



Обзорная статья

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ РИСКА В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

**В.П. Чашин^{1,2}, Н.В. Зайцева^{3,4}, М.В. Чашин²,
Н.А. Соболев^{1,5}, Т.Ю. Сорокина¹, М.М. Шакиров²**

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17

²Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Российская Федерация, 191015, г. Санкт-Петербург, ул. Кирочная, 41

³Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Российская Федерация, 614045, г. Пермь, ул. Монастырская, 82

⁴Российская академия наук, Российская Федерация, 119071, г. Москва, Ленинский пр., 14

⁵Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, 119607, г. Москва, Ленинские Горы, 1, стр. 3

Осуществлено изучение и обобщение подходов к оценке, мониторингу, прогнозированию и противодействию рискам для здоровья человека, связанным с распространением вирулентных патогенов, паразитов и других биологических опасностей в российских арктических регионах.

Поиск литературы проводился в период с мая по август 2024 г. с использованием PubMed, Web of Science, Science Direct и eLibrary.ru для выявления исследований, посвященных трансмиссивным патогенам, паразитам и другим биологическим опасностям в Арктике. Также были рассмотрены феномены биоаккумуляции химических загрязнителей в пищевых биологических цепях, способных вызывать повышенную восприимчивость человека к инфекциям, и влияние изменений климата на биологические риски в Арктике. Из 348 выявленных публикаций были отобраны 55 статей, отвечающих критериям включения.

По результатам выполненного анализа были обнаружены существенные пробелы в публикациях по проблеме оценки биологических рисков, связанных с первичными данными об арктических зоонозных заболеваниях, при этом наиболее скудные сведения относились к источникам и путям их распространения дикими промысловыми видами животных. На основе идентификации опасности установлено, что факторы риска распространения зоонозных заболеваний включают в себя неблагоприятные условия проживания, низкое качество жизни, более высокую плотность населения, неудовлетворительное состояние среды обитания и социально-экономические соображения. Перелетные птицы, рыбы и животные могут вносить значительный вклад в глобальное распространение и пандемии инфекционных заболеваний. Улучшение наших знаний о путях миграции диких птиц и рыб и трансмиссивных инфекционных заболеваниях может помочь предсказать будущие вспышки и эпидемии. Выполненный анализ позволил предложить предиктивную модель оценки событий биологического риска, связанного с этой миграцией.

Ключевые слова: Арктика, биологические опасности, инфекционные заболевания, факторы риска для здоровья, передача патогенов, мигрирующие животные и насекомые.

© Чашин В.П., Зайцева Н.В., Чашин М.В., Соболев Н.А., Сорокина Т.Ю., Шакиров М.М., 2024

Чашин Валерий Петрович – заслуженный деятель науки РФ, доктор медицинских наук, профессор кафедры профилактической медицины и охраны здоровья (e-mail: valerych05@mail.ru; тел.: 8 (921) 958-88-85; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2600-0522>).

Зайцева Нина Владимировна – академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, научный руководитель (e-mail: znv@fcrisk.ru; тел.: 8 (342) 237-25-34; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

Чашин Максим Валерьевич – доктор медицинских наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией арктической медицины (e-mail: max_chashchin@inbox.ru; тел.: 8 (921) 912-15-45; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6759-5481>).

Соболев Никита Андреевич – кандидат химических наук, химический факультет, кафедра медицинской химии и тонкого органического синтеза, лаборатория природных гуминовых систем (e-mail: nikita.sobolev@kjemi.uio.no; тел.: 8 (960) 010-45-61; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8210-8263>).

Сорокина Татьяна Юрьевна – кандидат юридических наук, заведующий лабораторией арктического биомониторинга, кафедра международного права и сравнительного правоведения (e-mail: t.sorokina@narfu.ru; тел.: 8 (902) 708-08-08; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4873-8747>).

Шакиров Мунирджон Мухамеджанович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории арктической медицины (e-mail: m.shkirov@imed.pro; тел.: 8 (913) 880-11-71; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9828-4958>).

Любой организм или биологический материал, который может оказать вредное влияние на дикую природу и здоровье человека, в широком смысле определяется как биологическая опасность. Хищники, домашние и сельскохозяйственные животные, паразиты, вирусы, бактерии, грибы, ядовитые морские животные, растения и их биотоксины, которые могут привести к инфекциям, ранам, аллергии или отравлению, входят в их число. Люди могут подвергаться риску от какого-либо прямого или косвенного взаимодействия с самовоспроизводящимися организмами – растениями, грибами, животными, простейшими и одноклеточными организмами без ядра, которые участвуют в процессе естественного отбора.

Свойства, источник и способ воздействия биологической опасности влияют на риски для окружающей среды и здоровья человека (например, возникновение болезней или иных повреждений в результате контакта с загрязненными поверхностями, употребления загрязненной пищи или воды, укусов кровососущих переносчиков или взаимодействия с животными).

Зоонозные заболевания, которые являются эндемичными, возникающими или повторно возникающими, не только угрожают здоровью людей и животных, но и ставят под угрозу безопасность мирового здравоохранения. По оценкам, зоонозное происхождение составляет до 75 % вновь выявленных или возникающих инфекционных заболеваний и 60 % известных инфекционных заболеваний. Инфекционные заболевания являются причиной 15,8 % смертей во всем мире и 43,7 % смертей в странах с низкими ресурсами [1, 2]. По научным данным, 2,7 млн человеческих смертей и 2,5 млрд случаев заболеваний ежегодно приписываются зоонозным заболеваниям [3–5].

Цель исследования – обобщение подходов к оценке, мониторингу, прогнозированию и противодействию рискам для здоровья человека, связанным с распространением вирулентных патогенов, паразитов и других биологических опасностей в российских арктических регионах.

Задачи:

– изучить опубликованные данные для выявления приоритетных биологических опасностей, связанных с ними общественных проблем и возможных мер контроля глобальной и межрегиональной миграции, а также эндемичных видов патогенов, паразитов и других биологических опасностей в Российской Арктике;

– определить мигрирующие виды диких животных, способных переносить патогены в Арктику, уделяя особое внимание видам, являющимся объектами традиционного промысла и пищей коренных народов;

– оценить биологические риски, связанные с ремобилизацией жизнеспособных палеопатогенов из оттаивающих вечномерзлых почв, вызванных изменением климата;

– разработать для местных органов власти и муниципального здравоохранения рекомендации по мониторингу и профилактике новых и повторно возникающих инфекционных заболеваний, распространяемых биологическими путями.

Материалы и методы. Поиск полнотекстовых публикаций на английском языке проводился по названиям статей и ключевым словам: арктические регионы, биологические опасности, биомониторинг, инфекционные заболевания, пищевые загрязнители, факторы риска для здоровья человека, передача патогенов, мигрирующие животные и насекомые, воздействие изменения климата. Поиск опубликованных научных статей, отчетов и документов проводился в период с мая по август 2024 г. с использованием основных академических баз данных и веб-страниц: PubMed®, Центра исследований эпидемиологии катастроф (База данных чрезвычайных ситуаций); веб-сайтов ВОЗ и CDC. Рассматривались публикации с 1998 г. Поиск публикаций в русскоязычных источниках данных также проводился по тем же ключевым словам с использованием платформ электронной библиотеки: elibrary (<http://www.elibrary.ru>), Scholar.ru (<http://www.scholar.ru>) и CyberLeninka (<https://cyberleninka.ru>).

Из всех 347 выявленных публикаций 54 статьи были выбраны для включения в тематический анализ. Публикации, содержащие информацию о биологических рисках в арктических районах, были отобраны для анализа. Большинство статей, включавших описательные и аналитические исследования ($n = 48$) и исследования отдельных случаев ($n = 6$), были основаны на вторичных данных, и большинство публикаций касались северных регионов, включая Арктику ($n = 20$). Тематический качественный анализ биологических факторов риска для здоровья был создан путем синтеза имеющихся доказательств.

Результаты и их обсуждение. Источники биологического риска, схемы передачи и факторы риска для здоровья в Арктике. Большинство инфекционных заболеваний являются эндемичными или естественно очаговыми в Арктике с ограниченной пространственно-временной динамикой. Исключением являются некоторые вирусные и бактериальные инфекции, особенно респираторные, распространение которых может быть эпидемическим или пандемическим.

Биологические пути, такие как миграция людей, диких птиц, рыб, насекомых и морских млекопитающих, играют преобладающую роль в передаче вирулентных патогенов человеку, поскольку они служат основными резервуарами и переносчиками тяжелых инфекционных заболеваний. Северные поселения сталкиваются с самым высоким риском инфекционных заболеваний, заносимых приезжими людьми (вахтовые работники, туристы) [6].

Арктические регионы особенно уязвимы для биологических опасностей из-за массовой сезонной

трансграничной и межрегиональной миграции диких животных, которая включает более 250 мигрирующих видов. Многие из этих животных также обычно являются частью традиционного рациона коренных народов Арктики (например, утки, гуси, лебеди, яйца птиц, лосось, пресноводные угри, морские млекопитающие и северные олени). Некоторые из этих видов ежегодно мигрируют на расстояние до 5000 км, совершая вертикальные миграции с юга на север и обратно. Однако существует и широтная форма миграции, в частности, диких лебедей и морских промысловых рыб¹ [7–9]. Установлено, что дикие птицы могут переносить в Российскую Арктику возбудителей 20 зоонозных заболеваний (табл. 1).

Сезонная миграция в Арктику – одно из уникальных явлений земной природы. Дважды в год миллиарды птиц пролетают большие расстояния по всему миру, и многие виды мигрируют по схожим, хорошо известным маршрутам, известным как пролетные пути. Птицы являются основным резервуаром и переносчиком некоторых паразитов, а также респираторных вирусов, клещевого энцефалита, болезни Лайма, туляремии и т.д. Огромные популяции прибрежных птиц, половина из которых гнездится в Арктике, являются бессимптомными носителями всех типов и комбинаций нейраминидазы вируса гриппа «А». Штаммы птичьего гриппа и коронавирусов могут подвергаться генетической рекомбинации со штаммами, поражающими людей [10, 11].

По оценкам, существует от 75 000 до 300 000 видов гельминтов, паразитирующих на позвоночных

[12]. Дикие виды птиц могут сорбировать патогены, такие как *Salmonella*, *Campylobacter* и *Mycobacterium avium*, и передавать эти патогены человеку напрямую или через заражение домашней птицы, включая лекарственно-устойчивые формы этих патогенов, возникающие в результате широкого использования антибиотиков в птицеводстве [13–15]. Более 40 видов паразитов живут на птицах, в их гнездах или в местах их стоянок. Они связаны с распространением нескольких сотен вирусных, бактериальных и паразитарных агентов. К таким заболеваниям, зарегистрированным в Российской Арктике, относятся энцефалит, оспа, менингит и многие другие заболевания (см. табл. 1, 2).

Острота проблемы усугубляется текущими и ожидаемыми изменениями климата, влияющими на маршруты миграции, сезонность и районы размножения насекомых, рыб, птиц и млекопитающих. Например, птицы часто переносят такие патогены, как эндопаразиты (*Toxoplasma gondii*), а также эктопаразиты (клещи и блохи), вирусы, такие как клещевой энцефалит и грипп, и бактерии, вызывающие болезнь Лайма и туляремию, и это лишь некоторые из них.

Дикие мигрирующие рыбы могут передавать людям целый ряд паразитов, таких как круглые черви (нематоды), плоские черви или сосальщики (трематоды) и ленточные черви (цестоды), а также некоторые бактерии (*Listeria*, *Aeromonas hydrophila*, *Campylobacter bacterium* *Vibrio*, *Edwardsiella*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Streptococcus iniae* и *Klebsiella pneumonia*) [16, 17] (табл. 3 и 4).

Таблица 1

Зоонозы, которые могут передаваться человеку от мигрирующих промысловых видов птиц в северных районах

№ п/п	Болезнь	Код по МКБ-10	Возбудитель
1	Болезни, вызываемые хламидиями	A74	<i>Chlamidia psittaci</i>
2	Сальмонеллезные инфекции	A02	<i>Salmonella</i> spp.
3	Энтерит, вызванный <i>Campylobacter</i>	A04.5	<i>Campylobacter jejuni</i>
4	Энтерит и экстраинтестинальный иерсиниоз	A04.8, A28.2	<i>Yersinia pseudotuberculosis</i> , <i>Y. enterocolitica</i>
5	Болезнь Ньюкасла	B30.8	<i>Avian paramyxovirus type 1</i>
6	Птичий грипп	J09.X	<i>Influenza A virus subtype H5N1</i>
7	Туберкулез	A15.0	<i>Micobacterium avium</i>
8	Желудочно-кишечная коли-инфекция	A04	<i>Esherichia coli</i>
9	Листерииоз	A32.9	<i>Listeria monocitogenes</i>
10	Грипп А	J09	<i>Orthomyxovirus</i>
11	Токсоплазмоз	B58.9	<i>Toxoplasma gondii</i>
12	Криптоспоридиоз	A07. 2	<i>Cryptosporidium</i> spp.
13	Лямблиоз	A07.1	<i>Giardia</i> spp.
14	Пастереллез	A28.0	<i>Pasteurella</i> spp.
15	Болезни, вызванной синегнойной палочкой	B96.5	<i>Pseudomonas</i> spp.
16	Аспергиллез	B44.9	<i>Aspergillus fumigatus</i>
17	Гистоплазмоз	B39.9	<i>Histoplasma capsulatum</i>
18	Криптококкоз	B45	<i>Criptococcus neoformans</i>
19	Трихинеллез	B75	<i>Trichinella nativa</i>

¹ Wild Birds and Avian Influenza. An introduction to applied field research and disease sampling techniques: FAO Animal Production and Health Manual No. 5 / ed. by D. Whitworth, S.H. Newman, T. Mundkur, P. Harris // Food and Agriculture Organization of the United Nations. – 2007. – 123 p.

Таблица 2

Болезни человека, связанные с переносом птицами и пушными животными зараженных клещей и москитов в Российской Арктике

№ п/п	Болезнь	Код по МКБ-10	Наименования эктопаразитов
1	Клещевой энцефалит	A84.1	<i>Flavivirus arthropod-borne viruses Orthobunyavirus</i>
2	Болезнь Лайма (Боррелиоз)	A69.2	<i>Borrelia burgdorferi, Borrelia garinii, Borrelia afzelii</i>
3	Туляремия	A21	<i>Francisella tularensis</i>
4	Комариный вирусный энцефалит	A83	<i>Alphavirus, flavivirus, bunyavirus</i>

Таблица 3

Бактериальные зоонозы, передающиеся человеку через морепродукты в Российской Арктике

№ п/п	Заболевание	Код по МКБ-10	Наименования возбудителей
1	Кожная инфекция, вызванная микобактериями	A31.1	<i>Mycobacterium marinum, M. fortuitum, M. chelonae</i>
2	Эризипеллоид	A26	<i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i>
3	Бактериальные кишечные инфекции	A04.	<i>Campylobacter bacterium Vibrio, Edwardsiella, Escherichia coli</i>
4	Сальмонеллезный энтерит	A02	<i>Salmonella typhimurium</i>
5	Стрептококковая и энтерококковая инфекция	A49.1	<i>Streptococcus iniae</i>
6	Листериоз	A32.9	<i>Listeria monocytogenes</i>
7	Пневмония	J15.0	<i>Klebsiella pneumoniae</i>

Таблица 4

Паразитарные заболевания, передающиеся от рыб человеку и животным

№ п/п	Болезнь	Код по МКБ-10	Наименование возбудителя	Переносчик
1	<i>Diphyllobothriasis</i>	B70.0	<i>Diphyllobothrium latum</i>	Пресноводные рыбы
2	<i>Opisthorchis</i>	B66.0	<i>Opisthorchis felineus</i>	Пресноводные рыбы
3	<i>Anisacidosis</i>	B81.0	<i>Anisakidae family</i>	Морепродукты
4	<i>Metagonimosis</i>	B66.8	<i>Metagonimus yokogawai</i>	Пресноводные рыбы
5	<i>Nanophyetiasis*</i>	B66.8	<i>Nanophyetus schikhobalowi</i>	Пресноводные и морские рыбы
6	<i>Diocetophimosis*</i>	B83.9	<i>Diocetophyme renale</i>	Пресноводные и морские рыбы

Примечание: * – потенциально инвазивный вид для населения тихоокеанского побережья в Арктике.

Размножающиеся в Арктике мигрирующие животные составляют важный компонент традиционного рациона арктических жителей и, таким образом, могут одновременно быть источником воздействия на человека биоаккумулируемых загрязнителей окружающей среды и патогенов. Для точного определения факторов риска биобезопасности необходимо идентифицировать определенную группу трансмиссивных ассоциированных с биологическими путями загрязнителей, например, металлы, пестициды, фармацевтические препараты, которые могут накапливаться, усиливать или изменять свои опасные эффекты через биологические пути, в частности, пищевую цепь. Улучшение понимания схем миграции диких птиц и рыб и трансмиссивных инфекционных заболеваний может помочь предсказать и смягчить будущие вспышки и эпидемии.

Риски для здоровья человека от биологических факторов сильно различаются в зависимости от источников их происхождения и путей распростране-

ния. Передача риска может происходить через вдыхание биологических агентов в воздухе, воздействие переносимых переносчиками вирулентных веществ, потребление зараженной пищи и воды и контакт с дикими и домашними животными (в Российской Арктике чаще всего встречаются собаки, олени или зараженные ими поверхности) (табл. 5 и 6).

За последние десять лет возросло внимание к новым инфекциям и инфекциям чувствительным к изменениям климата в Арктике. Это касается географии распространения зоонозных заболеваний и исследовательских инициатив, таких как система раннего оповещения об инфекциях, чувствительных к климату [18, 19].

Показатели инфекционных заболеваний в Арктике сильно различаются в зависимости от страны, заболевания, возраста, пола и местоположения. Тем не менее улучшение санитарных условий, доступность квалифицированной медицинской помощи, вакцинации и образования снизили показатели

Таблица 5

Зоонозные заболевания, способные передаваться человеку от диких позвоночных животных российской Арктики

№ п/п	Заболевание	Код по МКБ-10	Наименование возбудителя	Переносчик
1	Бешенство (гидрофобия)	A82.9	<i>Rabies lyssavirus</i>	Арктические лисы и волки
2	Бруцеллез	A23.9	<i>Brucella abortus, B.suis</i>	Копытные животные, лисы и медведи
3	Альвеолярный эхинококкоз	B67.7	<i>Echinococcus multilocularis</i>	Арктические лисы и грызуны

Таблица 6

Зоонозные заболевания, способные передаваться от домашних или полудомашних животных человеку

№ п/п	Заболевание	Код по МКБ-10	Наименование возбудителя
1	Инфекция, вызванная микоплазмой, неуточненной локализации	A49.8	<i>Capnocytophaga canimorsus</i>
2	Кампилобактериоз (энтерит)	A04.5	<i>Campylobacter jejuni</i>
3	Туберкулез	A15.0	<i>Micobacterium</i>
4	Листериоз	A32.9	<i>Listeria monocitogenes</i>
5	Острая гастроэнтеропатия, вызванная возбудителем Норволк	A08.1	<i>Norovirus</i>
6	Дерматофития	B35.9	<i>Trichophyton, Microsporum u Epidermophyton.</i>
7	Лямблиоз (гиардиоз)	A07.1	<i>Giardia duodenalis (also known as G. lamblia and G. intestinalis)</i>
8	Токсокароз Висцеральная форма заболеваний, вызываемая миграцией личинок гельминтов (висцеральная <i>Larva migrans</i>)	B83.0	<i>Toxocara canis</i>
9	Эхинококкоз	B67.9	<i>Echinococcus</i>
10	Бруцеллез	A23.9	<i>Brucella abortus, Brucella canis melitensis, Drucella suis</i>
11	Дилипидоз	B71.1	<i>Dipylidium caninum</i>
12	Чесотка	B86	<i>Sarcoptes scabiei</i>
13	Фасциолез	B66.3	<i>Fasciola hepatica</i>

инфекционных заболеваний и различия в состоянии здоровья между коренным и некоренным населением в Арктике. Такие инфекции, как клещевые заболевания (например, энцефалит и боррелиоз), туляремия, сибирская язва, вибриоз, бруцеллез, бешенство, заболевания, переносимые насекомыми (например, блотанг), а также инфекции фасциолез и эхинококкоз, которые актуальны для людей и / или животных, живущих в северных регионах, значительно сократились [20].

Изменения климата и биологические риски.

Арктика теплеет из-за изменения климата, причем температура повышается в четыре раза быстрее средней глобальной температуры [21]. Наиболее важными факторами, способствующими актуальности рассматриваемой проблемы, являются текущие и ожидаемые изменения климата, влияющие на географию миграционных путей, сезонность и места нереста диких птиц, рыб, насекомых и животных. Арктические регионы подвержены более высокому риску изменения климата, влияющего на схемы передачи зоонозных и трансмиссивных инфекционных заболеваний. Территория многолетнемерзлых грунтов (зона «вечной мерзлоты») составляет 2/3 терри-

тории России, где 11 млн населения России являются жителями Арктического региона. Россия, являясь крупнейшей страной как по общей площади Арктики, так и по численности населения Арктики, демонстрирует особую озабоченность с позиции наличия биологических рисков, связанных с изменением климата [22–25].

Быстрое таяние вечной мерзлоты является актуальным явлением, специфичным для Арктики, которое может высвободить ряд бактериальных спор и вирусов, сохранившихся в мерзлой почве. Как сообщалось, потепление климата способствует ремобилизации в окружающую среду жизнеспособных (палео) патогенов и биологических токсинов из старых свалок и захоронений. Тающие многолетнемерзлые грунты и почвы могут высвободить патогены, такие как спорообразующая бактерия *Bacillus anthracis*, вирус натуральной оспы (оспы), *Mycobacterium tuberculosis* и другие патогенные вирусы, споры и грибы с чрезвычайно длительной жизнеспособностью (до 30 000 лет) [26–29].

Климатические изменения также могут способствовать выживанию в среде обитания бактерий

и паразитов, развитие которых ограничено положительными температурами. Для эффективного решения чрезвычайных проблем в сфере биологической безопасности необходимо улучшить интеграцию между агентствами и организациями, ответственными за мониторинг зоонозных заболеваний и других биологических факторов риска.

Несколько миллионов тонн загрязненных отходов, включая паразитов, устойчивые бактерии и вирусы, а также другие биологические опасности, которые могут перемещаться на тысячи километров, смываются в океаны каждый год из южных прибрежных регионов из-за стихийных бедствий (цунами, тайфуны, наводнения и другие). Например, увеличение притока мусора к береговым линиям Северной Америки и Гавайев после землетрясения и цунами 11 марта 2011 г., когда было смыто в океан 5 млн т мусора, было значительным, что привело у 10-кратному увеличению загрязнения, по сравнению с предшествовавшим уровнем [30].

Другие биологические риски, опасные для человека. Микроскопические водоросли и водные бактерии также могут представлять большую угрозу для здоровья человека из-за их способности вырабатывать морские токсины (МТ). Наиболее часто встречающиеся МТ включают паралитические, амнестические и диарейные токсины моллюсков, циклические имины, сигуатоксин, азаспирациды, палитоксин, тетродотоксины и их аналоги, которые могут приводить к тяжелым и смертельным исходам, поскольку эти морепродукты составляют существенный компонент питания у прибрежных популяций людей [31].

Ежегодно во всем мире регистрируется до 125 000 смертей, а также 400 000 ампутаций и других серьезных последствий для здоровья, включая инфекционные заболевания, связанные с нападениями животных [32]. По многолетним данным, в России ежегодно за медицинской помощью обращаются около 400 тысяч человек, пострадавших от укусов животных, из них 38,8 % – из-за укусов диких животных (лисиц, летучих мышей, ежей, барсуков, волков)².

В арктических регионах самые высокие показатели обращаемости за медицинской помощью по этим причинам после контакта с дикими животными наблюдаются в Республике Саха-Якутия и Ямало-Ненецком округе (29,4 и 24,6 на 10 тысяч жителей соответственно). В политике биобезопасности Арктики необходимо больше внимания уделять профилактике травматизма, заболеваемости и гибели людей от контакта с дикими животными.

Серьезные недостатки политики предотвращения угроз и обеспечения биологической безопасности означают не только наличие рисков, связанных с неконтролируемым распространением патогенов естественным путем (например, из-за стихийных бедствий), но и с возможными преднамеренными действиями (известными как биотерроризм).

Факторы, влияющие на риск распространения и устойчивость человека к инфекциям. Были предложены общие подходы для объяснения показателей распространенности инфекционных заболеваний в регионе в зависимости от таких факторов, как охват иммунизацией от вакциноуправляемых инфекций, доступ к безопасной воде и пище, распространенность вируса иммунодефицита человека, доступность квалифицированной медицинской помощи и индивидуальная восприимчивость, такая как возраст, пол и генетика³.

Важным фактором, существенно влияющим на восприимчивость человека к инфекционным заболеваниям, тяжесть их клинического течения и исходы, является статус недоедания инфицированных людей. Сообщалось, что дефицит витамина D или селена может снизить иммунную защиту против COVID-19 и вызвать прогрессирование до тяжелой формы заболевания [33, 34].

Профилактику дефицита микроэлементов, в частности железа, йода, селена, цинка, витаминов А, С и D, которые широко распространены среди постоянного населения Российской Арктики [35–38], следует рассматривать как эффективную меру противодействия социально-экономическому ущербу, связанному с трансмиссивными зоонозными заболеваниями в Арктике.

Другим фактором риска нарушений биобезопасности является длительный период экстремально холодной погоды в российских арктических регионах со средней суточной температурой ниже минус 10 °С (до 9 месяцев)⁴. Воздействие холода и низкая влажность создают более высокий риск заболеваемости, тяжести течения и исходов инфекций дыхательных путей [39, 40]. Перелетные птицы и рыбы, размножающиеся в Арктике, составляющие очень важную часть традиционного рациона населения Арктики, вполне могли быть вектором и источником воздействия на человека биоаккумулируемых загрязнителей окружающей среды и патогенов одновременно. Как известно, многие из этих загрязнителей, такие как свинец, ртуть, мышьяк, ДДТ и ПХБ, могут влиять на иммунную систему, что приводит к подавлению устойчивости человека к вирулентным

² Укусы животных [Электронный ресурс] // ВОЗ. – 2024. – URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/animal-bites> (дата обращения: 19.08.2024).

³ Рекомендации гражданам: Профилактика бешенства [Электронный ресурс] // Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека РФ: официальный сайт. – 2021. – URL: https://www.rospotrebnadzor.ru/activities/recommendations/details.php?ELEMENT_ID=20827 (дата обращения: 19.08.2024).

⁴ Climate in Siberia. Average weather, temperature, rainfall, sunshine [Электронный ресурс] // Climates to travel: World climate guide. – 2023. – URL: <https://www.climatestotravel.com/climate/siberia> (дата обращения: 11.07.2024).

патогенам⁵ [41, 42]. Однако социально-экономические последствия синергетического воздействия на человека патогенов и токсинов, которые могут накапливаться в одних и тех же пищевых цепях и распространяться через биологические пути, до сих пор не были должным образом оценены.

Инфекционные заболевания оказывают значительное селективное генетическое воздействие, а гены, участвующие в иммунном ответе, чрезвычайно разнообразны [43]. Эти наблюдения предполагают важную роль генетической изменчивости хозяина и его восприимчивости к экзогенным патогенам. Распространенность этих заболеваний на определенной территории является функцией таких факторов, как уровень иммунизации населения от инфекционных заболеваний, которые можно предотвратить с помощью вакцин, доступ к безопасной воде и пище, наличие сопутствующих иммуносупрессивных инфекций, таких как ВИЧ, доступность квалифицированной медицинской помощи, и факторов риска личной восприимчивости, в частности возраста, пола и генетической предрасположенности.

Риск-ориентированный подход к снижению опасных последствий для здоровья, связанных с воздействием на организм человека биологических опасностей в Арктике, остается недостаточно разработанным. Схематически такой подход предложен в табл. 7, где обобщены наиболее важные социально-демографические, медицинские и экологические характеристики, повышающие восприимчивость населения, а также его наиболее уязвимых групп к инфекциям и другим биологическим опасностям.

Выводы. Следующие известные явления, доказанные факты и системные проблемы являются основой для будущих исследований по оценке биологического риска.

◆ Парадоксальным является тот факт, что некоторые паразиты не погибают, когда перелетные птицы покидают определенную территорию; клещи и другие переносчики насекомых ищут нового «хозяина», часто человека или домашних животных.

◆ Что касается диких мигрирующих рыб (андромы, катадромы, амфидромы), то они могут передавать человеку целый ряд паразитов, таких как круглые черви (нематоды), плоские черви или сосальщики (трематоды) и ленточные черви (цестоды), а также некоторые бактерии. Наиболее распространенным паразитарным заболеванием, распространяемым рыбами в Российской Арктике, является описторхоз [44]. Но наиболее тяжелой и даже смертельной является природно-очаговая инфекция листериоз⁶. Это важный пищевой зооноз, вызываемый *Listeria monocytogenes*, внутриклеточным патогеном с уникальным потенциалом распространяться от клетки к клетке, тем самым преодолевая гематозн-цефалический, кишечный и плацентарный барьеры.

◆ Моллюски, такие как устрицы и мидии, способны биоаккумулировать некоторые вирусные патогены из загрязненных вод. Потребление загрязненных моллюсков может, например, вызвать гастроэнтерит, респираторное заболевание, лихорадку и вирусный гепатит А и Е [45].

◆ Сравнительно мало биологических инвазий находится в арктических водах. Из-за своей географической изоляции, холодной температуры вод и наличия морского льда эти регионы создают сложные экологические условия для распространения как местных, так и неместных видов. Однако наблюдаемое и ожидаемое повышение температуры воды, приводящее к таянию морского льда из-за изменения климата, может увеличить вероятность появления инвазивных видов, которые не являются местными для арктических вод [46].

Таблица 7

Восприимчивость населения к факторам биологического риска и наиболее уязвимые группы

№ п/п	Факторы и условия, повышающие уровни биологического риска
1	Болезнь имеет более высокий коэффициент летальности
2	Квалифицированная медицинская помощь, включая вакцинацию, недоступна или ограничена
3	Воздействие факторов, нарушающих иммунную систему (химических, физических, биологических, фармацевтических) и стресса
4	Дефицит микронутриентов (например, витаминов А, С, D, омега-3-жирных кислот, железа, йода и цинка)
5	Высокая плотность населения
6	Более высокая доля наиболее уязвимых возрастных групп (> 65 и < 5 лет)
7	Более высокий уровень бедности и безработицы
8	Беременные и кормящие женщины
9	Люди, страдающие хроническими заболеваниями или иммунодепрессивными состояниями

⁵ The capacity of toxic agents to compromise the immune system (biologic markers of immunosuppression) // In book: Biological Markers in Immunotoxicology. – Washington (DC): National Academies Press (US), 1992. – P. 63–82. DOI: 10.17226/1591

⁶ Листерииоз [Электронный ресурс] // ВОЗ. – 2018. – URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/listeriosis> (дата обращения: 05.07.2024).

♦ Перелетные птицы, рыбы и животные вносят значительный вклад в глобальное распространение и пандемии инфекционных заболеваний. Улучшение знаний о путях миграции диких птиц и рыб и связанных с ними трансмиссивных инфекционных заболеваний может помочь лучше предсказывать будущие вспышки и эпидемии. В настоящее время различные агентства и организации, уполномоченные контролировать зоонозные заболевания и другие биологические опасности, недостаточно интегрированы для решения чрезвычайных проблем. Опыт, полученный в ходе продолжающейся пандемии SARS-CoV-2, показывает, что информация о региональных и глобальных рисках передачи высоковирулентных инфекций людям представляется неполной или недоступной. Методология оценки и прогнозирования рисков распространения вирулентных патогенов в Арктике до сих пор недостаточно разработана. Существующие меры по контролю инфекций в основном сосредоточены на передаче от человека к человеку.

♦ Очевидно, что существуют высокие общественные потребности в разработке политики биобезопасности в Арктике с учетом интерактивных эффектов воздействия различных экологических опасностей (химических, физических, пищевых и инфекционных), распространяемых биологическими путями, характерными для данного региона.

После выявления пробелов в знаниях и актуализации проблем, выявленных в ходе критического обзора и анализа опубликованных источников информации, необходимо предложить рекомендации по совершенствованию системы биобезопасности в арктических регионах.

А. Риски передачи инфекционных заболеваний, связанные с мобильностью людей в Арктике. Разработать систему надзора и механизмы для связи и содействия более быстрому и эффективному реагированию на прибывающих из других регионов, где были зарегистрированы вспышки инфекционных заболеваний, включая 1) иммиграцию и связанную с работой циркуляцию (вахтовые работники); 2) арктический туризм; 3) традиционную деятельность по сбору дикорастущих, кочевой образ жизни, ритуалы и другие факторы мобильности людей [47].

В. Прогнозирование событий биологического риска. Было предпринято несколько попыток разработки предиктивных моделей возникновения зоонозных заболеваний и скорости их распространения. Определены основные факторы риска на национальном уровне, которые могут предсказать три типа заболеваний: 1) существующие зоонозные заболевания: площадь территории, плотность населения и площадь лесов; 2) новые возникшие заболевания: площадь территории, плотность населения и индекс развития человеческого потенциала; 3) антропонозы: высокие расходы на здравоохранение на душу населения, среднегодовая температура, площадь территории, плотность населения, индекс развития

человеческого потенциала и количество осадков [48]. В этом исследовании большинство арктических стран были отнесены к категории с минимальной вероятностью распространения инфекционных заболеваний в связи с перечисленными факторами риска.

Учитывая различные формы биологических факторов риска, с которыми могут столкнуться жители Арктики, имело бы смысл оценить общий риск для населения, связанный с известными биологическими факторами. Модель для подобных случаев также была предложена в экологической методологии [49].

Эта модель была нами модифицирована с целью количественной оценки факторов риска и уязвимости человека при возникновении многофакторных событий биологического риска:

$$Risk = \sum \left(\int_0^1 P_{(T|HE)} \cdot \sum \left(P_{(S|HE)} \cdot \left(N_{(ER|HE)} \cdot V_{(ER|HE)} \right) \right) \right),$$

где $P_{(T|HE)}$ – временная вероятность определенного события биологического риска (HE), такого как возникновение эндемичных, повторно возникающих и новых зоонозных и трансмиссивных заболеваний, аллергий или увеличение воздействия биоаккумулируемых в пищевых цепях химических веществ до токсичного уровня;

$P_{(S|HE)}$ – пространственная вероятность того, что конкретная населенная территория затронута определенным событием биологического риска;

$N_{(ER|HE)}$ – количество людей в группе риска (количество людей, которые могут быть инфицированы при непосредственном контакте с патогеном, либо через естественные резервуары, либо косвенно через контакт с промежуточными хозяевами);

$V_{(ER|HE)}$ – уязвимость населения, подвергающегося риску, к воздействию биологической опасности (как значение от 0 до 1 для каждого детерминанта риска).

С. Дополнительные меры по совершенствованию политики и практики биобезопасности в Арктике. Дополнительные меры по обеспечению биобезопасности в Арктике должны включать следующие конкретные продукты, услуги и подходы к оценке и предотвращению биологических рисков:

- концептуальная модель интеграционной системы данных на основе стандартов для поддержки политики биобезопасности в Арктике;

- интеграция системы отчетности об инцидентах в области биобезопасности в контексте практик общественного здравоохранения в Арктике;

- модель прогнозирования риска хронических заболеваний, связанных с биологической опасностью, и других последствий для здоровья, имеющих большое общественное значение для населения Арктики;

- система стратификации рисков для здоровья человека от арктических биологических опасностей;

Оценка уровней биологического риска и меры по его предотвращению

Уровень риска	Меры по предотвращению событий риска
Очень низкий	Биологический риск часто считается приемлемым. При необходимости следует рассмотреть возможность мониторинга соответствующих групп риска
Низкий	Следует оценить возможность нарастания биологического риска и рассмотреть применение контрмер для его снижения. Необходимо информировать о риске соответствующие органы государственной власти и муниципального управления и предложить меры по защите наиболее уязвимых групп населения
Умеренный	Следует оценить возможность нарастания биологического риска и рассмотреть применение быстрых контрмер для его снижения. Необходимо информировать о риске соответствующие органы государственной власти и муниципального управления и предложить быстрые и эффективные меры по защите наиболее уязвимых групп населения
Высокий	Необходимо принятие немедленных контрмер и создание межведомственных групп взаимодействия по предотвращению биологической опасности и информированию органов государственной власти. Требуется ежедневный мониторинг рисков и медицинское наблюдение всего населения, проживающего на территории риска
Очень высокий	Состояние чрезвычайной ситуации в области общественного здравоохранения. Чтобы уменьшить последствия и / или предотвратить катастрофическое развитие событий биологического риска, требуется неотложное выполнение мер, предусмотренных законодательством, регулирующим общественные отношения при чрезвычайных ситуациях

– критерии для оценки устойчивости систем общественного здравоохранения в свете потенциальных рисков пандемии или эпидемии и воздействия биотоксинов;

– внедрение показателей биобезопасности и критериев ранжирования здоровья, позволяющих количественно оценить защиту общественного здравоохранения от биологических опасностей в арктической политике;

– разработка системы стратификации риска, решающей конкретные проблемы управления населением и соотносящей биологический риск с уровнями ухода;

– внедрение международных систем мониторинга, прогнозирования и управления рисками для

здоровья, связанными с распространением высоко-вирулентных патогенов, паразитов и других биологических опасностей в Арктике;

– информационная система для сообществ по биобезопасности;

– образовательные и обучающие программы для поставщиков медицинских услуг.

Рекомендации по управлению рисками для биологических опасностей представлены в табл. 8.

Финансирование. Это исследование финансировалось Российским научным фондом (договор от 22.03.2022 № 22-15-20076).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Woolhouse M.E., Gowtage-Sequeria S. Host range and emerging and reemerging pathogens // *Emerg. Infect. Dis.* – 2005. – Vol. 11, № 12. – P. 1842–1847. DOI: 10.3201/eid1112.050997
2. Global trends in emerging infectious diseases / K.E. Jones, N.G. Patel, M.A. Levy, A. Storeygard, D. Balk, J.L. Gittleman, P. Daszak // *Nature.* – 2008. – Vol. 451, № 7181. – P. 990–993. DOI: 10.1038/nature06536
3. GBD 2015 Mortality and Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015 // *Lancet.* – 2016. – Vol. 388, № 10053. – P. 1459–1544. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31012-1
4. Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease Study 2015 (GBD 2015) Life Expectancy, All-Cause and Cause-Specific Mortality 1980–2015 [Электронный ресурс]. – Seattle, USA: Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), 2016. – URL: <https://ghdx.healthdata.org/record/ihme-data/gbd-2015-life-expectancy-all-cause-and-cause-specific-mortality-1980-2015> (дата обращения: 11.10.2024).
5. The Global One Health Paradigm: Challenges and Opportunities for Tackling Infectious Diseases at the Human, Animal, and Environment Interface in Low-Resource Settings / W.A. Gebreyes, J. Dupouy-Camet, M.J. Newport, C.J.B. Oliveira, L.S. Schlesinger, Y.M. Saif, S. Kariuki, L.J. Saif [et al.] // *PLoS Negl. Trop. Dis.* – 2014. – Vol. 8, № 11. – P. e3257. DOI: 10.1371/journal.pntd.0003257
6. Implications of zoonoses from hunting and use of wildlife in North American Arctic and boreal biomes: pandemic potential, monitoring, and mitigation / L.O. Keatts, M. Robards, S.H. Olson, K. Hueffer, S.J. Insle, D.O. Joly, S. Kutz, D.S. Lee [et al.] // *Front. Public Health.* – 2021. – Vol. 9. – P. 627–654. DOI: 10.3389/fpubh.2021.627654
7. Revisiting the proposed leap-frog migration of bar-tailed godwits along the East-Atlantic Flyway / S. Duijns, J. Jukema, B. Spaans, P. van Horssen, T. Piersma // *Ardea.* – 2012. – Vol. 100, № 1. – P. 37–43. DOI: 10.5253/078.100.0107

8. Climate change and infectious diseases in the Arctic: establishment of a circumpolar working group / A.J. Parkinson, B. Evengard, J.C. Semenza, N. Ogden, M.L. Børresen, J. Berner, M. Brubaker, A. Sjøstedt [et al.] // *Int. J. Circumpolar Health*. – 2014. – Vol. 73. – P. 25163. DOI: 10.3402/ijch.v73.25163
9. Varpe Ø., Bauer S. Seasonal Animal Migrations and the Arctic: Ecology, Diversity, and Spread of Infectious Agents // In book: *Arctic One Health. Challenges for Northern Animals and People* / ed. by M. Tryland. – Springer, Cham, 2022. – P. 47–76. DOI: 10.1007/978-3-030-87853-5_3
10. Avian influenza virus tropism in humans / U. AbuBakar, L. Amrani, F.A. Kamarulzaman, S.A. Karsani, P. Hassandarvish, J.E. Khairat // *Viruses*. – 2023. – Vol. 15, № 4. – P. 833. DOI: 10.3390/v15040833
11. Epidemiology, genetic recombination, and pathogenesis of coronaviruses / S. Su, G. Wong, W. Shi, J. Liu, A.C.K. Lai, J. Zhou, W. Liu, Y. Bi, G.F. Gao // *Trends Microbiol.* – 2016. – Vol. 24, № 6. – P. 490–502. DOI: 10.1016/j.tim.2016.03.003
12. Colloquium paper: homage to Linnaeus: how many parasites? How many hosts? / A. Dobson, K.D. Lafferty, A.M. Kuris, R.F. Hechinger, W. Jetz // *Proc. Natl Acad. Sci. USA*. – 2008. – Vol. 105, Suppl. 1. – P. 11482–11489. DOI: 10.1073/pnas.0803232105
13. Vogt N.A. Wild birds and zoonotic pathogens // In book: *Zoonoses: Infections Affecting Humans and Animals* / ed. by A. Sing. – Springer, Cham, 2023. – P. 1003–1033. DOI: 10.1007/978-3-031-27164-9_47
14. Listeriosis in animals, its public health significance (food-borne zoonosis) and advances in diagnosis and control: a comprehensive review / K. Dhama, K. Karthik, R. Tiwari, M.Z. Shabbir, S. Barbudde, S.V.S. Malik, R.K. Singh // *Vet. Q.* – 2015. – Vol. 35, № 4. – P. 211–235. DOI: 10.1080/01652176.2015.1063023
15. Migratory wild birds as potential long-distance transmitters of *Toxoplasma gondii* infection / F.M. Dini, G. Graziosi, C. Lupini, E. Catelli, R. Galuppi // *Pathogens*. – 2023. – Vol. 12, № 3. – P. 478. DOI: 10.3390/pathogens12030478
16. Zoonotic diseases of fish and their prevention and control / M. Ziarati, M.J. Zorriehzahra, F. Hassantabar, Z. Mehrabi, M. Dhawan, K. Sharun, T.B. Emran, K. Dhama [et al.] // *Vet. Q.* – 2022. – Vol. 42, № 1. – P. 95–118. DOI: 10.1080/01652176.2022.2080298
17. Insights into the genetic diversity, antibiotic resistance and pathogenic potential of *Klebsiella pneumoniae* from the Norwegian marine environment using whole-genome analysis / F. Håkonsholm, M.A.K. Hetland, C.S. Svanevik, B.T. Lunestad, I.H. Löhr, N.P. Marathe // *Int. J. Hyg. Environ. Health*. – 2022. – Vol. 242. – P. 113967. DOI: 10.1016/j.ijheh.2022.113967
18. Linking climate and infectious disease trends in the Northern Arctic Region / Y. Ma, G. Destouni, Z. Kalantari, A. Omazic, B. Evengård, C. Berggren, T. Thierfelder // *Sci. Rep.* – 2021. – Vol. 11, № 1. – P. 20678. DOI: 10.1038/s41598-021-00167-z
19. Associating land cover changes with patterns of incidences of climate-sensitive infections: an example on tick-borne diseases in the Nordic Area / D.G. Leibovici, H. Bylund, C. Björkman, N. Tokarevich, T. Thierfelder, B. Evengård, S. Quegan // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2021. – Vol. 18, № 20. – P. 10963. DOI: 10.3390/ijerph182010963
20. Human infectious diseases and the changing climate in the Arctic / A. Waits, A. Emelyanova, A. Oksanen, K. Abass, A. Rautio // *Environ. Int.* – 2018. – Vol. 121, Pt 1. – P. 703–713. DOI: 10.1016/j.envint.2018.09.042
21. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979 / M. Rantanen, A.Y. Karpechko, A. Lippinen, K. Nordling, O. Hyvärinen, K. Ruosteenoja, T. Vihma, A. Laaksonen // *Commun. Earth Environ.* – 2022. – Vol. 3. – P. 168. DOI: 10.1038/s43247-022-00498-3
22. Mercury stocks in discontinuous permafrost and their mobilization by river migration in the Yukon River Basin / M.I. Smith, Y. Ke, E.C. Geyman, J.N. Reahl, M.M. Douglas, E.A. Seelen, J.S. Magyar, K.B.J. Dunne [et al.] // *Environ. Res. Lett.* – 2024. – Vol. 19. – P. 084041. DOI: 10.1088/1748-9326/ad536e
23. Revich B., Chashchin V. Climate change impact on public health in the Russian Arctic. – Moscow: United Nation in Russia, 2008. – 24 p.
24. AMAP 2017. Adaptation Actions for a Changing Arctic: Perspectives from the Bering-Chukchi-Beaufort Region [Электронный ресурс]. – Oslo, Norway: Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 2017. – 255 p. – URL: <https://www.amap.no/documents/download/2993/inline> (дата обращения: 05.10.2024).
25. Healthy ecosystems are a prerequisite for human health – A call for action in the era of climate change with a focus on Russia / D. Orlov, M. Menshakova, T. Thierfelder, Y. Zaika, S. Böhme, B. Evengard, N. Pshenichnaya // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. – 2020. – Vol. 17, № 22. – P. 8453. DOI: 10.3390/ijerph17228453
26. El-Sayed A., Kamel M. Future threat from the past // *Environ. Sci. Pollut. Res.* – 2021. – Vol. 28. – P. 1287–1291. DOI: 10.1007/s11356-020-11234-9
27. Permafrost as a potential pathogen reservoir / R. Wu, G. Trubl, N. Taş, J.K. Jansson // *One Earth*. – 2022. – Vol. 5, № 4. – P. 351–360. DOI: 10.1016/j.oneear.2022.03.010
28. An Update on Eukaryotic viruses revived from ancient permafrost / J.-M. Alempic, A. Lartigue, A.E. Goncharov, G. Grosse, J. Strauss, A.N. Tikhonov, A.N. Fedorov, O. Poirot [et al.] // *Viruses*. – 2023. – Vol. 15, № 2. – P. 564. DOI: 10.3390/v15020564
29. Зонирование административных районов Российской Арктики по степени опасности разрушения скотомогильников в результате деградации многолетней мерзлоты / Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников, С.П. Раичич, С.А. Сабурова, Е.Г. Симонова // *Анализ риска здоровью*. – 2021. – № 1. – С. 115–125. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.12
30. Murray C.C., Maximenko N., Lippiatde S. The influx of marine debris from the Great Japan Tsunami of 2011 to North American shorelines // *Mar. Pollut. Bull.* – 2018. – Vol. 132. – P. 26–32. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.01.004
31. Emergent toxins in North Atlantic temperate waters: a challenge for monitoring programs and legislation / M. Silva, V.K. Pratheepa, L.M. Botana, V. Vasconcelos // *Toxins (Basel)*. – 2015. – Vol. 7, № 3. – P. 859–885. DOI: 10.3390/toxins7030859
32. Tryphonas H. Approaches to detecting immunotoxic effects of environmental contaminants in humans // *Environ. Health Perspect.* – 2001. – Vol. 109, Suppl. 6. – P. 877–884. DOI: 10.1289/ehp.01109s6877

33. Информированность населения Российской Федерации о йодном дефиците, его влиянии и способах профилактики йододефицитных заболеваний / П.А. Терехов, А.А. Рыбакова, М.А. Терехова, Е.А. Трошина // Клиническая и экспериментальная тиреодология. – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 118–123. DOI: 10.14341/ket12239
34. Nutritional status of patients with COVID-19 / J.H. Im, Y.S. Je, J. Baek, M.-H. Chung, H.Y. Kwon, J.-S. Lee // Int. J. Infect. Dis. – 2020. – Vol. 100. – P. 390–393. DOI: 10.1016/j.ijid.2020.08.018
35. Kaya M.O., Pamukcu E., Yakar B. The role of vitamin D deficiency on COVID-19: a systematic review and meta-analysis of observational studies // Epidemiol. Health. – 2021. – Vol. 43. – P. e2021074. DOI: 10.4178/epih.e2021074
36. Бакаева Е.А., Еремейшвили А.В. Содержание некоторых микроэлементов в биосубстратах детей дошкольного возраста в условиях Европейского Севера России // Экология человека. – 2016. – Т. 23, № 4. – С. 26–31. DOI: 10.33396/1728-0869-2016-4-26-31
37. Артеменков А.А. Проблема профилактики эндемических заболеваний и микроэлементозов у человека // Профилактическая медицина. – 2019. – Т. 22, № 3. – С. 92–100. DOI: 10.17116/profmed20192203192
38. Diet and Blood Concentrations of Essential and Non-Essential Elements among Rural Residents in Arctic Russia / T. Sorokina, N. Sobolev, N. Belova, A. Aksenov, D. Kotsur, A. Trofimova, Y. Varakina, A.M. Grjibovski [et al.] // Nutrients. – 2022. – Vol. 14, № 23. – P. 5005. DOI: 10.3390/nu14235005
39. Mourtzoukou E.G., Falagas M.E. Exposure to cold and respiratory tract infections // Int. J. Tuberc. Lung Dis. – 2007. – Vol. 11, № 9. – P. 938–943.
40. Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections / T.M. Mäkinen, R. Juvonen, J. Jokelainen, T.H. Harju, A. Peitso, A. Bloigu, S. Silvennoinen-Kassinen, M. Leinonen, J. Hassi // Respir. Med. – 2009. – Vol. 103, № 3. – P. 456–462. DOI: 10.1016/j.rmed.2008.09.011
41. Ross P.S. The role of immunotoxic environmental contaminants in facilitating the emergence of infectious diseases in marine mammals // Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. – 2002. – Vol. 8, № 2. – P. 277–292. DOI: 10.1080/20028091056917
42. Kataoka C., Kashiwada S. Ecological risks due to immunotoxicological effects on aquatic organisms // Int. J. Mol. Sci. – 2021. – Vol. 22, № 15. – P. 8305. DOI: 10.3390/ijms22158305
43. Burgner D., Jamieson S.E., Blackwell J.M. Genetic susceptibility to infectious diseases: big is beautiful, but will bigger be even better? // Lancet Infect. Dis. – 2006. – Vol. 6, № 10. – P. 653–663. DOI: 10.1016/S1473-3099(06)70601-6
44. Анализ заболеваемости инвазией *Opisthorchis felinus* и злокачественными новообразованиями гепатобилиарной системы в Российской Федерации / О.С. Федорова, Ю.В. Ковширина, А.Е. Ковширина, М.М. Федотова, И.А. Деев, Ф.И. Петровский, А.В. Филимонов, А.И. Дмитриева [и др.] // Бюллетень сибирской медицины. – 2016. – Т. 15, № 5. – С. 147–158. DOI: 10.20538/1682-0363-2016-5-147-158
45. The prevalence of viruses related to the production of mussels and oysters in Saldanha Bay: a systematic review / L.S. Shuping, I.S. Human, J.F.R. Lues, A.N. Paulse // Aquac. J. – 2023. – Vol. 3, № 2. – P. 90–106. DOI: 10.3390/aquacj3020009
46. Arctic marine biodiversity: an update of species richness and examples of biodiversity change / B.A. Bluhm, A.V. Gebbruk, R. Gradinger, R.R. Hopcroft, F. Huettmann, K.N. Kosobokova, B.I. Sirenko, J.M. Weslawski // Oceanography. – 2011. – Vol. 24, № 3. – P. 232–248. DOI: 10.5670/oceanog.2011.75
47. Wang L., Wang X. Influence of temporary migration on the transmission of infectious diseases in a migrants' home village // J. Theor. Biol. – 2012. – Vol. 300. – P. 100–109. DOI: 10.1016/j.jtbi.2012.01.004
48. Singh B.B., Ward M.P., Dhand N.K. Geodemography, environment and societal characteristics drive the global diversity of emerging, zoonotic and human pathogens // Transbound. Emerg. Dis. – 2022. – Vol. 69, № 3. – P. 1131–1143. DOI: 10.1111/tbed.14072
49. Van Westen C.J., Greiving S. Multi-hazard risk assessment and decision making // In book: Environmental hazards methodologies for risk assessment and management / ed. by N.R. Dalezios. – London: IWA Publ., 2017. – P. 31–94. DOI: 10.2166/9781780407135_0031

Биологические факторы риска в Российской Арктике: обзор литературы / В.П. Чашин, Н.В. Зайцева, М.В. Чашин, Н.А. Соболев, Т.Ю. Сорокина, М.М. Шакиров // Анализ риска здоровью. – 2024. – № 4. – С. 160–173. DOI: 10.21668/health.risk/2024.4.14

UDC 613 (985) (045) + 664.8: 614.449
DOI: 10.21668/health.risk/2024.4.14.eng



Review

BIOLOGICAL RISK FACTORS IN THE RUSSIAN ARCTIC: A SCOPING LITERATURE REVIEW

V.P. Chashchin^{1,2}, N.V. Zaitseva^{3,4}, M.V. Chashchin², N.A. Sobolev^{1,5},
T.Yu. Sorokina¹, M.M. Shakirov²

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17 Naberezhnaya Severnoi Dviny, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, 41 Kirochnaya St., Saint-Petersburg, 191015, Russian Federation

³Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, 82 Monastyrskaya St., Perm, 614045, Russian Federation

⁴Russian Academy of Sciences, 14 Leninskii Av., Moscow, 119991, Russian Federation

⁵M.V. Lomonosov Moscow State University, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation

The goal of the review is to study and summarize approaches to assessing, monitoring, predicting, and countering human health risks associated with the spread of virulent pathogens, parasites, and other biological hazards in the Russian Arctic regions.

A literature search was conducted from May to August 2024 using PubMed, Web of Science, Science Direct, and eLibrary.ru to identify studies on vector-borne pathogens, parasites, and other biological hazards in the Arctic. The review also considered phenomena of bioaccumulation of chemical contaminants in biological food chains that can cause increased susceptibility of humans to infections and the impact of climate change on biological risks in the Arctic. Of the 348 identified publications, 55 articles were selected that met the inclusion criteria.

The analysis revealed significant gaps in the literature on biological risk assessment related to primary data on Arctic zoonotic diseases, with the most limited information related to the sources and pathways of their spread by wild game species. Based on hazard identification, it was established that risk factors for the spread of zoonotic diseases include unfavorable living conditions (inferior quality of life), higher population density, low-quality environment, and socio-economic considerations. Migratory birds, fish, and animals can significantly contribute to the global spread and pandemics of infectious diseases. Improving our knowledge of wild bird and fish migration routes and vector-borne infectious diseases can help predict future outbreaks and epidemics. The analysis proposed a predictive model for assessing biological risk events associated with this migration.

Keywords: Arctic, biological hazards, infectious diseases, health risk factors, pathogen transmission, migratory animals and insects.

References

1. Woolhouse M.E., Gowtage-Sequeria S. Host range and emerging and reemerging pathogens. *Emerg. Infect. Dis.*, 2005, vol. 11, no. 12, pp. 1842–1847. DOI: 10.3201/eid1112.050997
2. Jones K.E., Patel N.G., Levy M.A., Storeygard A., Balk D., Gittleman J.L., Daszak P. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 2008, vol. 451, no. 7181, pp. 990–993. DOI: 10.1038/nature06536

© Chashchin V.P., Zaitseva N.V., Chashchin M.V., Sobolev N.A., Sorokina T.Yu., Shakirov M.M., 2024

Valerii P. Chashchin – Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Medical Sciences, Professor at the Department of Preventive Medicine and Health Protection (e-mail: valerych05@mail.ru; tel.: +7 (921) 958-88-85; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2600-0522>).

Nina V. Zaitseva – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Scientific Director (e-mail: znv@ferisk.ru; tel.: +7 (342) 237-25-34; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2356-1145>).

Maksim V. Chashchin – Doctor of Medical Sciences, Head of the Research Laboratory for Arctic Health (e-mail: max_chashchin@inbox.ru; tel.: +7 (921) 912-15-45; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6759-5481>).

Nikita A. Sobolev – Candidate of Chemical Sciences, Researcher at the Department of Chemistry, Department of Medical Chemistry and Fine Organic Synthesis, Laboratory of Natural Humic Systems (e-mail: nikita.sobolev@kjemi.uio.no; tel.: +7 (960) 010-45-61; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8210-8263>).

Tatiana Yu. Sorokina – Candidate of Law Sciences, Head of the Arctic Biomonitoring Laboratory, Department of International Law and Comparative Law (e-mail: t.sorokina@narfu.ru; tel.: +7 (902) 708-08-08; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4873-8747>).

Munirdzhon M. Shakirov – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher at the Research Laboratory for Arctic Health (e-mail: m.shakirov@imed.pro; tel.: +7 (913) 880-11-71; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9828-4958>).

3. GBD 2015 Mortality and Causes of Death Collaborators. Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *Lancet*, 2016, vol. 388, no. 10053, pp. 1459–1544. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)31012-1
4. Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease Study 2015 (GBD 2015) Life Expectancy, All-Cause and Cause-Specific Mortality 1980–2015. Seattle, USA, Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), 2016. Available at: <https://ghdx.healthdata.org/record/ihme-data/gbd-2015-life-expectancy-all-cause-and-cause-specific-mortality-1980-2015> (October 11, 2024).
5. Gebreyes W.A., Dupouy-Camet J., Newport M.J., Oliveira C.J.B., Schlesinger L.S., Saif Y.M., Kariuki S., Saif L.J. [et al.]. The Global One Health Paradigm: Challenges and Opportunities for Tackling Infectious Diseases at the Human, Animal, and Environment Interface in Low-Resource Settings. *PLoS Negl. Trop. Dis.*, 2014, vol. 8, no. 11, pp. e3257. DOI: 10.1371/journal.pntd.0003257
6. Keatts L.O., Robards M., Olson S.H., Hueffer K., Inslie S.J., Joly D.O., Kutz S., Lee D.S. [et al.]. Implications of zoonoses from hunting and use of wildlife in North American Arctic and boreal biomes: pandemic potential, monitoring, and mitigation. *Front. Public Health*, 2021, vol. 9, pp. 627–654. DOI: 10.3389/fpubh.2021.627654
7. Duijns S., Jukema J., Spaans B., van Horssen P., Piersma T. Revisiting the proposed leap-frog migration of bar-tailed godwits along the East-Atlantic Flyway. *Ardea*, 2012, vol. 100, no. 1, pp. 37–43. DOI: 10.5253/078.100.0107
8. Parkinson A.J., Evengard B., Semenza J.C., Ogden N., Borresen M.L., Berner J., Brubaker M., Sjöstedt A. [et al.]. Climate change and infectious diseases in the Arctic: establishment of a circumpolar working group. *Int. J. Circumpolar Health*, 2014, vol. 73, pp. 25163. DOI: 10.3402/ijch.v73.25163
9. Varpe Ø., Bauer S. Seasonal Animal Migrations and the Arctic: Ecology, Diversity, and Spread of Infectious Agents. In book: *Arctic One Health. Challenges for Northern Animals and People*; M. Tryland ed. Springer, Cham, 2022, pp. 47–76. DOI: 10.1007/978-3-030-87853-5_3
10. AbuBakar U., Amrani L., Kamarulzaman F.A., Karsani S.A., Hassandarvish P., Khairat J.E. Avian influenza virus tropism in humans. *Viruses*, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 833. DOI: 10.3390/v15040833
11. Su S., Wong G., Shi W., Liu J., Lai A.C.K., Zhou J., Liu W., Bi Y., Gao G.F. Epidemiology, genetic recombination, and pathogenesis of coronaviruses. *Trends Microbiol.*, 2016, vol. 24, no. 6, pp. 490–502. DOI: 10.1016/j.tim.2016.03.003
12. Dobson A., Lafferty K.D., Kuris A.M., Hechinger R.F., Jetz W. Colloquium paper: homage to Linnaeus: how many parasites? How many hosts? *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, 2008, vol. 105, suppl. 1, pp. 11482–11489. DOI: 10.1073/pnas.0803232105
13. Vogt N.A. Wild birds and zoonotic pathogens. In book: *Zoonoses: Infections Affecting Humans and Animals*; A. Sing ed. Springer, Cham, 2023, pp. 1003–1033. DOI: 10.1007/978-3-031-27164-9_47
14. Dhama K., Karthik K., Tiwari R., Shabbir M.Z., Barbudhe S., Malik S.V.S., Singh R.K. Listeriosis in animals, its public health significance (food-borne zoonosis) and advances in diagnosis and control: a comprehensive review. *Vet. Q.*, 2015, vol. 35, no. 4, pp. 211–235. DOI: 10.1080/01652176.2015.1063023
15. Dini F.M., Graziosi G., Lupini C., Catelli E., Galuppi R. Migratory wild birds as potential long-distance transmitters of *Toxoplasma gondii* infection. *Pathogens*, 2023, vol. 12, no. 3, pp. 478. DOI: 10.3390/pathogens12030478
16. Ziarati M., Zorriehzakra M.J., Hassantabar F., Mehrabi Z., Dhawan M., Sharun K., Emran T.B., Dhama K. [et al.]. Zoonotic diseases of fish and their prevention and control. *Vet. Q.*, 2022, vol. 42, no. 1, pp. 95–118. DOI: 10.1080/01652176.2022.2080298
17. Håkonsholm F., Hetland M.A.K., Svanevik C.S., Lunestad B.T., Löhr I.H., Marathe N.P. Insights into the genetic diversity, antibiotic resistance and pathogenic potential of *Klebsiella pneumoniae* from the Norwegian marine environment using whole-genome analysis. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 2022, vol. 242, pp. 113967. DOI: 10.1016/j.ijheh.2022.113967
18. Ma Y., Destouni G., Kalantari Z., Omazic A., Evengård B., Berggren C., Thierfelder T. Linking climate and infectious disease trends in the Northern Arctic Region. *Sci. Rep.*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 20678. DOI: 10.1038/s41598-021-00167-z
19. Leibovici D.G., Bylund H., Björkman C., Tokarevich N., Thierfelder T., Evengård B., Quegan S. Associating land cover changes with patterns of incidences of climate-sensitive infections: an example on tick-borne diseases in the Nordic Area. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2021, vol. 18, no. 20, pp. 10963. DOI: 10.3390/ijerph182010963
20. Waits A., Emelyanova A., Oksanen A., Abass K., Rautio A. Human infectious diseases and the changing climate in the Arctic. *Environ. Int.*, 2018, vol. 121, pt 1, pp. 703–713. DOI: 10.1016/j.envint.2018.09.042
21. Rantanen M., Karpechko A.Y., Lipponen A., Nordling K., Hyvärinen O., Ruosteenoja K., Vihma T., Laaksonen A. The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Commun. Earth Environ.*, 2022, vol. 3, pp. 168. DOI: 10.1038/s43247-022-00498-3
22. Smith M.I., Ke Y., Geyman E.C., Reahl J.N., Douglas M.M., Seelen E.A., Magyar J.S., Dunne K.B.J. [et al.]. Mercury stocks in discontinuous permafrost and their mobilization by river migration in the Yukon River Basin. *Environ. Res. Lett.*, 2024, vol. 19, pp. 084041. DOI: 10.1088/1748-9326/ad536e
23. Revich B., Chashchin V. Climate change impact on public health in the Russian Arctic. Moscow, United Nation in Russia, 2008, 24 p.
24. AMAP 2017. Adaptation Actions for a Changing Arctic: Perspectives from the Bering-Chukchi-Beaufort Region. Oslo, Norway, Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), 2017, 255 p. Available at: <https://www.amap.no/documents/download/2993/inline> (October 05, 2024).
25. Orlov D., Menshakova M., Thierfelder T., Zaika Y., Böhme S., Evengard B., Pshenichnaya N. Healthy ecosystems are a prerequisite for human health – A call for action in the era of climate change with a focus on Russia. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2020, vol. 17, no. 22, pp. 8453. DOI: 10.3390/ijerph17228453
26. El-Sayed A., Kamel M. Future threat from the past. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2021, vol. 28, pp. 1287–1291. DOI: 10.1007/s11356-020-11234-9
27. Wu R., Trubl G., Taş N., Jansson J.K. Permafrost as a potential pathogen reservoir. *One Earth*, 2022, vol. 5, no. 4, pp. 351–360. DOI: 10.1016/j.oneear.2022.03.010
28. Alempic J.-M., Lartigue A., Goncharov A.E., Grosse G., Strauss J., Tikhonov A.N., Fedorov A.N., Poirot O. [et al.]. An Update on Eukaryotic viruses revived from ancient permafrost. *Viruses*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 564. DOI: 10.3390/v15020564

29. Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Raichich S.R., Saburova S.A., Simonova E.G. Creating zones in administrative districts located in the Russian arctic region specific as per threats of cattle burials decay due to permafrost degradation. *Health Risk Analysis*, 2021, no. 1, pp. 115–125. DOI: 10.21668/health.risk/2021.1.12.eng
30. Murray C.C., Maximenko N., Lippiatde S. The influx of marine debris from the Great Japan Tsunami of 2011 to North American shorelines. *Mar. Pollut. Bull.*, 2018, vol. 132, pp. 26–32. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.01.004
31. Silva M., Pratheepa V.K., Botana L.M., Vasconcelos V. Emergent toxins in North Atlantic temperate waters: a challenge for monitoring programs and legislation. *Toxins (Basel)*, 2015, vol. 7, no. 3, pp. 859–885. DOI: 10.3390/toxins7030859
32. Tryphonas H. Approaches to detecting immunotoxic effects of environmental contaminants in humans. *Environ. Health Perspect.*, 2001, vol. 109, suppl. 6, pp. 877–884. DOI: 10.1289/ehp.01109s6877
33. Terekhov P.A., Rybakova A.A., Terekhova M.A., Troshina E.A. Awareness of the population in Russian Federation about iodine deficiency, its effects and methods for prevention of iodine deficiency disorders. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya*, 2019, vol. 15, no. 3, pp. 118–123. DOI: 10.14341/ket12239 (in Russian).
34. Im J.H., Je Y.S., Baek J., Chung M.-H., Kwon H.Y., Lee J.-S. Nutritional status of patients with COVID-19. *Int. J. Infect. Dis.*, 2020, vol. 100, pp. 390–393. DOI: 10.1016/j.ijid.2020.08.018
35. Kaya M.O., Pamukcu E., Yakar B. The role of vitamin D deficiency on COVID-19: a systematic review and meta-analysis of observational studies. *Epidemiol. Health*, 2021, vol. 43, pp. e2021074. DOI: 10.4178/epih.e2021074
36. Bakaeva E.A., Ereimeyshvili A.V. Contents of some trace elements in biosubstrates of preschool children of Northern European in Russia. *Ekologiya cheloveka*, 2016, vol. 23, no. 4, pp. 26–31. DOI: 10.33396/1728-0869-2016-4-26-31 (in Russian).
37. Artemenkov A.A. The problem of the prevention of endemic human diseases and microelementoses. *Profilakticheskaya meditsina*, 2019, vol. 22, no. 3, pp. 92–100. DOI: 10.17116/profmed20192203192 (in Russian).
38. Sorokina T., Sobolev N., Belova N., Aksenov A., Kotsur D., Trofimova A., Varakina Y., Grjibovski A.M. [et al.]. Diet and Blood Concentrations of Essential and Non-Essential Elements among Rural Residents in Arctic Russia. *Nutrients*, 2022, vol. 14, no. 23, pp. 5005. DOI: 10.3390/nu14235005
39. Mourtzoukou E.G., Falagas M.E. Exposure to cold and respiratory tract infections. *Int. J. Tuberc. Lung Dis.*, 2007, vol. 11, no. 9, pp. 938–943.
40. Mäkinen T.M., Juvonen R., Jokelainen J., Harju T.H., Peitso A., Bloigu A., Silvennoinen-Kassinen S., Leinonen M., Hassi J. Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections. *Respir. Med.*, 2009, vol. 103, no. 3, pp. 456–462. DOI: 10.1016/j.rmed.2008.09.011
41. Ross P.S. The role of immunotoxic environmental contaminants in facilitating the emergence of infectious diseases in marine mammals. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2002, vol. 8, no. 2, pp. 277–292. DOI: 10.1080/20028091056917
42. Kataoka C., Kashiwada S. Ecological risks due to immunotoxicological effects on aquatic organisms. *Int. J. Mol. Sci.*, 2021, vol. 22, no. 15, pp. 8305. DOI: 10.3390/ijms22158305
43. Burgner D., Jamieson S.E., Blackwell J.M. Genetic susceptibility to infectious diseases: big is beautiful, but will bigger be even better? *Lancet Infect. Dis.*, 2006, vol. 6, no. 10, pp. 653–663. DOI: 10.1016/S1473-3099(06)70601-6
44. Fedorova O.S., Kovshirina Y.V., Kovshirina A.E., Fedotova M.M., Deev I.A., Petrovskiy F.I., Filimonov A.V., Dmitrieva A.I. [et al.]. Analysis of *Opisthorchis felinus* infection and liver and intrahepatic bile ducts cancer incidence rate in Russian Federation. *Byulleten' sibirskoi meditsiny*, 2016, vol. 15, no. 5, pp. 147–158. DOI: 10.20538/1682-0363-2016-5-147-158 (in Russian).
45. Shuping L.S., Human I.S., Lues J.F.R., Paulse A.N. The prevalence of viruses related to the production of mussels and oysters in Saldanha Bay: a systematic review. *Aquac. J.*, 2023, vol. 3, no. 2, pp. 90–106. DOI: 10.3390/aquacj3020009
46. Bluhm B.A., Gebruk A.V., Gradinger R., Hopcroft R.R., Huettmann F., Kosobokova K.N., Sirenko B.I., Weslawski J.M. Arctic marine biodiversity: an update of species richness and examples of biodiversity change. *Oceanography*, 2011, vol. 24, no. 3, pp. 232–248. DOI: 10.5670/oceanog.2011.75
47. Wang L., Wang X. Influence of temporary migration on the transmission of infectious diseases in a migrants' home village. *J. Theor. Biol.*, 2012, vol. 300, pp. 100–109. DOI: 10.1016/j.jtbi.2012.01.004
48. Singh B.B., Ward M.P., Dhand N.K. Geodemography, environment and societal characteristics drive the global diversity of emerging, zoonotic and human pathogens. *Transbound. Emerg. Dis.*, 2022, vol. 69, no. 3, pp. 1131–1143. DOI: 10.1111/tbed.14072
49. Van Westen C.J., Greiving S. Multi-hazard risk assessment and decision making. In book: *Environmental hazards methodologies for risk assessment and management*; N.R. Dalezios ed. London, IWA Publ., 2017, pp. 31–94. DOI: 10.2166/9781780407135_0031

Chashchin V.P., Zaitseva N.V., Chashchin M.V., Sobolev N.A., Sorokina T.Yu., Shakirov M.M. Biological risk factors in the Russian Arctic: a scoping literature review. *Health Risk Analysis*, 2024, no. 4, pp. 160–173. DOI: 10.21668/health.risk/2024.4.14.eng

Получена: 24.09.2024

Одобрена: 22.11.2024

Принята к публикации: 22.12.2024