

### СЦЕНАРНАЯ ОЦЕНКА ОЖИДАЕМОГО УЩЕРБА ОТ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ: РЕГИОНАЛЬНЫЙ И ОТРАСЛЕВОЙ АСПЕКТЫ<sup>1</sup>

**ПОРФИРЬЕВ Борис Николаевич**, академик РАН, b\_porfiriev@mail.ru, Институт народнохозяйственного прогнозирования, Российская академия наук, Москва, Россия

ORCID: 0000-0001-8515-3257; Scopus Author ID: 6603270384

**ЕЛИСЕЕВ Дмитрий Олегович**, к.э.н., elisd@mail.ru, Институт народнохозяйственного прогнозирования, Российская академия наук, Москва, Россия

*Статья является продолжением исследования методологии оценки ожидаемого ущерба основным фондам от протаивания многолетней мерзлоты вследствие климатических изменений в северных регионах России<sup>2</sup>, в котором авторами была предложена интегральная методология экономической оценки рисков протаивания с учетом отраслевой и региональной специфики. На этой основе в данной публикации обосновывается оценка ожидаемого ущерба отраслевым комплексам девяти упомянутых регионов от деградации многолетней мерзлоты при трех сценариях, обусловленных динамикой и интенсивностью климатических изменений. Оценки суммарного ущерба основным фондам этих регионов от протаивания многолетней мерзлоты за 30-летний период в зависимости от сценария варьируют от 3,6 до 5,7 трлн руб. Наибольшие величины ущерба в региональном разрезе – в Ямало-Ненецком автономном округе – 1,8-2,5 трлн руб., что составляет около половины суммарного ущерба; в отраслевом разрезе – в добывающей промышленности – 2,0-2,7 трлн руб.*

*Ключевые слова:* изменения климата, многолетнемерзлые грунты, деградация, интегральная методология, отрасли, основные фонды, ущерб, адаптация.

DOI: 10.47711/0868-6351-200-124-135

**Введение.** В последние годы проблема деградации многолетнемерзлых грунтов (ММГ) является одним из наиболее актуальных направлений анализа последствий климатических изменений. В специальном региональном разделе VI Оценочного доклада об изменениях климата Международной группы экспертов по изменениям климата (МГЭИК), посвященном климатическим изменениям в Арктическом макрорегионе, из семи ключевых рисков, связанных с климатическими изменениями, четыре в том или ином виде включают последствия деградации [1]. При этом рассматриваются достаточно неблагоприятные сценарии будущего развития событий, в котором экстремально высокие степени риска от деградации оказывают влияние на население, города, транспортную инфраструктуру, промышленность, а также полярные экосистемы. В Оценочных докладах Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, в том числе новейшем Третьем Оценочном докладе, опубликованном в конце 2022 г., проблема последствий

---

<sup>1</sup> Статья подготовлена в рамках темы FMGW-2022-0009 «Подготовка методики разработки сценариев декарбонизации мировой и российской экономики, включая ключевые отрасли; обеспечение научно-методической основы второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 года (с учетом опыта реализации первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года)» государственного задания ИНИП РАН, выполняемых в целях реализации Важнейшего инновационного проекта государственного значения, направленного на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ (ВИП ГЗ), утвержденного Распоряжением Правительства РФ от 02.09.2022 № 2515-р.

<sup>2</sup> 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. Vol. 34. No. 2. Pp. 176-184.

усиливающихся протаиваний и деградации ММГ для экономики страны, особенно, ущерба инфраструктуре, отражена в ряде разделов; наибольшее внимание ей, по понятным причинам, уделено в разделе по региональным последствиям, в главе по Арктической зоне Российской Федерации [2].

Публикуются многочисленные исследования, посвященные оценке состояния и динамики изменений ММГ в различных частях Арктического макрорегиона; оценке влияния последствий деградации ММГ на хозяйственные объекты территорий их распространения, среди которых выделяются потенциальные риски частичного или полного разрушения, вследствие интенсивного аномального протаивания и последующей потере устойчивости ММГ из-за повышения температуры [3-6]; описанию существующих и перспективных инженерных мер и технологий снижения упомянутых рисков [7-9]. В экономической литературе в последнее время повышенное внимание уделяется попыткам систематизации имеющейся информации об ущербе для хозяйственной деятельности в регионах распространения ММГ [10-12], разработке методологических подходов и последующей оценке рисков от этого негативного явления [13-15].

Активная хозяйственная деятельность в Арктическом макрорегионе ведется около века, и за это время построено значительное количество объектов, которые подвержены рискам разрушения из-за деградации ММГ. Текущая экономическая активность и перспективные проекты предполагают строительство новых зданий и сооружений, которые также окажутся в зоне риска, поскольку в условиях продолжающегося глобального потепления протаивание и деградация ММГ не только не прекратятся, но, напротив, ускорятся. При этом – без адекватных мер адаптации – эффекты разрушения хозяйственных объектов будут усугубляться снижением устойчивости экосистем и биоразнообразия, а также качества жизни населения и деловой активности [16-19].

В данной статье на основе разработанного ранее интегрального подхода к экономической оценке последствий деградации многолетней мерзлоты для устойчивости основных фондов [20] обосновывается оценка ожидаемого ущерба для существующих основных фондов в Арктическом макрорегионе на долгосрочную перспективу (2022-2052 гг.). В заключительной части обобщены отдельные вопросы адаптации хозяйственных комплексов к деградации ММГ, а также обозначены элементы стратегии реагирования экономики к этим изменениям.

**Оценка ожидаемого ущерба от деградации многолетней мерзлоты для основных фондов.** Вначале кратко воспроизведем основные элементы интегрального подхода к экономической оценке последствий деградации многолетней мерзлоты для устойчивости основных фондов, представленные нами в работе [20].

1. География распространения ММГ охватывает около 65% территории страны, значимое влияние на хозяйственную деятельность проявляется только в девяти регионах российского Севера (Ненецкий АО, северо-восточная часть республики Коми, Ямало-Ненецкий АО, север и северо-восток Ханты-Мансийского АО, отдельные муниципалитеты Красноярского края, республика Саха (Якутия), Магаданская область, Камчатский край, Чукотский АО) – далее исследуемые регионы. Для этих территорий определяется типология распространения ММГ с детализацией до муниципального уровня для последующей географической привязки основных фондов.

2. По исследуемым девяти регионам на основе информации Росстата проводится систематизация данных об основных фондах, выделяется недвижимая часть (здания и сооружения) в стоимостном виде по отраслевому признаку в соответствии с классификацией ОКВЭД 2.0. Проводится локализация основных фондов по видам экономической деятельности в конкретных муниципальных образованиях и определяется природно-географическая основа масштабов размещения основных фондов на ММГ в зависимости от их типологии.

3. Предлагаются два варианта представления результатов расчетов: 1) общая оценка ожидаемого ущерба за период 2021-2050 гг.; 2) ежегодные модельные расчеты с корректировкой величины ожидаемого ущерба с учетом повышательного тренда протаивания ММГ в долгосрочной перспективе.

Учитывая, что второй вариант необходим, в первую очередь, как элемент оценки влияния последствий деградации ММГ на макроэкономические параметры, в данной статье упор сделан на оценке общей стоимости ожидаемого ущерба на прогнозный период.

Согласно данным Росстата, по состоянию на 2020 г. общая стоимость основных фондов в России по полной учетной стоимости по всему спектру хозяйствующих субъектов составляет 361,8 трлн руб., из которых 45% (164,6 трлн руб.) приходится на жилые помещения (раздел ОКВЭД «Деятельность по операциям с недвижимым имуществом»).

В исследуемых девяти регионах российского Севера общая стоимость его основных фондов составила 48,05 трлн руб. или около 13% общей стоимости основных фондов страны. Учитывая сырьевую специализацию этих регионов, закономерно, что там сосредоточено 64% общероссийских фондов добывающей промышленности и 21% транспорта (который, в том числе, доставляет продукцию ее потребителям); а на добывающую промышленность и транспорт приходится, соответственно, свыше 40% и 24% основных фондов регионов. Доля жилья (по общероссийским меркам) незначительна, что обусловлено низкой плотностью населения на этих территориях, где проживает около 5 млн чел. (табл. 1).

Таблица 1

Структура основных фондов по видам экономической деятельности

Виды экономической деятельности (разделы ОКВЭД)	Стоимость основных фондов (млрд руб.)		Структура основных фондов (%)		Доля основных фондов исследуемых регионов в стоимости основных фондов РФ (%)
	Российская Федерация	Исследуемые регионы	Российская Федерация	Исследуемые регионы	
A	6908,9	247,6	1,91	0,52	3,58
B	31293,7	20034,0	8,65	41,69	64,02
C	24647,7	2803,9	6,81	5,84	11,38
D	18491,1	1876,9	5,11	3,91	10,15
E	2625,0	163,0	0,73	0,34	6,21
F	2935,3	402,7	0,81	0,84	13,72
G	5757,1	227,8	1,59	0,47	3,96
H	55953,5	11836,6	15,47	24,63	21,15
I	1 578,9	85,2	0,44	0,18	5,40
J	6 897,0	331,9	1,91	0,69	4,81
K	6 256,3	556,7	1,73	1,16	8,90
L	164625,8	6550,4	45,50	13,63	3,98
M	4839,4	489,2	1,34	1,02	10,11
N	2726,7	423,4	0,75	0,88	15,53
O	12357,1	833,9	3,42	1,74	6,75
P	5813,0	542,2	1,61	1,13	9,33
Q	5163,6	367,2	1,43	0,76	7,11
R	2 526,7	219,6	0,70	0,46	8,69
S	408,1	58,6	0,11	0,12	14,36
ИТОГО	361804,9	48050,8			

**Примечание:** А – сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство; В – добыча полезных ископаемых; С – обрабатывающие производства; D – обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха; E – водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений; F – строительство; G – торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов; H – транспортировка и хранение; I – деятельность гостиниц и предприятий общественного питания; J – деятельность в области информации и связи; K – деятельность финансовая и страховая; L – деятельность по операциям с недвижимым имуществом; M – деятельность профессиональная, научная и техническая; N – деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги; O – 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. В последующих таблицах расшифровка строк аналогична.

Источник: составлено авторами по данным Росстата.

Рассмотрим подробнее отраслевую структуру основных фондов в региональном разрезе, учитывая, что в данном случае именно она имеет большее значение, чем стоимость этих фондов. Для последующих оценок рисков для основных фондов, расположенных на ММГ, и последствий для региональной экономики в случае возможной частичной или полной утраты этих фондов также важно понимание их структуры в конкретном регионе. В целом по исследуемым регионам до 50% стоимости основных фондов в обрабатывающей промышленности приходится на машины и оборудование, а здания и сооружения составляют только 30%. Иная ситуация в добывающей промышленности, на транспорте, в производстве электроэнергии, в которых недвижимая часть (здания и сооружения) составляет 40-70% стоимости основных фондов. Кроме этого, необходимо учитывать сроки службы и строительства, которые в отношении крупных объектов могут составлять, соответственно, от нескольких лет (сооружение) до десятков лет (вплоть до 100 лет) (эксплуатация). Последствия их частичной или полной утраты вследствие деградации ММГ – далеко не одно и то же, что утрата, например, станков, хотя цена объектов может быть сопоставимой.

Как свидетельствуют данные табл. 2, объекты добывающей промышленности занимают доминирующее положение в Ненецком АО (более 88% основных фондов), в Ямало-Ненецком АО, Ханты-Мансийском АО, Красноярском крае, Республике Саха (Якутия), Магаданской области и Чукотском АО этот показатель существенно скромнее, варьируя от 30% до 50%. Это закономерно, учитывая перечисленные субъекты Российской Федерации – основные ресурсодобывающие регионы страны, вклад которых по отдельным видам полезных ископаемых составляет до 90% (добыча газа в Ямало-Ненецком АО).

Таблица 2

Структура основных фондов в исследуемых регионах

Виды экономической деятельности (разделы ОКВЭД)	Доля стоимости основных фондов соответствующего вида экономической деятельности в общей стоимости фондов региона* (%)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	0,36	0,52	0,07	0,06	1,47	0,54	2,00	8,36	0,59
B	88,4	19,8	52,49	47,96	19,77	33,00	31,35	5,12	33,26
C	0,04	8,41	1,19	10,29	8,47	0,92	0,44	4,91	0,29
D	0,45	2,10	1,71	3,68	7,31	7,30	18,61	4,28	18,97
E	0,15	0,18	0,05	0,20	1,41	0,31	0,62	0,59	0,00
F	0,33	0,64	0,34	1,06	0,74	1,67	1,38	3,40	1,18
G	0,10	0,40	0,27	0,41	0,99	0,55	1,47	0,82	1,65
H	3,39	42,25	31,11	21,96	11,42	27,04	10,65	8,41	5,78
I	0,09	0,16	0,11	0,08	0,42	0,19	0,11	1,27	1,10
J	0,19	0,93	0,23	0,56	1,38	1,42	1,48	1,29	0,97
K	0,02	0,17	2,93	0,18	0,72	0,48	0,40	1,60	3,49
L	2,96	19,06	4,54	8,57	37,84	19,36	21,47	34,38	7,72
M	1,62	0,30	0,69	1,36	1,51	0,59	1,20	0,87	2,26
N	0,17	0,22	2,30	0,24	0,20	0,42	0,26	0,50	0,09
O	0,30	1,52	0,73	1,28	2,28	2,25	3,39	18,57	15,58
P	0,82	2,09	0,49	0,92	1,55	2,02	2,13	2,91	3,83
Q	0,36	0,65	0,27	0,71	1,53	1,24	2,38	1,86	2,28
R	0,25	0,28	0,23	0,44	0,95	0,69	0,60	0,80	0,80
S	0,01	0,32	0,24	0,03	0,04	0,02	0,05	0,05	0,15

\* Регионы: 1 – Ненецкий АО; 2 – Республика Коми; 3 – Ямало-Ненецкий АО; 4 – Ханты-Мансийский АО; 5 – Красноярский край; 6 – Республика Саха (Якутия); 7 – Магаданская область; 8 – Камчатский край; 9 – Чукотский АО. В последующих таблицах аналогичная нумерация столбцов.

Источник: составлено авторами по данным Росстата.

Доля сельского хозяйства, обрабатывающей промышленности, а также сервисных секторов экономики (разделы I-J ОКВЭД, исключая жилье) в среднем составляет 1-5%. Доля транспорта (раздел Н ОКВЭД) высока в регионах, где размещены трубопроводные системы – Республика Коми, тот же Ямало-Ненецкий АО, а также Ханты-Мансийский АО, Красноярский край, Республика Саха (Якутия). В остальных исследуемых регионах показатель зависит от протяженности путей сообщения (автомобильных/железных дорог), наличия портов и аэродромов.

Обращает на себя внимание значительная доля государственных фондов (раздел О) в Камчатском крае и Чукотском АО, что, очевидно, обусловлено наличием военной инфраструктуры. Сектор жилья (раздел L) коррелирует с общей численностью населения региона.

Учитывая, что изменение структуры экономики и, соответственно, используемых основных фондов – процесс длительный, можно предположить, что в долгосрочной перспективе объекты перечисленных выше секторов экономики исследуемых регионов останутся под риском деградации ММГ. Рассмотрим результаты анализа риска подробнее.

Вначале, согласно принятой методологии, была выделена недвижимая часть (жилые и нежилые здания, сооружения) основных фондов, стоимость которой составила 37,4 трлн руб. Далее были проведены расчеты стоимости основных фондов, расположенных на ММГ, по каждому виду экономической деятельности в каждом из исследуемых регионов (табл. 3).

Таблица 3

Основные фонды, расположенные на многолетней мерзлоте в исследуемых регионах (млрд руб., цены 2020 г., по полной учетной стоимости)

Виды экономической деятельности (разделы ОКВЭД)	Стоимость основных фондов, расположенных на многолетней мерзлоте									Итого по отраслям
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A	1,2	0,1	3,1	0,1	1,4	7,7	2,6	1,7	0,6	18,3
B	694,4	45,0	4685,3	535,0	547,2	807,3	100,9	9,2	58,9	7483,0
C	0,1	0,4	33,9	20,4	116,7	12,5	0,8	0,9	0,3	186,0
D	1,8	7,2	71,8	1,4	39,8	139,3	35,2	0,6	24,1	321,2
E	1,0	0,4	2,7	0,4	6,2	8,2	1,4	0,1	0,0	20,5
F	1,1	0,8	8,7	1,0	1,6	21,7	1,5	0,4	1,0	37,7
G	0,5	0,8	11,1	0,6	3,4	11,4	2,6	0,2	2,2	32,7
H	22,1	218,7	1992,8	54,9	107,2	611,9	28,3	3,7	11,0	3050,6
I	0,6	0,4	5,2	0,2	1,7	4,7	0,2	0,3	1,8	15,0
J	0,4	0,7	3,8	0,3	1,9	11,8	1,1	0,1	0,5	20,7
K	0,1	0,2	60,9	0,1	1,3	5,1	0,4	0,2	2,4	70,6
L	24,7	64,9	295,7	23,8	200,5	639,8	65,0	11,1	16,8	1342,2
M	6,8	0,5	22,6	1,6	4,2	9,9	1,7	0,1	2,5	49,8
N	0,7	0,3	71,5	0,3	0,5	6,7	0,4	0,1	0,1	80,5
O	1,7	3,1	32,4	2,0	8,5	50,7	6,5	3,6	23,0	131,5
P	4,9	4,5	22,9	1,5	6,1	48,2	4,3	0,6	6,0	99,2
Q	1,4	0,9	8,0	1,0	3,9	18,9	3,1	0,3	2,3	39,6
R	1,5	0,6	10,5	0,7	3,6	16,0	1,2	0,2	1,2	35,5
S	0,1	0,4	7,2	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	0,2	8,4
ИТОГО	764,8	349,6	7349,9	645,2	1055,7	2431,9	257,3	33,3	154,9	13042,7

Источник: составлено авторами.

Общая стоимость недвижимой части основных фондов, построенных на ММГ, по полной учетной стоимости в ценах 2020 г. составляет 13,04 трлн руб. или около 35% от стоимости недвижимой части этих фондов в исследуемых регионах. Конкретная величина риска (стоимости ожидаемого ущерба) для объектов соответствующего вида экономической деятельности зависит от типа и площади распространения

ММГ на территории данного региона и интенсивности хозяйственного освоения этой территории. Например, в Ямало-Ненецком АО, полностью расположенном в ареале распространения ММГ, при ускорении их протаивания и деградации из-за климатических изменений в зону риска попадают около 2/3 основных фондов. В Республике Коми, Ханты-Мансийском АО на ММГ расположены только несколько муниципальных образований (в основном, на севере и северо-востоке), и под риском находится только 10% основных фондов. Более сложная ситуация в Красноярском крае, где в зоне ММГ расположено около половины территории региона, хозяйственное освоение которой, как и региона в целом, неравномерно. Восток и северо-восток Красноярского края находятся полностью в ареале распространения ММГ, но мало освоены в экономическом отношении, поэтому стоимость основных фондов, которые находятся в зоне риска, составляет лишь около 20%.

Наконец, на заключительном этапе рассматриваются три сценария оценки ожидаемого ущерба от деградации ММГ, которые характеризуются динамикой ее протаивания (минимальный, средний (базовый), интенсивный уровни), в зависимости от интенсивности климатических изменений.

Результаты оценки представлены в табл. 4, в которой отражена стоимость ожидаемого в период 2022-2052 гг. в результате деградации ММГ суммарного ущерба объектам каждого вида экономической деятельности в каждом из исследуемых регионов.

Согласно табл. 4, совокупный ожидаемый ущерб основным фондам за указанный период может составить 3,69-5,73 трлн руб. в зависимости от сценария протаивания и деградации ММГ. При этом наибольший абсолютный ущерб будет нанесен добывающей промышленности – от 2,09 трлн до 2,76 трлн руб. (в различных сценариях), что составляет 10,4-13,7% от стоимости основных фондов этого вида экономической деятельности или 48-56% от общей стоимости ущерба всем основным фондам. Далее по этому показателю следуют транспорт и жилой сектор с величинами ущерба 0,92-1,17 трлн руб. и 0,32-1,22 трлн руб. соответственно. Полученные результаты коррелируют с общей стоимостью основных фондов по видам экономической деятельности в исследуемых регионах. На долю перечисленных выше трех видов экономической деятельности там суммарно приходится около 2/3 стоимости всех основных фондов.

В региональном разрезе наибольший ожидаемый ущерб – в Ямало-Ненецком АО, где он достигает 1,8-2,58 трлн руб. Это обусловлено расположением всех территорий округа в зоне ММГ, а также значительным количеством основных фондов в добывающем секторе промышленности. Для этого региона около 60% ущерба по всем климатическим сценариям приходится именно на добывающую промышленность. В отличие от этого субъекта Российской Федерации, а также остальных исследуемых регионов, в Республике Коми основная стоимость ожидаемого ущерба придется на транспорт – 0,19 трлн руб. из общей суммы ущерба 0,31-0,32 трлн руб., или 59%. Это связано с тем, что по территории данного региона проходят основные нефте- и газопроводы с месторождений Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского АО. Следует также выделить Республику Саха (Якутия), в которой отраслевая специфика ожидаемого ущерба сильно коррелирует со сценарными условиями скорости протаивания и деградации ММГ. В базовом (умеренном) сценарии ожидаемый ущерб для жилых помещений (Раздел L) составляет 97,6 млрд руб., или около 12,5% от общей стоимости ущерба по региону, при интенсивном сценарии – ущерб жилью возрастает до 610,7 млрд руб., что увеличивает долю данного сектора до 43%.

Таблица 4  
Ожидаемый ущерб основным фондам от деградации многолетней мерзлоты за период 2022-2052 гг. (млрд руб.)

Раздел ОКВЭД	Умеренный сценарий основной (в скобках указан размер ущерба при минимальном/интенсивном протаивании и деградации)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A	0,47 (0,42/0,52)	0,06 (0,05/0,06)	0,91 (0,74/1,09)	0,00 (0,00/0,02)	0,29 (0,25/0,53)	4,28 (2,90/5,67)	0,29 (0,18/1,02)	0,35 (0,12/0,58)	0,35 (0,12/0,58)	0,35 (0,22/0,46)
B	277,74 (251,16/304,38)	40,28 (40,07/40,49)	1 305,55 (1063,17/1544,09)	132,22 (132,22/146,00)	315,75 (311,21/330,08)	294,29 (247,46/341,11)	26,02 (24,41/27,74)	26,02 (24,41/27,74)	26,02 (24,41/27,74)	23,12 (20,73/25,08)
C	0,05 (0,04/0,05)	0,35 (0,34/0,36)	9,77 (7,93/11,61)	3,17 (3,17/5,63)	44,16 (41,77/56,34)	5,85 (4,30/7,40)	0,14 (0,11/0,28)	0,14 (0,05/0,22)	0,14 (0,05/0,22)	0,14 (0,10/0,17)
D	0,72 (0,65/0,80)	6,49 (6,40/6,58)	20,32 (16,52/24,08)	0,05 (0,05/0,38)	19,46 (18,92/21,89)	57,28 (45,09/69,47)	7,33 (6,47/11,04)	7,33 (6,47/11,04)	7,33 (6,47/11,04)	10,87 (8,73/12,55)
E	0,40 (0,36/0,44)	0,39 (0,39/0,40)	0,76 (0,62/0,90)	0,09 (0,09/0,10)	3,34 (3,28/3,60)	3,16 (2,58/3,74)	3,34 (3,28/3,60)	3,34 (3,28/3,60)	3,34 (3,28/3,60)	0,01 (0,01/0,01)
F	0,43 (0,39/0,47)	0,70 (0,68/0,71)	2,50 (2,03/2,97)	0,14 (0,14/0,27)	0,57 (0,54/0,75)	10,40 (7,57/13,23)	0,32 (0,29/0,42)	0,32 (0,32/0,42)	0,32 (0,32/0,42)	0,54 (0,38/0,66)
G	0,20 (0,18/0,23)	0,70 (0,67/0,72)	3,27 (2,64/3,89)	0,06 (0,06/0,16)	0,90 (0,81/1,40)	6,00 (4,17/7,84)	0,25 (0,20/0,53)	0,25 (0,20/0,53)	0,25 (0,20/0,53)	1,34 (0,87/1,70)
H	8,85 (8,00/9,69)	194,84 (194,84/194,84)	550,02 (448,39/649,66)	14,94 (14,94/14,94)	67,63 (67,09/68,16)	205,59 (181,12/230,07)	0,34 (0,24/0,97)	0,34 (0,34/0,97)	0,34 (0,34/0,97)	3,94 (3,82/4,06)
I	0,23 (0,20/0,26)	0,34 (0,33/0,36)	1,71 (1,38/1,99)	0,01 (0,01/0,05)	0,32 (0,22/0,65)	2,61 (1,73/3,67)	7,30 (6,85/7,78)	7,30 (6,85/7,78)	7,30 (6,85/7,78)	1,13 (0,68/1,54)
J	0,16 (0,15/0,18)	0,64 (0,63/0,65)	1,08 (0,88/1,28)	0,07 (0,07/0,09)	0,92 (0,90/1,04)	4,89 (3,84/5,94)	0,02 (0,01/0,10)	0,02 (0,02/0,10)	0,02 (0,02/0,10)	0,24 (0,19/0,28)
K	0,02 (0,02/0,03)	0,15 (0,15/0,16)	18,28 (14,77/21,83)	0,01 (0,01/0,04)	0,18 (0,13/0,43)	3,04 (2,00/4,08)	0,22 (0,19/0,33)	0,22 (0,19/0,33)	0,22 (0,19/0,33)	1,65 (0,97/2,17)
L	22,12 (7,64/22,31)	64,32 (63,91/64,74)	262,44 (208,22/265,21)	0,92 (0,10/13,24)	128,63 (2,09/177,64)	97,70 (40,59/610,73)	2,15 (0,24/57,47)	2,15 (0,24/57,47)	2,15 (0,24/57,47)	1,97 (1,17/13,97)
M	2,73 (2,46/3,00)	0,42 (0,41/0,43)	6,59 (5,34/7,84)	0,20 (0,20/0,44)	1,28 (1,18/1,83)	4,99 (3,54/6,45)	0,44 (0,44/0,62)	0,44 (0,44/0,62)	0,44 (0,44/0,62)	1,41 (0,95/1,77)
N	0,27 (0,24/0,29)	0,28 (0,28/0,29)	20,44 (16,59/24,25)	0,05 (0,05/0,07)	0,23 (0,22/0,27)	2,96 (2,24/3,68)	0,25 (0,25/0,62)	0,25 (0,25/0,62)	0,25 (0,25/0,62)	0,05 (0,03/0,06)
O	0,68 (0,61/0,74)	2,85 (2,77/2,92)	9,40 (7,62/11,18)	0,28 (0,28/0,56)	2,92 (2,73/3,92)	24,68 (17,82/31,55)	0,06 (0,06/0,11)	0,06 (0,06/0,11)	0,06 (0,06/0,11)	12,55 (8,69/15,51)
P	1,98 (1,78/2,18)	4,26 (4,05/4,47)	6,92 (5,59/8,28)	0,03 (0,03/0,43)	0,55 (0,32/1,89)	30,01 (19,37/40,66)	1,03 (0,81/2,29)	1,03 (0,81/2,29)	1,03 (0,81/2,29)	4,29 (2,44/5,69)
Q	0,59 (0,49/0,64)	0,84 (0,80/0,88)	2,69 (2,16/3,14)	0,02 (0,02/0,30)	0,44 (0,16/1,29)	11,31 (7,24/16,14)	0,30 (0,30/0,91/82)	0,30 (0,30/0,91/82)	0,30 (0,30/0,91/82)	1,56 (0,88/2,16)
R	0,58 (0,52/0,64)	0,55 (0,53/0,58)	3,13 (2,53/3,73)	0,04 (0,04/0,20)	0,62 (0,50/1,30)	9,28 (6,18/12,38)	0,20 (0,20/0,51/38)	0,20 (0,20/0,51/38)	0,20 (0,20/0,51/38)	0,81 (0,49/1,05)
S	0,02 (0,02/0,02)	0,41 (0,40/0,43)	2,12 (1,71/2,52)	0,00 (0,00/0,01)	0,03 (0,03/0,05)	0,18 (0,13/0,24)	0,11 (0,11/0,06/47)	0,11 (0,11/0,06/47)	0,11 (0,11/0,06/47)	0,09 (0,06/0,12)
Итого	318,23 (275,33/346,85)	318,88 (317,69/320,06)	2 227,90 (1808,83/2589,57)	152,30 (151,48/182,95)	588,23 (452,34/673,05)	778,52 (599,84/1414,05)	46,36 (40,47/114,55)	46,36 (40,47/114,55)	46,36 (40,47/114,55)	66,07 (51,41/89,00)

Источник: расчеты авторов.

**Императивы и механизмы адаптации экономики.** Масштаб проблем деградации ММГ требует планирования и реализации комплекса мер адаптации хозяйственных объектов и систем к рискам нарушения устойчивости их функционирования. На уровне отдельных отраслевых комплексов (например, ТЭК) хозяйствующими субъектами уже многие годы применяются эффективные технические решения, которые обеспечивают стабильность ММГ (системы термостабилизации грунта) и, соответственно, если не предотвращают полностью, то сильно тормозят процессы деградации грунтов и ослабления их несущей способности. Однако это, очевидно, не обеспечивает комплексного решения проблемы на региональном уровне, поскольку ее (проблемы) масштабы намного шире географически и сложнее в технологическом отношении, учитывая специфику конкретных видов экономической деятельности (то, что используется и эффективно, в частности, для объектов нефтегазового сектора, как правило, мало и вовсе неприменимо и нерентабельно в других секторах).

Необходима организация полномасштабной государственной системы мониторинга ММГ, развернутое научное обоснование и сопровождение которой предусмотрено ВИП ГЗ «Разработка единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ» на 2022-2024 гг. (см. сноску 1), и институциональная основа которой определена в проекте федерального закона № 242394-8, принятого в первом чтении Государственной Думой 8 февраля 2023 г. На I этапе в 2023 г. предусматривается апробация эффективности методов мониторинга Арктической зоны с учетом опыта работы ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» по организации пунктов мониторинга на архипелагах Шпицберген, Земля Франца Иосифа, Северная Земля. Указанные пункты после необходимого дооснащения оборудованием войдут в состав создаваемой системы государственного фонового мониторинга состояния ММГ, развертывание которой в полном масштабе, включая 140 станций-скважин на всей территории ММГ, предполагается на II этапе реализации проекта в 2024-2025 гг. [21-22].

Существующая система оценок рисков базируется на данных проекта CALM, которые используются в ежегодных докладах о состоянии климата в России, публикуемых Росгидрометом, и основываются на ежегодных наблюдениях и пробах, которые собираются с указанных выше базовых станций, расположенных, главным образом, за полярным кругом. Основная проблема – в недостаточности и неполной репрезентативности этих данных, которые практически отсутствуют по значительным территориям Республики Саха (Якутия), Красноярского края, Ханты-Мансийского АО, Республике Коми, Камчатскому краю. Отсутствуют станции в южной части Ямало-Ненецкого АО. Фактически первичная информация с существующих базовых станций экстраполируется на всю территорию региона, что, конечно, не является надежным и объективным источником для оценок состояния и рисков деградации ММГ. В крупных регионах целесообразно расширить сеть таких станций по линиям Север-Юг, Запад-Восток, а в таких регионах, как республика Саха (Якутия) и Красноярский край, создать мониторинговые центры в каждом муниципалитете.

Что касается приведенных выше прогнозных оценок ожидаемого ущерба в предстоящие 30 лет, необходимо понимать, что этот ущерб возникает неравномерно и зависит от климатических условий в конкретном году. Согласно известным исследованиям и прогнозам изменений климата, их динамика и, соответственно, скорость и интенсивность протаивания ММГ будут существенно выше в период после 2035-2036 гг. Учитывая, что горизонт экономического планирования редко превышает десятилетний период, для разработки комплекса эффективных мер адаптации хозяйственных объектов и систем к ожидаемому увеличению рисков нарушения устойчивости их



функционирования из-за ускоренного протаивания и деградации ММГ представляется целесообразным рассмотреть три сценария или стратегии действий.

*Инерционный сценарий (стратегия) адаптации* предусматривает текущий ремонт существующих, реконструкцию разрушенных или пострадавших зданий и сооружений, строительство новых объектов на основе прежних технологий, являясь, по сути, продолжением текущей политики адаптации к процессам ускоренного протаивания и деградации ММГ вследствие климатических изменений. Ранее проведенные исследования показывают, что устранение такого ущерба за последние десятилетия требовало около 50-75 млрд руб. ежегодно. Опасность такого сценария заключается в том, что риски возникновения масштабных чрезвычайных ситуаций, устранение последствий которых может составить сотни млрд руб. (подобно аварии нефтехранилища в г. Норильске в 2020 г., ликвидация которой обошлась в 150 млрд руб.), после 2035 г. могут резко возрасти. Согласно модельным расчетам<sup>3</sup>, в период 2021-2030 гг. стоимость совокупного ожидаемого ущерба в девяти исследуемых регионах с наибольшим распространением ММГ при минимальном прогнозном уровне их деградации составляет 937 млрд руб. В последующем десятилетии этот показатель может увеличиться до 1140 млрд руб., а в период 2040-2052 гг. – возрасти до 1585 млрд руб. (в постоянных ценах 2020 г.). Поэтому такая стратегия действий, если уместна, то лишь в краткосрочной перспективе, в которой ожидаемые на указанные цели затраты на адаптацию в целом соответствуют текущим расходам на предотвращение аварийных ситуаций, связанным с рисками деградации ММГ (как уже упомянуто выше, около 50-75 млрд руб. ежегодно).

*Умеренный сценарий (стратегия) адаптации* предусматривает использование имеющегося сегмента государственной системы мониторинга состояния ММГ (находящейся, напомним, находится в стадии формирования, которое должно завершиться в 2025 г.) в сочетании с механизмами страхования рисков. Предполагается, что на основе данных наблюдений указанной системы государственными органами (Росгидромет, включая его региональные органы) будут готовиться ежегодные оценки рисков и опасностей деградации ММГ в конкретных регионах/муниципалитетах; а исполнительными органами власти в регионах России во взаимодействии с хозяйствующими субъектами – рассчитываться (оцениваться) укрупненно величины ожидаемого ущерба. Руководствуясь этими оценками, в свою очередь, хозяйствующие субъекты в регионе будут страховать имущественные комплексы в целях компенсации возможных убытков. Элементы такой стратегии в настоящее время апробируются в рамках отдельных отраслевых и региональных планов адаптации к климатическим изменениям.

*Активный сценарий (стратегия) адаптации* предполагает создание и задействование в полном объеме системы мониторинга состояния ММГ, ее интеграцию с информационно-аналитической системой оценки влияния изменений указанного состояния на устойчивость основных фондов. Предполагается, что в рамках системы каждый имущественный комплекс на территории распространения ММГ будет оборудован необходимыми мониторинговыми устройствами, которые будут осуществлять учет состояния мерзлоты под конкретным объектом. Данные от этих устройств будут поступать в единую информационно-аналитическую систему для анализа изменений и аккумулироваться (храниться) в этой же системе. Это позволит получать объективную информацию о состоянии объектов и при возникновении негативных тенденций принимать соответствующие инженерные и организационные решения.

<sup>3</sup> Методология этих расчетов базируется на модельном комплексе ИНП РАН, используемом для целей макроэкономического прогнозирования.

**Заключение.** Хозяйственная деятельность в Арктическом макрорегионе и сопредельных территориях неразрывно связана с использованием ММГ, что определяет специфику строительства и эксплуатации построенных на них зданий и сооружений. Интенсивные климатические изменения в последние десятилетия на Севере России существенным образом повлияли, а в будущем окажут еще большее воздействие на устойчивость природных систем, включая криолитозону и ММГ, увеличивая риски частичной или полной утраты хозяйственных объектов. Проблема усугубляется ограниченностью представления и понимания ее масштабов из-за отсутствия необходимой объективной и всесторонней информации о зданиях и инженерных сооружениях, расположенных на ММГ; масштабах и интенсивности деструктивных процессов, обусловленных деградацией ММГ, снижающих устойчивость этих зданий и сооружений, которые были построены в Арктическом макрорегионе за последнее столетие.

Представленные выше прогнозные оценки ожидаемого ущерба при полной или частичной утрате основных фондов в исследуемых регионах под влиянием упомянутых процессов в целом коррелируют с результатами ранее проведенных авторами исследований. Вместе с тем, их отличительной особенностью является регионально-отраслевой анализ (разрез), открывающий возможность в будущем проводить расчеты влияния деградации ММГ на устойчивость функционирования объектов конкретных отраслей и секторов народного хозяйства. При этом полученные оценки ограничены лишь величинами прямого ущерба, не включая, во-первых, косвенный ущерб, который обусловлен цепочкой эффектов, возникающих при утрате основных фондов конкретного хозяйственного объекта или вида экономической деятельности; во-вторых, восстановительную стоимость утраченных основных фондов. При учете этих величин фактические затраты снижение экономических рисков деградации ММГ возрастут в несколько раз, что должно учитываться при выборе стратегии действий в рамках трех предложенных выше сценариев адаптации.

#### Литература / References

1. Constable A.J., Harper S., Dawson J., Holsman K., Mustonen T., Piepenburg D., Rost B., 2022. Cross-Chapter Paper 6: Polar Regions. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge. UK and New York. NY. USA. Pp. 2319–2368. doi:10.1017/9781009325844.023.
2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / Росгидромет. Санкт-Петербург. Научное издание. 2022. 124 с. [Tretij ocenocnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshchee rezjume / Rosgidromet. Sankt-Peterburg. Naukoemkie tekhnologii. 2022. 124 s. (In Russ.)]
3. Kotov P.I., Khilimonjuk V.Z. Building Stability. On Permafrost in Vorkuta, Russia // *Geography, Environment, Sustainability*. 2021. Vol. 14. No. 4. P. 67-74. URL: <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-043>.
4. Анисимов О.А., Стрелецкий Д.А. Геокриологические риски при таянии многолетнемерзлых грунтов // *Арктика XXI век. Естественные науки*. 2015. № 2 (3). С. 60-74. [Anisimov O.A., Streleckij D.A. Geokriologicheskie riski pri tayanii mnogoletnemeryzlyh gruntov // *Arktika XXI vek. Estestvennye nauki*. 2015. No. 2 (3). S. 60-74. (In Russ.)]
5. Васильев А.А., Гравис А.Г., Губарьков А.А., Дроздов Д.С., Коростелев Ю.В., Малкова Г.В., Облогов Г.Е., Пономарева О.Е., Садуртдинов М.Р., Стрелецкая И.Д., Стрелецкий Д.А. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе Российской Арктики // *Криосфера Земли*. 2020. № 24 (2). С. 15-30. [Vasil'ev A.A., Gravis A.G., Gubar'kov A.A., Drozdov D.S., Korostelev Yu.V., Malkova G.V., Oblogov G.E., Ponomareva O.E., Sadurtdinov M.R., Streleckaya I.D., Streleckij D.A. Degradaciya merzloty: rezul'taty mnogoletnego geokriologicheskogo monitoringa v zapadnom sektore Rossijskoj Arktiki // *Kriosfera Zemli*. 2020. No. 24 (2). S. 15-30. (In Russ.)]
6. Grebenets V.I., Tolmanov V.A., Streletskiy D.A. Active Layer Dynamics Near Norilsk, Taimyr Peninsula, Russia // *Geography, Environment, Sustainability*. 2021. Vol. 14. No. 4. Pp. 55-66. URL: <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2021-073>
7. Хрусталева Л.Н., Хилimoniuk В.З. Новый фундамент для зданий в Арктике // *Криосфера Земли*. 2018. Т. 22. № 4. С. 25-30. [Hrustaleva L.N., Hilimoniuk V.Z. Novyj fundament dlya zdaniy v Arktike // *Kriosfera Zemli*. 2018. T. 22. No. 4. S. 25-30. (In Russ.)]
8. Гласко А.В., Калмыков А.М., Мецгерин И.В., Федотов А.А., Храпов П.В. Замораживание грунтов оснований геотехнических объектов в криолитозоне с помощью вертикальных термостабилизаторов // *Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана*. 2012. № 7 (7). С. 33. [Glasko A.V.,

- Kalmykov A.M., Meshcherin I.V., Fedotov A.A., Hrapov P.V. Zamorazhivanie gruntov osnovanij geotekhnicheskikh ob'ektov v kriolitozone s pomoshch'yu vertikal'nyh termostabilizatorov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Bauman. 2012. No. 7 (7). S. 33. (In Russ.)]
9. Ашпиз Е.С., Хрусталева Л.Н. Предотвращение деградации многолетнемерзлых грунтов в основании насыпей железных дорог // Криосфера Земли. 2020. Т. 24. № 5. С. 45-50. [Ashpiz E.S., Hrustaleva L.N. Predotvrashchenie degradatsii mnogoletnemerzlykh gruntov v osnovanii nasyпей zheleznykh dorog // Kriosfera Zemli. 2020. T. 24. No. 5. S. 45-50. (In Russ.)]
  10. Hjord J., Karjalainen O., Aalto J. et al. Degrading permafrost puts Arctic infrastructure at risk by mid-century // Nat Commun. 2018. Vol. 9. Pp. 5147. URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07557-4>
  11. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушиков А.В., Бадина С.В., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Железняк М.Н., Садуртдинов М.Р., Сергеев Д.О., Остарков Н.А., Фалалеева А.А., Шелков Я.Ю. Оценка ущерба жилью 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. [Mel'nikov V.P., Osipov V.I., Brushkov A.V., Badina S.V., Drozdov D.S., Dubrovin V.A., Zheleznyak M.N., Sadurtdinov M.R., Sergeev D.O., Ostarkov N.A., Falaleeva A.A., Shelkov Ya.Yu. Ocenka ushcherba zhilym i promyshlennym zdaniyam i sooruzheniyam pri izmenenii temperatur i ottaivanii mnogoletnemerzlykh gruntov v Arkticheskoy zone Rossijskoj Federacii k seredine XXI veka // Inzhenernaia geologia, gidrogeologia, geokriologia. 2021. No. 1. S. 14-31. (In Russ.)]
  12. Мельников В.П., Осипов В.И., Брушиков А.В., Бадина С.В., Великин С.А., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Жданев О.В., Железняк М.Н., Кузнецов М.Е., Осокин А.Б., Остарков Н.А., Садуртдинов М.Р., Сергеев Д.О., Устинова Е.В., Федоров Р.Ю., Фролов К.Н., Чжан Р.В. Снижение устойчивости инфраструктуры ТЭК России в Арктике как следствие повышения среднегодовой температуры приповерхностного слоя криолитозоны // Вестник Российской академии наук. 2022. Т. 92. № 4. С. 303-314. Doi.org/10.1134/S1019331622020083. [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 // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2022. Vol. 92. No. 4. Pp. 115-125. (In Russ.)]
  13. 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. S. 100730.
  14. Streletskiy D.A., Suter L., Shiklomanov N.I., Porfiriev B.N., Eliseev D.O. Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost // Letters about environmental research. 2019. Vol. 14. No. 025003. Pp. 1-15.
  15. 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. Vol. 91. No. 1. Pp. 17-25.
  16. Mustonen T., Shadrin V. The river Alazeya: shifting socio-ecological systems connected to a northeastern Siberian river. Arctic. 2021. No. 74 (1). Doi:10.14430/arctic72238.
  17. Mustonen T., Huusari N. How to know about waters? Finnish traditional knowledge related to waters and implications for management reforms // Reviews on fish biology and fisheries. 2020. No. 30 (4). Pp. 699-718. Doi:10.1007/s11160-020-09619-7.
  18. Revich B.A., Podolnaya M.A. Thawing of permafrost may disturb historic cattle burial grounds in East Siberia // Glob Health Action. 2011. No. 4. Doi: 10.3402/gha.v4i0.8482. Epub 2011. Nov. 21. PMID: 22114567; PMCID: PMC3222928.
  19. Tarabukina N.P., Neustroev M.P., Skryabina M.P., Stepanova A.M., Parnikova S.I., Bylgaeva A.A., Neustroev M.M. The role of Bacillus bacteria in conservation of the remains of mammoth in permafrost // Problems of regional ecology. 2018. No. 6. Pp. 22-27.
  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. Vol. 34. No. 2. Pp. 176-184.
  21. Совещание по вопросам развития Арктической зоны у Президента Российской Федерации. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/68188> [Soveshchanie po voprosam razvitiya Arkticheskoy zony u Prezidenta Rossijskoj Federacii (In Russ.)]
  22. Законопроект о мониторинге вечной мерзлоты принят в I чтении. URL: <https://www.interfax.ru/russia/885234> [Zakonoproekt o monitoringe vechnoj merzloty prinyat v I chtenii. (In Russ.)]



Статья поступила в редакцию 13.03.2023. Статья принята к публикации 31.03.2023.

**Для цитирования:** Б.Н. Порфирьев, Д.О. Елисеев. Сценарная оценка ожидаемого ущерба от деградации многолетней мерзлоты: региональный и отраслевой аспекты // Проблемы прогнозирования. 2023. № 5 (200). С. 124-135.  
DOI: 10.47711/0868-6351-200-124-135

## Summary

### SCENARIO FORECASTS OF EXPECTED DAMAGE FROM PERMAFROST DEGRADATION: REGIONAL AND INDUSTRY ISSUES

**B.N. PORFIRIEV**, Academician of RAS, Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0001-8515-3257; Scopus Author ID: 6603270384

**D.O. ELISEEV**, Cand. Sci. (Econ.), Institute of Economic Forecasting, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Abstract:** The article is a continuation of a previous study on a methodology for forecasting expected damage to fixed assets from permafrost thawing precipitated by climate change in the northern regions of Russia, in which the authors proposed an integrated methodology for economic assessment of thawing-related risks adjusted for industry- and region-specific features. The present article uses that methodology to substantiate an assessment of the expected damage from permafrost degradation to the industrial complexes of the nine discussed regions under three scenarios that differ in dynamics and intensity of climate change. Estimates of the total damage from permafrost thawing to the fixed assets of these regions over a 30-year period range across the scenarios from 3.6 trillion to 5.7 trillion rubles. In terms of comparing regions, the damage is the most significant in the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug – 1.8-2.5 trillion rubles, amounting to about 50% of the total damage; in terms of industries the damage is the worst for the extractive industry – 2.0-2.7 trillion rubles.

**Keywords:** climate change, permafrost soils, degradation, integrated methodology, industries, fixed assets, damage, adaptation.

Received 13.03.2023. Accepted 31.03.2023.

**For citation:** *B.N. Porfiriev, D.O. Eliseev. Scenario Forecasts of Expected Damage from Permafrost Degradation: Regional and Industry Issues // Studies on Russian Economic Development. 2023. Vol. 34. No. 5. Pp. 651-659.*

DOI: 10.1134/S1075700723050143