

УДК 911.2:574.9(98)

ПРИРОДНООЧАГОВЫЕ БОЛЕЗНИ В АРКТИКЕ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

С.М. Малхазова¹, В.А. Миронова², И.Х. Башмакова³

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра биогеографии*

³ *Университет Хельсинки, Институт атмосферных и земных систем*

¹ *Проф., зав. кафедрой, д-р геогр. наук; e-mail: sveta_geo@mail.ru*

² *Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: mironova.va@gmail.com*

³ *Науч. сотр.; e-mail: iryna.bashmakova@helsinki.fi*

Настоящий обзор посвящен проблеме распространения природноочаговых болезней в Арктическом регионе в условиях глобального изменения климата. Рассмотрен вопрос о влиянии факторов меняющейся среды на функционирование очагов природноочаговых болезней в арктических регионах России, Европы и Северной Америки, вопросы сдвигов ареалов возбудителей, их носителей и переносчиков на север в связи с потеплением климата; приведены примеры вспышек природноочаговых заболеваний в арктических районах. В обзоре использовано 55 публикаций. Отбор статей произведен на платформах Pubmed, ScienceDirect, e-Library и Киберленинка. Анализ литературы позволил установить 18 природноочаговых болезней, наиболее значимых для российской и зарубежной Арктики; для десяти из них проведен обзор распространения в России и других странах, имеющих арктические территории. Можно предположить, что в связи с изменениями климата наиболее интенсивно будут продвигаться на север клещевые инфекции вслед за расширением ареалов переносчиков и теплокровных носителей. Кроме того, не исключены новые вспышки туляремии, вызванные высокой численностью переносчиков (комаров и слепней), а также реактивация очагов сибирской язвы из-за деградации вечной мерзлоты и вытаивания скотомогильников. Обобщение данных по болезням и патологиям арктического населения показало, что наиболее уязвимыми являются группы, которые живут в отдаленных районах, где адаптация к климатическим изменениям наиболее сложная из-за недостаточной экономической поддержки или отсутствия инфраструктуры. В целом отмечается недостаточное количество исследований, рассматривающих распространение природноочаговых болезней в условиях меняющейся окружающей среды, в первую очередь именно для наиболее отдаленных регионов.

Ключевые слова: зоонозы, факторы среды, глобальные изменения климата

ВВЕДЕНИЕ

Арктический регион отличается экстремальной природной средой. Для регионов Арктики характерен высокий уровень ее дискомфорта на фоне неоднородности хозяйственного освоения, плотности населения, степени освоенности и антропогенной нагрузки. В настоящее время регион подвержен сильному техногенному давлению, что, в свою очередь, влияет на медико-экологическую обстановку. Наиболее важными компонентами природной среды, определяющими ее экстремальность, являются климатические и биотические факторы.

Климатическая компонента экстремальности природных условий рассматривается как преобладающая по сравнению с остальными, т. к. она более интенсивно влияет на организмы человека и

животных и воздействует на обширные территории [Hedlund et al., 2014].

Биотические факторы обуславливают существование очагов природноочаговых болезней, которые, в свою очередь, также сильно зависят от действия климатического фактора. Установлено, что в процессе современного потепления Арктика прогревается быстрее других регионов земного шара [IPCC..., 2013]. Одной из наиболее важных задач является оценка возможности изменения нозоареалов природноочаговых болезней в связи с потеплением климата и прогноз таких изменений. Сведения о распространении природноочаговых болезней в Арктическом регионе неполны и отрывочны, что связано со сложностями сбора информации в труднодоступных районах. Не для всех районов и болезней имеется достоверная картина заболеваемости в

связи со значительной недообследованностью населения арктических поселков и недоступностью медицинской помощи и лабораторной диагностики заболеваний [Бобырева и др., 2016; Ватлина и др., 2019]. Кроме того, сравнение данных по заболеваемости отдельными природноочаговыми болезнями часто бывает ограничено разницей в системах отчетности и нормативных документах разных стран, поэтому для более точных оценок в дальнейшем необходима стандартизация показателей [Omazic et al., 2019a].

В целом, целенаправленные комплексные медико-географические исследования, посвященные Арктике, довольно немногочисленны. Настоящий обзор посвящен проблеме распространения природноочаговых болезней в Арктическом регионе и возможном влиянии на них изменений климата. Задачами обзора являются выявление круга природноочаговых болезней, представляющих опасность для жителей северных регионов, их география, определение взаимосвязей с факторами среды, а также прогноз возможных изменений нозоареалов болезней в связи с глобальным потеплением климата.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа отбирались публикации, содержащие информацию о географии природноочаговых болезней в Российской и зарубежной Арктике, влиянии глобальных изменений климата на возможное расширение ареалов болезней, моделирование и прогноз эпидемиологической ситуации. Поиск публикаций на английском языке осуществлялся по ключевым словам: arctic region; infections; zoonoses, climate change на платформах Pubmed [Pubmed.gov..., 2021] и ScienceDirect [ScienceDirect..., 2021]. Поиск публикаций на русском языке – по ключевым словам: Арктика, природноочаговые болезни, зоонозы, изменения климата, а также по названиям отдельных болезней на платформах e-library [eLibrary.ru..., 2021] и «КиберЛенинка» [Научная..., 2021]. Рассматривались публикации с 1998 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно проведенному анализу, к числу наиболее упоминаемых в литературе природноочаговых болезней арктических регионов можно отнести 18 нозоформ. В настоящее время внимание исследователей в Арктике в целом привлекают в первую очередь такие природноочаговые инфекции и инвазии, как [Беэр, 2005; Dupouy-Camet et al., 2017; Parkinson et al., 2014; Pakharukova, Mordvinov, 2016]:

а) бактериальные: бруцеллез (*Brucella spp.*), туляремия (*Francisella tularensis*), сибирская язва

(*Bacillus anthracis*), лептоспирозы (*Leptospira spp.*), ботулизм (*Clostridium botulinum*), иксодовые клещевые боррелиозы (*Borrelia spp.*);

б) протозойные: токсоплазмоз (*Toxoplasma gondii*), лямблиоз (жиариаз) (*Giardia spp.*), криптоспоридиоз (*Cryptosporidia spp.*);

в) гельминтозы: трихинеллезы (*Trichinella spp.*), эхинококкоз (*Echinococcus granulosus*), альвеококкоз (*E. multilocularis*), токсокароз (*Toxocara canis*), дифиллоботриозы (*Diphyllobothrium sp.*), описторхоз (*Opisthorchs felineus*);

г) вирусные: бешенство, хантавирусные инфекции и клещевой энцефалит.

Анализ литературы и собственные исследования [Медико-географический..., 2017; Malkhazova et al., 2020] позволили отобрать для анализа ситуации десять наиболее важных природноочаговых нозоединиц, актуальных для Российской и зарубежной Арктики, а именно: туляремия, сибирская язва, лептоспирозы, трихинеллез, описторхоз, дифиллоботриозы, эхинококкозы, клещевой энцефалит, иксодовые клещевые боррелиозы, геморрагическая лихорадка с почечным синдромом.

Распространение природноочаговых болезней в Арктике. Туляремия. Одной из наиболее опасных природноочаговых болезней, имеющих в том числе в северных регионах мира, является туляремия. Очаги туляремии широко распространены на Аляске, где сероположительными являются до 50% животных и до 18% людей [Hansen et al., 2011], в Скандинавии и России. В Швеции туляремия распространена повсеместно, а наиболее пораженными территориями являются северные районы [Desvars et al., 2015]. Несмотря на то что были описаны случаи передачи туляремии через воду [Lindhusen Lindhé et al., 2017], преобладающим путем ее распространения в Швеции является трансмиссивный [Eliasson, Bäck, 2007]. Возбудитель передается через укусы комаров, клещей, слепней и других кровососущих членистоногих. В Российской Арктике наблюдается высокая активность природных очагов тундрового и пойменно-болотного типа. В 2016 г. отмечена вспышка (10 случаев) в Ненецком автономном округе, что позволило исследователям рассматривать имеющиеся там очаги как потенциально опасные и активные [Кудрявцева и др., 2017]. Несмотря на то что заболеваемость туляремией у людей носит спорадический характер и обычно не достигает высоких значений, каждый случай заболевания рассматривается как потенциально опасный ввиду тяжести заболевания.

Сибирская язва. Энзоотичные по сибирской язве территории (т. е. территории, на которых постоянно присутствует возбудитель болезни) по большей части приурочены к регионам с теплым климатом.

Однако существуют и крупные природные очаги, расположенные в северных регионах, в том числе и за Полярным кругом. К ним относятся Сибирь (полуострова Ямал и Таймыр), север и северо-запад Канады (например, заповедник Маккензи Байсон и национальный парк Вуд Баффало (северо-западные территории Канады)) [Salb et al., 2014; New et al., 2017]. На территории Арктики наиболее уязвимыми для сибирской язвы животными являются северные олени и овцебыки. Основная проблема заключается в опасности реактивации очагов сибирской язвы в связи с таянием вечной мерзлоты и обнажением старых скотомогильников на фоне прекращения вакцинации северных оленей [Ревич, 2020].

Лептоспирозы. Несмотря на то что в целом заболеваемость населения лептоспирозами в Арктическом регионе, как и во всей России, весьма незначительна и можно говорить лишь о спорадических случаях, их природные очаги существуют в ряде регионов Российской Арктики, в частности в Якутии, Мурманской и Архангельской областях [Кершенгольц и др., 2009; Дударев и др., 2017; Malkhazova et al., 2020]. Кроме того, лептоспирозы выявляются в арктическом регионе у собак и сельскохозяйственных животных [Токаревич, Стоянова, 2011; Zakharova et al., 2020], что повышает риск заболевания людей.

Бешенство. Согласно районированию очаговой территории бешенства [Сидоров и др., 2004] Российская Арктика относится к Арктическому природноочаговому региону, где эта инфекция имеет ряд своеобразных черт, главной из которых является циркуляция особого антигенного варианта тундрового бешенства – дикования. При этом заболеваемость людей в регионе практически отсутствует, что может быть связано с редкостью контактов человека с песцами и невысокой патогенностью арктического варианта вируса для людей [Медико-географический..., 2017]. Очаги бешенства существуют в большинстве зарубежных арктических регионов. Эпидемиология и эпизоотология бешенства, по-видимому, имеют общие для всей Арктики характеристики, но из-за труднодоступности значительной части районов многие вопросы этой инфекции остаются неизученными [Mørk, Prestrud, 2004].

Бруцеллез – повсеместно распространенная болезнь, вызываемая группой бактерий из рода *Brucella*, поражающая, главным образом, сельскохозяйственных животных, от которых заражается человек. Циркуляция бруцелл в дикой природе изучена недостаточно, хотя достоверно известно, что они в состоянии существовать в природных экосистемах без участия сельскохозяйственных животных [Медико-географический..., 2017]. Бруцеллез встречается в популяциях овцебыков и диких север-

ных оленей на Аляске [Hueffer et al., 2013] и севере Канады [Tomaselli et al., 2019]. Имеются данные о наличии бруцелл у морских млекопитающих на севере Европы и возможности их передачи человеку во время охоты на них [Sonne et al., 2018]. В Российской Арктике и, в частности, на Таймыре отмечается высокая пораженность бруцеллезом диких и домашних северных оленей, а также плотоядных животных, контактирующих с ними [Лайшев и др., 2015].

Гельминтозы и протозоозы. Представители арктических сообществ подвергаются повышенному риску заражения природноочаговыми паразитарными заболеваниями. Паразитозы, вызванные как гельминтами, так и простейшими, являются относительно распространенными болезнями в арктических сообществах по всему миру. В инуитских общинах в канадской Арктике было проведено серологическое исследование на четыре паразитарных зооноза. Определялись антитела к *Toxocara canis*, *Echinococcus granulosus*, *Trichinella sp.* и *Toxoplasma gondii*. Наиболее часто среди коренного населения встречались антитела к токсоплазме и трихинелле (27,2 и 18,6% соответственно). Сероположительность коррелировала с возрастом, образованием исследуемых и потреблением ими морских млекопитающих и морепродуктов [Goyette et al., 2014]. Таким образом, по различным исследованиям токсоплазмоз является наиболее распространенным протозоозом, поражающим население канадской Арктики [McDonald et al., 1990; Messier et al., 2009], тогда как *Trichinella* и *Echinococcus* являются одними из наиболее распространенных гельминтов [Hotez, 2010].

Широкое использование собак обуславливает риск заражения токсокарозом [Jenkins et al., 2011] и эхинококкозом. Значительная распространенность трихинеллеза и других гельминтозов, передающихся через пищу, – это результат употребления не всегда хорошо прожаренного или проваренного мяса диких животных, как наземных, так и морских млекопитающих (например, моржа), а также рыбы и птиц [Hotez, 2010]. При этом заражение трихинеллезом через мясо самого крупного арктического млекопитающего – белого медведя (*Ursus maritimus*) – происходит довольно редко по сравнению с многочисленными случаями трихинеллеза человека, связанными с потреблением мяса черных (*U. americanus*) или бурых медведей (*U. arctos*). Распространенность *Trichinella* у медведей довольно высока, но у белых медведей по сравнению с другими их видами в мышцах оказывается гораздо меньше личинок. Поэтому белые медведи играют ограниченную роль в передаче трихинеллеза людям, так как местные жители, живущие в Арктике, традици-

онно потребляют хорошо приготовленное медвежье мясо, а путешественники и иностранные охотники имеют ограниченный доступ к этим охраняемым видам [Duroy-Camet et al., 2017].

Формирование очагов трихинеллеза в Арктике у животных, населяющих острова Полярного бассейна, в частности белого медведя и морских млекопитающих, относительно изолированных от материковой зоны, свидетельствует о постоянной циркуляции возбудителя в этой зоне. Из-за того что животные являются объектами промысловой охоты, арктический трихинеллез, несомненно, представляет угрозу для населения данного региона [Успенский, 2007]. Передача инвазии между белыми медведями и морскими млекопитающими, в частности моржами, может осуществляться как путем хищничества, так и при поедании падали, а также предполагается возможность заражения животных через помет хищных птиц, гидробионтов, через трупы ездовых собак, тушки пушных зверей, выброшенных в море. Миграции животных способствуют разносу инвазии на большие расстояния, при этом в паразитарную систему через трофические связи могут вовлекаться и другие представители животного населения Арктики – песцы, лемминги, волки и даже изредка северные олени. Одним из самых зараженных трихинеллами животных считается россомаха вследствие ее предпочтения питаться падалью.

Учитывая, что передача инвазии осуществляется при крайне низких температурах, предполагается, что географический изолят трихинелл, циркулирующий в данном регионе, обладает высокой резистентностью к низким температурам [Успенский, 2007].

Заболееваемость инфекциями, передаваемыми через рыбу, в арктическом регионе невысока, однако в речных бассейнах существуют очаги дифиллоботриозов и описторхоза [Поморцев, 2002; Беэр, 2005; Duroy-Camet, Peduzzi, 2004; Scholz et al., 2009; Pakharukova, Morgvinov, 2016]. Наиболее высокие показатели заболеваемости дифиллоботриозами отмечаются в северных районах Сибири – Якутии, Таймыре, Ямало-Ненецком АО, где в некоторых районах среднегодовое число случаев превышает 1000, а заболеваемость составляет более 150 человек на 100 тыс. населения. В Европейской России наиболее проблемный регион по дифиллоботриозу, вызываемому лентецом широким, – Ненецкий автономный округ, характеризующийся высокой (более 150 на 100 тыс. населения) заболеваемостью [Медиико-географический..., 2017]. Так, доля дифиллоботриоза в структуре паразитарной заболеваемости людей в Ненецком АО в 2013 г. составляла 10,4% [Бобырева и др., 2016].

Подавляющая часть нозоареала кошачьего описторхоза находится на территории России, при этом

наиболее проблемным регионом является Обь-Иртышский бассейн. Описторхоз эндемичен на всей протяженности Оби и Иртыша, включая северные районы, при этом ситуация в Ямало-Ненецком автономном округе считается весьма напряженной [Медиико-географический..., 2017]. Среднегодовая заболеваемость описторхозом в нем составляет 279,8 на 100 тыс. населения. Возбудитель описторхоза является холодоустойчивым организмом и способен проникать далеко на север. Хотя на севере региона популяции промежуточных хозяев описторхоза – моллюсков рода *Codiella* – немногочисленны, они способны поддерживать передачу возбудителя в течение трех летних месяцев [Беэр, 2005].

Клещевые инфекции. Северная граница ареала клещевых инфекций – вирусного клещевого энцефалита (КЭ) и иксодовых клещевых боррелиозов (ИКБ) – в настоящее время проходит за пределами границ Арктики [Медиико-географический..., 2017]. Однако имеются данные о возможном продвижении этих границ на север, поэтому южная часть Арктического региона может попасть в зону потенциального риска передачи этих инфекций. Уже установлено существенное продвижение иксодовых клещей на север Республики Коми и Архангельской области [Tokarevich et al., 2011; Tokarevich et al., 2017]. В Северной Норвегии вирус клещевого энцефалита был обнаружен на широте 65,1° с. ш. [Soleng et al., 2018]. Для территории Швеции достаточно давно было показано существенное продвижение границ ареала клещей на север, увеличение их численности и плотности популяций [Talleklint, Jaenson, 1998].

В странах Северной Европы и в Северной Америке большое внимание уделяется иксодовым клещевым боррелиозам (в Северной Америке это заболевание носит название болезни Лайма). На территории Финляндии исследования видового состава и численности клещей в северной части побережья Ботнического залива вблизи северной границы ареала *I. persulcatus* показали высокую численность таежных клещей и их значительную зараженность боррелиями нескольких видов с часто встречающейся коинфекцией, когда в одном переносчике встречаются несколько видов возбудителя [Pakanen et al., 2020].

В настоящее время риск передачи боррелий в северной Норвегии считается низким, хотя изредка возбудителя изолируют от иксодовых клещей, северная граница ареала которых чуть не доходит до Полярного круга [Hvidsten et al., 2014; Soleng et al., 2017].

Имеются указания на то, что в циркуляции боррелий в природных очагах Северной Европы активное участие принимают морские птицы [Olsen et al., 1995]. Так, боррелии были выделены в се-

верной Норвегии [Larsson et al., 2007] из клещей, собранных в колонии морских птиц на побережье Баренцева моря. Сходные данные были получены и в Северной Америке (Ньюфаундленд, Юкон). При этом указывается, что клещи могут переноситься перелетными птицами довольно далеко на север, включая территории за пределами нозоареала болезни Лайма [Smith et al., 2006], однако их роль в функционировании очагов боррелиозов не выяснена. Представляется важным, что установлен сам факт возможности переноса птицами клещей, в том числе и зараженных боррелиями, на большие расстояния в высокие широты [Scott, 2016].

Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС). Как и клещевые инфекции, ГЛПС распространена, главным образом, за пределами Арктики [Медико-географический..., 2017]. Однако в последние годы стало появляться много сообщений о вспышках в северных регионах России и Европы, хотя риск заболевания людей не оценивается как высокий [Pettersson et al., 2008; Савицкая и др., 2020]. Возбудителями ГЛПС являются хантавирусы, среди которых наиболее распространенным в Центральной и Северной Европе, а также в России является вирус Пуумала (PUUV). В природе хозяином PUUV является рыжая полевка (*Myodes glareolus*), а передача человеку происходит при вдыхании аэрозолей с экскрементами грызунов.

Влияние климатического фактора на расширение ареалов возбудителей, переносчиков и носителей природноочаговых болезней. Достаточно давно установилось представление о том, что климатические изменения могут приводить к сдвигам границ распространения возбудителей, носителей и переносчиков природноочаговых болезней [Kutz et al., 2005]. Существует опасение, что изменение климата может способствовать пространственно-временному перераспределению целого ряда инфекционных заболеваний. Некоторые авторы называют такие патологии климаточувствительными [Omazic et al., 2019a], определяя их как инфекционные заболевания, которые географически ограничиваются климатическими факторами. Следовательно, они могут менять границы нозоареалов в связи с изменением климата. Общие знания о последствиях изменения климата и стратегиях адаптации возбудителей, переносчиков и носителей болезней значительно расширились за последние годы. Однако все еще существует значительный информационный пробел в знаниях о влиянии изменения климата на инфекционные заболевания и способах выявления его последствий [Omazic et al., 2019b].

За последние несколько десятилетий Арктика существенно прогрелась, значительно опережая другие регионы мира [IPCC..., 2013; Overland et al.,

2017; Ревич, 2020]. Метеорологические параметры, наиболее очевидными из которых являются температура, влажность и колебания продолжительности сезонов, влияют на скорость развития, выживания и размножения возбудителей и переносчиков болезней, а более высокие температуры могут также позволить зараженным носителям инфекций более успешно переживать неблагоприятный период года, тем самым увеличивая численность популяций и расширяя ареал вида. Изменение этих параметров может повлиять на пригодность мест обитания носителей и переносчиков, показатели их воспроизводства, распределение и численность. Таким образом, климатические изменения могут способствовать распространению природноочаговых и других инфекционных заболеваний дальше на север. Однако масштаб этих изменений и их отражение в показателях заболеваемости людей в настоящее время еще не оценены.

Для России, так же как и для других арктических регионов, характерны проблемы, связанные с влиянием изменений климата на здоровье людей. Изменение климата в Российской Арктике более выражено, чем в любой другой части страны. Между 1955 и 2000 гг. среднегодовая температура воздуха на Русском Севере увеличилась на 1,28°C [Revich, Tokarevich, 2012]. Повышение среднегодовых температур и разогрев поверхности привел к увеличению температуры верхнего слоя вечной мерзлоты, что вызвало ее таяние. В связи с изменением климата увеличивается риск возникновения зоонозных инфекционных заболеваний, наиболее важными из которых следует считать клещевой энцефалит, туляремию, бруцеллез, лептоспирозы, бешенство и сибирскую язву.

Климатические изменения могут вызывать различные трансформации паразитарных систем и их отдельных элементов. Реакции на потепление климата имеющихся и вновь возникающих возбудителей в арктических системах можно обобщить следующим образом [Hoberg et al., 2008].

1. Изменения в численности возбудителей и их хозяев:

- увеличение скорости развития для свободноживущих стадий или промежуточных хозяев в результате повышения среднесуточных температур;
- сокращение времени развития возбудителей, например переход от многолетних циклов к однолетним или от однократного к многократному размножению в течение года;
- изменение (увеличение или уменьшение) показателей выживаемости возбудителей, связанное с состоянием окружающей среды;
- увеличение длительности благоприятного сезона для развития и распространения возбудителей

в результате более раннего наступления весны и более позднего – осени.

2. Изменения ареалов возбудителей и их хозяев:
– сдвиги границ ареалов возбудителей и их хозяев, включая широтные и/или высотные смещения;
– расширение ареалов возбудителей и их адаптация к новым видам хозяев;
– изменение фенологии носителей и переносчиков, приводящее к изменениям сроков миграций;
– исчезновение некоторых популяций сочленов паразитарных систем в связи с появлением условий, несовместимых с их существованием.

3. Микроэволюционные ответы:
– локальная адаптация возбудителей к новым хозяевам;
– генетические изменения у возбудителей, появление новых генетических вариантов.

4. Кумулятивные/синергетические ответы:
– разрушение механизмов экологической изоляции, способствующих обмену фауной между прежде изолированными экосистемами;
– усиление эффекта взаимодействия возбудителей и хозяев, влияющее на структуру паразитарных систем;
– географическая мозаичность или появление эфемерных очагов болезней в связи с локальными климатическими флуктуациями.

Для теплокровных животных, их патогенов и членистоногих переносчиков, обитающих в Арктике, достаточно незначительных климатических сдвигов для изменения жизненных циклов и структуры паразитарных систем [Strathdee, Bale, 1998; Hoberg et al., 2008]. Следует отметить, что эти связи часто оказываются очень сложными, и действие климатических и экологических факторов часто усугубляется социально-экономическими причинами [Hedlund et al., 2014].

Можно привести значительное число примеров исследований связи конкретных природноочаговых заболеваний с климатическими факторами.

Туляремия. Как уже указывалось, в Швеции основным путем передачи туляремийного микроба является трансмиссивный [Eliasson, Bäck, 2007]. Подавляющее большинство случаев, передающихся человеку членистоногими, питающимися кровью, происходит в течение летнего сезона и связано с повышением температуры. Поэтому предполагается, что изменение климата может оказывать влияние на численность и местообитание переносчиков. Следовательно, изменения климата, вероятно, могут оказать влияние на характер передачи туляремии.

Для эндемичных по туляремии районов Швеции была построена модель, использующая один из сценариев изменения климата и прогнозирующая возможные вспышки инфекции на основе имеющихся

данных о температурах, критичных для передачи туляремии [Rydén et al., 2009]. Используемый сценарий предполагает увеличение среднемесячных летних температур примерно на 2°C, что приводит к увеличению продолжительности эпидемических вспышек в диапазоне от 3,5 до 6,6 недель между 2010 и 2100 гг. Имеющиеся сценарии не предполагают увеличения уровня осадков, поэтому при этом не стоит ожидать существенного увеличения количества переносчиков. Исходя из предположения, что в передаче туляремии в арктических районах значительную роль играют комары, [Rydén et al., 2012] разработали статистическую модель для исследования взаимосвязи между параметрами окружающей среды, обилием комаров и туляремией в Швеции в 1981–2007 гг. Холодные малоснежные зимы оказались связанными с меньшим количеством случаев туляремии в последующий год, в то время как теплые летние температуры в предыдущем году были связаны с увеличением числа случаев.

Также была предпринята попытка сравнить заболеваемость туляремией в Швеции со значениями индекса североатлантической осцилляции (NAO) [Palo et al., 2005]. Низкие значения этого индекса, указывающие на холодные зимы и малый расход воды в реках в течение предстоящего лета, были связаны с большим количеством случаев заболевания человека туляремией через два года. При этом не удалось установить корреляцию численности зайца-беляка (одного из наиболее чувствительных к возбудителю туляремии видов млекопитающих) ни со случаями туляремии, ни со значениями индекса NAO. Поэтому причинно-следственную связь в этом случае установить не удалось, и авторы в целом не ожидают, что возможное увеличение индекса NAO при будущем более теплом климате обусловит более высокую частоту вспышек туляремии в Швеции.

Сибирская язва. Влияние повышения температуры на возможность реактивации очагов сибирской язвы исследовалось в различных северных регионах. Следует отметить, что, как и для большинства других природноочаговых болезней, непосредственное воздействие климатических параметров на возбудителей не является единственной причиной происходящих изменений эпидемиологической обстановки. В случае сибирской язвы, климатический фактор может оказывать влияние на распределение скота, биоразнообразие копытных и почвенно-водный баланс в зонах существования сибирезвенных захоронений [Walsh et al., 2018].

Относительно теплый летний период создает подходящие условия для размножения и распространения возбудителя сибирской язвы. В 2016 г. в ЯНАО произошла крупнейшая за последние 30 лет

эпизоотия сибирской язвы в России. В результате контактов с больными животными заболело 36 человек [Попова и др., 2016]. Предполагается, что одной из причин вспышки послужила аномально высокая дневная температура воздуха (29–34°C), что способствовало увеличению глубины сезонного таяния многолетней мерзлоты и перемещению спор сибиреязвенного микроба из глубинных слоев к поверхности почвы с межмерзлотными водами. Увеличение численности кровососущих насекомых, а также негативное воздействие жары на иммунную систему оленей на фоне прекращения вакцинации, очевидно, стали причиной массового заболевания северных оленей сибирской язвой. Таким образом, во многих случаях климатические изменения являются не единственной причиной возникновения эпидемий, однако очень часто являются их пусковым механизмом.

Лептоспирозы. Моделирование распространения лептоспирозов домашнего скота и диких животных было проведено методом экологической ниши на основе распространения случаев лептоспирозов домашнего скота и диких животных для территории Якутии [Zakharova et al., 2020]. Использован набор ландшафтных, климатических и социально-экономических переменных как для текущего, так и для прогнозируемого на 2041–2060 гг. климата. Модель показала, что наиболее важными факторами, влияющими на распространение лептоспирозов, были средняя температура самого теплого квартала, среднесуточная температура, тип земного покрова и высота над уровнем моря. Проведенное районирование территории показало, что в настоящее время северные районы Якутии находятся в зоне низкого риска, однако в некоторых из них, в соответствии со сценарием потепления климата, к 2060 г. прогнозируется повышение эпидемической опасности.

Клещевые инфекции. В последние десятилетия в ряде субарктических стран наблюдается рост заболеваемости клещевым энцефалитом (КЭ). Связь между климатическими факторами и распространением клещевого энцефалита была показана на примере многих исследований. На территории Швеции вблизи северной границы ареала КЭ [Lindgren, Gustafson, 2001] оценена связь некоторых метеорологических параметров с распространением КЭ. Методом множественной регрессии установлено, что повышенная заболеваемость КЭ была связана с двумя последовательными мягкими зимними сезонами, температурами, благоприятствующими раннему весеннему развитию и более продолжительной осенней активностью клещей в предыдущем году. Полученные данные указывают на то, что увеличение заболеваемости КЭ с середины 1980-х гг. связано с изменением в сторону более мягкой зимы

и раннего наступления весны. Возможно, на заболеваемость повлияли также и другие факторы, например увеличение численности населения в эндемичных районах и популяций животных-хозяев.

Для Архангельской области установлен рост заболеваемости клещевым энцефалитом в первое десятилетие XXI в. [Tokarevich et al., 2011]. Рост заболеваемости в 50 раз по сравнению с 1980–1989 гг. связывают с экспансией на север таежного клеща *Ixodes persulcatus* – основного переносчика вируса клещевого энцефалита, что, вероятно, могло быть связано с повышением как средней годовой температуры воздуха, так и температуры в период активности клещей.

Сходные результаты получены для Республики Коми, где был показан значительный рост распространенности вируса клещевого энцефалита в клещах за период с 1998 по 2011 г., и параллельный 23-кратный рост заболеваемости клещевым энцефалитом среди населения Республики Коми [Tokarevich et al., 2017]. При этом отмечен сдвиг числа зарегистрированных укусов клещей на север и увеличение сезона их активности с четырех до шести месяцев. Авторы связывают это с климатическими изменениями и указывают на значительную корреляцию между изменением температуры воздуха и заболеваемостью клещевым энцефалитом как в Архангельской области, так и в Республике Коми. Несмотря на то что в указанных работах рассматривалось ограниченное число факторов, могущих оказывать влияние на увеличение заболеваемости (инфицированность клещей вирусом КЭ, частота укусов клещей и такие метеорологические параметры, как среднегодовые температуры воздуха и количество осадков), довольно высокий коэффициент корреляции между показателями температуры и заболеваемости КЭ указывает на возможную связь между этими показателями. В целом для территории России отмечается некоторый сдвиг северной границы распространения иксодовых клещей, что подтверждается как их полевыми находками, так и участвовавшими обращениями населения в связи с полученными укусами [Revich et al., 2012].

Исследование, проведенное в Канаде в отношении боррелиозов, показало продвижение на север границы ареала белоногого хомячка (*Peromyscus leucopus*) – одного из главных резервуарных хозяев *Borrelia burgdorferi*, вызывающего в Северной Америке болезнь Лайма [Roy-Dufresne et al., 2013]. При помощи метода моделирования экологической ниши были определены климатические факторы, связанные со сдвигом распределения белоногого хомячка за последние 30 лет на северной периферии его ареала, и смоделировано текущее и прогнозируемое к 2050 г. распространение. Мягкая и более

короткая зима способствует продвижению животных на север. По прогнозам к 2050 г. граница ареала отодвинется еще на 3° широты, вплотную приблизившись к границе Арктики. Уже в настоящее время в регионах, где появился этот вид, увеличилась заболеваемость болезнью Лайма. Поэтому изменение ареала белоногого хомячка, как предполагается, может изменить и ареал *B. burgdorferi*, что повлияет на здоровье населения в северных регионах, которые еще не были подвержены болезни Лайма.

Сходные результаты были получены другой группой исследователей [Simon et al., 2014], которые рассматривали изменение ареала белоногого хомячка параллельно с продвижением на север искомого клеща *I. scapularis*. Прогнозируется к 2050 г. дальнейшее распространение *B. burgdorferi* примерно на 250–500 км со скоростью 3,5–11 км/год.

В Канаде для изучения потенциального распространения клеща *I. scapularis* на север, связанного с изменением климата, была предложена модель, основанная на нескольких существовавших на время подготовки публикации сценариях изменения климата [Ogden et al., 2006]. В рамках глобальных климатических моделей (канадской CGCM2 и британской HadCM3) рассматривались возможные изменения сумм активных температур за период выше 0°C, т. е. время активности клещей. Результаты моделирования показали возможность смещения северной границы распространения *I. scapularis* на север примерно на 200 км к 2020-м гг. и на 1000 км к 2080-м гг. Таким образом, на основе проведенного моделирования можно было предполагать, что фактическое расширение ареала *I. scapularis* может быть обнаружено в течение следующих двух десятилетий. Сезонная активность клещей в сценариях изменения климата соответствовала поддержанию эндемических циклов возбудителя болезни Лайма в новых популяциях клещей. Поэтому географический ареал болезней, переносимых *I. scapularis*, может значительно расшириться на север в результате изменения климата в этом столетии.

Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом. Попытки связать колебания численности носителей болезней с климатическими факторами предпринимались и для других природноочаговых инфекций, таких как геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС). Исследование распространения хантавируса PUUV в Норвегии показало, что для него характерны значительные сезонные и географические вариации, а также была обнаружена связь между плотностью популяции рыжих полевок и заболеваемостью людей [Milhano et al., 2017].

Крупная эпидемия ГЛПС на севере Швеции в 2007 г. (488 случаев, или 313 на 100 тыс. населения) показала, как природноочаговое заболевание

может внезапно привести к неожиданной и крупной вспышке болезни среди людей [Pettersson et al., 2008]. По всей видимости, возникновению эпидемии способствовали рост численности грызунов, более мягкая зимняя погода и слабый снежный покров. Несмотря на то что из-за недостаточного количества случаев заболевания статистическую связь подтвердить не удалось, авторы высказывают предположение о том, что климатический фактор мог играть в возникновении этой вспышки существенную роль, оказав влияние на размножение рыжей полевки.

Попытки установить корреляционную связь между климатическими параметрами и ГЛПС предпринимались неоднократно и другими исследователями. Так как известно, что для распространения хантавируса PUUV наиболее важным фактором является численность рыжей полевки, было предложено использовать анализ временных рядов для исследования взаимосвязи между эпидемией ГЛПС, индексом НАО (индекс североатлантической осцилляции, используемый в качестве прокси-фактора для оценки изменчивости климата) и динамикой популяций рыжих полевок в северной Швеции в 1959–1975 и 1985–2006 гг. [Palo, 2009]. Однако такая связь установлена не была, несмотря на включение в расчеты более длительных периодов исследования, которые могут выявлять долгосрочные тенденции, но не исследуют влияние отдельных переменных погоды, таких как температура или осадки.

ВЫВОДЫ

Природноочаговые болезни играют одну из ключевых ролей в формировании уровня здоровья населения Арктики, проживающего в существенно отличающейся от более южных территорий физической и социальной среде. Среди природных факторов, влияющих на здоровье населения северных регионов, ведущую роль играет климат, оказывающий существенное, а иногда определяющее влияние на формирование ареалов возбудителей, переносчиков и носителей природноочаговых болезней. Климатический фактор можно рассматривать как один из основных в формировании специфической медико-географической обстановки в северных регионах. Одним из наиболее интенсивно обсуждаемых вопросов распространения инфекционных и паразитарных болезней арктических и субарктических регионов является влияние потепления климата на фоне все большего накопления научных данных об опережающем другие регионы мира прогреве территории Арктики.

Можно предположить, что в связи с изменениями климата наиболее интенсивно будут продвигаться на север клещевые инфекции вслед за расширением

ареалов переносчиков и теплокровных носителей. Кроме того, не исключены новые вспышки туляремии, вызванные высокой численностью переносчиков (комаров и слепней), а также реактивация очагов сибирской язвы из-за деградации вечной мерзлоты и вытаивания скотомогильников.

Обобщение данных по болезням и патологиям арктического населения показало, что наиболее уязвимыми являются группы, которые живут в от-

даленных районах, где адаптация к климатическим изменениям является наиболее сложной из-за недостаточной экономической поддержки или отсутствия инфраструктуры.

В целом отмечается недостаточное количество исследований, рассматривающих распространение природноочаговых болезней в условиях меняющейся окружающей среды, в первую очередь именно для наиболее отдаленных регионов.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (научный проект № 18-05-60037); в рамках ГЗ 121051100137-4 «Пространственно-временная организация экосистем в условиях изменений окружающей среды» и Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Безр С.А. Биология возбудителя описторхоза. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2005. 336 с.
- Бобырева Н.С., Корнеева Я.А., Дегтева Г.Н. Анализ заболеваемости паразитогами в Ненецком автономном округе // Гигиена и санитария. 2016. № 2. С. 157–162.
- Ватлина Т.В., Тимонин С.А., Малхазова С.М. Пространственный анализ сферы медицинского обслуживания в Арктической зоне Российской Федерации // Природа и общество: в поисках гармонии. 2019. № 5. С. 32–44.
- Дударев А.А., Горбанев С.А., Фридман К.Б. Сотрудничество ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» в рамках международных проектов в области гигиены окружающей среды Арктики // Гигиена и санитария. 2017. № 96(7). С. 601–606. DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-7-601-606.
- Кершенгольц Б.М., Чернявский В.Ф., Репин В.Е., Никифоров О.И., Софронова О.Н. Влияние глобальных климатических изменений на реализацию потенциала инфекционных заболеваний населения в Российской Арктике (на примере Якутии). Обзор // Экология человека. 2009. № 6. С. 34–39.
- Кудрявцева Т.Ю., Попов В.П., Мокриевич А.Н., Мазепа А.В., Окунев Л.П., Холин А.В., Куликалова Е.С., Храмов М.В., Дятлов И.А., Транквилевский Д.В. Эпидемиологический и эпизоотологический анализ ситуации по туляремии в Российской Федерации в 2016 г., прогноз на 2017 г. // Проблемы особо опасных инфекций. 2017. № 2.
- Лайшев К.А., Забродин В.А., Прокудин А.В., Самандас А.М. Оценка эпизоотической ситуации в популяциях диких северных оленей Арктической зоны РФ (обзор литературы) // Актуальные вопросы ветеринарной биологии. 2015. № 4(28). С. 38–44.
- Медико-географический атлас России «Природноочаговые болезни» / под ред. С.М. Малхазовой / Т.В. Ватлина, Т.В. Котова, С.М. Малхазова и др., 2-е изд. М.: Географический факультет МГУ, 2017. 216 с.
- Попова А.Ю., Демина Ю.В., Ежлова Е.Б., Куличенко А.Н., Рязанова А.Г., Малеев В.В., Плоскирева А.А., Дятлов И.А., Тимофеев В.С., Нечепуренко Л.А., Харьков В.В. Вспышка сибирской язвы в Ямало-Ненецком автономном округе в 2016 году, эпидемиологические особенности // Проблемы особо опасных инфекций. 2016. № 4. С. 42–46. DOI: 10.21055/0370-1069-2016-4-42-46.
- Ревич Б.А. Риски здоровья населения при изменении климата Арктического макрорегиона // Науч. тр.: Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. 2020. № 18. С. 395–408.
- Савицкая Т.А., Иванова А.В., Исаева Г.Ш., Решетникова И.Д., Трифонов В.А., Зиятдинов В.Б., Серова И.В., Сафронов В.А. Оценка эпидемиологической ситуации по геморрагической лихорадке с почечным синдромом в мире и России, прогноз на 2020 г. // Проблемы особо опасных инфекций. 2020. № 2. С. 62–70.
- Сидоров Г.Н., Полещук Е.М., Сидорова Д.Г. Природные очаги бешенства в России в XX – начале XXI веков // Ветеринарная патология. 2004. № 3(10). С. 86–101.
- Токаревич Н.К., Стоянова Н.А. Эпидемиологические аспекты антропогенного влияния на эволюцию лептоспирозов // Инфекция и иммунитет. 2011. № 1(1). С. 67–76.
- Desvars A., Furberg M., Hjertqvist M., Vidman L., Sjöstedt A., Rydén P., Johansson A. Epidemiology and Ecology of Tularemia in Sweden, 1984–2012. *Emerging Infectious Diseases*, 2015, vol. 2, no. 1, p. 32–39, DOI: 10.3201/eid2101.140916.
- Dupouy-Camet J., Bourée P., Yera H. Trichinella and polar bears: A limited risk for humans, *Journal of Helminthology*, 2017, vol. 9, no. 4, p. 440–446, DOI: 10.1017/S0022149X17000219.
- Eliasson H., Bäck E. Tularaemia in an emergent area in Sweden: An analysis of 234 cases in five years. *Scandinavian Journal of Infectious Diseases*, 2007, vol. 39, no. 10, p. 880–889, DOI: 10.1080/00365540701402970.
- Goyette S., Cao Z., Libman M., Ndao M., Ward B.J. Sero-prevalence of parasitic zoonoses and their relationship with social factors among the Canadian Inuit in Arctic regions, *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 2014, vol. 78, no. 4, p. 404–410, DOI: 10.1016/j.diagmicrobio.
- Hansen C.M., Vogler A.J., Keim P., Wagner D.M., Hueffer K. Tularemia in Alaska, 1938–2010, *Acta veterinaria Scandinavica*, 2011, vol. 53, no. 1, p. 61, DOI: 10.1186/1751-0147-53-61.

- Hedlund C., Blomstedt Y., Schumann B. Association of climatic factors with infectious diseases in the Arctic and subarctic region – a systematic review, *Global Health Action*, 2014, no. 7, p. 24161, DOI: 10.3402/gha.v7.24161.
- Hoberg E.P., Polley L., Jenkins E.J., Kutz S.J., Veitch A.M., Elkin B.T. Integrated approaches and empirical models for investigation of parasitic diseases in northern wildlife *Emerging Infectious Diseases*, 2008, vol. 14, no. 1, p. 10–17, DOI: 10.3201/eid1401.071119.
- Hotez P.J. Neglected Infections of Poverty among the Indigenous Peoples of the Arctic. *PLoS Negl Trop Dis*, 2010, vol. 4, no. 1, p. e606, DOI: 10.1371/journal.pntd.0000606.
- Hueffer K., Parkinson A.J., Gerlach R., Berner J. Zoonotic infections in Alaska: disease prevalence, potential impact of climate change and recommended actions for earlier disease detection, research, prevention and control, *International Journal of Circumpolar Health*, 2013, vol. 72, no. 1, DOI: 10.3402/ijch.v72i0.19562.
- IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds.), Cambridge University Press, 2013, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
- Kutz S.J., Hoberg E.P., Polley L., Jenkins E.J. Global warming is changing the dynamics of Arctic host-parasite systems. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2005, vol. 272, no. 1581, p. 2571–2576.
- Larsson C., Comstedt P., Olsen B., Bergström S. First record of Lyme disease *Borrelia* in the Arctic. *Vector Borne Zoonotic Diseases*, 2007, vol. 7, no. 3, p. 453–256, DOI: 10.1089/vbz.2006.0644.
- Lindgren E., Gustafson R. Tick-borne encephalitis in Sweden and climate change, *Lancet*, 2001, Jul 7, vol. 358, no. 9275, p. 16-8, DOI: 10.1016/S0140-6736(00)05250-8.
- Lindhusen Lindhé E., Hjertqvist M., Wahab T. Outbreak of tularaemia connected to a contaminated well in the Västra Götaland region in Sweden, *Zoonoses and Public Health*, 2017, vol. 65, no. 1, DOI: 10.1111/zph.12382.
- Malkhazova S., Pestina P., Prasolova A., Orlov D. Emerging natural focal infectious diseases in Russia: A medical-geographical study, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 21.
- Milhano N., Korlund L., Evander M., Ahlm C., Vainio K., Dudman S., Andreassen A.K. Circulation and diagnostics of Puumala virus in Norway: Nephropatia epidemica incidence and rodent population dynamics. *APMIS: acta pathologica, microbiologica, et immunologica Scandinavica*, 2017, no. 125, DOI: 10.1111/apm.12712.
- Mørk T., Prestrud P. Arctic rabies – a review. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2004, vol. 45, no. 1–2, p. 1–9, DOI: 10.1186/1751-0147-45-1.
- New D., Elkin B., Armstrong T., Epp T. Anthrax in the Mackenzie wood bison (*Bison bison athabasca*) population: 2012 anthrax outbreak and historical exposure in nonoutbreak years, *Journal of Wildlife Diseases*, 2017, vol. 53, no. 4, p. 769–780, DOI: 10.7589/2016-11-257.
- Ogden N.H., Maarouf A., Barker I.K., Bigras-Poulin M., Lindsay L.R., Morshed M.G., O'Callaghan C.J., Ramay F., Waltner-Toews D., Charron D.F. Climate change and the potential for range expansion of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in Canada, *International Journal for Parasitology*, 2006, vol. 36, no. 1, p. 63–70, DOI: 10.1016/j.ijpara.2005.08.016.
- Olsen B., Duffy D.C., Jaenson T.G., Gylfe Å., J Bonnedahl J., Bergström S. Transhemispheric exchange of Lyme disease spirochetes by seabirds, *Journal of Clinical Microbiology*, 1995, vol. 33, p. 3270–3274.
- Omazic A., Bylund H., Boqvist S., Högberg A., Björkman C., Tryland M., Evengård B., Koch A., Berggren C., Malogolovkin A., Kolbasov D., Pavelko N., Thierfelder T., Albiñ A. Identifying climate-sensitive infectious diseases in animals and humans in Northern regions, *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2019a, vol. 61, p. 61–53, DOI: 10.1186/s13028-019-0490-0.
- Omazic A., Berggren C., Thierfelder T., Koch A., Evengård B. Discrepancies in data reporting of zoonotic infectious diseases across the Nordic countries – a call for action in the era of climate change, *International Journal of Circumpolar Health*, 2019b, vol. 78, 1601991, DOI: 10.1080/22423982.2019.1601991.
- Pakanen V.M., Sormunen J.J., Sippola E., Blomqvist D., Kallio E.R. Questing abundance of adult taiga ticks *Ixodes persulcatus* and their *Borrelia* prevalence at the north-western part of their distribution, *Parasites and Vectors*, 2020, vol. 13, no. 1, p. 384, DOI: 10.1186/s13071-020-04259-z.
- Pakharukova M.Y., Mordvinov V.A. The liver fluke *Opisthorchis felineus*: biology, epidemiology and carcinogenic potential. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 2016, vol. 110, no. 1, p. 28–36, DOI: 10.1093/trstmh/trv085, PMID: 26740360.
- Palo R.T. Time series analysis performed on nephropatia epidemica in humans of northern Sweden in relation to bank vole population dynamic and the NAO index, *Zoonoses and Public Health*, 2009, vol. 56, no. 150, p. 6.
- Palo R., Ahlm C., Tärnvik A. Climate variability reveals complex events for tularemia dynamics in man and mammals, *Ecology and Society*, 2005, vol. 10, no. 1, p. 22.
- Parkinson A.J., Evengard B., Semenza J.C., Ogden N., Børresen M.L., Berner J., Brubaker M., Sjöstedt A., Evander M., Hondula D.M., Menne B., Pshenichnaya N., Gounder P., Larose T., Revich B., Hueffer K., Albiñ A. Climate change and infectious diseases in the Arctic: establishment of a circumpolar working group, *International Journal of Circumpolar Health*, 2014, vol. 73, iss. 1, p. 25163, DOI: 10.3402/ijch.v73.25163.
- Petersson L., Boman J., Juto P., Evander M., Ahlm C. Outbreak of Puumala virus infection, Sweden, *Emerging Infectious Diseases*, 2008, vol. 14, no. 5, p. 808–810, DOI: 10.3201/eid1405.071124.
- Revich B.A., Tokarevich N.K., Parkinson A.J. Climate change and zoonotic infections in the Russian Arctic [Assessment of the epidemiological situation for hemorrhagic fever with renal syndrome in the world and in Russia, forecast for 2020], *International Journal of Circumpolar Health*, 2012, vol. 71, p. 18792, DOI: 10.3402/ijch.v71i0.18792.
- Roy-Dufresne E., Logan T., Simon J.A., Chmura G.L., Millien V. Poleward Expansion of the White-Footed Mouse (*Peromyscus leucopus*) under Climate Change: Implications for the Spread of Lyme Disease, *PLoS One*, 2013, vol. 8, no. 11, p. e80724, DOI: 10.1371/journal.pone.0080724.
- Rydén P., Bjork R., Schafer M.L., Lundstrom J.O., Petersen B., Lindblom A., Forsman M., Sjöstedt A., Johansson A. Outbreaks of tularemia in a boreal forest region depends on mosquito prevalence, *Journal of Infectious Diseases*, 2012, vol. 205, p. 297–304.

- Rydén P., Sjöstedt A., Johansson A. Effects of climate change on tularaemia disease activity in Sweden, *Global Health Action*, 2009, vol. 2, DOI: 10.3402/gha.v2i0.2063.
- Salb A., Stephen C., Ribble C., Elkin B. Descriptive epidemiology of detected anthrax outbreaks in wild wood bison (*Bison bison athabasca*) in northern Canada, 1962–2008, *Journal of Wildlife Diseases*, 2014, vol. 50, no. 3, p. 459–468, DOI: 10.7589/2013-04-095.
- Scott J.D. Studies abound on how far north Ixodes scapularis ticks are transported by birds, *Ticks and Tick-Borne Diseases*, 2016, vol. 7, no. 2, p. 327–328, DOI: 10.1016/j.ttbdis.2015.12.001.
- Simon J.A., Marrotte R.R., Desrosiers N., Fiset J., Gaitan J., Gonzalez A., Koffi J.K., Lapointe F.J., Leighton P.A., Lindsay L.R., Logan T., Milord F., Ogden N.H., Rogic A., Roy-Dufresne E., Suter D., Tessier N., Millien V. Climate change and habitat fragmentation drive the occurrence of *Borrelia burgdorferi*, the agent of Lyme disease, at the northeastern limit of its distribution, *Evolutionary Applications*, 2014, vol. 7, no. 7, p. 750–764, DOI: 10.1111/eva.12165.
- Smith R.P.Jr., Muzaffar S.B., Lavers J., Lacombe E.H., Cahill B.K., Lubelczyk C.B., Kinsler A., Mathers A.J., Rand P.W. *Borrelia garinii* in seabird ticks (*Ixodes uriae*), Atlantic Coast, North America, *Emerging Infectious Diseases*, 2006, vol. 12, no. 12, p. 1909–1912, DOI: 10.3201/eid1212.060448.
- Soleng A., Edgar K.S., Paulsen K.M., Pedersen B.N., Okbaldet Y.B., Skjetne I.E.B., Gurung D., Vikse R., Andreassen Å.K. Distribution of *Ixodes ricinus* ticks and prevalence of tick-borne encephalitis virus among questing ticks in the Arctic Circle region of northern Norway, *Ticks and Tick Borne Diseases*, 2018, vol. 9, no. 1, p. 97–103, DOI: 10.1016/j.ttbdis.2017.10.002.
- Sonne C., Andersen-Ranberg E., Rajala E.L., Agerholm J.S., Bonfeld-Jørgensen E., Desforges J.P., Eulaers I., Jensen B.M., Koch A., Rosing-Asvid A., Siebert U., Tryland M., Mulvad G., Härkönen T., Acquarone M., Nordøy E.S., Dietz R., Magnusson U. Seroprevalence for *Brucella* spp. in Baltic ringed seals (*Phoca hispida*) and East Greenland harp (*Pagophilus groenlandicus*) and hooded (*Cystophora cristata*) seals, *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 2018, vol. 198, p. 14–18, DOI: 10.1016/j.vetimm.2018.02.005.
- Strathdee A.T., Bale J.S. Life on the edge: insect ecology in arctic environments, *Annual Review of Entomology*, 1998, vol. 43, p. 85–106.
- Tälleklint L., Jaenson T. Increasing Geographical Distribution and Density of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) in Central and Northern Sweden, *Journal of medical entomology*, 1998, vol. 35, iss. 4, p. 521–526, DOI: 10.1093/jmedent/35.4.521.
- Tokarevich N., Tronin A., Gnativ B., Revich B., Blinova O., Evengard B. Impact of air temperature variation on the ixodid ticks habitat and tick-borne encephalitis incidence in the Russian Arctic: the case of the Komi Republic, *International Journal of Circumpolar Health*, 2017, vol. 76, no. 1, 1298882. 13 p., DOI: 10.1080/22423982.2017.1298882.
- Tokarevich N.K., Tronin A.A., Blinova O.V., Buzinov R.V., Boltenev V.P., Yurasova E.D., Nurse J. The impact of climate change on the expansion of *Ixodes persulcatus* habitat and the incidence of tick-borne encephalitis in the north of European Russia, *Global Health Action*, 2011, vol. 4, 8448, DOI: 10.3402/gha.v4i0.8448.
- Tomaselli M., Elkin B., Kutz S., M., Elkin B., Kutz S., Harms N.J., Ingebjørg Nymo H., Davison T., Leclerc L.M., Branigan M., Dumond M., Tryland M., Checkley S. A Transdisciplinary Approach to *Brucella* in Muskoxen of the Western Canadian Arctic 1989–2016, *Ecohealth*, 2019, vol. 16, no. 3, p. 488–501, DOI: 10.1007/s10393-019-01433-3.
- Walsh M.G., Smalen de A.W., Mor S.M. Climatic influence on anthrax suitability in warming northern latitudes, *Scientific Reports*, 2018, vol. 8, no. 1, 9269, DOI: 10.1038/s41598-018-27604-w.
- Zakharova O.I., Korennoy F.I., Toropova N.N., Burova O.A., Blokhin A.A. Environmental Risk of Leptospirosis in Animals: The Case of the Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation, *Pathogens*, 2020, vol. 9, p. 504, DOI: 10.3390/pathogens9060504.

Электронные ресурсы

- eLibrary.ru. Научная электронная библиотека. URL: <https://www.elibrary.ru/defaultx.asp> (дата обращения 13.03.2021).
- Научная электронная библиотека «КиберЛенинка». URL: <https://cyberleninka.ru> (дата обращения 10.03.2021).
- Pubmed.gov. National Library of Medicine. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> (дата обращения 03.03.2021).
- ScienceDirect. URL: <https://www.sciencedirect.com> (дата обращения 28.02.2021).
- Overland J.E., Hanna E., Hanssen-Bauer I., Kim S.-J., Walsh J.E., Wang M., Bhatt U.S., Thoman R.L. Surface Air Temperature, Arctic Report: Update for 2017. URL: <https://www.arctic.noaa.gov/Report-Card/Report-Card-2017/ArtMID/7798/ArticleID/700/> Surface-Air-Temperature (дата обращения 10.05.2020).

Поступила в редакцию 05.04.2021

После доработки 22.06.2021

Принята к публикации 27.07.2021

NATURAL FOCAL DISEASES IN THE ARCTIC UNDER CHANGING CLIMATE

S.M. Malkhazova¹, V.A. Mironova², I.Kh. Bashmakova³¹ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography, Professor, Head of Department, D.Sc. in Geography; e-mail: sveta_geo@mail.ru*² *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: mironova.va@gmail.com*³ *Institute for Atmospheric and Earth System Research (INAR), University of Helsinki, University Researcher; e-mail: iryna.bashmakova@helsinki.fi*

The review of 55 publications focuses on the problem of the spread of natural focal diseases in the Arctic region under the global climate change. The influence of factors of a changing environment on the functioning of the foci of natural focal diseases in the Arctic regions of Russia, Europe and North America is considered, as well as the issues of the northward shift of the areas of pathogens, their carriers and vectors in connection with climate warming, and the examples of outbreaks of natural focal diseases in the Arctic regions are given. The articles were selected on the Pubmed, ScienceDirect, e-Library and Cyberleninka platforms. The analysis of publications made it possible to identify 18 natural focal diseases, the most significant for the Russian and foreign Arctic. A survey of distribution in Russia and other countries with Arctic territories was carried out for ten of them. It might be supposed that tick-borne infections will move most intensively to the north under climate changes, following the expansion of vectors and warm-blooded carriers. In addition, new outbreaks of tularemia caused by high numbers of vectors (mosquitoes and horseflies) could not be excluded, as well as the reactivation of anthrax foci due to the degradation of permafrost and thawing of cattle burial grounds. Summarizing the data on diseases and pathologies of the Arctic population showed that the most vulnerable groups are those who live in remote areas, where adaptation to climate change is most difficult due to insufficient economic support or lacking infrastructure. In general, there are a limited number of studies considering the spread of natural focal diseases under the changing environment, particularly for the most remote regions.

Keywords: zoonoses, environmental factors, global climate change

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-05-60037). The research was carried out under the State Task 121051100137-4 “Spatio-temporal organization of ecosystems under environmental changes” and the Interdisciplinary Scientific and Educational School of the Lomonosov Moscow State University “Future Planet and Global Environmental Change”.

REFERENCES

- Be'er S.A. *Biologiya vzbudatelya opisthorkhoza* [Biology of the causative agent of opisthorchiasis], Moscow, Tovarischestvo nauchnyh izdaniy KMK Publ., 2005, 336 p. (In Russian)
- Bobyreva N.S., Korneeva Ya.A., Degteva G.N. Analiz zabolevaemosti parazitozami v Nenetskom avtonomnom okruge [Analysis of the incidence of parasitoses in the Nenets Autonomous Okrug], *Gigiena i sanitariya*, 2016, no. 2, p. 157–162. (In Russian)
- Desvars A., Furberg M., Hjertqvist M., Vidman L., Sjöstedt A., Rydén P., Johansson A. Epidemiology and Ecology of Tularemia in Sweden, 1984–2012, *Emerging Infectious Diseases*, 2015, vol. 2, no. 1, p. 32–39, DOI: 10.3201/eid2101.140916.
- Dudarev A.A., Gorbanev S.A., Fridman K.B. Sotrudnichestvo FBUN “Severo-Zapadnyj nauchnyj tsentr gigieny i obshchestvennogo zdorovya” v ramkah mezhdunarodnyh proektov v oblasti gigieny okruzhayushchey sredy Arktiki [Cooperation of the FBSI “North-West Scientific Center for Hygiene and Public Health” in the framework of international projects in the field of environmental hygiene in the Arctic], *Gigiena i sanitariya*, 2017, vol. 96, no. 7, p. 601–606, DOI: 10.18821/0016-9900-2017-96-7-601-606. (In Russian)
- Dupouy-Camet J., Bourée P., Yera H. Trichinella and polar bears: A limited risk for humans, *Journal of Helminthology*, 2017, vol. 9, no. 4, p. 440–446, DOI: 10.1017/S0022149X17000219.
- Eliasson H., Bäck E. Tularaemia in an emergent area in Sweden: An analysis of 234 cases in five years, *Scandinavian Journal of Infectious Diseases*, 2007, vol. 39, no. 10, p. 880–889, DOI: 10.1080/00365540701402970
- Goyette S., Cao Z., Libman M., Ndao M., Ward B.J. Sero-prevalence of parasitic zoonoses and their relationship with social factors among the Canadian Inuit in Arctic regions, *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 2014, vol. 78, no. 4, p. 404–410, DOI: 10.1016/j.diagmicrobio.
- Hansen C.M., Vogler A.J., Keim P., Wagner D.M., Hueffer K. Tularemia in Alaska, 1938–2010, *Acta veterinaria Scandinavica*, 2011, vol. 53, no. 1, p. 61, DOI: 10.1186/1751-0147-53-61.
- Hedlund C., Blomstedt Y., Schumann B. Association of climatic factors with infectious diseases in the Arctic and subarctic region – a systematic review, *Global Health Action*, 2014, no. 7, p. 24161, DOI: 10.3402/gha.v7.24161.
- Hoberg E.P., Polley L., Jenkins E.J., Kutz S.J., Veitch A.M., Elkin B.T. Integrated approaches and empirical models for investigation of parasitic diseases in northern wildlife *Emerging Infectious Diseases*, 2008, vol. 14, no. 1, p. 10–17, DOI: 10.3201/eid1401.071119.

- Hotez P.J. Neglected Infections of Poverty among the Indigenous Peoples of the Arctic, *PLoS Negl Trop Dis*, 2010, vol. 4, no. 1, p. e606, DOI: 10.1371/journal.pntd.0000606.
- Hueffer K., Parkinson A.J., Gerlach R., Berner J. Zoonotic infections in Alaska: disease prevalence, potential impact of climate change and recommended actions for earlier disease detection, research, prevention and control, *International Journal of Circumpolar Health*, 2013, vol. 72, no. 1, DOI: 10.3402/ijch.v72i0.19562.
- IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds.), Cambridge University Press, 2013, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
- Kershengots B.M., Chernyavskiy V.F., Repin V.E., Nikiforov O.I., Sofronova O.N. Vliyaniye global'nykh klimaticheskikh izmeneniy na realizatsiyu potentsiala infektsionnykh zabolevaniy naseleniya v Rossijskoj Arktike (na primere Yakutii). Obzor [The impact of global climate change on the realization of the potential of infectious diseases of the population in the Russian Arctic (the example of Yakutia). Overview], *Ekologiya cheloveka*, 2009, no. 6, p. 34–39. (In Russian)
- Kudryavtseva T.Yu., Popov V.P., Mokrievich A.N., Mazeпа A.V., Okunev L.P., Kholin A.V., Kulikalova E.S., Khramov M.V., Dyatlov I.A., Trankvilevskiy D.V. Epidemiologicheskii i epizootologicheskii analiz situatsii po tulyaremii v Rossiyskoy Federatsii v 2016 g., prognoz na 2017 g. [Epidemiological and epizootic analysis of the tularemia situation in the Russian Federation in 2016, forecast for 2017], *Problemy osobo opasnykh infektsiy*, 2017, no. 2. (In Russian)
- Kutz S.J., Hoberg E.P., Polley L., Jenkins E.J. Global warming is changing the dynamics of Arctic host-parasite systems, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2005, vol. 272, no. 1581, p. 2571–2576.
- Larsson C., Comstedt P., Olsen B., Bergström S. First record of Lyme disease *Borrelia* in the Arctic, *Vector Borne Zoonotic Diseases*, 2007, vol. 7, no. 3, p. 453–256, DOI: 10.1089/vbz.2006.0644.
- Layshev K.A., Zabrodin V.A., Prokudin A.V., Samandas A.M. Otsenka epizooticheskoy situatsii v populyatsiyah dikih severnykh oleney Arkticheskoy zony RF (obzor literatury) [Assessment of the epizootic situation in wild reindeer populations within the Arctic zone of the Russian Federation (literature review)], *Aktualnye voprosy veterinarnoy biologii*, 2015, vol. 4, no. 28. (In Russian)
- Lindgren E., Gustafson R. Tick-borne encephalitis in Sweden and climate change, *Lancet*, 2001, Jul 7, vol. 358, no. 9275, p. 16–8, DOI: 10.1016/S0140-6736(00)05250-8.
- Lindhusen Lindhé E., Hjertqvist M., Wahab T. Outbreak of tularaemia connected to a contaminated well in the Västra Götaland region in Sweden, *Zoonoses and Public Health*, 2017, vol. 65, no. 1, DOI: 10.1111/zph.12382.
- Malkhazova S., Pestina P., Prasolova A., Orlov D. Emerging natural focal infectious diseases in Russia: A medical-geographical study, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, vol. 17, no. 21. *Mediko-geograficheskii atlas Rossii Prirodnoochagovye bolezni*, 2-e izdanie [Medico-geographical atlas of Russia Natural focal diseases, 2nd edition], ed. by S.M. Malkhazova, T.V. Vatlina, T.V. Kotova, S.M. Malkhazova et al., Moscow, Geograficheskij fakul'tet MGU, 2017, 216 p. (in Russian)
- Milhano N., Korslund L., Evander M., Ahlm C., Vainio K., Dudman S., Andreassen A.K. Circulation and diagnostics of Puumala virus in Norway: Nephropatia epidemica incidence and rodent population dynamics, *APMIS: acta pathologica, microbiologica, et immunologica Scandinavica*, 2017, no. 125, DOI: 10.1111/apm.12712.
- Mørk T., Prestrud P. Arctic rabies – a review, *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2004, vol. 45, no. 1–2, p. 1–9, DOI: 10.1186/1751-0147-45-1.
- New D., Elkin B., Armstrong T., Epp T. Anthrax in the Mackenzie wood bison (*Bison bison athabascae*) population: 2012 anthrax outbreak and historical exposure in non-outbreak years, *Journal of Wildlife Diseases*, 2017, vol. 53, no. 4, p. 769–780, DOI: 10.7589/2016-11-257.
- Ogden N.H., Maarouf A., Barker I.K., Bigras-Poulin M., Lindsay L.R., Morshed M.G., O'Callaghan C.J., Ramay F., Waltner-Toews D., Charron D.F. Climate change and the potential for range expansion of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in Canada, *International Journal for Parasitology*, 2006, vol. 36, no. 1, p. 63–70, DOI: 10.1016/j.ijpara.2005.08.016.
- Olsen B., Duffy D.C., Jaenson T.G., Gylfe Å., Bonnedahl J., Bergström S. Transhemispheric exchange of Lyme disease spirochetes by seabirds, *Journal of Clinical Microbiology*, 1995, vol. 33, p. 3270–3274.
- Omazic A., Berggren C., Thierfelder T., Koch A., Evengård B. Discrepancies in data reporting of zoonotic infectious diseases across the Nordic countries – a call for action in the era of climate change, *International Journal of Circumpolar Health*, 2019b, vol. 78, 1601991, DOI: 10.1080/22423982.2019.1601991.
- Omazic A., Bylund H., Boqvist S., Högberg A., Björkman C., Tryland M., Evengård B., Koch A., Berggren C., Malogolovkin A., Kolbasov D., Pavelko N., Thierfelder T., Albihn A. Identifying climate-sensitive infectious diseases in animals and humans in Northern regions, *Acta Veterinaria Scandinavica*, 2019a, vol. 61, p. 61–53, DOI: 10.1186/s13028-019-0490-0.
- Pakanen V.M., Sormunen J.J., Sippola E., Blomqvist D., Kallio E.R. Questing abundance of adult taiga ticks *Ixodes persulcatus* and their *Borrelia* prevalence at the northwestern part of their distribution, *Parasites and Vectors*, 2020, vol. 13, no. 1, p. 384, DOI: 10.1186/s13071-020-04259-z.
- Pakharukova M.Y., Mordvinov V.A. The liver fluke *Opisthorchis felinus*: biology, epidemiology and carcinogenic potential, *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 2016, vol. 110, no. 1, p. 28–36, DOI: 10.1093/trstmh/trv085, PMID: 26740360.
- Palo R., Ahlm C., Tärnvik A. Climate variability reveals complex events for tularaemia dynamics in man and mammals, *Ecology and Society*, 2005, vol. 10, no. 1, p. 22.
- Palo R.T. Time series analysis performed on nephropatia epidemica in humans of northern Sweden in relation to bank vole population dynamic and the NAO index, *Zoonoses and Public Health*, 2009, vol. 56, no. 150, p. 6.
- Parkinson A.J., Evengard B., Semenza J.C., Ogden N., Børresen M.L., Berner J., Brubaker M., Sjöstedt A., Evander M., Hondula D.M., Menne B., Pshenichnaya N., Gounder P., Larose T., Revich B., Hueffer K., Albihn A. Climate change and infectious diseases in the Arctic:

- establishment of a circumpolar working group, *International Journal of Circumpolar Health*, 2014, vol. 73, p. 25163, DOI: 10.3402/ijch.v73.25163.
- Pettersson L., Boman J., Juto P., Evander M., Ahlm C. Outbreak of Puumala virus infection, Sweden, *Emerging Infectious Diseases*, 2008, vol. 14, no. 5, p. 808–810, DOI: 10.3201/eid1405.071124.
- Popova A.Yu., Demina Yu.V., Ezhlova E.B., Kulichenko A.N., Ryazanova A.G., Maleev V.V., Ploskireva A.A., Dyatlov I.A., Timofeev V.S., Nechepurenko L.A., Harkov V.V. Vspysyška sibirskoy yazvy v Yamalo-Nenetskom avtonomnom okruge v 2016 godu, epidemiologicheskie osobennosti Anthrax outbreak in the Yamal-Nenets Autonomous Okrug in 2016, epidemiological features], *Problemy osobo opasnykh infektsiy*, 2016, vol. 4, p. 42–46, DOI: 10.21055/0370-1069-2016-4-42-46, DOI: 10.21055/0370-1069-2016-4-42-46 DOI: 10.21055/0370-1069-2016-4-42-46 (In Russian)
- Revich B.A. Riski zdorovya naseleniya pri izmenenii klimata Arkticheskogo makroregiona [Public health risks due to climate change in the Arctic macroregion], *Nauchnye trudy: Institut narodnohozyaystvennogo prognozirovaniya RAN*, 2020, no. 18, p. 395–408. (In Russian)
- Revich B.A., Tokarevich N.K., Parkinson A.J. Climate change and zoonotic infections in the Russian Arctic [Assessment of the epidemiological situation for hemorrhagic fever with renal syndrome in the world and in Russia, forecast for 2020], *International Journal of Circumpolar Health*, 2012, vol. 71, p. 18792, DOI: 10.3402/ijch.v71i0.18792.
- Roy-Dufresne E., Logan T., Simon J.A., Chmura G.L., Millien V. Poleward Expansion of the White-Footed Mouse (*Peromyscus leucopus*) under Climate Change: Implications for the Spread of Lyme Disease, *PLoS One*, 2013, vol. 8, no. 11, p. e80724, DOI: 10.1371/journal.pone.0080724.
- Rydén P., Björk R., Schafer M.L., Lundström J.O., Petersen B., Lindblom A., Forsman M., Sjöstedt A., Johansson A. Outbreaks of tularemia in a boreal forest region depends on mosquito prevalence, *Journal of Infectious Diseases*, 2012, vol. 205, p. 297–304.
- Rydén P., Sjöstedt A., Johansson A. Effects of climate change on tularaemia disease activity in Sweden, *Global Health Action*, 2009, vol. 2, DOI: 10.3402/gha.v2i0.2063.
- Salb A., Stephen C., Ribble C., Elkin B. Descriptive epidemiology of detected anthrax outbreaks in wild wood bison (*Bison bison athabasca*) in northern Canada, 1962–2008, *Journal of Wildlife Diseases*, 2014, vol. 50, no. 3, p. 459–468, DOI: 10.7589/2013-04-095.
- Savitskaya T.A., Ivanova A.V., Isayeva G.Sh., Reshetnikova I.D., Trifonov V.A., Ziatdinov V.B., Serova I.V., Saffronov V.A. Otsenka epidemiologicheskoy situatsii po gemorragicheskoy likhoradke s pochechnym sindromom v mire i Rossii, prognoz na 2020 g. [Assessment of the epidemiological situation of hemorrhagic fever with renal syndrome in the world and in Russia, forecast for 2020], *Problemy osobo opasnykh infektsiy*, 2020, no. 2, p. 62–70. (In Russian)
- Scott J.D. Studies abound on how far north *Ixodes scapularis* ticks are transported by birds, *Ticks and Tick Borne Diseases*, 2016, vol. 7, no. 2, p. 327–328, DOI: 10.1016/j.ttbdis.2015.12.001.
- Sidorov G.N., Poleshchuk E.M., Sidorova D.G. Priridnye ochagi beshenstva v Rossii v XX – nachale XXI vekov [Natural foci of rabies in Russia in the XX – early XXI centuries], *Veterinarnaya patologiya*, 2004, vol. 2, no. 10, p. 86–101. (In Russian)
- Simon J.A., Marrotte R.R., Desrosiers N., Fiset J., Gaitan J., Gonzalez A., Koffi J.K., Lapointe F.J., Leighton P.A., Lindsay L.R., Logan T., Milord F., Ogden N.H., Rogic A., Roy-Dufresne E., Suter D., Tessier N., Millien V. Climate change and habitat fragmentation drive the occurrence of *Borrelia burgdorferi*, the agent of Lyme disease, at the northeastern limit of its distribution, *Evolutionary Applications*, 2014, vol. 7, no. 7, p. 750–764, DOI: 10.1111/eva.12165.
- Smith R.P.Jr., Muzaffar S.B., Lavers J., Lacombe E.H., Cahill B.K., Lubelczyk C.B., Kinsler A., Mathers A.J., Rand P.W. *Borrelia garinii* in seabird ticks (*Ixodes uriae*), Atlantic Coast, North America, *Emerging Infectious Diseases*, 2006, vol. 12, no. 12, p. 1909–1912, DOI: 10.3201/eid1212.060448.
- Soleng A., Edgar K.S., Paulsen K.M., Pedersen B.N., Okbaldet Y.B., Skjetne I.E.B., Gurung D., Vikse R., Andreassen Å.K. Distribution of *Ixodes ricinus* ticks and prevalence of tick-borne encephalitis virus among questing ticks in the Arctic Circle region of northern Norway, *Ticks and Tick Borne Diseases*, 2018, vol. 9, no. 1, p. 97–103, DOI: 10.1016/j.ttbdis.2017.10.002.
- Sonne C., Andersen-Ranberg E., Rajala E.L., Agerholm J.S., Bonefeld-Jørgensen E., Desforges J.P., Eulaers I., Jensen B.M., Koch A., Rosing-Asvid A., Siebert U., Tryland M., Mulvad G., Härkönen T., Acquarone M., Nordøy E.S., Dietz R., Magnusson U. Seroprevalence for *Brucella* spp. in Baltic ringed seals (*Phoca hispida*) and East Greenland harp (*Pagophilus groenlandicus*) and hooded (*Cystophora cristata*) seals, *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 2018, vol. 198, p. 14–18, DOI: 10.1016/j.vetimm.2018.02.005.
- Strathdee A.T., Bale J.S. Life on the edge: insect ecology in arctic environments, *Annual Review of Entomology*, 1998, vol. 43, p. 85–106.
- Tälleklint L., Jaenson T. Increasing Geographical Distribution and Density of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) in Central and Northern Sweden, *Journal of medical entomology*, 1998, vol. 35, iss. 4, p. 521–526, DOI: 10.1093/jmedent/35.4.521.
- Tokarevich N., Tronin A., Gnativ B., Revich B., Blinova O., Evengard B. Impact of air temperature variation on the ixodid ticks habitat and tick-borne encephalitis incidence in the Russian Arctic: the case of the Komi Republic, *International Journal of Circumpolar Health*, 2017, vol. 76, no. 1, 1298882, 13 p., DOI: 10.1080/22423982.2017.1298882.
- Tokarevich N.K., Stoyanova N.A. Epidemiologicheskiye aspekty antropogennoy vliyaniya na evolutsiyu leptospirozov [Epidemiological aspects of anthropogenic influence on the evolution of leptospiroses], *Infektsiya i immunitet*, vol. 1, no. 1, p. 67–76. (In Russian)
- Tokarevich N.K., Tronin A.A., Blinova O.V., Buzinov R.V., Boltenev V.P., Yurasova E.D., Nurse J. The impact of climate change on the expansion of *Ixodes persulcatus* habitat and the incidence of tick-borne encephalitis in the north of European Russia, *Global Health Action*, 2011, vol. 4, p. 8448, DOI: 10.3402/gha.v4i0.8448.
- Tomaselli M., Elkin B., Kutz S., Harms N.J., Ingebjørg Nymo H., Davison T., Leclerc L.-M., Branigan M., Dumond M., Tryland M., Checkley S. A Transdisciplinary Approach to *Brucella* in Muskoxen of the Western Canadian Arctic

- 1989–2016, *Ecohealth*, 2019, vol. 16, no. 3, p. 488–501, DOI: 10.1007/s10393-019-01433-3.
- Vatlina T.V., Timonin S.A., Malkhazova S.M. Prostranstvennyy analiz sfery meditsinskogo obsluzhivaniya v Arkticheskoy zone Rossiyskoy Federatsii [Spatial analysis of the healthcare sector in the Arctic zone of the Russian Federation], *Priroda i obshchestvo: v poiskah garmonii*, 2019, vol. 5, p. 32–44. (In Russian)
- Walsh M.G., Smalen de A.W., Mor S.M. Climatic influence on anthrax suitability in warming northern latitudes, *Scientific Reports*, 2018, vol. 8, no. 1, 9269, DOI:10.1038/s41598-018-27604-w.
- Zakharova O.I., Korennoy F.I., Toropova N.N., Burova O.A., Blokhin A.A. Environmental Risk of Leptospirosis in Animals: The Case of the Republic of Sakha (Yakutia), Russian Federation, *Pathogens*, 2020, vol. 9, p. 504, DOI: 10.3390/pathogens9060504.
- Web sources*
- Cyberleninka, URL: <https://cyberleninka.ru> (access date 10.03.2021).
- eLibrary, URL: <https://www.elibrary.ru/defaultx.asp?> (access date 13.03.2021).
- Overland J.E., Hanna E., Hanssen-Bauer I., Kim S.-J., Walsh J.E., Wang M., Bhatt U.S., Thoman R.L. Surface Air Temperature, *Arctic Report: Update for 2017*, URL: <https://www.arctic.noaa.gov/Report-Card/Report-Card-2017/ArtMID/7798/ArticleID/700/> Surface-Air-Temperature (access date 10.05.2020).
- Pubmed, URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> (access date 03.03.2021).
- ScienceDirect, URL: <https://www.sciencedirect.com> (access date 28.02.2021).

Received 05.04.2021

Revised 22.06.2021

Accepted 20.07.2021