspekty poliarnoi meditsiny [Clinical Aspects of Polar Medicine], edited by V.P. Kaznacheev Moscow, Meditsina, 1986, 208 p. (In Russ.).

5. Anisimov O.A., Belolutskaia M.A. Otsenka vliianiia izmeneniia klimata i degradatsii vechnoi merzloty na infrastrukturu v severnykh regionakh Rossii [Assessment of the Impact of Climate Change and Permafrost Degradation on Infrastructure in the Northern Regions of Russia], *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2002, No. 6, pp. 15–22. (In Russ.).

6. Mel'nikov V.P., Osipov V.I., Brushkov A.V. i dr. Otsenka ushcherba zhilyim i promyshlennym zdaniyam i sooruzheniiam pri izmenenii temperatur i ottaivanii mnogoletnemerzlykh gruntov v Arkticheskoi zone Rossiiskoi Federatsii k seredine XXI veka [Assessment of Damage to Residential and Industrial Buildings and Structures During Temperature Changes and Thawing of Permafrost Soils in the Arctic Zone of the Russian Federation by the Middle of the XXI Century], *Geoekologiya. Inzhenernaia geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* [Geocology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology], 2021, No. 1, pp. 14–31. (In Russ.).

7. Hjort J., Karjalainen O., Aalto J. et al. Degrading Permafrost Puts Arctic Infrastructure at Risk by Midcentury, *Nature communications*, 2018, Vol. 9 (1). Available at: https://www.researchgate.net/publication/329348012_Degrading_permafrost_puts_Arctic_infrastructure_at_risk_by_mid-century (accessed 04 December 2023).

8. Streletskiy D.A., Suter L., Shiklomanov N.I., Porfiriev B.N. Assessment of Climate Change Impacts on Buildings, Structures and Infrastructure in the Russian

Regions on Permafrost, *Environmental Research Letters*, 2019, Vol. 14, No. 2. Available at: https://www.researchgate.net/publication/330813756_Assessment_of_climate_change_impacts_on_buildings_structures_and_infrastructure_in_the_Russian_regions_on_permafrost (accessed 04 December 2023).

9. Suter L., Shiklomanov N., Streletskiy D. Assessment of the Cost of Climate Change Impacts on Critical Infrastructure in the Circumpolar Arctic, *Polar Geography*, 2019, Vol. 42, pp. 267–286.

10. Porfir'ev B.N., Eliseev D.O., Streletskii D.A. Ekonomicheskaya otsenka posledstviy degradatsii mnogoletnei merzloty dlia ob"ektov sistemy zdoravookhraneniia rossiiskoi Arktiki [Economic Assessment of the Consequences of Permafrost Degradation for the Health Care Facilities of the Russian Arctic], *Vestnik RAN* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences], 2021, Vol. 91, No. 12, pp. 1125–1136. (In Russ.).

11. Anikin G.V., Plotnikov S.N., Spasennikova K.A. Raschet dinamiki promerzaniia grunta pod vozdeistviem odinochnogo termosifona [Calculation of the Dynamics of Soil Freezing Under the Influence of a Single Thermosiphon], *Kriosfera Zemli* [The Cryosphere of the Earth], 2013, Vol. 17, No. 1, pp. 51–55. (In Russ.).

12. Zamiatina N.Iu. Noril'sk – gorod frontira [Norilsk – the City of the Frontier], *Vestnik Evrazii* [Bulletin of Eurasia], 2007, No. 1, pp. 167–192. (In Russ.).

FORECASTING THE COSTS OF ADAPTING SOCIAL INFRASTRUCTURE TO CHANGING GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS (THE CASE OF NORILSK)

Climate change and increased anthropogenic impact lead to the melting of permafrost and, consequently, destruction and deformation of buildings and structures built on it. This causes significant additional financial costs associated with the need to use specific technologies for the construction and operation of buildings in the permafrost zone, as well as direct and indirect damage from the loss of fixed assets. According to forecasts of geocryological changes, in the Russian Arctic these negative trends should intensify in the future. In this study, using the case of the Norilsk city (Krasnoyarsk Krai, Russia), some problems associated with estimating the costs of adapting healthcare and educational facilities built on permafrost to changes in engineering and geocryological conditions until the middle of the 21st century are analyzed. The analysis showed that the amount of probable costs for the group of objects under consideration associated with direct damage from deformation and destruction of buildings, as well as the need for their liquidation and replacement construction, significantly exceeds the financial resources allocated for this in the relevant strategic documents planning of Norilsk. An effective mechanism for redistributing damage over time and reducing it is the installation of the soil thermal stabilization systems. The paper briefly analyzes the geography of production and consumption of this type of product. The results obtained can be used to develop similar assessments and adaptation programs in cities in the permafrost zone of Russia.

Keywords: Arctic zone of the Russian Federation, permafrost, fixed assets, damage, social infrastructure.

JEL: I10, I20, R53

Дата поступления – 03.12.2023 г.

БАДИНА Светлана Вадимовна

кандидат географических наук, старший научный сотрудник научной лаборатории «Региональная политика и региональные инвестиционные процессы»;

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова» / Стремянный пер., д. 36, г. Москва, 109992;

старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории геоэкологии Севера географического факультета;

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» / Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991.

e-mail: bad412@yandex.ru

BADINA Svetlana V.

Cand. Sc. (Geography), Senior Researcher of the Research Laboratory “Regional Policy and Regional Investment Processes”;

Federal State Budgetary Institute of Higher Education “Plekhanov Russian University of Economics” / 36, Stremyanny Lane, Moscow, 109992;

Senior Researcher of the Laboratory of Geoecology of the North, Faculty of Geography;

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Lomonosov Moscow State University” / 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991.

e-mail: bad412@yandex.ru

Для цитирования:

Бадина С.В. Прогнозирование издержек на адаптацию социальной инфраструктуры к меняющимся геокриологическим условиям (на примере Норильска) // Федерализм. 2023. Т. 28. № 4 (112). С. 140–156. DOI: <http://dx.doi.org/10.21686/2073-1051-2023-4-140-156>