

ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИЙ В АДАПТАЦИЮ ЭКОНОМИКИ К ПОСЛЕДСТВИЯМ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ В РОССИИ

© 2023 г. Б. Н. Порфирьев^{a,*}, Д. О. Елисеев^{a,**}, А. Ю. Колпаков^{a,***}

^aИнститут народнохозяйственного прогнозирования РАН, Москва, Россия

*E-mail: b_porfiriev@mail.ru

**E-mail: elisd@mail.ru

***E-mail: ankolp@gmail.com

Поступила в редакцию 01.12.2022 г.

После доработки 19.12.2022 г.

Принята к публикации 11.01.2023 г.

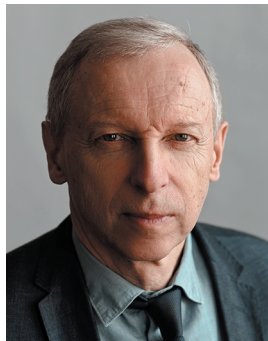
Статья посвящена методологии оценки ожидаемого ущерба от деградации многолетнемерзлых грунтов для основных фондов и его влиянию на экономику России. Представлен прогноз развития экономики нашей страны до 2050 г. с учётом последствий деградации многолетней мерзлоты, включая изменения основных макроэкономических показателей. Разработаны сценарии адаптации экономики к последствиям деградации с учётом вариативной стоимости адаптационных мероприятий. Показано что эффективными по критериям снижения риска и поддержания макроэкономической динамики в долгосрочной (2023–2050) перспективе служат инвестиции в адаптационные мероприятия в объёме порядка 5% стоимости ожидаемого накопленного ущерба.

Ключевые слова: макроэкономические показатели, прогноз, многолетнемерзлые грунты, сценарии развития, инвестиции, риски, ущерб, деградация, адаптация.

DOI: 10.31857/S0869587323030106, EDN: SIOCMX

Интенсивность климатических изменений в Арктическом макрорегионе в 2–2.5 раза превышает среднемировые значения [1]. Их наиболее характерное проявление на Русском Севере – постепенная деградация многолетнемерзлых грунтов (ММГ). Мониторинг состояния ММГ, результаты которого публикуются в ежегодных докладах Росгидромета о состоянии климата в Российской Федерации, свидетельствует о постепенном увеличении глубины протаивания ММГ

в большинстве регионов их распространения [2], что, в свою очередь, снижает их несущую способность, приводит к проседанию, деформации и обрушению построенных на них конструкций [3–6]. Значимость проблемы обусловлена тем, что многолетнемерзлые грунты распространены в 28 регионах страны, составляющих 65% её территории, однако в наибольшей степени влияние этого фактора на хозяйственную деятельность проявляется в девяти из них: Республике Коми, Ненец-



ПОРФИРЬЕВ Борис Николаевич – академик РАН, научный руководитель ИНП РАН. ЕЛИСЕЕВ Дмитрий Олегович – кандидат экономического наук, ведущий научный сотрудник лаборатории прогнозирования микроэкономических процессов ИНП РАН. КОЛПАКОВ Андрей Юрьевич – кандидат экономических наук, заведующий лабораторией анализа и прогнозирования климатических рисков экономического развития ИНП РАН.

ком, Ямало-Ненецком, Ханты-Мансийском, Чукотском автономных округах, Красноярском крае, Республике Саха (Якутия), Магаданской области, Камчатском крае.

На протяжении многих лет специфика строительства в зоне ММГ предполагала, что фундаменты располагаемых на этих грунтах сооружений строятся с учётом стабильности грунта и определённых требований к заглублению свай (опор) [7, 8]. Однако изменения температурных режимов последних десятилетий показывают, что ранее апробированные строительные решения не соответствуют современным реалиям, существенно увеличивают риски. В настоящее время при строительстве на многолетней мерзлоте уже используются инженерные решения, позволяющие стабилизировать грунт [9–11], однако их повсеместное применение на существующих объектах – достаточно сложная задача. Проблема усугубляется тем, что должный учёт объектов, построенных на ММГ и, соответственно, комплексная оценка негативных последствий от протаивания и деградации мерзлоты до сих пор не проводилась, несмотря на то, что экономическое освоение Севера ведётся уже около века и за это время там было построено множество горнодобывающих, металлургических, энергетических предприятий, автомобильных и железных дорог, портов и аэропортов, крупных населённых пунктов (Норильск, Магадан, Якутск, Воркута и др.). В отдельных исследованиях давались примерные оценки, по сути прикидки, фактического ущерба, связанного с авариями из-за деградации ММГ, но они в большей степени носили частный характер [12–15].

Лишь в последние годы появились работы, в которых предприняты попытки поиска методологических подходов к экономической, а также системной оценке рисков и потенциального ущерба от деградации многолетнемёрзлых грунтов для расположенных на них хозяйственных объектов. Такая плодотворная попытка предпринята, например, в статье С.В. Бадиной, в которой изложена авторская методология оценки ожидаемого ущерба [16, 17]. В работах коллектива учёных во главе с академиками РАН В.П. Мельниковым и В.И. Осиповым дана оценка ожидаемого ущерба от деградации ММГ для муниципалитетов Арктической зоны РФ: по их мнению, он достигает 5–7 трлн руб. [18, 19]. За последние несколько лет авторы настоящей статьи также опубликовали ряд работ, в которых представлены методология, расчёты и оценка ожидаемого ущерба от деградации ММГ применительно к основным фондам (с детализацией по отраслевому и региональному признаку) [20] и отдельным отраслевым комплексам (транспортная инфраструктура, жилищный сектор, объекты здравоохранения, топливно-энергетический комплекс) [21, 22].

Несмотря на растущее число экономических исследований по рассматриваемой проблеме, с точки зрения которых рассчитываются масштабы ожидаемого ущерба, оценки влияния потенциально негативных событий на развитие отдельных секторов и экономики страны в целом пока отсутствуют. Дело в том, что имеющиеся оценки служат своего рода точкой отсчёта для определения затрат (в первую очередь финансовых, а также технологических, кадровых и управленческих ресурсов), которые требуются для снижения рисков деградации многолетней мерзлоты. С макроэкономической точки зрения такие затраты могут оказывать негативное влияние на состояние экономики из-за необходимости перераспределения ресурсов и, как следствие, роста цен, сокращения инвестиций в других регионах и секторах.

Нами предпринята попытка восполнить существующий пробел и оценить ожидаемый ущерб от деградации многолетнемёрзлых пород для основных фондов, располагающихся в регионах наибольшего распространения ММГ, её негативное влияние на макроэкономические показатели российского хозяйственного комплекса. Актуальность этой задачи обусловлена высокой экономической и социальной значимостью хозяйственных объектов, размещённых в российской Арктике, необходимостью их бесперебойного функционирования, которое призвано обеспечить устойчивую макроэкономическую динамику в долгосрочной перспективе.

Оценка макроэкономических последствий от деградации ММГ для основных фондов. Согласно данным Росстата, по состоянию на конец 2020 г. стоимость основных фондов Российской Федерации составила 362.2 трлн руб.¹ На долю упомянутых девяти регионов с наибольшей степенью влияния деградации ММГ на хозяйственную деятельность суммарно приходится 13.3% всей этой стоимости, или около 48 трлн руб. (табл. 1). Учитывая ярко выраженный ресурсно-добывающий характер экономики этих регионов, закономерно, что стоимость их основных фондов в добывающем секторе составляет почти 64% общероссийского показателя.

Методология оценки и прогноза влияния рисков деградации ММГ на макроэкономические параметры базируется на апробированных методах расчётов и моделях, сочетающих оценку ожидаемого ущерба хозяйственным объектам в долгосрочной перспективе и межотраслевую макроэкономическую модель прогнозирования экономического роста, разработанную в ИНП РАН [23]².

¹ См: <https://rosstat.gov.ru/folder/14304>

² Далее кратко воспроизводятся основные положения методологии оценки ожидаемого ущерба хозяйственным объектам от деградации ММГ, которая подробно изложена в статье [20].

Таблица 1. Полная учётная стоимость основных фондов в регионах России с наибольшей степенью влияния деградации ММГ на хозяйственную деятельность. 2020 г., млрд руб.

Разделы ОКВЭД*	Регионы (номера)**									Доля от РФ (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
А	22	4	10	10	97	21	10	72	1	3.6
В	839	1001	7698	7604	1303	1306	156	44	83	64.0
С	357	0	175	1632	558	36	2	42	1	11.4
Д	89	5	251	584	482	289	93	37	47	10.2
Е	8	2	8	32	93	12	3	5	0	6.2
F	27	4	50	169	48	66	7	29	3	13.7
G	17	1	40	64	65	22	7	7	4	4.0
Н	1791	38	4562	3482	753	1070	53	73	14	21.2
И	7	1	16	12	28	8	1	11	3	5.4
J	40	2	34	88	91	56	7	11	2	4.8
К	7	0	430	28	47	19	2	14	9	8.9
L	808	34	666	1359	2494	766	107	297	19	4.0
М	13	18	101	216	99	23	6	8	6	10.1
N	9	2	338	39	13	17	1	4	0	15.5
О	65	3	108	203	150	89	17	160	39	6.7
P	89	9	72	145	102	80	11	25	10	9.3
Q	27	4	39	113	101	49	12	16	6	7.1
R	12	3	34	69	63	27	3	7	2	8.7
S	13	0	35	6	3	1	0	0	0	14.4
ИТОГО	4240	1133	14667	15853	6591	3957	498	864	248	13.3

*Общероссийский классификатор видов экономической деятельности. А – сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство; В – добыча полезных ископаемых; С – обрабатывающие производства; Д – обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха; Е – водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений; F – строительство; G – торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов; Н – транспортировка и хранение; И – деятельность гостиниц и предприятий общественного питания; J – деятельность в области информации и связи; К – деятельность финансовая и страховая; L – деятельность по операциям с недвижимым имуществом; М – деятельность профессиональная, научная и техническая; N – деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги; О – государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение; P – образование; Q – деятельность в области здравоохранения и социальных услуг; R – деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений; S – предоставление прочих видов услуг.

** Регионы: 1. Республика Коми. 2. Ненецкий АО. 3. Ямало-Ненецкий АО. 4. Ханты-Мансийский АО. 5. Красноярский край. 6. Республика Саха (Якутия). 7. Магаданская область. 8. Камчатский край. 9. Чукотский АО.

Источники: составлено авторами по данным Росстата

На первом этапе предусматривается оценка стоимости основных фондов на ММГ в региональном и отраслевом разрезе, исходя из определения стоимости недвижимой части этих фондов в составе общей стоимости основных фондов в соответствии с формулой 1 на основе данных таблицы 1:

$$FA_r^i = FA * k_i, \quad (1)$$

где FA_r^i – стоимость основных фондов, r – регион, i – вид экономической деятельности по Общероссийскому классификатору видов экономической деятельности (ОКВЭД); FA – стоимость основных фондов по ОКВЭД; k_i – доля каждого вида основных фондов (здания, сооружения, оборудование и т.п.).

Далее оценивается стоимость недвижимой части основных фондов по отраслям на муници-

пальном уровне для последующей географической локализации. В общем виде оценка представлена в формуле 2:

$$FA_m^i = FA_r^i * K_i, \quad (2)$$

где FA_m^i – стоимость основных фондов на муниципальном уровне, i – вид экономической деятельности по ОКВЭД; m – муниципальное образование; FA_r^i – стоимость основных фондов на региональном уровне, r – регион, K_i – отраслевой коэффициент перехода стоимости на муниципальный уровень, рассчитываемый в зависимости от конкретной отрасли (может быть соотношением численности населения, валовой выручки, площади жилья, протяжённости объектов и т.п.).

Оценка количества конкретных объектов, построенных на многолетнемёрзлых грунтах, проводится на основе классификации типологии ММГ, установленной Международной ассоциацией мерзлотоведения (по географии распространения – сплошные, прерывистые, массивно-островные и спорадические) [24, 25]. Принимается, что в зоне сплошных ММГ 90–95% объектов в зависимости от отрасли построены на ММГ; на прерывистых – 50–75%; на массивно-островных – 10–35% соответственно. Различия масштабов размещения обусловлены тем, что для некоторых отраслей географическая локализация инженерных конструкций безальтернативна (например, для месторождений полезных ископаемых).

На заключительном этапе проводится оценка суммарного ожидаемого ущерба от деградации ММГ для основных фондов за период до 2050 г. с учётом прогнозных параметров протаивания, которые основаны на климатических данных и апробированной геотехнической модели состояния грунтов [26].

Из-за отсутствия точных величин глубины и масштабов ежегодного протаивания ММГ (нельзя с уверенностью сказать, какая температура приземного воздуха будет в конкретной точке через год, два, три и, соответственно, предугадать, на какую глубину протает грунт) для целей экономического моделирования предлагается экстраполяция ретроспективных данных об интенсивности протаивания ММГ на долгосрочную перспективу с последующей оценкой предполагаемого ущерба. Используются текущие значения протаивания ММГ (по данным системы мониторинга CALM), на основе которых строится тренд, который затем экстраполируется в будущем прогнозном интервале 2020–2050 гг. Далее общая сумма ожидаемого ущерба за указанный период распределяется в соответствии с масштабами ежегодного протаивания ММГ по годам в региональном разрезе.

В общем виде формула оценки ожидаемого ущерба выглядит так:

$$DFA_r^i = (\varphi * FA_c^i + \% * FA_d^i + \% * FA_s^i) * k_{th}^i, \quad (3)$$

где DFA_r^i – ожидаемый ущерб для основных фондов отрасли от протаивания ММГ; φ – доля основных фондов на разных типах ММГ (в %); FA_c^i – основные фонды, построенные на сплошных ММГ; FA_d^i – основные фонды, построенные на прерывистых ММГ; FA_s^i – основные фонды, построенные на массивно-островных ММГ; r – регион, i – вид экономической деятельности по ОКВЭД; k_{th}^i – коэффициент риска от протаивания для различных типов основных фондов.

Оценка влияния ожидаемого ущерба основным фондам от деградации ММГ на макроэкономические параметры экономики. Для определения макроэкономических последствий от потери непрерывности функционирования основных фондов (деформации, разрушения или нарушения устойчивости) из-за деградации ММГ используется модельный комплекс, разработанный ИМП РАН и базирующийся на межотраслевой модели российской экономики [23]³. Предполагается, что ущерб основным фондам от таяния ММГ ведёт к пропорциональному снижению выпуска. При этом рассматриваются риски только для существующей инфраструктуры, а ожидаемые в перспективе предполагается компенсировать за счёт инвестиций в меры превентивной адаптации, направленные на снижение ожидаемого ущерба и потерь для выпуска товаров и услуг. Такие инвестиции, с одной стороны, обеспечивают позитивный вклад в ВВП через накопление основного капитала, но, с другой стороны, означают рост капиталоемкости и обуславливают повышение цен, которое снижает покупательную способность потребителей, а значит, и сам объём потребления.

При расчёте потерь выпуска предполагается, что фактические макроэкономические показатели России уже отражают текущий уровень ущерба от деградации ММГ (в терминах разницы между потенциальной стоимостью выпуска при отсутствии указанного ущерба и реальной (текущей) величиной выпуска). Поэтому в качестве определяющего параметра на прогнозируемый период используется показатель прироста ущерба:

$$ПВ_i^T = \frac{(Y_i^T - Y_i^0)}{O\Phi_i^0} * B_i^0, \quad (4)$$

³ Модельный комплекс ИМП РАН используется в институте для обоснования эффективных направлений национальной климатической политики [27].

где PB_i^T — потеря выпуска в отрасли i в год T ; Y_i^T и Y_i^0 — ущерб от деградации ММГ для основных фондов отрасли i в год T и базовый год (0), соответственно; $O\Phi_i^0$ — основные фонды в отрасли i в базовом году; B_i^0 — выпуск в отрасли i в базовом году.

Как уже отмечалось, с целью снижения ожидаемого (потенциального) ущерба применяются меры превентивной адаптации, капиталоемкость которых зависит от стоимости потенциального ущерба:

$$A_i^T = (Y_i^T - Y_i^0) * \alpha_i^T * k_i, \quad (5)$$

где A_i^T — инвестиции в адаптационные меры в отрасли i в году T ; α_i^T — степень покрытия (предотвращения, снижения) ущерба за счёт мер (в % — от 0 до 100); k_i — коэффициент, показывающий соотношение затрат на снижение (ликвидацию) ущерба и стоимости самого ущерба.

В рамках предлагаемой методологии приняты следующие ограничения и допущения, обусловленные неопределённостью соответствующей информации. Во-первых, в модели используется величина скорости климатических изменений, соответствующая современным климатическим прогнозам (по усреднённому сценарию), согласно которым максимальная интенсивность протаивания и деградации ММГ и наносимого ими экономического ущерба достигается после 2035—2040 г. Однако в действительности процессам деградации ММГ присуща неравномерность, обусловленная колебаниями температуры приземного воздуха, режима осадков и иных метеорологических явлений в конкретный период. Во-вторых, специфика (детальность) статистического учёта основных фондов не даёт полноценной информации об их конкретной видовой структуре на территории распространения ММГ. Используемые методы оценки позволяют зачастую лишь предполагать, что определённые основные фонды расположены в конкретных ареалах ММГ, в реальности же могут возникать несоответствия и диспропорции. В-третьих, для целей макроэкономической оценки была выделена группа отраслей, в наибольшей степени влияющих на изменения макроэкономических показателей в стране, в контексте конкретных исследуемых регионов (то есть именно эти отрасли имеют значимое влияние на макропараметры). К ним были отнесены добывающие отрасли (добыча угля и торфа, нефти и газа, металлических руд), металлургическое производство, производство электроэнергии и тепла, строительство, транспорт, государственное управле-

ние⁴. В-четвёртых, как уже отмечалось выше, предполагается, что инвестиции в адаптацию (по первоначальной стоимости основных фондов) зависят от стоимости ожидаемого ущерба. При этом нами рассмотрены семь сценариев инвестиций в адаптационные меры.

Базовый (гипотетический) сценарий предполагает развитие экономики России без влияния фактора климатических изменений и их последствий для хозяйственных объектов, включая протаивание и деградацию ММГ и связанный с ними ущерб. Остальные шесть сценариев включают действие указанного фактора, при этом один из них (инерционный или пассивный) исходит из того, что адаптационные мероприятия отсутствуют (инвестиции равны нулю), возникающий от действия климатического фактора ущерб основным фондам не смягчается (не компенсируется), что приводит к максимальному (в данной ситуации) отрицательному эффекту на выпуск конечной продукции и другие макроэкономические параметры. Оставшиеся (без учёта инерционного) пять сценариев предполагают инвестиции в адаптацию и реализацию адаптационных мер, которые предотвращают или полностью покрывают возникающий ущерб от изменения климата, но при этом различаются по объёму инвестиций в адаптацию: объём варьируется от 5% стоимости ожидаемого ущерба до 25, 50, 75 и 100% соответственно (в зависимости от коэффициента k_i в формуле 5).

Результаты оценки влияния ущерба от деградации ММГ на динамику основных макроэкономических показателей. Согласно принятой методологии исследования, общая стоимость основных фондов, расположенных на ММГ, составляет в настоящее время 12.7 трлн руб. (для расчётов использованы формулы 1 и 2). Наиболее значительные потенциальные риски могут возникнуть в добывающих отраслях и на транспорте, на которые приходится около 80% стоимости указанных основных фондов. В региональном разрезе около 57% таких фондов приходится на Ямало-Ненецкий автономный округ (вся его территория — зона ММГ).

Совокупный накопленный потенциальный ущерб для всех основных фондов, расположенных на ММГ, до 2050 г. достигнет 4.5 трлн руб.

⁴ Особо следует выделить жилищный сектор. Стоимость его основных фондов составляет примерно половину общей стоимости основных фондов России, однако добавленная стоимость на единицу основных фондов в этом секторе в несколько раз ниже, чем в производственном секторе экономики. Жильё — социальная сфера, и затраты на снижение рисков деградации ММГ для жилых зданий следует учитывать как условные постоянные расходы, а не как инвестиции в адаптацию. Поэтому в рамках методологии, принятой в настоящем исследовании, жилищный сектор не учитывался.

Таблица 2. Прогнозные оценки влияния затрат на адаптационные меры на динамику макроэкономических показателей в России в 2023–2050 гг., трлн руб.

Макроэкономические показатели	Сценарии						
	Базовый сценарий (без ущерба)	Инерционный (без мер адаптации)	Инвестиционные (в зависимости от коэффициента k_i в формуле 5 – соотношение затрат на ликвидацию ущерба и размера ущерба)				
			5%	25%	50%	75%	100%
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Инвестиции в меры адаптации	0.00	0.00	0.05	0.26	0.51	0.77	1.03
Ущерб выпуску накопленный	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Выпуск	6947.23	6946.91	6947.77	6947.36	6947.14	6946.81	6946.47
Потребление домашних хозяйств	1834.91	1834.91	1834.84	1834.83	1834.67	1834.53	1834.42
Государственное потребление	662.42	662.41	662.50	662.44	662.37	662.32	662.25
Накопление основного капитала	1012.4	1012.39	1012.57	1012.47	1012.46	1012.42	1012.36
Экспорт	817.78	817.53	817.64	817.65	817.65	817.66	817.67
Импорт	–985.85	–985.85	–986.07	–985.89	–985.99	–985.96	3438.96
ВВП	3439.85	3439.56	3439.66	3439.68	3439.35	3439.14	

Источник: расчёты авторов.

(для расчётов использована формула 3). Для его снижения необходим комплекс адаптационных мер, которые требуют инвестиций. Чтобы оценить их влияние на основные макроэкономические параметры, используются перечисленные выше семь сценариев последствий изменений климата, обуславливающих разную динамику и масштабы ожидаемого ущерба от деградации ММГ.

Согласно базовому гипотетическому сценарию, влияние фактора климатических изменений и их последствий, включая протаивание и деградацию многолетней мерзлоты, на развитие экономики России отсутствует. В этом случае совокупный объём выпуска продукции за период 2023–2050 гг. составит 6947.2 трлн руб., совокупное потребление (домашние хозяйства, государственное потребление) – 2497.3 трлн руб., накопление основного капитала – 1012.4 трлн руб., экспорт – 817.8 трлн руб., импорт – 985.9 трлн руб., ВВП – 3439.9 трлн руб. (числа округлены до одной десятой; подробнее – в табл. 2).

В инерционном сценарии, учитывающем влияние последствий климатических изменений, включая деградацию многолетней мерзлоты, на экономику, но не предусматривающем инвестиции в адаптацию, за тот же период сокращение выпуска продукции (по отношению к базовому)

составит около 330.2 млрд руб., а ВВП снизится на 292.9 млрд руб.

Следующие пять сценариев условно именуется инвестиционными, в том числе два из них (№ 3 и 4 в табл. 2) предполагают объёмы инвестиций в адаптационные меры, эквивалентные, соответственно, 5% и 25% стоимости ожидаемого ущерба. При таком объёме инвестиций накопленный ущерб выпуску отсутствует, выпуск продукции увеличивается по отношению к базовому сценарию на 540 млрд и 130 млрд руб., а накопленный ВВП сокращается – на 190 млрд и 170 млрд руб. соответственно.

В сценариях № 5–7 (см. табл. 2), предусматривающих долю инвестиций в адаптационные мероприятия 50% и более от ожидаемого ущерба, сокращаются и выпуск продукции, и ВВП в сравнении с базовым сценарием. Это связано с тем, что в указанных сценариях инвестиции в адаптацию рассматриваются как дополнительные расходы (то есть значительное бремя) вне рамок обычного экономического цикла. Увеличение таких расходов ведёт к росту цен, сокращению потребления продукции и как следствие сокращению выпуска и ВВП. Так, при инвестициях в объёме, равном 50% от ожидаемого ущерба, выпуск товаров сократится на 90 млрд, а ВВП на 500 млрд руб. (сценарий № 5). При инвестициях в

адаптационные меры в объёмах, составляющих, соответственно, 75% и 100% стоимости ожидаемого ущерба, выпуск продукции и накопленный ВВП ощутимо сокращаются не только в сопоставлении с базовым, но и с инерционным сценарием (в которых адаптационные мероприятия отсутствуют, инвестиции в них равны нулю). По отношению к базовому варианту снижение выпуска в период 2023–2050 гг. в сценариях № 6 и 7 составит 420 млрд и 760 млрд руб., в сравнении с инерционным сценарием – 100 млрд и 440 млрд руб. соответственно. За тот же период накопленный ВВП снизится на 710 млрд и 890 млрд руб. в сравнении с базовым сценарием и на 420 млрд и 600 млрд руб. в сравнении с инерционным сценарием. При этом следует отметить, что позитивный эффект от адаптационных мероприятий для выпуска сохраняется вплоть до увеличения коэффициента k_i до 50%, для ВВП – до 25% (см. табл. 2).

Таким образом, из рассмотренных сценариев инвестирования в адаптационные меры, обеспечивающие предотвращение и/или ликвидацию ожидаемого кумулятивного ущерба от деградации многолетней мерзлоты и одновременно поддержание динамики экономического роста в долгосрочной перспективе, оптимальным представляется сценарий № 3, предусматривающий адаптационное инвестирование в объёме 5% стоимости ожидаемого ущерба. Его реализация позволит избежать накопления ущерба, обеспечить максимальный (в сравнении со сценариями № 1 и 2) рост выпуска продукции, а также максимальные показатели динамики накопленного ВВП. Каждый рубль инвестиций в сценарии № 3 обеспечивает увеличение выпуска продукции за рассматриваемый период на 11 руб. и 17 руб. в сравнении со сценариями № 1 и 2, а также накопленного ВВП на 2 руб. (в сравнении со сценарием № 2). Очевидно, что по этим показателям эффективность инвестиционного сценария № 3 намного превосходит сценарий № 4.

Полученный результат, как представляется, хорошо соотносится с результатами недавнего исследования Всемирного банка, посвящённого оценке ущерба объектам критической инфраструктуры развивающихся стран от нарушения устойчивого функционирования из-за опасных последствий глобальных климатических изменений, а также экономическим выгодам от инвестиций в повышение устойчивости указанных объектов [28]. Согласно этим оценкам, стоимость дополнительных инвестиций на эти цели составляет лишь 3% общей потребности в капиталовложениях в инфраструктуру. При этом каждый доллар таких инвестиций обеспечивает четыре доллара чистых выгод (в виде предотвращённого ущерба), то есть эффективность вложений высока.

Обусловленные глобальным потеплением ускоренное протаивание и деградация многолетней мерзлоты, а также связанные с ними риски для основных фондов – один из наиболее значимых вызовов устойчивому развитию экономики России, прежде всего её северных регионов. Большинство экономических исследований этого феномена фокусируются в основном на оценке масштабов ожидаемого ущерба с учётом значительной неопределённости последствий. Имеются оценки экономического ущерба отдельным секторам экономики в регионах распространения многолетнемерзлых грунтов, оценки последствий конкретных чрезвычайных ситуаций, обусловленных деградацией ММГ (Норильская авария). В то же время анализ и оценка влияния последствий деградации многолетней мерзлоты, а также необходимых затрат на адаптационные мероприятия, снижающие риски для экономики страны, пока отсутствуют.

Такие затраты связаны, с одной стороны, с ощутимыми издержками из-за использования дополнительных материальных, финансовых и кадровых ресурсов, что, в случае их непроизводительного применения, может приводить к росту цен, дополнительной нагрузке на экономику и торможению экономического роста. С другой стороны, вложения необходимы, чтобы снизить риск нарушения устойчивости функционирования основных фондов, в том числе в критически важных секторах (прежде всего инфраструктуры). В случае инвестиционной направленности затрат на адаптационные меры они могут стать производительными, повлечь за собой создание новых рабочих мест, стимулировать спрос на продукцию и услуги, лишь незначительная часть которых узко специализирована, предназначена только для предотвращения ущерба от бедствий. Отсюда следует важный вопрос об экономической обоснованности (результативности и эффективности) адаптационных мер и инвестиций в них.

В настоящем исследовании на модельном уровне рассмотрены эффекты инвестирования в меры приспособления экономики к последствиям деградации ММГ при различных сценариях на период 2023–2050 гг. Полученные оценки показывают, что в масштабе всей экономики эффективны адаптационные инвестиции, объём которых составляет порядка 5% стоимости ожидаемого накопленного ущерба, обусловленного деградацией многолетней мерзлоты и последующими деформацией и/или разрушением основных фондов. В этом случае эффективность сложней по критерию роста валового выпуска продукции достигает 17 : 1 и 11 : 1 в сравнении с базовым и инерционным сценариями, при которых инвестиции в

адаптацию равны нулю, и 2 : 1 – по критерию роста накопленного ВВП при инерционном сценарии.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при поддержке гранта № 22-28-01075 Российского научного фонда. <https://rscf.ru/project/22-28-01075/>

ЛИТЕРАТУРА

1. *Constable A.J., Harper S., Dawson J. et al.* 2022: Cross-Chapter Paper 6: Polar Regions // *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / Н.-О. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. P. 2319–2368. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.023>
2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. М.: Росгидромет, 2021. https://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf
3. *Kotov P.I., Khilimonyuk V.Z.* Building Stability on Permafrost in Vorkuta, Russia // *Geography, Environment, Sustainability*. 2021. V. 14. № 4. P. 67–74. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-043>
4. *Анисимов О.А., Стрелецкий Д.А.* Геокриологические риски при таянии многолетнемёрзлых грунтов // *Арктика XXI век. Естественные науки*. 2015. № 2 (3). С. 60–74.
5. *Васильев А.А., Гравис А.Г., Губарьков А.А. и др.* Дegradация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе Российской Арктики // *Криосфера Земли*. 2020. № 2. С. 15–30.
6. *Grebenets V.I., Tolmanov V.A., Streletskiy D.A.* 2021. Active Layer Dynamics Near Norilsk, Taimyr Peninsula, Russia // *Geography, Environment, Sustainability*. 2021. № 4. P. 55–66. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-073>
7. Строительные нормы и правила. Сметные нормы и правила. СНиП IV-5-82. Приложение. Сборники единых районных единичных расценок на строительные конструкции и работы. Сборник 49. Скважины на нефть и газ. М.: Недра, 1985.
8. Строительные нормы и правила. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений (с изм. и доп.). М.: ФГУП ЦПП, 2006; Строительные нормы и правила. СНиП 2.02.03-85. Свайные фундаменты. М.: ФГУП ЦПП, 2006.
9. Строительные нормы и правила. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. М.: ФГУП ЦПП, 2005.
10. *Хрусталёв Л.Н., Хилимонюк В.З.* Новый фундамент для зданий в Арктике // *Криосфера Земли*. 2018. № 4. С. 25–30.
11. *Гласко А.В., Калмыков А.М., Мещерин И.В. и др.* Замораживание грунтов оснований геотехнических объектов в криолитозоне с помощью вертикальных термостабилизаторов // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия “Естественные науки”*. 2012. № 7 (7). С. 102–111.
12. *Auniz E.C., Хрусталёв Л.Н.* Предотвращение деградации многолетнемёрзлых грунтов в основании насыпей железных дорог // *Криосфера Земли*. 2020. № 5. С. 45–50.
13. *Hjort J., Karjalainen O., Aalto J. et al.* Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century // *Nat. Commun.* 2018. № 9. Article number 5147. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07557-4>
14. Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетнемёрзлых пород: прогноз на основе синтеза наблюдений и моделирования: Оценочный отчёт / Под ред. О.А. Анисимова. М.: Greenpeace, 2009.
15. *Чеснокова И.В.* Оценка ущерба от криогенных процессов и проблема страхования их последствий для территории РФ // Десятая Международная конференция по мерзлотоведению (ТICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. Том 5: Расширенные тезисы на русском языке. Тюмень: Печатник, 2012.
16. *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. V. 29 (4). P. 100730.
17. *Badina S.V.* Prediction of socioeconomic risks in the cryolithic zone of the Russian Arctic in the context of upcoming climate changes // *Studies on Russian Economic Development*. 2020. № 4. P. 396–403.
18. *Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В. и др.* Оценка ущерба жилым и промышленным зданиям и сооружениям при изменении температур и оттаивании многолетнемёрзлых грунтов в Арктической зоне Российской Федерации к середине XXI века // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2021. № 1. С. 14–31.
19. *Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В. и др.* Снижение устойчивости инфраструктуры ТЭК России в Арктике как следствие повышения среднегодовой температуры приповерхностного слоя криолитозоны // *Вестник РАН*. 2022. № 4. С. 303–314; *Mel'nikov V.P., Osipov V.I., Brushkov A.V. et al.* Decreased Stability of the Infrastructure of Russia's Fuel and Energy Complex in the Arctic Because of the Increased Annual Average Temperature of the Surface Layer of the Cryolithozone // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. 2022. № 2. P. 115–125.
20. *Porfiriev B.N., Eliseev D.O.* An Integrated Approach to the Economic Assessment of the Permafrost Degradation effects on resilience of fixed assets in the Russian Arctic // *Studies on Russian Economic Development*, 2023. V. 34. № 2. P. 176–184.
21. *Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А.* Экономическая оценка последствий деградации многолетней мерзлоты для объектов системы здравоохранения российской Арктики // *Вестник РАН*. 2021. № 12. С. 1125–1136; *Porfiriev B.N., Eliseev D.O., Streletskiy D.A.* Economic assessment of permafrost degradation effects on healthcare facilities in

- the Russian Arctic // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2021. № 6. P. 677–686.
22. Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А. Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты для жилищного сектора российской Арктики // Вестник РАН. 2021. № 2. С. 105–114; Porfiriev B.N., Eliseev D.O., Streletskiy D.A. Economic assessment of permafrost degradation effects on the housing sector in the Russian Arctic // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2021. № 1. P. 17–25.
23. Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Широ А.А., Янговский А.А. Межотраслевая макроэкономическая модель как ядро комплексных прогнозных расчётов // Проблемы прогнозирования. 2014. № 3 (144). С. 18–31.
24. Brown J., Ferrians O., Heginbottom J.A., Melnikov V. 2002. Circum-Arctic Map of Permafrost and Ground-Ice Conditions, Version 2. [Indicate subset used]. Boulder, Colorado USA. NASA National Snow and Ice Data Center Distributed Active Archive Center. <https://doi.org/10.7265/skbg-kf16> // <https://nsidc.org/sites/default/files/ggd318-v002-userguide.pdf>
25. Zotova L.I. Landscape Indication Of Permafrost Conditions For Geoecological Assessment & Mapping At Various Scales // Geography, Environment, Sustainability. 2021. V. 14. № 4. P. 33–40. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-039>
26. 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 number 025003. P. 1–15.
27. Порфирьев Б.Н., Широ А.А., Колпаков А.Ю., Единак Е.А. Возможности и риски политики климатического регулирования в России // Вопросы экономики. 2022. № 1. С. 72–89. <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2022-1-72-89>
28. Hallegatte S., Rentschler J., Rozenberg J. Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity. Overview booklet. Washington: World Bank, 2019.