

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ДЕГРАДАЦИИ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ ДЛЯ ЖИЛИЩНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

© 2021 г. Б. Н. Порфирьев^{a,*}, Д. О. Елисеев^{b,c,**}, Д. А. Стрелецкий^{d,e,***}

^a Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН, Москва, Россия

^b Российский новый университет, Москва, Россия

^c Субтропический научный центр РАН, Сочи, Россия

^d Университет Джорджа Вашингтона, Вашингтон, Округ Колумбия, США

^e Институт криосферы земли Тюменского научного центра СО РАН, Тюмень, Россия

*E-mail: b_porfiriev@mail.ru

**E-mail: elisd@mail.ru

***E-mail: strelets@gwu.edu

Поступила в редакцию 01.09.2020 г.

После доработки 25.09.2020 г.

Принята к публикации 25.10.2020 г.

Статья посвящена методологии и анализу результатов экономической оценки и прогноза последствий глобальных климатических изменений в виде протаивания и деградации многолетнемёрзлых грунтов для жилищного сектора в восьми регионах российской Арктики. В качестве физико-географической базы оценки приняты изменения состояния многолетнемёрзлых грунтов при реализации самого негативного из вариантов прогноза Межправительственной группы экспертов по изменению климата (сценарий RCP 8.5) как наиболее соответствующего условиям российской Арктики. Показано, что при консервативном сценарии развития жилищного сектора в этом макрорегионе России в 2020–2050 гг. затраты на восстановление утраченного жилого фонда будут превышать 30 млрд руб. в среднем в год. При реализации модернизационного сценария затраты увеличатся до 36 млрд руб. в год. Максимальный ожидаемый ущерб прогнозируется в Ямало-Ненецком АО и Красноярском крае, минимальный – в Чукотском и Ханты-Мансийском АО.

Ключевые слова: российская Арктика, регионы, вечная мерзлота, изменение климата, протаивание, деградация, жилищный сектор, строительство, инвестиции, риски, сценарии развития.

DOI: 10.31857/S0869587321020067

Глобальные климатические изменения наиболее сильно проявляются на северных территориях России. За период 1980–2010 гг. среднегодовая

температура в арктическом макрорегионе страны выросла на 0.5–2.5°C [1]. Одно из важных социально-экономических последствий роста темпе-



ПОРФИРЬЕВ Борис Николаевич – академик РАН, научный руководитель Института народнохозяйственного прогнозирования РАН. ЕЛИСЕЕВ Дмитрий Олегович – кандидат экономических наук, начальник НИЦ РосНОУ, старший научный сотрудник ФИЦ СЦ РАН. СТРЕЛЕЦКИЙ Дмитрий Андреевич – PhD, профессор географического факультета Университета Джорджа Вашингтона (США).

ратуры – протаивание и деградация вечной мерзлоты, которая распространена на территории 28 субъектов Российской Федерации, охватывая почти две трети площади страны. Однако только в восьми регионах российского Севера – Республике Коми, Ненецком, Ямало-Ненецком, Ханты-Мансийском и Чукотском автономных округах, Красноярском и Магаданском краях и Республике Саха (Якутия) – вечная мерзлота занимает значительную часть хозяйственно освоенного пространства; в остальных регионах она представлена фрагментарно¹.

Протаивание и деградация вечной мерзлоты ведут к снижению несущей способности многолетнемерзлых грунтов [2–5], тем самым создавая серьёзные риски для устойчивости объектов промышленной и социальной инфраструктуры, зданий и сооружений, нормы строительства которых всегда учитывают климатические и физико-географические условия среды [6–9]. Рост температуры снижает несущую способность многолетнемерзлого грунта, а увеличение сезонно-талого слоя в сильнольдистых грунтах ведёт к неравномерным просадкам, что провоцирует деформации и влияет на устойчивость инженерных сооружений [10–12]. По оценкам, при увеличении среднегодовой температуры воздуха на 2°C несущая способность свай фундамента снижается вдвое, что влечёт за собой угрозу надёжности и устойчивости строительных конструкций и инженерных сооружений. Уже в настоящее время фиксируются многочисленные, причём значительные, изменения прочности зданий практически во всех северных регионах страны. Только в Норильске за последние годы пришлось снести более 300 домов из-за деформации их строительных конструкций [13, с. 154, 173].

Специфика проблемы устойчивости основных фондов в различных секторах и сферах экономики российской Арктики к последствиям протаивания и деградации вечной мерзлоты требует специального анализа и оценки. Ряд из них, предложенных авторами, позволил получить оценку ожидаемого ущерба от деградации вечной мерзлоты для основных фондов и автомобильной инфраструктуры в вышеупомянутых восьми регио-

нах российского Севера [14, 15]. В данной статье предпринята попытка дать аналогичную оценку применительно к жилищному сектору, учитывая его повышенную уязвимость к эффектам протаивания и деградации многолетнемерзлых грунтов и особую значимость для экономики.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЖИЛОГО ФОНДА В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ

Социально-экономическое развитие российской Арктики исторически базировалось на строительстве крупных населённых пунктов, в которых концентрировались людские ресурсы и создавались промышленные объекты. В советский период на вечной мерзлоте возникли крупные северные города – Норильск, Воркута, Нарьян-Мар, Магадан, Надым, Ноябрьск, Новый Уренгой. Это принципиально отличает российский север от других арктических регионов мира, в которых крупные города в зоне многолетней мерзлоты никогда не строились [16].

В настоящее время в рассматриваемых регионах российской Арктики (за исключением Чукотского АО и Якутии) около 80% жителей проживает в населённых пунктах городского типа, что на 5% превышает среднероссийский уровень урбанизации. Всего на этих территориях насчитывается 62 города с общим населением около 7.5 млн человек. Общая площадь жилого фонда в 2018 г. составила здесь 170 млн м², или 4.7% общей площади жилых помещений в России (табл. 1).

Высокий уровень урбанизации определяет специфику функционирования и развития жилищного сектора рассматриваемых регионов. Она связана со значительной долей жилых домов многоквартирного типа, централизованной структурой организации и управления жилищно-коммунальным хозяйством и системой социального обеспечения. Кроме того, в жилищном секторе относительно высок удельный вес аварийного и ветхого жилья, который к тому же имеет тенденцию к увеличению. В то же время обеспеченность населения жильём здесь ниже, чем в среднем по России, что подразумевает необходимость ускоренного наращивания объёмов строительных работ. Перечисленные факторы необходимо учитывать при комплексном анализе рисков и последствий деградации вечной мерзлоты и оценки обусловленного ими ожидаемого ущерба для жилого фонда регионов российской Арктики.

¹ По методологии Международной ассоциации мерзлотоведения, по площади распространения выделяются следующие типы вечной мерзлоты: сплошная (90–100% охвата территории), прерывистая (50–90%), массивно-островная (10–50%), спорадическая или островная (менее 10% охвата территории); по льдистости пород – высокая, средняя и низкая. Так, в Мурманской области, на среднем Урале (Пермский край, Свердловская область), в Южной части Сибири (Иркутская область, Алтайский край, Республика Тыва, Кемеровская область) и Дальнего Востока (Амурская область, Сахалинская область) вечная мерзлота, как правило, расположена либо в горных труднодоступных районах, либо представлена очаговыми проявлениями, то есть не несёт значимого риска для хозяйственной деятельности.

Таблица 1. Население и жилой фонд Российской Федерации и регионов российской Арктики в 2018 г.

Регион	Население, тыс. чел.	Доля городского населения, %	Жилой фонд			
			Всего, млн м ²	В расчёте на одного жителя, м ²	Аварийный и ветхий, млн м ²	Себестоимость строительства 1 м ² жилья, тыс. руб.
Республика Коми	840.87	78.1	24	27.9	0.39	38 785
Ненецкий АО	43.99	72.8	1	25.0	0.05	65 695
Ханты-Мансийский АО	1655.07	92.3	35	20.8	0.65	53 016
Ямало-Ненецкий АО	538.54	83.8	11	20.7	0.76	65 859
Красноярский край	2876	77.4	72	24.6	0.71	45 603
Республика Саха (Якутия)	964.33	65.6	22	22.1	1.58	61 490
Магаданская область	144.1	95.9	4	30.1	0.06	72 061
Чукотский АО	49.34	70.5	1	24.1	0.01	113 911
ИТОГО по регионам	7427.74	79.4	170	24.5	4.31	68 009
Российская Федерация	146 880	74	3780	25.8	25.95	41 358

Источник: расчёты авторов и данные Росстата.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ РИСКОВ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ ДЛЯ ЖИЛИЩНОГО СЕКТОРА

Экономическая оценка последствий протаивания и деградации вечной мерзлоты с точки зрения состояния жилищного сектора базируется на двух хозяйственных показателях – общем размере жилого фонда исследуемых регионов и фактической себестоимости строительства жилья в каждом регионе. Использование показателя фактической или текущей себестоимости строительства, а не кадастровой или рыночной оценки соответствующих объектов обусловлено тем, что в настоящее время база данных по кадастровой оценке ещё не до конца сформирована и не соответствует фактическому количеству жилых помещений в том или ином регионе. Кроме того, кадастровый учёт стоимости жилых объектов ведётся в основном для целей налогообложения, и их цена может сильно отличаться (как правило, в сторону увеличения) от реальной стоимости жилья. Оправданность рыночной оценки жилья также сомнительна, поскольку включает не только стоимость строительных работ, но также прибыль строительных организаций и иные расходы.

На первом этапе оценки необходимо определить общий размер жилого фонда, построенного в зоне вечной мерзлоты. Государственная статистическая информация по количеству жилых по-

мещений, сооружённых на многолетнемёрзлых грунтах, отсутствует; поэтому для расчётов использовалась ранее апробированная методология оценки, основанная на данных Международной ассоциации мерзлотоведения (МАМ). Согласно этой методологии принимается, что в зоне сплошной вечной мерзлоты доля жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах, достигает 90%; аналогичный показатель в зонах прерывистой, массивно-островной и спорадической (островной) вечной мерзлоты составляет 50%, 10% и 0% соответственно. В общем виде формула расчёта для конкретного региона выглядит следующим образом:

$$H_i = 0.9H_{ci} + 0.5H_{si} + 0.1H_{fi}, \quad (1)$$

где H_i – общая площадь жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах в i -м регионе; H_{ci} – площадь жилого фонда, построенного в зоне сплошной мерзлоты в i -м регионе; H_{si} – площадь жилого фонда, построенного в зоне прерывистой мерзлоты в i -м регионе; H_{fi} – площадь жилого фонда, построенного в зоне массивно-островной мерзлоты в i -м регионе; i – порядковый номер региона.

Для стоимостной оценки жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах рассматриваемых восьми регионов российской Арктики, использовались данные Росстата по текущей себестоимости строительства жилых помещений в региональном разрезе (см. табл. 1). Оценка стои-

мости жилого фонда осуществлялась на основе преобразованной формулы (1):

$$E_i = \sum_{i=1}^8 H_i * C_i, \quad (2)$$

где E_i – общая себестоимость жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах в i -м регионе; H_i – площадь жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах в i -м регионе; C_i – себестоимость строительства 1 м² жилья в i -м регионе; i – порядковый номер региона.

На заключительном этапе определялся ожидаемый ущерб от протаивания и деградации вечной мерзлоты для жилого фонда исследуемых регионов на период до 2050 г. Принимаются во внимание следующие существенные допущения. Поскольку плановые (программные) документы по развитию жилого фонда и жилищного строительства носят среднесрочный характер, в сценарных расчётах принимается во внимание общая площадь жилого фонда с учётом текущих планов его развития в среднесрочной перспективе на 2019–2025 гг. В оценках ожидаемого ущерба в интервале 2025–2050 гг. принимается допущение о неизменности общей площади жилого фонда.

Отсутствие официальных долгосрочных прогнозов численности постоянно проживающего в исследуемых регионах населения крайне затрудняет оценку долгосрочных потребностей в жилом фонде. Более того, имеется существенная неопределённость в перспективных оценках численности населения России в целом: так, согласно одному из сценариев прогноза Росстата до 2035 г., она может сократиться на 680 тыс. человек, согласно другому сценарию – увеличиться на 500 тыс. [17], причём на 90% – за счёт миграции, величина которой сильно варьируется в зависимости от целого ряда экономических факторов и политических решений. Учитывая такую неопределённость, за основу принимается, что численность населения регионов будет условно постоянной на горизонте до 2050 г.

В расчётах ущерба также не принимаются во внимание факторы спроса/предложения жилья, уровня жизни населения, динамики заработной платы, уровня банковских ставок, ипотечного кредитования, которые оказывают существенное влияние на формирование платёжеспособного спроса населения и на объёмы строительства жилья, но которые отсутствуют в долгосрочных прогнозах (на 10–20 лет) и в большей степени определяются экономическим развитием страны в целом, а не климатическими обстоятельствами.

Ещё одно важное допущение связано с невозможностью оценки фактических темпов и масштабов выбытия жилого фонда, которые очень вариативны. Так, в 2005 г. жилой фонд сократился на 35.6 млн м², в 2017 г. – на 15.7 млн. Темпы

выбытия зависят от многих факторов, которые включают не только состояние жилья, признаваемого аварийным или ветхим, но и юридические процедуры такого признания и оформления процесса выбытия, из-за чего жильё, признанное аварийным и подлежащим сносу, может оставаться в этом статусе многие годы.

С учётом перечисленных допущений величина совокупного доступного жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах в рассматриваемых восьми регионах российской Арктики в долгосрочный период (2020–2050 гг.), может быть рассчитана по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^8 H_i = \left[\sum_{i=1}^8 (H_{bi} + H_{ki} - H_{di}) \right] \times 30, \quad (3)$$

где H – площадь совокупного доступного жилого фонда; H_{bi} – площадь жилого фонда в i -м регионе на базовый год расчётов (2020 г.); H_{ki} – площадь ежегодного строительства нового жилья в i -м регионе в прогнозный период; H_{di} – площадь ежегодного выбытия жилого фонда (ветхого и аварийного жилья) в i -м регионе в прогнозный период; i – порядковый номер региона.

При этом общая площадь жилых помещений в базовом 2020 г. (H_b) определена на основе данных Росстата за 2018 г.; площадь выбывающих жилых помещений (H_d) в 2020–2050 гг. в годовом выражении – на основе ретроспективных данных о среднегодовых темпах выбытия за 2008–2018 гг.; площади ежегодного строительства нового жилья в прогнозный период (H_k) – исходя из конкретного сценария из принятых двух сценариев развития жилого фонда в 2020–2050 гг. – консервативного (инерционного) и модернизационного.

Консервативный сценарий предусматривает сохранение в течение всего прогнозного периода значений среднегодовых темпов строительства и выбытия жилья, характерных для периода 2008–2018 гг. При этом темпы ежегодного строительства в семи из восьми регионов предполагаются равными и соответствующими среднему региональному значению за указанный ретроспективный период. В Республике Коми и Чукотском АО, учитывая, что согласно официальным статистическим данным темпы выбытия жилого фонда существенно опережают темпы строительства², предполагается, что ежегодные объёмы вводимого в строй жилья равны объёмам его выбытия.

За основу *модернизационного сценария* принят национальный проект “Жильё и городская среда” на 2018–2024 гг., показатели жилищного строительства которого предусматривают ввод на всей

² Авторы предполагают, что данное обстоятельство скорее всего связано с несовершенством статистического учёта жилого фонда на муниципальном уровне.

Таблица 2. Прогноз динамики роста площади жилого фонда регионов российской Арктики на период до 2050 г., % к базовому 2018 г.

Регионы	Прогнозный сценарий	
	консервативный	модернизационный
Республика Коми	100.00	107.03
Ненецкий АО	159.28	210.82
Ханты-Мансийский АО	119.96	133.31
Ямало-Ненецкий АО	138.96	174.86
Красноярский край	106.96	116.55
Республика Саха (Якутия)	151.95	177.58
Магаданская область	110.77	125.49
Чукотский АО	100.00	150.00

Источник: расчёты авторов.

территории России до 120 млн м² к 2025 г., что в полтора раза превышает текущий уровень [18]. Исходя из этого рассчитаны среднегодовые темпы роста и объёмы жилищного строительства в рассматриваемых регионах российской Арктики в период до 2050 г. (табл. 2).

Для оценки влияния на устойчивость зданий жилого фонда, построенных на многолетнемёрзлых грунтах в период до 2050 г., последствий увеличения протаивания и деградации вечной мерзлоты использовались шесть глобальных моделей изменения климата³, которые применялись Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) при подготовке V Оценочного доклада по изменениям климата на период до середины XXI в. Эти глобальные модели позволяют с высокой достоверностью прогнозировать приземную температуру воздуха в северных регионах России [19].

За основу расчётов на базе этих моделей был принят наиболее жёсткий сценарий глобальных климатических изменений RCP8.5. По мнению авторов и ряда других экспертов, он наилучшим образом отражает динамику масштабных изменений климата в северных регионах России, позволяя получить оценку максимальных рисков (ожидаемого ущерба). При этом прогноз исходит из предположения о постепенном росте температуры приземного воздуха, под влиянием которого деградация многолетнемёрзлых грунтов будет происходить тоже постепенно. Кроме того, принимается как факт, что обусловленное этими процессами снижение устойчивости жилых зданий и связанный с ним ожидаемый экономиче-

ский ущерб будут распределяться равномерно в течение ближайших 30 лет.

Для оценки снижения несущей способности грунтов использовались данные, которые получены в результате ранее проведённого авторами исследования с применением геотехнических моделей изменений многолетнемёрзлых пород [15, 20] и которые далее учитывались в оценке рисков уменьшения устойчивости жилого фонда и ожидаемого экономического ущерба в исследуемых регионах в трёх вариантах: минимальные, средние и максимальные [15, fig. 3].

ОЦЕНКА ОЖИДАЕМОГО УЩЕРБА ДЛЯ ЖИЛОГО ФОНДА РОССИЙСКИХ РЕГИОНОВ ОТ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ГРУНТОВ

В соответствии с предложенной методологией оценим общий размер жилого фонда, построенного на многолетнемёрзлых грунтах, и его стоимость. Согласно данным Росстата, в 2018 г. общая площадь жилья в рассматриваемых регионах составила 169.96 млн м². В официальной государственной статистике фактические данные о балансовой стоимости жилья отсутствуют, поэтому стоимостная оценка проводилась на основе данных о себестоимости строительства 1 м² жилой площади в регионе. Общая текущая стоимость жилых помещений в 2018 г. составила 8.5 трлн руб. По нашим расчётам, на вечной мерзлоте построено 20.6 млн м² жилого фонда регионов общей стоимостью 4.1 трлн руб. (табл. 3).

На многолетнемёрзлых грунтах региональный жилой фонд практически полностью построен в Ненецком, Ямало-Ненецком, Чукотском автономных округах, Республике Саха (Якутия), Мага-

³ В их числе: CanESM2, CSIRO-Mk3-6-0, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, IPSLCM5A-LR и NorESM1-M.

Таблица 3. Жилой фонд исследуемых регионов, 2018 г.

Регион	Общая площадь жилья в регионах (тыс. м ²)	Стоимость жилого фонда (млрд руб.)	Общая площадь жилья на вечной мерзлоте (тыс. м ²)	Стоимость жилого фонда на вечной мерзлоте (млрд руб.)
Республика Коми	24 452.00	989.06	8036.60	331.20
Ненецкий АО	1128.50	77.97	1128.50	77.97
Ханты-Мансийский АО	35187.00	1724.45	15183.60	748.10
Ямало-Ненецкий АО	10089.50	651.20	10089.50	651.20
Красноярский край	72210.00	3279.82	12492.30	569.06
Республика Саха (Якутия)	21568.90	1345.49	21568.90	1345.49
Магаданская область	4178.80	301.12	4187.80	301.12
Чукотский АО	1154.80	51.08	1154.80	51.08
ИТОГО	169969.50	8420.19	73842.00	4075.22

Источник: расчёты авторов по данным Росстата.

данской области. В Республике Коми, Красноярском крае, Ханты-Мансийском АО на многолетнемёрзлых грунтах построена только часть жилья в нескольких муниципальных образованиях⁴. Из расчётов исключён Камчатский край, который хотя и расположен в зоне вечной мерзлоты, однако геотехнические данные показывают отсутствие возможного ущерба для жилых зданий на этой территории.

В соответствии с принятой методологией рассмотрим перечисленные ранее сценарии влияния протаивания и деградации многолетнемёрзлых грунтов на устойчивость построенного на них жилья и дадим прогнозные оценки затрат на снижение риска (ожидаемого ущерба) на период до 2050 г. В итоговом виде они представлены в таблице 4.

При реализации *консервативного сценария* общая площадь жилого фонда в рассматриваемых регионах за 30 лет увеличится на 21.8 млн м² и составит 103.66 млн м²; общая стоимость этого фонда в ценах 2018 г. — около 4.8 трлн руб. Ожидаемый ущерб для жилищного сектора от деградации вечной мерзлоты за период 2020–2050 гг. оценивается в интервале от 420 млрд руб. до 2.5 трлн руб. в зависимости от увеличения глубины протаивания и температуры многолетнемёрзлых грунтов. Средняя величина ущерба, как предполагается, достигнет 907 млрд руб. (18.8% общей стоимости жилья, построенного на многолетнемёрзлых грунтах). Для смягчения последствий деградации

вечной мерзлоты необходимо ежегодно тратить более 30 млрд руб., что эквивалентно 0.25% ВРП в ценах 2018 г. При максимальных глубине протаивания и температуре многолетнемёрзлых грунтов затраты на поддержание жилого фонда увеличатся более чем втрое — до 95 млрд руб. ежегодно (почти 1% ВРП в ценах 2018 г.).

Наибольший ущерб за весь прогнозный период понесёт Ямало-Ненецкий АО — 416.5 млрд руб., что в первую очередь обусловлено динамикой деградации вечной мерзлоты в этом регионе. Наименьшая величина ущерба — 753.1 млн руб. — прогнозируется в Чукотском АО, что связано с относительной (по сравнению с другими территориями) ограниченностью как площади жилого фонда, так и масштабов изменений, влияющих на устойчивость зданий. При максимальных глубине протаивания и температуре многолетнемёрзлых грунтов наибольший ущерб (1.7 трлн руб.) прогнозируется в Республике Саха (Якутия), которая практически полностью расположена в зоне вечной мерзлоты, а площадь жилого фонда здесь к 2050 г. достигнет 32.7 млн м², или около 30% общей площади жилья в рассматриваемых регионах российской Арктики.

Модернизационный сценарий предполагает ускорение строительства жилья на 50% по отношению к текущему уровню, что приведёт к увеличению общей площади жилья к 2050 г. до 119.6 млн м². Общая стоимость жилого фонда составит 7.2 трлн руб. в ценах 2018 г. Ожидаемый ущерб от протаивания и деградации вечной мерзлоты оценивается в интервале от 500 млрд до 3.36 трлн руб. в зависимости от глубины протаивания и температуры многолетнемёрзлых грунтов.

⁴ В данной работе оценки основаны на расчётах фактической себестоимости работ по возведению новых жилых зданий в отличие от аналогичных оценок в ранее опубликованной статье авторов [14], рассчитанных на основе стоимости основных фондов.

Таблица 4. Оценка затрат на восстановление и поддержание жилого фонда в связи с протаиванием и деградацией вечной мерзлоты

Регион	Жилой фонд под риском деградации вечной мерзлоты, %*	ВРП, млрд руб. (в ценах 2018 г.)	Сценарии развития					
			консервативный			модернизационный		
			Общая площадь жилья, тыс. м ²	Экономический ущерб, млрд руб. (в ценах 2018 г.)		Общая площадь жилья, тыс. м ²	Экономический ущерб, млрд руб. (в ценах 2018 г.)	
				за период 2020—2050 гг.	в среднем в год		за период 2020—2050 гг.	в среднем в год
Республика Коми	100 (100/100)	665.74	8 036.60	88.8 (88.8/88.8)	2.96 (2.96/2.96)	8 601.19	89.7 (89.7/89.7)	2.99 (2.99/2.99)
Ненецкий АО	99 (0.3/99.1)	305.21	1 797.47	92.6 (0.3/92.7)	3.09 (0.01/3.09)	2 379.06	122.8 (0.4/122.8)	4.09 (0.01/4.1)
Ханты-Мансийский АО	4.1 (0.0/60.9)	4447.5	18 213.54	2.3 (0.0/33.7)	0.08 (0.0/1.12)	20 240.93	2.6 (0.0/38.1)	0.09 (0.0/1.27)
Ямало-Ненецкий АО	99.8 (79.1/99.8)	3083.5	14 020.58	416.5 (330.1/416.5)	13.88 (11.0/13.88)	17 642.86	536.4 (425.1/536.4)	17.88 (14.17/17.88)
Красноярский край	74.0 (0.1/99.4)	2280	13 361.33	188.2 (0.3/251.5)	6.27 (0.01/8.38)	14 559.61	197.1 (0.3/263.3)	6.57 (0.01/8.78)
Республика Саха (Якутия)	6.5 (0.0/97.7)	1084.6	32 772.92	114.7 (0.0/1723.7)	3.82 (0.0/57.46)	38 302.83	134.1 (0.0/2016.2)	4.47 (0.0/67.21)
Магаданская область	2.6 (0.0/97.2)	170.72	4 638.95	3.8 (0.0/142.5)	0.13 (0.0/4.75)	5 255.38	4.0 (0.0/149.0)	0.13 (0.0/4.97)
Чукотский АО	0.6 (0.6/81.1)	78.143	1 154.80	0.8 (0.8/101.8)	0.03 (0.03/3.39)	1 732.20	1.1 (1.1/152.7)	0.04 (0.04/5.09)
ИТОГО	53.8 (29.9/95.2)	12115.41	103 666.7	907.7 (420.2/2851.2)	30.26 (14.01/95.0)	119 611.58	1087.7 (516.6/3368.2)	36.26 (17.22/112.27)

*Использованы расчёты из статьи авторов [14]. В скобках указаны минимальная/максимальная величины ущерба, обусловленные глубиной протаивания и температурой многолетнемерзлых грунтов и соответствующей степени ослабления их несущей способности.

В среднем величина ожидаемого ущерба оценивается в 1.08 трлн руб. за период 2020–2050 гг. или 36.26 млрд руб. в среднегодовом выражении, что эквивалентно 0.29% ВРП в ценах 2018 г. При максимальном увеличении глубины протаивания и температуры многолетнемёрзлых грунтов ожидаемый ущерб увеличивается трёхкратно — до 3.37 трлн руб. за весь период, или более 112 млрд руб. в среднем в год. Наибольший ущерб при среднем и максимальном увеличении глубины протаивания и температуры грунтов понесут Ямало-Ненецкий АО и Республика Саха (Якутия).

* * *

Протаивание и деградация вечной мерзлоты вследствие глобальных климатических изменений значительно увеличивают неопределённость и риски хозяйственной деятельности в регионах российской Арктики. Это касается и строительства жилья, и функционирования жилищного сектора — критически важного для жизни и работы населения, прежде всего постоянно проживающего в этих регионах, а также вахтовиков. Потеря устойчивости и разрушение жилых зданий, всё чаще происходящие на территориях российского Севера с многолетнемёрзлыми грунтами, не только резко ухудшают комфортность проживания, но и увеличивают риски здоровью и благополучию людей.

Связанные с этим дополнительные затраты на смягчение ожидаемого в период 2020–2050 гг. социально-экономического ущерба в рассматриваемых восьми регионах российской Арктики могут составить более 30 млрд руб. в среднем в год, или около 0.3% их суммарного ВРП, при среднем увеличении глубины протаивания и температуры грунтов и втрое больше — порядка 112 млрд руб. в год (около 1% суммарного ВРП) — при максимальном их увеличении. При этом указанные масштабы ущерба не учитывают косвенных издержек, связанных со строительством дополнительного (резервного) жилья для переселения из аварийного и ветхого жилого фонда, а также затраты на временное отселение (переселение) людей, оказавшихся без крова и части имущества.

Столь значительные масштабы ожидаемого ущерба требуют адекватных превентивных мер по снижению риска и адаптации к новой социально-экономической реальности со стороны федерального правительства и властей регионов российской Арктики, прежде всего строительной отрасли. Ведь даже при консервативном сценарии развития и минимальных масштабах ущерба от потери устойчивости и разрушения жилых зданий в результате увеличения протаивания и температуры многолетнемёрзлых грунтов в рассматриваемых восьми регионах будет необходимо ежегодно дополнительно строить 243 тыс. м² жи-

лья. При максимальной деформации и деструкции жилого фонда потребность в дополнительных объёмах строительства возрастёт в 6 раз — до 1.5 млн м². Это означает необходимость как минимум удвоения строительных мощностей, учитывая, что текущие масштабы регионального строительства составляют всего около 2.8 млн м², а также принимая во внимание вышеупомянутые императивы резервирования площадей для временного отселения и постоянного переселения людей из аварийного и ветхого жилья, для замещения планового выбытия жилья и улучшения обеспеченности им местного населения.

Решение проблем развития жилищного сектора регионов российской Арктики, обусловленных протаиванием и деградацией вечной мерзлоты и рисками снижения несущей способности многолетнемёрзлых грунтов, помимо наращивания мощностей строительной индустрии, требует её технической модернизации. Речь идёт о разработке конструкционных и технологических решений возведения жилых домов и объектов социальной (коммунально-бытовой, энергетической и т.д.) инфраструктуры, обеспечивающих адаптацию к изменениям регионального климата и их последствиям для устойчивости сооружений в условиях деградации многолетнемёрзлых грунтов, а также об эффективном функционировании жилищного сектора. Такие решения, в частности, могут быть предложены в рамках реализации национального проекта “Экология” (2020–2030 гг.), органической частью которого является федеральный проект “Внедрение наилучших доступных технологий”, в числе которых — новые конструкционные материалы с повышенными прочностными характеристиками, энергоэффективные и “зелёные” технологии.

При разработке подобных технологических решений и, главное, организации управления их реализацией в жилищном секторе северных регионов страны представляется полезным использовать изложенные выше методику и результаты оценки затрат на снижение риска несущей способности многолетнемёрзлых грунтов. В более широком плане эти оценки целесообразно использовать при разработке и реализации документов стратегического планирования, непосредственно касающихся Арктического макрорегиона страны, прежде всего Национального плана адаптации, мероприятия первого этапа которого до 2022 г. утверждены распоряжением Правительства России в конце 2019 г. [21], а также Стратегии развития российской Арктики до 2035 г., проект которой, разработанный Министерством РФ по развитию Дальнего Востока и Арктики, проходит в настоящее время (начало сентября 2020 г.) согласование в правительстве страны [22].

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Климатические и физико-географические расчёты состояния вечной мерзлоты были выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-00-00600 (18-00-00596) “Сценарии изменений глобального климата и оценки последствий их реализации для социально-экономического развития России в XXI веке” и № 18-05-60252_Арктика “Неучтённые региональные механизмы климатических изменений в Арктике и их влияние на предсказуемость климата и экономические аспекты освоения Арктического пространства России”. Разработка методологии экономической оценки рисков деградации вечной мерзлоты для жилищного сектора регионов российской Арктики, соответствующие расчёты и сценарное моделирование выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-00-00600 (№ 18-00-00599 “Анализ и стратегии управления климатическими рисками долгосрочного социально-экономического развития России”), № 18-05-60146_Арктика “Медико-экологические факторы социально-экономического развития российской Арктики: анализ и прогноз”, № 18-05-60088 “Устойчивость развития арктических городов в условиях природно-климатических изменений и социально-экономических трансформаций”, а также в рамках выполнения гранта, предоставленного в форме субсидии на проведение крупных научных проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития в рамках подпрограммы “Фундаментальные научные исследования для долгосрочного развития и обеспечения конкурентоспособности общества и государства” государственной программы Российской Федерации “Научно-технологическое развитие Российской Федерации”, проект “Социально-экономическое развитие Азиатской России на основе синергии транспортной доступности, системных знаний о природно-ресурсном потенциале, расширяющегося пространства межрегиональных взаимодействий”, номер соглашения с Министерством науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2020-804 (внутренний номер гранта № 13.1902.21.0016).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Спорышев П.В., Катцов В.М., Говоркова В.А.* Эволюция температуры в Арктике: достоверность модельного воспроизведения и вероятностный прогноз на близкую перспективу // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2016. Вып. 583. С. 45–84.
2. *Romanovsky V.E., Smith S.L., Isaksen K. et al.* Terrestrial permafrost in “State of the climate in 2018” // Special supplement to “Bulletin of the American Meteorological Society”. 2019. V. 100. № 9. P. S153–S156.
3. *Vasiliev A., Drozdov D., Gravis A. et al.* Permafrost degradation in the Western Russian Arctic // Environmental Research Letters. 2020. V. 15. № 4. Article 45001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab6f12>
4. *Shiklomanov N.I., Streletskiy D.A., Swales T.B. and Kokorev V.A.* Climate change and stability of urban infrastructure in Russian permafrost regions: Prognostic assessment based on GCM climate projections // Geographical Review. 2017. V. 107. № 1. P. 125–142.
5. *Suter L., Streletskiy D., Shiklomanov N.* Assessment of the costs of climate change impacts on critical infrastructure in the Circumpolar Arctic // Polar Geography. 2019. V. 42. № 4. P. 267–286.
6. *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. XVI. № 1. С. 22–32.
7. *Хрусталёв Л.Н., Пармузин С.Ю., Емельянова Л.В.* Надёжность северной инфраструктуры в условиях меняющегося климата. М.: Университетская книга, 2011.
8. Рекомендации по устройству свайных фундаментов в многолетнемерзлых грунтах / НИИОСП им. Н.М. Герсеева Госстроя СССР. М.: НИИОСП, 1985.
9. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на многолетнемерзлых грунтах. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990.
10. *Instanes A., Anisimov O.* Climate change and arctic infrastructure // Proc. 9th Int. Conf. on Permafrost (Fairbanks, Alaska, 29 June–3 July) / D. Kane and K.M. Hinkel (ed). Institute of Northern Engineering, University of Alaska Fairbanks, 2008. P. 779–784.
11. *Hong E., Perkins R., Trainor S.* Thaw settlement hazard of permafrost related to climate warming in Alaska // ARCTIC. 2014. V. 67. № 1. P. 93–103.
12. *Nelson F.E., Anisimov O.A. and Shiklomanov N.I.* Subsidence risk from thawing permafrost // Nature. 2001. V. 410. P. 889–890.
13. Социально-экономическое развитие российской Арктики в контексте глобальных изменений климата / Под ред. акад. Б.Н. Порфирьева. М.: Научный консультант, 2017.
14. *Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А.* Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты под влиянием изменений климата для дорожной инфраструктуры в Российской Арктике // Вестник РАН. 2019. № 12. С. 1228–1239; *Porfiriev B.N., Eliseev D.O. and Streletskiy D.A.* Economic Assessment of Permafrost Degradation Effects on Road Infrastructure Sustainability under Climate Change in the Russian Arctic // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2019. № 6. P. 567–576.
15. *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. V. 14. Article 025003.

16. *Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I.* Arctic cities through the prism of permafrost / Orttung R. (ed.). Sustaining Russia's Arctic cities: Resource politics, migration, and climate change. Berghahn Press, 2016. P. 201–220.
17. Демографический ежегодник России. 2017: Стат. сб. М.: Росстат, 2017.
18. Национальный проект “Жильё и городская среда”. <https://minstroyrf.gov.ru/trades/natsionalnye-proekty/natsionalnyu-proekt-zhilye-i-gorodskaya-sreda> (дата обращения 15.08.2020).
19. Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA). Oslo: Arctic Monitoring and Assessment Program, 2017.
20. *Streletskiy D.A., Shiklomanov N.I., Nelson F.E.* Permafrost, infrastructure and climate change: a GIS-based landscape approach to geotechnical modeling // Arctic, Antarctic and Alpine Research. 2012. V. 44. № 3. P. 368–380.
21. Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года. Утверждён распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 г. № 3183-р. <http://government.ru/docs/38739/> (дата обращения 28.08.2020).
22. Арктика 2035. Стратегия развития. <https://arctic2035.ru/> (дата обращения 01.09.2020).