

С.В. БАДИНА**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗДЕРЖЕК НА АДАПТАЦИЮ
ЖИЛИЩНОГО ФОНДА К МЕНЯЮЩИМСЯ
ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ
(НА ПРИМЕРЕ НОРИЛЬСКА)***

Проблема прогнозирования социально-экономических последствий деградации многолетней мерзлоты вследствие климатических изменений — важное направление современных научных исследований. В настоящий момент не существует унифицированных подходов и методик к оценке данного вида природного риска. Соответственно, нет достоверного представления о масштабах вероятных последствий, что в свою очередь проявляется в слабой проработанности вопроса в документах стратегического планирования для территорий распространения многолетнемерзлых пород. Город Норильск Красноярского края — пример арктического города России, расположенного в условиях криолитозоны, где началась активная работа по реновации жилищного фонда, в т.ч. вследствие проблем, связанных с деградацией многолетней мерзлоты под воздействием антропогенного и климатического факторов. Анализ нормативно-правовых документов, связанных с социально-экономическим развитием города, планов реновации и документов, направленных на решение проблемы замещения деформированного жилищного фонда, показал, что масштаб мероприятий не в полной мере отвечает серьезности проблемы. Сопоставление ключевых характеристик жилищного фонда Норильска с учетом его текущего состояния и планов по трансформации с долгосрочным прогнозом изменения инженерно-геокриологических условий до 2050 г. позволило оценить совокупные издержки на адаптацию, которые могут достигнуть 1,6 трлн руб. в ценах 2023 г. В дополнение был составлен рейтинг муниципальных образований Арктической зоны Российской Федерации, основанный на соотношении показателей, характеризующих внутренние адаптационные возможности к меняющимся инженерно-геокриологическим условиям и размер ожидаемых ущербов для недвижимой части основных фондов. Было установлено, что в целом масштаб вероятных последствий существенно превышает имеющиеся ресурсы, причем наиболее негативная ситуация складывается и без того на наиболее депрессивных территориях.

* Статья подготовлена по результатам исследования, выполненного при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 21-77-00047.

Ключевые слова: Арктическая зона Российской Федерации, жилищный фонд, климатические изменения, многолетняя мерзлота.

JEL: I10, I20, R53

Существует исследовательская проблема, связанная с необходимостью применения специфических социально-экономических показателей в исследованиях природного и техногенного риска для прогнозирования потенциальных ущербов, которые зачастую *не систематизированы и не всегда доступны в открытых информационных источниках*. Например, для оценки потенциального ущерба для жилищного фонда от деградации многолетней мерзлоты вследствие климатических изменений требуется рассчитать три вида издержек: стоимость термостабилизации грунтов оснований и пределы экономической эффективности их применения, стоимость ликвидации домов, фундаменты которых не подлежат сохранению и, наконец, стоимость нового строительства, взамен ликвидированных объектов. При этом такого рода научные исследования преимущественно выполняются на макроуровне — стран и крупных регионов [1; 2; 3]. Отсутствие официальной статистики, необходимой для прогноза ущерба, предопределяет два пути:

- *дедуктивный*, когда имеющиеся общие по региону/стране показатели распределяют по более низким иерархическим уровням (например, как было показано в предыдущих работах автора [4]);
- *индуктивный*, когда, напротив, полученные на микроуровне (уровне конкретных объектов) результаты экстраполируют на макроуровень с учетом необходимых ограничений и допущений.

В статье предлагается, прибегнув ко второму варианту, оценить издержки на адаптацию жилищного фонда к меняющимся инженерно-геологическим условиям до 2050 г. в достаточно крупном масштабе экономико-географических исследований на примере города Норильска. Численные значения искомых показателей, выявленные в данной работе, в дальнейшем могут лечь в основу построения аналогичных прогнозов для других городов криолитозоны России, где больше пробелов в статистической информации.

Однако следует оговорить методологические ограничения, связанные с *неполной индукцией*. Противоречивость и недостатки индуктивного подхода в научном исследовании отчетливо показаны еще Дэвидом Юмом в середине XVIII в. Даже известный немецко-американский философ Ганс Рейенбах, будучи приверженцем индуктивной логики, писал о принципе индукции лишь как о средстве, с помощью которого наука распознает истину: «Науке не дано полностью обрести ни истины, ни ложности... научные высказывания могут приобретать *степени вероятности*, недостижимыми верхним и нижним пределами которых служат истина и ложь» [5]. Такой принцип весьма точно характеризует исследования в области природного риска, где неопределенность столь высока, что приближение к определенному интервалу достоверности уже

является значимым результатом. В связи с этим применение дедуктивно-го метода проверки, согласно которому гипотезу можно проверить только эмпирически и только после того, как она была выдвинута [6], является необходимым дополнением, т.е. оба принципа должны быть применены вместе с целью уточнения и повышения достоверности результатов.

Программа реновации жилищного фонда Норильска в контексте мер по адаптации к меняющимся инженерно-геокриологическим условиям

Рассмотрим подробнее физико-географический аспект проблемы. Потепление климата последних лет привело к увеличению температуры многолетнемерзлых пород. Температура многолетней мерзлоты на глубине нулевых годовых колебаний увеличилась на 0,5–2,0°C за последние 20–30 лет в целом по криолитозоне России. Сложившаяся ситуация стала возможной причиной *массовых деформаций* и в отдельных случаях *обрушений зданий и сооружений* в большинстве населенных пунктов Арктической зоны Российской Федерации, построенных на мерзлоте по первому принципу [7]. Существует два основных принципа строительства на многолетнемерзлых грунтах.

Первый предполагает их сохранение в мерзлом состоянии в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения (т.е. для свайных фундаментов – прочное смерзание свай и многолетнемерзлых пород, в которые они помещаются). При применении второго принципа в качестве оснований зданий используются предварительно оттаянные грунты или грунты, оттаивающие в период эксплуатации сооружения. Более 75 % зданий на мерзлоте построено по первому принципу. При этом предпочтение отдается свайным фундаментам [8]. Прочность сцепления свайного фундамента с грунтом при увеличении температуры многолетней мерзлоты падает экспоненциально, что приводит к серьезным деформациям и разрушениям. Например, при переходе от -3°C к -2°C прочность сцепления падает на 50 кПа, а от -2°C до -1°C уже на 100 кПа [9].

Основная часть современного жилищного фонда Норильска построенная на многолетнемерзлых грунтах по первому принципу. Антропогенные воздействия, связанные с хозяйственной деятельностью, а также объективные тренды климатических изменений коренным образом *трансформируют исходные инженерно-геокриологические условия*, стимулируют развитие опасных криогенных процессов, снижают несущую способность фундаментов, приводят к деформациям зданий и сооружений.

Многоквартирный жилищный фонд города Норильска достаточно старый. Свыше 28% зданий имеют срок эксплуатации более 50 лет, 55% – 30–50 лет, 16% – 11–30 лет и лишь 0,5% – до 10 лет¹. К началу XXI в. около 250 крупных сооружений в городах Норильского про-

¹ По данным муниципальной программы «Комплексное социально-экономическое развитие города Норильска» от 2021 г. (см.: Официальный сайт города Норильска. URL: https://norilsk-city.ru/files/105265/182316/post_599_09122021.pdf (дата обращения: 22.04.2023)).

мышленного района имели существенные деформации, связанные с ухудшением мерзлотных условий, около 100 объектов находились в аварийном состоянии, 35 девяти- и пятиэтажных домов, возведенных в 60–80-е гг. XX в., были снесены или подлежали сносу [10]. Данная тенденция сохранилась и усилилась в последующие годы. В Стратегии социально-экономического развития муниципального образования город Норильск до 2030 г.² указано, что *половина жилищного фонда города уже имеет деформации, под угрозой потери жилья находится треть населения*, а система геотехнического мониторинга упразднена с уходом советской эпохи. Инновационный сценарий развития предполагает активацию жилищного строительства и создание системы контроля за мерзлотно-геокриологической обстановкой. Однако, как будет показано далее, фактическая реализация сценария идет, по-видимому, весьма низкими темпами, не отвечающими в полной мере остроте проблемы.

Общая площадь жилищного фонда города Норильска в 2022 г. составила 4 297,28 тыс. м² (856 домов), душевая обеспеченность – порядка 23,4 м на чел., что практически является средним значением для территории Арктической зоны Российской Федерации. Прогноз социально-экономического развития муниципального образования город Норильск на 2023–2025 гг.³ учитывает в качестве аварийных лишь 44,3 тыс. м², т.е. 8 домов, в которых проживает 2 823 чел. (или лишь 1% от общего фонда, что плохо соотносится с цифрами, указанными в вышеупомянутой Стратегии). Также прогноз предполагает повышение численности населения со 183,3 тыс. чел. в 2021 г. до 188,9 тыс. чел. в 2025 г. при снижении общей площади жилищного фонда до 4 258,61 тыс. м², соответственно, обеспеченность понизится. В связи с этим принятая к реализации программа реновации жилищного фонда на этот период позволит лишь в небольшой степени поддерживать текущее состояние, а не предполагает активного развития.

В рамках четырехсторонних соглашений о взаимодействии и сотрудничестве между Министерством регионального развития Российской Федерации, Красноярским краем, муниципальным образованием город Норильск и ПАО «ГМК «Норильский Никель» в 2011–2020 гг. были осуществлены мероприятия по сохранению устойчивости 283 зданий перспективного жилищного фонда (т.е. порядка трети от всего существующего фонда), комплексному капитальному ремонту трех многоквартирных домов и сносу 18 аварийных и ветхих строений. В планах нового этапа сотрудничества, начавшегося в 2021 г. и отраженного в комплексном плане социально-экономического развития города Норильска на 2021–2024 гг., началась программа реновации ветхого жи-

² Стратегия Норильск 2030 // Официальный сайт города Норильска. URL: <https://norilsk-city.ru/docs/22661/docstrplan/strat2030/index.shtml> (дата обращения: 22.04.2023).

³ Прогноз социально-экономического развития муниципального образования город Норильск на 2023–2025 гг. // Официальный сайт города Норильска. URL: https://norilsk-city.ru/files/22661/33153/prognoz_2023_2025k.pdf (дата обращения: 22.04.2023).

лищного фонда до 2035 г.⁴, предполагающая ликвидацию 45 аварийных и ветхих жилых домов, строительство (реконструкцию) 37 многоэтажных жилых домов и 41 малоэтажных жилых дома на существующих фундаментах, а также 3 домов, имеющих историческую ценность. Также предполагаются мероприятия по термостабилизации грунтов оснований 12 многоквартирных жилых домов и социальных объектов в период с 2021 по 2024 г. и 39 аналогичных объектов в 2025–2035 гг. (утвержденные объемы финансирования до 2024 г. показаны в *таблице 1*).⁵

Т а б л и ц а 1

План реновации жилищного фонда города Норильска до 2024 г.

Мероприятие	Общий объем финансирования, млн руб. ⁶	Количество домов	Средние затраты на 1 объект, млн руб.
Ликвидация аварийного жилищного фонда	143,4	7 (общая площадь — 59,5 тыс. м²)	20,5
Строительство (реконструкция) многоэтажных жилых домов	3 434,7	5	686,9
Строительство (реконструкция) многоэтажных жилых домов на существующих фундаментах	3 220,0	10	322
Реконструкция домов, имеющих историческую ценность	294,8	3	98,3
Термостабилизация грунтов под многоквартирными домами и социальными объектами	648,3	12	54
Всего	7 741,2	—	—

Источник: составлено автором по [11].

Таким образом, с учетом проведенных мероприятий на предыдущем этапе, очевидно, что программа реновации затрагивает лишь малую долю проблемного фонда, и новое запланированное до 2024 г. строительство и реконструкция, а также термостабилизация грунтов оснований *в полной мере не решат существующей проблемы*. Вместе с тем издержки на реализацию программы реновации весьма высоки и составляют 7,7 млрд руб. в ценах 2021 г., хотя речь идет работе всего лишь с несколькими процентами от общего существующего жилищного фонда (если

⁴ Комплексный подход к решению городских задач 2035 // Официальный сайт города Норильска. URL: http://norilsk-city.ru/files/84/100694/prezentaciya_kompleksnyj_podhod_03042021.pdf (дата обращения: 22.04.2023).

⁵ Там же.

⁶ В т.ч. из средств федерального бюджета, средств консолидированного бюджета Красноярского края, ГМК «Норильский никель».

не принимать во внимание финансирование основной части программы со стороны «Норильского никеля», то эта сумма составляет порядка 40% всех доходов бюджета Норильска в 2021 г., что говорит об ограниченности внутренних ресурсов на подобные программы в других проблемных городах криолитозоны, где отсутствует столь крупный бизнес).

Оценка издержек на адаптацию многоквартирного жилищного фонда города Норильска с учетом прогнозов изменения инженерно-геокриологических условий до 2050 г.

Согласно прогнозам деградации многолетней мерзлоты вследствие климатических изменений [12], при условии реализации наиболее негативного сценария потепления деформациям и разрушениям к 2050 г. будет подвергнуто порядка 95% от существующего в 2020 г. жилищного фонда Норильска. Исключим из этой суммы дома, запланированные к сносу и термостабилизации до 2035 г. в ходе реализации проанализированных выше программ (45 домов, подлежащих сносу, 51 — термостабилизации грунтов). Таким образом, при условии эффективной реализации указанных мероприятий *разрушениям и деформациям вследствие растепления грунтов оснований до 2050 г. в Норильске будет подвергнуто порядка 717 домов*. Примем допущение, что новые запланированные к строительству дома останутся устойчивыми, хотя ряд ведущих российских экспертов-мерзловедов придерживаются мнения, что при сохранении сегодняшних технологий для нового строительства в криолитозоне, новые постройки не менее уязвимы.

Автором была составлена база данных объектов жилищного фонда Норильска по данным Фонда содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства⁷, из которой были исключены адреса объектов, подлежащих сносу/стабилизации. Необходимые для проведения расчетов данные о сериях домов, годах ввода в эксплуатацию, этажности, количестве подъездов и квартир, общих и жилых площадях, площадях подвалов, типах и материалах фундаментов, проценте их износа были взяты из открытого ресурса Общественный проект «Дом.МинЖКХ.РУ»⁸. Фрагмент базы данных представлен в *таблице 2*.

По ранее разработанной и апробированной автором методике [14] была оценена рыночная стоимость существующих жилых домов (здесь и далее — в ценах 2023 г.). Для оценки ликвидационной стоимости этой доли жилищного фонда был рассчитан показатель средней стоимости ликвидации 1 м² домов соответствующих серий, исходя из данных о финансировании аналогичных мероприятий, изложенных в вышеупомянутых нормативно-правовых документах города Норильска. Было установлено, что средняя стоимость ликвидации 1 м² жилищного фонда

⁷ Фонд развития территорий. URL: <https://www.reformagkh.ru/?tid=2360551> (дата обращения: 22.04.2023).

⁸ Жилой фонд в Норильске // ДОМ.МинЖКХ.РУ. URL: <https://dom.mingkh.ru/krasnoyarskiy-kray/norilsk/> (дата обращения: 22.04.2023).

в Норильске составляет порядка 2 410 руб. Для расчетов нового замещающего жилищного строительства также были использованы данные о предельной сметной стоимости конкретных объектов и их метраже. Таким образом, средняя стоимость строительства 1 м² многоквартирного жилого дома в Норильске составляет порядка 270 тыс. руб. за квадратный метр, что существенно выше показателя Единой информационной системы жилищного строительства⁹, имеющегося для Красноярского края – 41,8 тыс. руб.

Т а б л и ц а 2

Фрагмент базы данных жилых домов города Норильска

Адрес	Год	Количество этажей	Количество квартир	Количество подъездов	Серия	Площадь многоквартирного дома, м ²	Площадь жилых помещений м ²	Площадь подвала, м ²	Фундамент	Физический износ, %
Пр-кт Ленинский, 1	1951	7	86	5	Сталинка	13 131,4	7 626,33	637	Столбчатый	15
Пр-кт Ленинский, 44А	1970	5	60	3	1-464-М	2 602,2	2 602	653	Свайный	20
Пр-кт Ленинский, 47В	2015	3	61	2	1-447	1 919,4	1 434	760,4	Свайный	20
Ул. Полярная, 1	1974	9	139	4	к-69	7 343,2	7 202,1	1375	Ленточный	31
Ул. Таймырская, 1	1973	5	59	3	1-447с	2 498	2 458,9	690	Ленточный ростверк по сваям	20

Источник: составлено автором по [13].

Таким образом, в результате расчетов получилось численное значение совершенно другого порядка – *совокупный ущерб* жилищному фонду Норильска к 2050 г. от деградации многолетней мерзлоты вследствие климатических изменений *может достигнуть 1,6 трлн руб.* в ценах 2023 г. (см. табл. 3). Это сопоставимо с *годовой выручкой* всего «Норильского никеля», не говоря уже о возможностях краевого и муниципального бюджетов. Кроме того, ввиду кризисных явлений в российской экономике, вызванных многими факторами, положение таких экспортоориентированных промышленных гигантов, как «Норильский никель», тоже

⁹ Стоимость строительства 1 м² общей площади в каждом регионе в октябре 2022 г. // Минстрой России. URL: <https://наш.дом.рф/медиа/новости/2022/10/стоимость-строительства-1-кв.-метра-общей-площади-в-каждом-регионе-в-октябре-2022-года> (дата обращения: 22.04.2023).

имеет высокую неопределенность, а, соответственно, и их дальнейшие финансовые возможности, связанные с реализацией программ по социальной ответственности, также неоднозначны. Например, В I квартале 2023 г. «Норильский никель» получил чистый убыток в размере 31,66 млрд руб.¹⁰, что не было характерным для предыдущих периодов.

Т а б л и ц а 3

Оценочная стоимость ущерба жилищному фонду города Норильска к 2050 г. от деградации многолетней мерзлоты вследствие климатических изменений (в ценах 2023 г.)

Составляющая ущерба	Млрд руб.
Величина прямого ущерба для жилищного фонда (потеря рыночной стоимости)	217,5
Стоимость ликвидации деформированного жилищного фонда	12,2
Стоимость нового строительства взамен ликвидированного	1 365,6
Стоимость термостабилизации грунтов оснований жилищного фонда	39
Всего	1 595,3

Источник: рассчитано автором.

Стоимость термостабилизации зданий складывается из издержек на изготовление, транспортировку и строительно-монтажные работы по установке термостабилизаторов. Подбор их количества и геометрического расположения выполняется по результатам теплотехнического моделирования, поэтому каждый конкретный объект уникален и требует индивидуального подхода. Вместе с тем потребность в проведении комплексных мелкомасштабных оценок вызывает необходимость получения агрегированных усредненных показателей.

В связи с широким разнообразием видов продукции компании — производители систем термостабилизации грунтов 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 о 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», прямые затраты на установку термостабилизатора грунта диаметром до 38 мм, длиной до 13 м в многолетнемерзлых грунтах составляют 7 263,93 руб. Реальные рыночные цены, разумеется, выше. В среднем по данным НПО «Фундаментстройаркос» (одного из крупнейших

¹⁰ «Норникель» получил чистый квартальный убыток по РСБУ в 31,7 млрд руб. // Интерфакс. URL: <https://www.interfax.ru/business/898340> (дата обращения: 28.04.2023).

предприятий, занимающихся термостабилизацией зданий и сооружений в условиях криолитозоны России), 1 средний термостабилизатор обеспечивает площадь замораживания порядка 4 м² [15], а удельная стоимость стабилизации 1 м² замороженного грунта в плане здания, составляет от 10 000 до 80 000 руб. за 1 м² [12]. Такой разброс цен связан с техническими решениями и расценками в зависимости от категории грунтов и глубины бурения. По данным, приведенным в работе [16], стоимость термостабилизации 1 м² грунта (с учетом стоимости самого термостабилизатора и его монтажа) составляет 176 долл. США, т.е. порядка 12,8 тыс. руб. по средневзвешенному курсу на 1 квартал 2023 г.

При проведении оценок необходимо также учитывать тот факт, что, по неофициальным данным, высокая доля термостабилизаторов *повреждается при неквалифицированном монтаже*, по различным причинам выходит из строя за первые годы эксплуатации, работает на 50% проектной мощности в современном климате. Это влечет дополнительные и зачастую непредвиденные издержки.

В условиях отсутствия доступной информации по данной проблеме был задействован ресурс «РосТендер»¹¹, где была доступна сметная документация по термостабилизации двух многоквартирных домов в Норильске, а также вышеупомянутые нормативно-правовые документы Норильска. Их анализ в целом *подтвердил вышеизложенные ценовые закономерности*: совокупная стоимость стабилизации 1 м² замороженного грунта в плане здания в Норильске колеблется от 4,3 тыс. руб. до 136 тыс. руб. (в зависимости от серии, года постройки домов, текущего состояния фундаментов). В связи с этим для расчета показателя по всему фонду, требующему термостабилизации (не исключаем из рассмотрения стабилизированные в 2011–2020 гг. фундаменты, т.к. за такой промежуток времени значительная часть термостабилизаторов выходит из строя, а условия продолжают меняться), примем медианное значение, равное порядка 40 тыс. руб. за м². Путем перемножения с площадями оснований требующих термостабилизации жилых домов в первом приближении удалось установить, что общие издержки могут достигнуть 39 млрд руб. в ценах 2023 г.

Близкие пропорции ущерба для жилищного фонда от таяния многолетней мерзлоты, по-видимому, характерны и для остальных урбанизированных территорий криолитозоны российской Арктики в зависимости от того, как скоро будут разработаны и начнут реализовываться *планы адаптационных мероприятий*.

¹¹ Тендеры: термостабилизаторы грунтов // РосТендер. URL: https://rostender.info/category/tendery-termostabilizaciya-gruntov?active_filter=1&page=1 (дата обращения: 22.04.2023).

***Потенциал противостояния муниципальных образований регионов
Арктической зоны Российской Федерации геокриологическим
опасностям и в целом негативным последствиям климатических
изменений***

В контексте вышеизложенных проблем важно понимание, *насколько силен потенциал противостояния* конкретных территорий к изменению инженерно-геокриологических условий под воздействием климатических изменений или хотя бы как разные районы Арктической зоны Российской Федерации *дифференцированы между собой* по этому признаку. Для этих целей был разработан специальный индекс на уровне муниципальных образований. В него были включены следующие статистические показатели Росстата¹², усредненные за 2020–2022 гг.:

1. Валовое производство на территории муниципального образования (*GP*).

2. Текущие (эксплуатационные) затраты на охрану окружающей среды, включая оплату услуг природоохранного назначения (*ЕС*).

3. Инвестиции в основной капитал, осуществляемые организациями, находящимися на территории муниципального образования (без субъектов малого предпринимательства) (*I*).

4. Финансовый результат прибыльных организаций по данным бухгалтерской отчетности (*F*).

В первую очередь эти показатели наилучшим образом отражают:

- реальный размер экономики муниципального образования (показатели валового производства и финансового результата прибыльных организаций);
- возможности инвестирования в возобновление основных фондов и склонность к экологической ответственности (показатели инвестиций в основной капитал и затрат на природоохранную деятельность).

Показатели преднамеренно были взяты в абсолютном выражении, т.к. потенциальные ущербы имеют такой же формат.

Показатель *валового производства муниципального образования* был рассчитан, исходя из фактических данных, имеющихся в базе данных показателей муниципальных образований Росстата (данных о промышленном и сельскохозяйственном производстве), а также путем распределения региональных значений оборота организаций по видам экономической деятельности, согласно ОКВЭД-2, пропорционально доле каждого муниципалитета в фонде заработной платы соответствующих отраслей.

Следующим шагом была *нормировка* четырех показателей, т.е. их линейное преобразование таким образом, чтобы их значения измерялись в одинаковых единицах и попали в сопоставимые по величине интер-

¹² База данных Росстата «Показатели муниципальных образований» // Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Munst.htm> (дата обращения: 22.04.2023).

валы. В качестве метода нормировки, исходя из первичного анализа заявленных показателей, наиболее оптимальным представляется метод нелинейной нормировки (1), поскольку он предполагает работу с аномальными значениями (выбросами) и ориентирование не на экстремальные значения, а на типичные, т.е. на статистические характеристики данных, такие как среднее и дисперсия. Функция нелинейного преобразования имеет вид:

$$XN(i) = \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{X(i) - \bar{X}}{\delta}\right)}, \quad (1)$$

где δ – стандартное отклонение значений i -й переменной;

$XN(i)$ – нормированное значение i -й переменной;

$X(i)$ – исходное значение i -й переменной;

$\bar{X}$ – среднее значение i -й переменной.

При данном способе нормирования данных гарантируется, что распределение значений после такого нелинейного преобразования становится гораздо ближе к равномерному. Таким образом, мы получаем достаточно компактное распределение интегрального индекса, где большая группа минимальных переменных уже не стремится к нулю (как при линейном преобразовании) и хорошо дифференцируема.

Сумма четырех получившихся нормированных (N) показателей дает значение искомого интегрального индекса адаптационного потенциала (R) для i -го муниципального образования:

$$Ri = NGPi + NECi + Nli + NFi. \quad (2)$$

Итоговый рейтинг муниципальных образований Арктической зоны Российской Федерации по уровню потенциала противостояния геокриологическим опасностям и в целом негативным последствиям климатических изменений, составленный на основании количественной оценки масштаба муниципальных экономик, внутренних бюджетных ресурсов муниципалитетов и финансового потенциала зарегистрированных на их территории компаний, был сопоставлен с размером ожидаемых при умеренном сценарии потепления до 2050 г. ущербов для зданий и сооружений, построенных на мерзлоте по первому принципу (при котором многолетнемерзлые грунты основания используются в мерзлом или промораживаемом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения (см. рис 1).

Как показано на карте, ареалы максимальной ожидаемой деградации многолетней мерзлоты, максимальных размеров ущербов от этого жилым домам, зданиям и сооружениям отраслей экономики в целом соответствуют главным ареалам добычи высокоценных экспортноориентированных полезных ископаемых. Соответственно, индекс, характеризующий потенциал противостояния (возможность нести соответствующие издержки) в этих муниципальных образованиях, также достаточно вы-

сок. При этом имеются исключения — районы, где вероятность больших ущербов высока, а внутренние ресурсы на адаптацию, напротив, весьма ограничены, например, в Воркуте. Именно эти территории требуют первостепенного внимания, в т.ч. в рамках региональной политики Федерального центра.

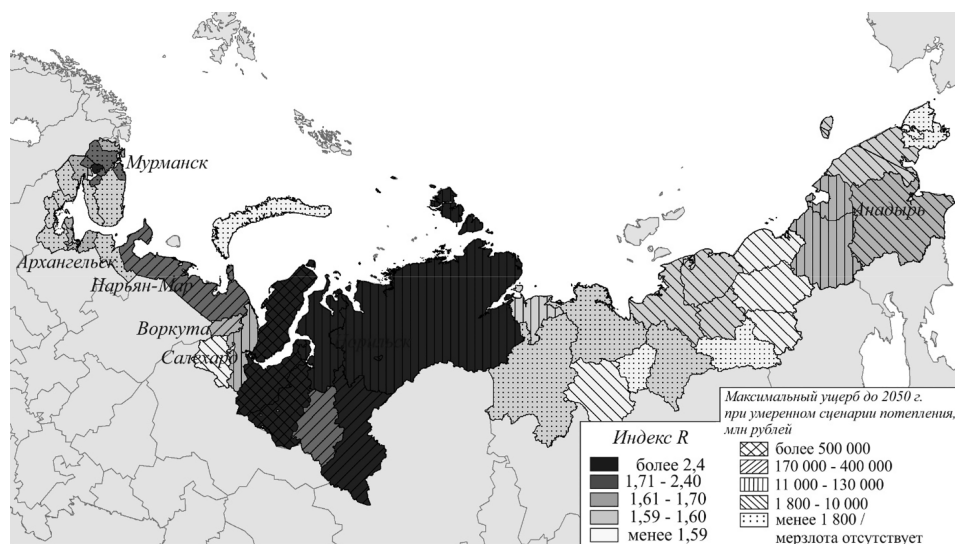


Рис. 1. Карта потенциала противостояния муниципальных образований регионов Арктической зоны Российской Федерации к геокриологическим опасностям

Источник: составлена автором по результатам собственных расчетов — Индекс R, и [17] — данные о максимальном ущербе для зданий и сооружений.

Для более наглядной иллюстрации вышеописанных закономерностей рассмотрим в дополнение соотношение показателей «Инвестиции в основной капитал, осуществляемые организациями, находящимися на территории муниципального образования (без субъектов малого предпринимательства), тыс. руб.» (среднегодовое значение за 2020–2022 гг.) и «Максимальный ущерб для зданий и сооружений, построенных на мерзлоте, при умеренном сценарии потепления до 2050 года» (для муниципалитетов, расположенных в условиях криолитозоны (см. рис. 2)). В большинстве рассмотренных районов этот показатель занимает малую долю процента, особенно в Воркуте, наименее экономически развитых арктических улусах Якутии, городах Ямало-Ненецкого автономного округа. Такие низкие значения этого показателя подчеркивают важность понимания вероятности того, что при реализации негативных сценариев изменения инженерно-геокриологических условий и, как следствие, стремительном выводе из эксплуатации значительной доли деформированных и разрушенных основных фондов, потребуются изыскание существенных дополнительных источников финансирования для преодоления сложившейся ситуации, поддержания и восстановления утраченных объектов.

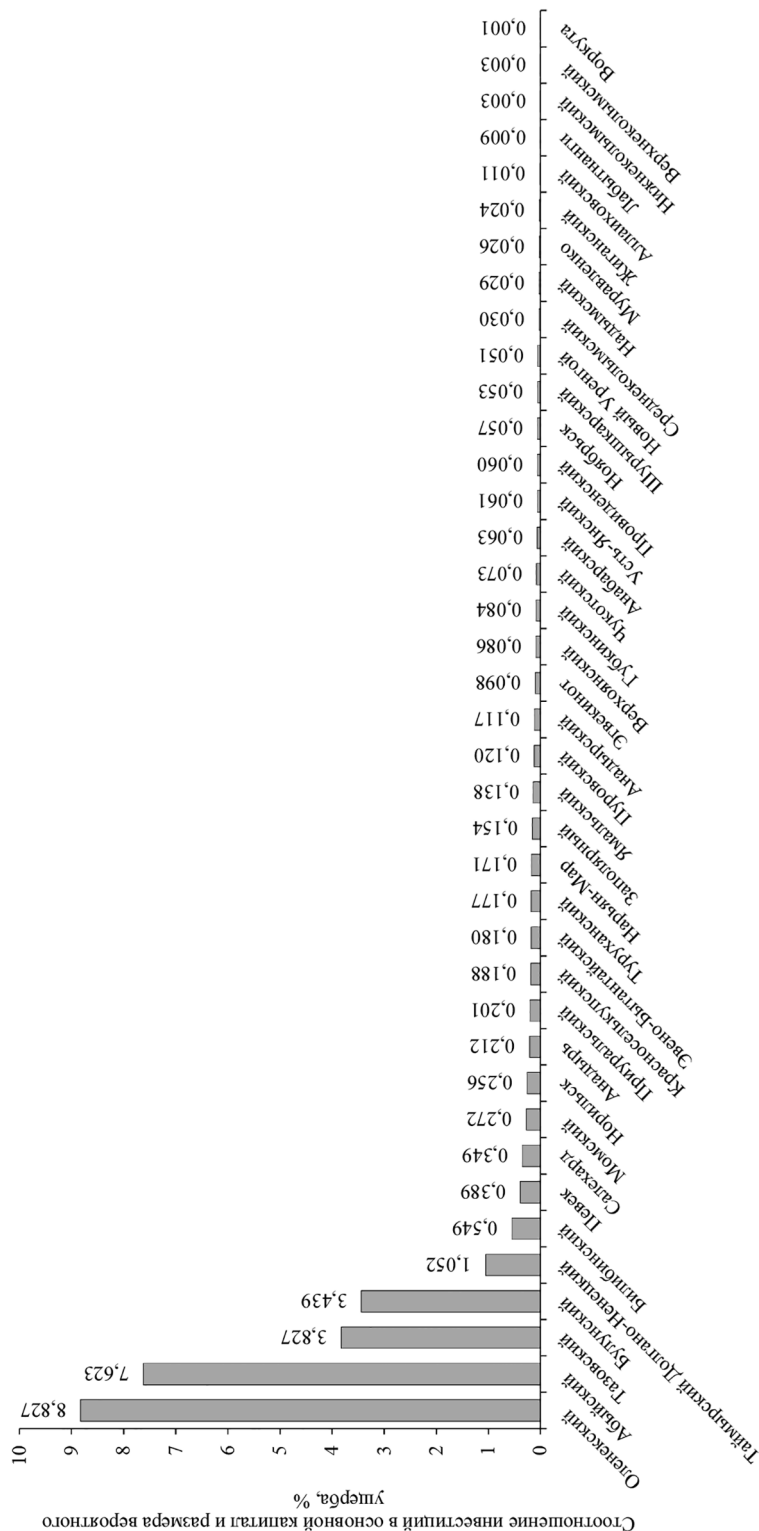


Рис. 2. Соотношение показателей «Инвестиции в основной капитал, осуществляемые организациями, находящимися на территории муниципального образования (без субъектов малого предпринимательства), тыс. руб.» (среднегодное значение за 2020–2022 гг.) и «Максимальный ущерб для зданий и сооружений, построенных на мерзлоте, при умеренном сценарии потепления до 2050 г.»

Источник: составлено автором по данным Росстата и [17].

Заключение

Проблема деградации многолетней мерзлоты вследствие климатических изменений в пределах урбанизированных территорий и негативных последствий от этого для недвижимой части основных фондов еще *не нашла должного отражения* в документах стратегического планирования федерального, регионального и муниципального уровней. Национальный план адаптации к изменениям климата до 2025 г., система государственного геоэкологического мониторинга и прочие аналогичные документы находятся лишь на начальных этапах разработки. На региональном уровне «Закон об охране вечной мерзлоты» принят в настоящий момент только в Республике Саха (Якутия)¹³, а проблема социально-экономических последствий от изменения инженерно-геоэкологических условий лишь номинально указывается в некоторых стратегиях социально-экономического развития ограниченного числа регионов Арктической зоны Российской Федерации, расположенных в пределах криолитозоны, и не предусматривает разработки конкретных планов мероприятий [18].

Вместе с тем, как показал пример Норильска, решение проблемы замещения одного только деформированного жилищного фонда является чрезвычайно *долгим и капиталоемким процессом*. Документы стратегического планирования муниципального уровня Норильска в полной мере не учитывают проблему деградации многолетней мерзлоты в плане реализации конкретных мероприятий, хотя масштаб проблемы понятен и озвучен. Поэтому прогнозы социально-экономического развития города требуют уточнений плана действий, исходя из вероятности реализации негативных сценариев.

При этом в других менее экономически благополучных городах российской Арктики ситуация значительно хуже и, как показало проведенное исследование, внутренние финансовые возможности, необходимые для осуществления адаптационных мероприятий на порядок ниже. Например, по данным известного российского ученого мерзлововеда В.И. Гребенца¹⁴ в крупных городах криолитозоны России деформирована весьма значительная доля зданий и сооружений: 48% в Якутске, 70% в Вилюйске, 80% в Воркуте, 40–55% в городских поселениях Магаданской области, 50–70% в небольших городах Бурятии и пр. При этом системные долгосрочные программы реновации жилищного фонда не распространены, особенно в депрессивных городах, где отсутствует столь крупный бизнес, как «Норильский никель». С учетом пессимистичных

¹³ Закон Республики Саха (Якутия) от 22 мая 2018 г. № 2006-З N 1571-V «Об охране вечной мерзлоты в Республике Саха (Якутия)». Принят постановлением Государственного Собрания (Ил Тумэн) Республики Саха (Якутия) от 22 мая 2018 г. 3 № 1572-V. URL: <https://docs.cntd.ru/document/550111100> (дата обращения: 22.04.2023).

¹⁴ Турчанинова А.С., Гребенец В.И., Кизяков А.И., Сократов С.А., Стрелецкая И.Д., Толманов В.А. Анализ воздействия опасных криогенных и гляциальных процессов на инфраструктуру Арктики. URL: <http://media.geogr.msu.ru/DISTANT/Lomonosov2020/2020-7.rptx> (дата обращения: 22.04.2023).

прогнозов изменения геокриологических условий [19], ситуация может стать критической, когда станет неизбежным массовый вывод из эксплуатации значительной доли жилищного фонда без возможности сохранения фундаментов. Полагаем, что наш анализ, может способствовать проведению первичных оценок издержек на замещение жилищного фонда, которые могут лечь в основу разработки программ реновации для других городов криолитозоны.

Список литературы

1. Hjort J., Karjalainen O., Aalto J. et al. Degrading Permafrost Puts Arctic Infrastructure at Risk by Midcentury // *Nature Communications*. 2018. Vol. 9 (1). DOI: 10.1038/s41467-018-07557-4
2. 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.
3. Streletskiy D.A., Suter L., Shiklomanov N.I. et al. Assessment of Climate Change Impacts on Buildings, Structures and Infrastructure in the Russian Regions on Permafrost // *Environmental Research Letters*. 2019. Vol. 14. N 2. DOI: 10.1088/1748-9326/aaf5e6
4. Бадина С.В. Вероятные последствия деградации многолетней мерзлоты для социальной инфраструктуры Российской Арктики // *Федерализм*. 2022. Т. 27. № 4. С. 155–167.
5. Reichenbach H. Kausalitat und Wahrscheinlichkeit // *Erkenntnis*. 1930. Vol. 1 (1). P. 158–188.
6. Поннер К. Логика научного исследования / пер. с англ. М.: АСТ: Астрель, 2010. 565 с.
7. Стрелецкий Д.А., Шикломанов Н.И., Гребенец В.И. Изменение несущей способности мерзлых грунтов в связи с потеплением климата на севере Западной Сибири // *Криосфера Земли*. 2012. Т. 16. №. 1. С. 22–32.
8. Гребенец В.И. Криогенные процессы // *География, общество, окружающая среда*. Т. 1. Структура, динамика, эволюция природных геосистем. М.: Издательский дом «Городец», 2004. – С. 344–356.
9. Instanes A., Anisimov O. Climate Change and Arctic Infrastructure // *Proceedings Ninth International Conference on Permafrost* / edited by D. Kane, K.M. Hinkel. – Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska, 2008.
10. Гребенец В.И. Негативные последствия деградации мерзлоты // *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2007. № 3. С. 18–21.
11. Соглашение о взаимодействии и сотрудничестве в целях реализации комплексных мер социально-экономического развития муниципального образования город Норильск на период до 2024 года и перспективу до 2035 года от 20.02.2021 // Официальный сайт г. Норильска. URL: <https://norilsk-city.ru/100694/index.shtml> (дата обращения: 22.04.2023).
12. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В., Бадина С.В. и др. Адаптация инфраструктуры Арктики и Субарктики к изменениям температуры мерзлых грунтов // *Криосфера Земли*. 2021. Т. 25. № 6. С. 3–15.
13. Сайт общественного инициативного проекта по раскрытию информации о состоянии жилого фонда в Российской Федерации // ДОМ.МинЖКХ.

PY. URL: <https://dom.mingkh.ru/krasnoyarskiy-kray/norilsk/> (дата обращения: 22.04.2023).

14. Badina S.V. Estimation of the Value of Buildings and Structures in the Context of Permafrost Degradation: The Case of the Russian Arctic // *Polar Science*. 2021. Vol. 29. DOI: 10.1016/j.polar.2021.100730

15. 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.

16. Sharaborova E.S., Shepitko T.V., Loktionov, E.Y. Experimental Proof of a Solar-Powered Heat Pump System for Soil Thermal Stabilization // *Energies*. 2022. Vol. 15. DOI: 10.3390/en15062118

17. 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.

18. Бадина С.В., Панкратов А.А. Адаптационные подходы к климатическим изменениям в документах стратегического управления // *Проблемы теории и практики управления*. 2021. № 9. С. 102–120.

19. Romanovsky V., Isaksen K., Drozdov D., Anisimov O. et al. Changing permafrost and its impacts // *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA)*. – AMAP, 2017. P. 65–102.

References

1. Hjort J., Karjalainen O., Aalto J. et al. Degrading Permafrost Puts Arctic Infrastructure at Risk by Midcentury, *Nature Communications*, 2018, Vol. 9 (1). DOI: 10.1038/s41467-018-07557-4

2. 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.

3. Streletskiy D.A., Suter L., Shiklomanov N.I. et al. Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian re-gions on permafrost, *Environmental Research Letters*, 2019, Vol. 14, No. 2, DOI: 10.1088/1748-9326/aaf5e6

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

5. Reichenbach H. Kausalitat und Wahrscheinlichkeit, *Erkenntnis*, 1930, Vol. 1 (1), pp. 158–188.

6. Popper K. Logika nauchnogo issledovaniia [The Logic of Scientific Research], translated from English, Moscow, AST: Astrel', 2010, 565 p. (In Russ.).

7. Streletskii D.A., Shiklomanov N.I., Grebenets V.I. Izmenenie nesushchei sposobnosti merzlykh gruntov v sviazi s potepieniem klimata na severe Zapadnoi Sibiri [Changes in the Bearing Capacity of Frozen Soils Due to Climate Warming in the North of Western Siberia], *Kriosfera Zemli [Cryosphere of the Earth]*, 2012, Vol. 16, No. 1, pp. 22–32. (In Russ.).

8. Grebenets V.I. Kriogennnye protsessy [Cryogenic Processes], *Geografiia, obshchestvo, okruzhaiushchaia sreda. T. 1. Struktura, dinamika, evoliutsiia prirodnkh geosistem [Geography, Society, Environment. Vol. 1. Structure, Dynamics, Evolution*

of Natural Geosystems]. Moscow, Izdatel'skii dom "Gorodets", 2004, pp. 344–356. (In Russ.).

9. Instanes A., Anisimov O. Climate change and Arctic infrastructure, *Proceedings Ninth International Conference on Permafrost*, edited by Kane, D., Hinkel, K.M., Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, Alaska, 2008.

10. Grebenets V.I. Negativnye posledstviia degradatsii merzloty [Negative Consequences of Permafrost Degradation], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiia* [Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography], 2007, No. 3, pp. 18–21. (In Russ.).

11. Soglasenie o vzaimodeistvii i sotrudnichestve v tseliakh realiza-tsii kompleksnykh mer sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiia munitsipal'nogo obrazovaniia gorod Noril'sk na period do 2024 goda i perspektivu do 2035 goda ot 20.02.2021 [Agreement on Interaction and Cooperation in Order to Implement Comprehensive Measures for the Socio-Economic Development of the Municipality of the City of Norilsk for the Period up to 2024 and up to 2035 from 20.02.2021], *Ofitsial'nyi sait g. Noril'ska* [Official Website of the City of Norilsk]. (In Russ.). Available at: <https://norilsk-city.ru/100694/index.shtml> (accessed 22 April 2023).

12. Mel'nikov V.P., Osipov V.I., Brushkov A.V., Badina S.V. i dr. Adaptatsiia infrastruktury Arktiki i Subarktiki k izmeneniiam temperatury merzlykh gruntov [Adaptation of the Infrastructure of the Arctic and Subarctic to Changes in the Temperature of Frozen Soils], *Kriosfera Zemli* [Cryosphere of the Earth], 2021, Vol. 25, No. 6, pp. 3–15. (In Russ.).

13. Sait obshchestvennogo initsiativnogo proekta po raskrytiiu informatsii o sostoianii zhilogo fonda v Rossiiskoi Federatsii [Website of a Public Initiative Project to Disclose Information about the State of the Housing Stock in the Russian Federation], *DOM.MinZhKKh.RU* [HOUSE.MinZhKH.RU]. (In Russ.). Available at: <https://dom.mingkh.ru/krasnoyarskiy-kray/norilsk/> (accessed 22 April 2023).

14. Badina S.V. Estimation of the Value of Buildings and Structures in the Context of Permafrost Degradation: The case of the Russian Arctic, *Polar Science*, 2021, Vol. 29.

15. 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 Thermosyphon], *Kriosfera Zemli* [Cryosphere of the Earth], 2013, Vol. 17, No. 1, pp. 51–55. (In Russ.).

16. Sharaborova E.S., Shepitko T.V., Loktionov, E.Y. Experimental Proof of a Solar-Powered Heat Pump System for Soil Thermal Stabilization, *Energies*, 2022, Vol. 15.

17. Mel'nikov V.P., Osipov V.I., Brushkov A.V. i dr. Otsenka ushcherba zhilyim i promyshlennym zdaniiam i sooruzheniiam pri izmenenii temperatur i ottaivaniia mnogoletnemerzlykh gruntov v Arkticheskoi zone Rossiiskoi Federatsii k seredine XXI veka [Evaluation of Damage to Residential and Industrial Buildings and Structures During Temperature Changes and Permafrost Thawing in the Arctic Zone of the Russian Federation by the Middle of the 21st Century], *Geoekologiya. Inzhenernaia geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya* [Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology], 2021, No. 1, pp. 14–31. (In Russ.).

18. Badina S.V., Pankratov A.A. Adaptatsionnye podkhody k klimaticheskim izmeneniiam v dokumentakh strategicheskogo upravleniia [Adaptation Approaches To Climate Change In Documents Of Strategic Management], *Problemy teorii i praktiki upravleniia* [Problems of Theory and Practice of Management], 2021, No. 9, pp. 102–120. (In Russ.).

19. Romanovsky V., Isaksen K., Drozdov D., Anisimov O. et al. Changing Permafrost and Its Impacts, *Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA)*, AMAP, 2017, pp. 65–102.

FORECASTING THE COSTS FOR ADAPTING THE HOUSING STOCK TO CHANGING PERMAFROST CONDITIONS (THE CASE OF NORILSK)*

The problem of predicting the socio-economic consequences of permafrost degradation due to climate change is an important area of modern scientific research. At the moment, there are no unified approaches and methods for assessing this type of natural risk, respectively, there is no reliable idea of the scale of possible consequences, which in turn is manifested in the poor elaboration of the issue in strategic planning documents for permafrost areas. The city of Norilsk (Krasnoyarsk krai) is an example of an Arctic city in Russia, located in the permafrost zone, where active work has begun on the housing stock renovation, including due to problems associated with the degradation of permafrost under the influence of anthropogenic and climatic factors. An analysis of legal documents related to the socio-economic development of the city, renovation plans and documents aimed at solving the problem of replacing the deformed housing stock showed that the scale of measures does not fully correspond to the severity of the problem. A comparison of the key characteristics of the Norilsk housing stock, taking into account its current state and plans for transformation, with a long-term forecast of changes in engineering and cryological conditions until 2050, made it possible to estimate the total costs of adaptation, which can reach 1.6 trillion rubles in 2023 prices. In addition, a rating of Russian Arctic municipalities was compiled, based on the ratio of indicators characterizing internal adaptive capabilities to changing geocryological conditions and the amount of expected damage to the buildings and structures. It was found that, in general, the scale of the likely consequences significantly exceeds the available resources, and the most negative situation is already developing in the most depressed areas.

Keywords: Arctic zone of the Russian Federation, housing stock, climate change, permafrost.

JEL: I10, I20, R53

Дата поступления — 02.05.2023 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;

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, Москва, 119991.

e-mail: bad412@yandex.ru

* This research was funded by the Russian Science Foundation (RSF project number 21-77-00047 «Forecasting of economic damage for the Russian Arctic territory in the geocryological conditions changing context»).

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.
Researcher of the Laboratory of Geoecology of the North, Faculty of
Geography;
Federal State Budgetary Institute 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 жилищного
фонда к меняющимся геокриологическим условиям (на примере
Норильска) // Федерализм. 2023. Т. 28. № 2 (110). С. 47–65. DOI: [http://
dx.doi.org/10.21686/2073-1051-2023-2-47-65](http://dx.doi.org/10.21686/2073-1051-2023-2-47-65)