

ПРОБЛЕМЫ БИОБЕЗОПАСНОСТИ: АРКТИКА КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ИНКУБАТОР ИСТОЧНИКОВ ВОЗМОЖНЫХ НОВЫХ ЭПИДЕМИЙ

PROBLEMS OF BIOSECURITY: THE ARCTIC AS A POTENTIAL INCUBATOR OF POSSIBLE NEW EPIDEMICS

Соломонов Н.Г.
Чернявский В.Ф.
Кершенгольц Б.М.

Solomonov N.G.
Chernyavsky V.F.
Kershengolts B.M.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

Арктика, биобезопасность, деградация многолетнемерзлых пород, вирусы, мутагенез, эпидемии

KEY WORDS:

Arctic, biosafety, permafrost degradation, viruses, mutagenesis, epidemics

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены проблемы биологической безопасности в криолитозоне Российской Федерации с двух позиций. Во-первых, рассмотрено влияние изменений климата на возможное появление в среде обитания человека возбудителей особо опасных инфекций за счёт: 1) расширения ареала носителей инфекционных возбудителей, 2) возвращения в современные Арктические экосистемы возбудителей особо опасных инфекций XVIII-XIX веков при оттаивании скотомогильников или людей погибших при этих эпидемиях и 3) выноса на поверхность возбудителей особо опасных инфекций прошлых тысячелетий вследствие оттаивания останков мамонтовой фауны в слое многолетнемерзлых грунтов. Во-вторых, рассмотрена возможность появления в криолитозоне новых модифицированных вирусных геномов, возникших в результате естественного либо искусственного мутагенеза, обусловленного вероятностью переноса вирусных возбудителей

ABSTRACT

The article considers the problems of biological safety in the permafrost zone of the Russian Federation from two positions. First, the impact of climate change on the possible emergence of pathogens of especially dangerous infections in the human environment due to: 1) expanding the range of carriers of infectious pathogens, 2) returning pathogens of especially dangerous infections of the 18th-19th centuries to modern Arctic ecosystems during thawing of cattle burial grounds or people those who died during these epidemics and 3) the removal to the surface of pathogens of especially dangerous infections of past millennia due to the thawing of the remains of the mammoth fauna in the permafrost layer. Secondly, the possibility of the emergence of new modified viral genomes in the permafrost zone, which arose as a result of natural or artificial mutagenesis, due to the likelihood of the transfer of viral pathogens of infectious diseases

инфекционных заболеваний при сезонных миграциях птиц, в первую очередь из Юго-Восточной Азии, последующей мутагенетической адаптацией вирусов к новым экстремальным климатическим условиям Арктики и дальнейшего обратного переноса новых вариантов вирусов в различные географические регионы планеты. Сформулированы предложения организационного характера по обеспечению биологической безопасности в Арктике в интересах не только Российской Федерации, но и всего человечества.

during seasonal migrations of birds, primarily from Southeast Asia, followed by mutagenic adaptation of viruses to new extreme climatic conditions of the Arctic and further back transfer of new variants of viruses to various geographical regions of the planet. Organizational proposals have been formulated to ensure biological safety in the Arctic in the interests of not only the Russian Federation, but also of all mankind.



Соломонов Н.Г.

доктор биологических наук, профессор, чл-корр. РАН, академик АН РС (Я), главный научный сотрудник Института биологических проблем криолитозоны ФИЦ «ЯНЦ СО РАН»

—
solomonovng1929@gmail.com

Solomonov N.G.

doctor of Biological Sciences, Professor, corresponding member. RAS, academician of the Academy of Sciences of the RS (Y). Chief Researcher, Institute for Biological Problems of the Permafrost, Federal Research Center "YSC SB RAS"

—
solomonovng1929@gmail.com



Чернявский В.Ф.

кандидат медицинских наук, врач-эпидемиолог высшей категории, научный консультант Управления РПН по РС(Я) и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии РС(Я)

—
chernyavskij41@bk.ru

Chernyavsky V.F.

candidate of Medical Sciences, medic-epidemiologist of the highest category, scientific consultant of the Office of the RPN in the RS (Y) and FBUZ "Center for Hygiene and Epidemiology of the RS (Y)

—
chernyavskij41@bk.ru



Кершенгольц Б.М.

доктор биологических наук, профессор, академик АН РС (Я), главный научный сотрудник Института биологических проблем криолитозоны ФИЦ «ЯНЦ СО РАН»,

—
kerschen@mail.ru

Kershengolts B.M.

doctor of Biological Sciences, Professor, academician of the Academy of Sciences of the RS (Y). Chief Researcher, Institute for Biological Problems of the Permafrost, Federal Research Center "YSC SB RAS"

—
kerschen@mail.ru

Биологическую безопасность в криолитозоне Северо-Востока Евразии следует рассматривать в двух аспектах:

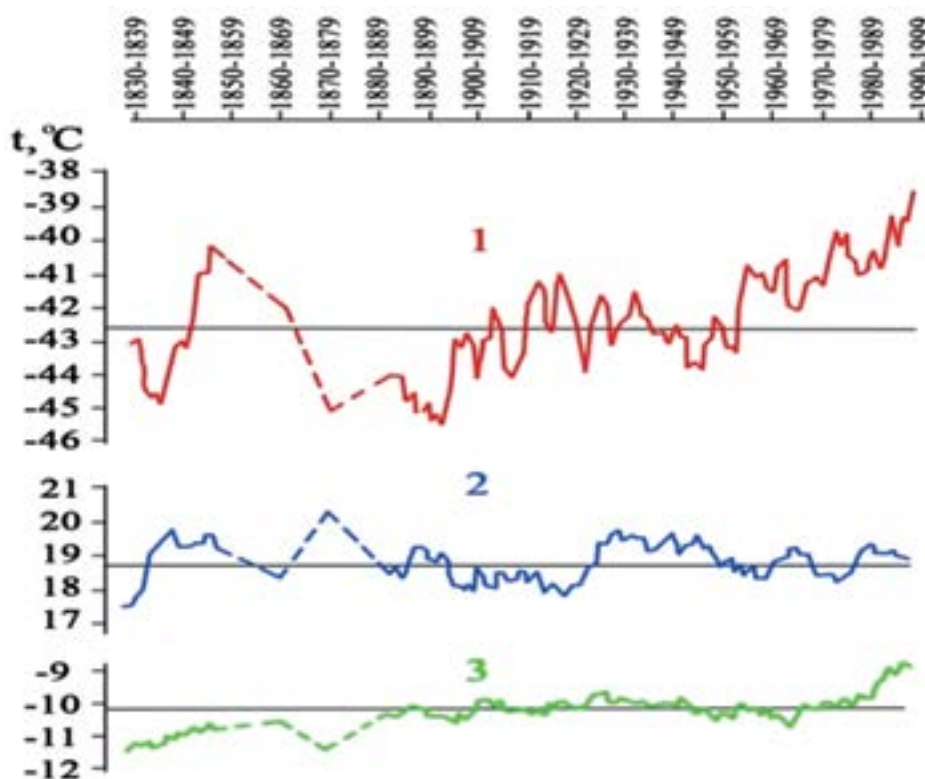
1. С позиций влияния изменений климата (потепления в высоких широтах, деградации многолетнемерзлых грунтов) на возможное появление в среде обитания человека возбудителей особо опасных инфекций.
2. С позиций появления новых/модифицированных вирусных/бактериальных геномов в результате естественного (адаптация природных популяций к изменяющимся условиям среды), либо искусственного (методами генной инженерии) мутагенеза.

Можно выделить три следующие пути влияния изменений климата на инфекционную заболеваемость населения мерзлотных арктических регионов:

- 1.1. Расширение ареала носителей инфекционных возбудителей, улучшение условий их перезимовки, благодаря повышению зимних температур и толщине снежного покрова.

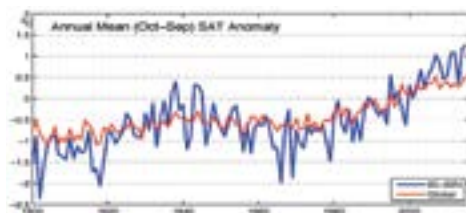
Не вызывает сомнений то, что процесс глобального изменения климата уже в настоящее время привел к серьезному потеплению в высокоширотных районах России. Например, для 60-х широт на территории Якутии средние годовые температуры увеличиваются с 1960-х годов с трендом 0,06-0,09°C/год, особенно зимние температуры (рис. 1).

РИСУНОК 1. ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА, ПО ДАННЫМ МЕТЕОСТАНЦИИ ЯКУТСКА, ЗА ПЕРИОД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ (СКОЛЬЗЯЩИЕ 10-ЛЕТНИЕ СРЕДНИЕ А - ЯНВАРЬ, Б - ИЮЛЬ, В - ГОД)



Причем эти изменения более выражены в наиболее холодных и наиболее высокоширотных районах с отчетливым трендом роста эффекта потепления от 60-х широт к 80-м (рис. 2).

РИСУНОК 2. ХОД ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ТЕМПЕРАТУРЫ В АРКТИКЕ С 1990 Г. ПО НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ



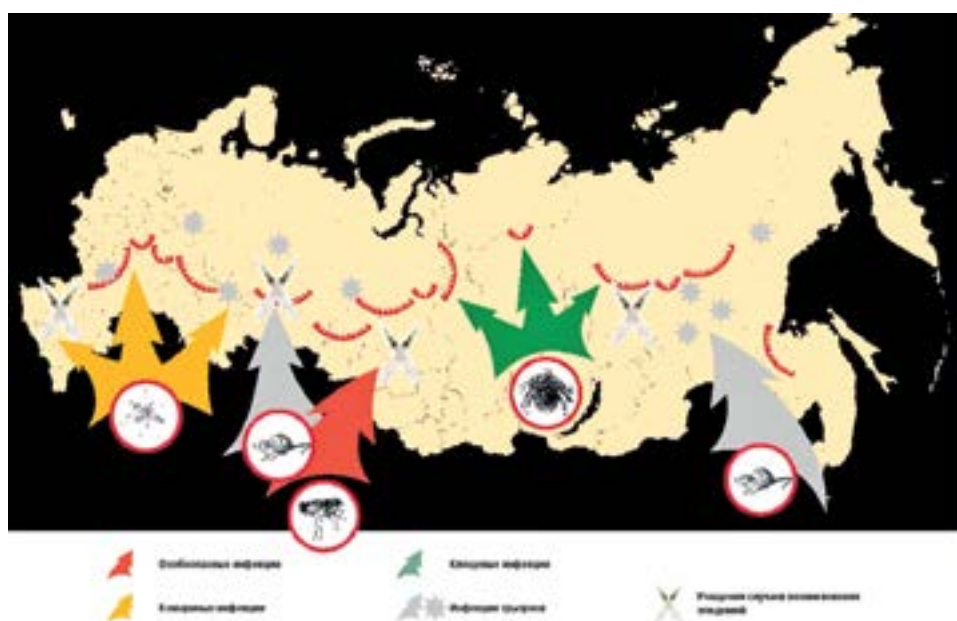
Процесс глобального изменения климата, в том числе благодаря карбонатно-метановым процессам саморегуляции планетарного климата в открытой, сильно неравновесной и нелинейной системе «Мировой океан-атмосфера» [2, 3], уже в настоящее время влияет на условия жизнедеятельности не только людей (рис. 3), но и бактериальных и вирусных штаммов в северных экосистемах.

РИСУНОК 3. ИНТЕГРАЛЬНАЯ КАРТА ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА УСЛОВИЯ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ



Локальное потепление в высоких широтах уже вызвало агрессивное продвижение на Северо-Восток Евразии эпизоотолого-эпидемиологического вала с Юга [4] (рис. 4).

РИСУНОК 4. КАРТОСХЕМА АГРЕССИВНОГО ПРОДВИЖЕНИЯ НА СЕВЕРО-ВОСТОК ЕВРАЗИИ ЭПИЗООТОЛОГО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОГО ВАЛА С ЮГА [4].

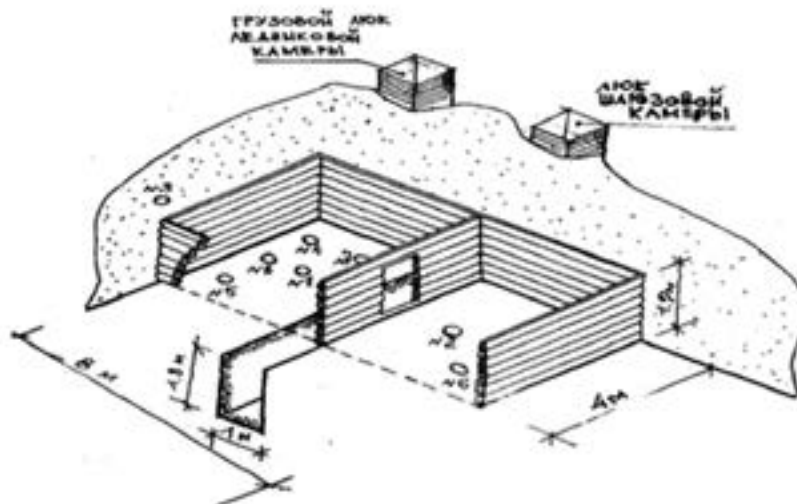


В связи с ожидаемым потеплением климата существует реальная опасность более широкого распространения в республике Саха иксодовых клещей с образованием их устойчивых популяций

В связи с ожидаемым потеплением климата существует реальная опасность более широкого распространения в республике Саха иксодовых клещей с образованием их устойчивых популяций и связанного с ними клещевого энцефалита и боррелиоза.

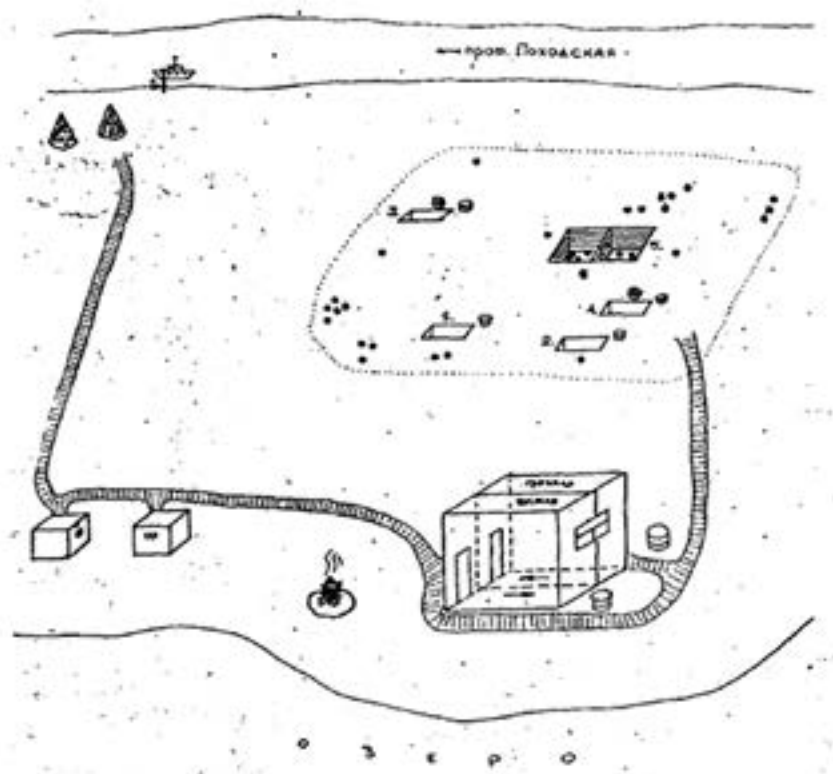
1.2. Деграция многолетнемерзлых пород в результате потепления в высоких широтах повышает вероятность возвращения в современные Арктические экосистемы возбудителей особо опасных инфекций XVIII-XIX веков, захороненных в скотомогильниках или в местах погребения людей, погибших от этих инфекций (рис. 5).

РИСУНОК 5. СХЕМА ЛЕДНИКА С ГРУППОВЫМ ЗАХОРОНЕНИЕМ



Например, в начале 90-х гг. XX века в районе поселка Походск в низовьях р. Колымы были обнаружены обнажения старого кладбища на берегу озера недалеко от протоки «Походская», в котором были групповые захоронения людей, умерших в 1884-1885 гг. от натуральной оспы (рис. 6).

РИСУНОК 6. КАРТА-СХЕМА СТАРОГО КЛАДБИЩА НЕДАЛЕКО ОТ ПРОТОКИ «ПОХОДСКАЯ».



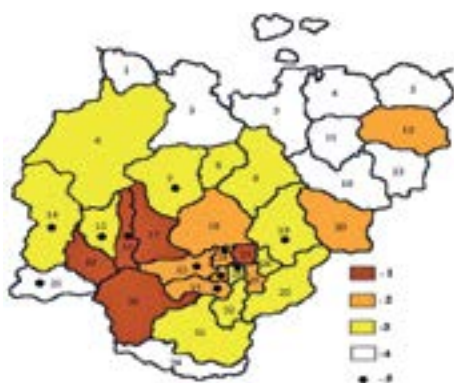
Известно, что во второй половине XIX века эпидемия этого заболевания в Колымском округе привела к гибели 2/5 населения. На реке Индигирке почти полностью вымерло население города Зашиверска. Результаты исследований показывают, что в условиях вечной мерзлоты в тканях умерших от оспы людей могут сохраняться жизнеспособные вирусы. Об этом говорит и изучение коллекции штаммов вируса, хранившихся в течение 26 лет в Национальной коллекции страны и оказавшихся жизнеспособными. Расчеты показали, что при обнаруженных темпах снижения количества вируса инфекционный материал в корочках больных при отрицательных температурах может сохраниться в течение 250 лет.

С процессами изменений климата и интенсификацией хозяйственной деятельности в северных экосистемах может быть связано и «пробуждение» очагов распространения сибирской язвы

С процессами изменений климата и интенсификацией хозяйственной деятельности в северных экосистемах может быть связано и «пробуждение» очагов распространения сибирской язвы (*B. Anthracis*). В прошлом на территории Якутии сибирская язва была широко распространена. Она поражала людей, многие виды домашних и диких животных [5, 6]. Современные данные указывают на то, что в условиях Крайнего Севера отмечается высокий уровень выживания спор *B. Anthracis*. В мерзлотной почве споры возбудителя сибирской язвы сохраняются в жизнеспособном состоянии в течение десятков, а то и сотен лет. Доказана возможность микроба проходить в мерзлотной почве полный жизненный цикл: спорообразование, инициация спор, их прорастания, размножение вегетативных клеток, споруляция. При освоении новых участков горнопромышленными, строительными и сельскохозяйственными работами, особенно в местах захоронения погибших животных, имеется опасность попадания возбудителя заболевания в организм человека и животных и возрождения природного очага инфекции. Особенно эта опасность возрастает в засушливые годы, когда при вытаптывании и пастьбе угодий оголяется почвенный покров и находящиеся там споры возбудителя инфекции попадают в организм животных.

В целом, в Сибири и на Дальнем Востоке на учете (1997 г.) состояло 5024 стационарно-неблагополучных пункта по сибирской язве (СНП СЯ). Среди всех арктических территорий Российской Федерации в Якутии находится значительное количество СНП СЯ, где в конце XIX и в начале XX вв. были зарегистрированы многочисленные эпизоотии сибирской язвы среди домашних северных оленей и диких животных. Первые письменные сообщения о сибирской язве упоминаются из донесений окружных, инородческих и волостных управ Колымского, Верхоянского округов и датируются 1811 г. В памятной книжке Якутской области за 1896 г. приводятся данные об эпизоотиях болезни в Якутском, Вилюйском и Колымском округах. Дислокация основной массы СНП СЯ (сибиреязвенных скотомогильников) и мест случайных захоронений животных, павших от сибирской язвы, четко не обозначались и не включились в эпизоотологический учет. Это природно-очаговое заболевание за почти 200-летний период со времени его обнаружения было зарегистрировано более чем в 240 пунктах 24 районов Якутии, как в северных (за исключением пяти притундровых), так и горно-таежных и таежных (Рис. 7) [5, 6].

РИСУНОК 7. КАРТОСХЕМА ЭПИЗОТОЛОГО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИБИРСКОЙ ЯЗВЫ (1918–1996).



- 1 — высокий уровень инцидентности и неблагоприятия (7–11 вспышек болезни);
- 2 — средний уровень инцидентности и неблагоприятия (4–6 вспышек);
- 3 — низкий уровень инцидентности и неблагоприятия (1–3 вспышки);
- 4 — зона, свободная от сибирской язвы;
- 5 — заболеваемость людей на административных территориях

Реальная опасность исторических мест захоронения павших животных проявилась эпизоотиями сибирской язвы среди северных оленей в Таймырском регионе Российской Арктики в 1969 и 1977 гг., в Якутии — в 1988 г. Особое оживление зооноза зафиксировано в 1970 г. по берегам ряда рек, в 1993 г. — в окрестностях некоторых населенных пунктов [6].

Примером особого риска является эпизоотолого-эпидемиологическая ситуация 2016 г., имевшая место в Ямало-Ненецком АО. Начиная с 2014 года вначале на Ямале, а затем и в других Азиатско-Арктических регионах России стали регистрировать взрывообразное образование воронок глубиной до 200 метров (верхний диаметр — до 60 и более метров, нижний диаметр — до 40 и более метров), а также многочисленных небольших озер круглой формы, которое (по мнению многих специалистов) является следствием разложения криолитозональных метангидратов [7], поскольку глубина ≈200 м — это верхняя граница залегания метангидратов в криосфере [8, 9]. И именно деградация многолетнемерзлых пород (ММП) в результате потепления климата в Арктике приводит к разложению метангидратов, находящихся в метастабильном состоянии [3]. При этом большую опасность представляет потенциальная близость образующихся воронок от скотомогильников и захоронений людей, погибших от особо опасных инфекций в XVIII-XX веках и захороненных в верхнем слое ММП, так как образование воронок сопровождается мощными взрывами за счет высокого давления газа, скапливающегося под перекрывающими ММП. И взрывной волной споры бактерий могут разноситься на десятки и сотни метров. Например, только разброс грунта при образовании одной из воронок на Ямале составил до 120 м. Не исключено, что вспышка сибирской язвы летом 2016 года на Ямале объясняется климатическими изменениями не только на погодном уровне (жаркий июль), но и за счет разложения метангидратов при оттаивании ММП.

При разложении подземных метангидратов, находящихся в метастабильном состоянии, взрывной волной споры бактерий могут разноситься на десятки и сотни метров

На территории Якутии издавна существуют природные очаги и ряда других инфекционных и паразитарных заболеваний человека и животных: это бруцеллез, туляремия, бешенство, эхинококз, альвеококкоз, лептоспироз, трихиниоз и др. (рис. 8).

РИСУНОК 8. ДАННЫЕ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ПРИРОДНО-ОЧАГОВЫХ ИНФЕКЦИЙ БАКТЕРИАЛЬНОЙ И ВИРУСНОЙ ЭТИОЛОГИИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ).



Сохранение и распространение возбудителей инфекционных природно-очаговых заболеваний в Якутии связано с комплексом кровососущих эктопаразитов млекопитающих и птиц. Многие из этих паразитов являются переносчиками, некоторые

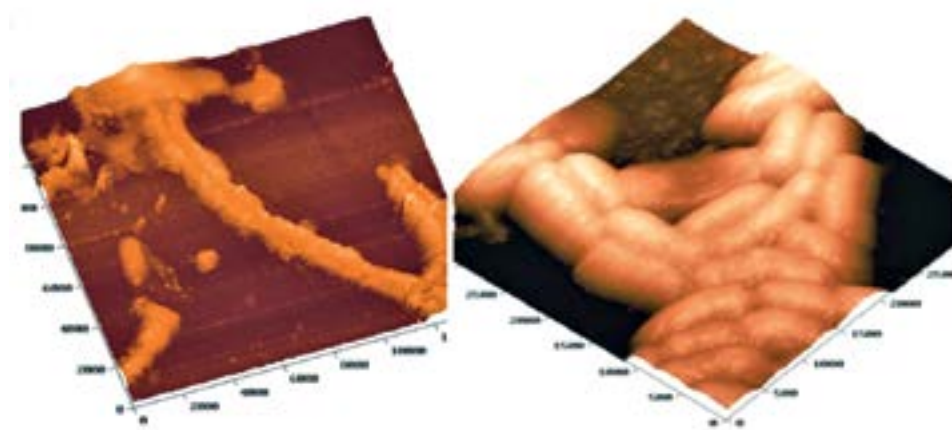
одновременно и хранителями возбудителей инфекций. Так, например, иксодовые клещи могут в течение нескольких лет сохранять в себе возбудителей не только клещевого энцефалита, но и туляремии.

Возможность появления новых, ранее не отмечавшихся инфекционных заболеваний подтверждается историей распространения в Якутии таких инфекций, как бруцеллез северных оленей и псевдотуберкулез.

1.3. Высокая вероятность выноса на поверхность возбудителей особо опасных инфекций прошлых тысячелетий вследствие оттаивания останков мамонтовой фауны в слое многолетнемерзлых грунтов.

Например, при микробиологическом изучении в ФГУН ГНЦ вирусологии и биотехнологии «Вектор» образцов естественно замороженного мозга Юкагирского мамонта, возраст которого оценивается в более чем 18 тыс. лет, были обнаружены высокие концентрации жизнеспособных термотолерантных аэробных бактерий: по крайней мере 7 морфотипов, которые отличались нестабильностью проявления признаков, необычными характеристиками, позволяющими отнести их к «новым» видам (кроме 3N) (рис. 9). Проведена предварительная идентификация микроорганизмов с использованием трех методических подходов; показана необходимость продолжения геномного анализа по стабильности признаков.

РИСУНОК 9. ФОТОГРАФИЯ ЧЕРЕПА ЮКАГИРСКОГО МАМОНТА (А) И ЭЛЕКТРОННАЯ ФОТОГРАФИЯ ОБНАРУЖЕННЫХ ТЕРМОТОЛЕРАНТНЫХ АЭРОБНЫХ БАКТЕРИЙ (В)



Ранее из мумифицированной мышечной ткани спины Оймяконского мамонтенка выделена живая аэробная грамположительная неспоровая бактериальная культура, отнесенная к роду *Kurthia* [10].

При этом никто не может дать гарантий, что какой-нибудь бактериальный палеоштамм, сохранивший свою вирулентность в толще многолетнемерзлых пород в течение многих тысячелетий, попав в современную среду, не станет патогенным в отношении современных животных организмов и человека. И отсутствие в Якутии официально зарегистрированных почвенных очагов не исключает их потенциально-реальную скрытность не только под покровом «морозных полей», но и в палеонтологических останках (мамонты, пещерный лев, шерстистый носорог) и в выстилающих их почвах.

Следует подчеркнуть, что второй и третий пути влияния изменений климата на инфекционную заболеваемость населения мерзлотных арктических регионов вызывают наибольшую озабоченность международных экспертов.

2. Теперь поговорим о втором аспекте биологической безопасности в криолитозоне Северо-Востока Евразии на примере Якутии. Он обусловлен появлением

Никто не может дать гарантий, что какой-нибудь бактериальный палеоштамм, сохранивший свою вирулентность в толще многолетнемерзлых пород в течение многих тысячелетий, не станет патогенным в отношении современных животных организмов и человека

в криолитозоне новых/модифицированных вирусных/бактериальных геномов, возникших в результате естественного либо искусственного мутагенеза.

Якутия может стать родиной вирусов — причин будущих пандемий. Это обусловлено вероятностью переноса вирусных возбудителей инфекционных заболеваний при сезонных миграциях птиц, в первую очередь из Юго-Восточной Азии, их последующей мутагенетической адаптацией к новым экстремальным климатическим условиям Арктики и дальнейшим обратным переносом новых вариантов вирусов в различные географические регионы планеты.

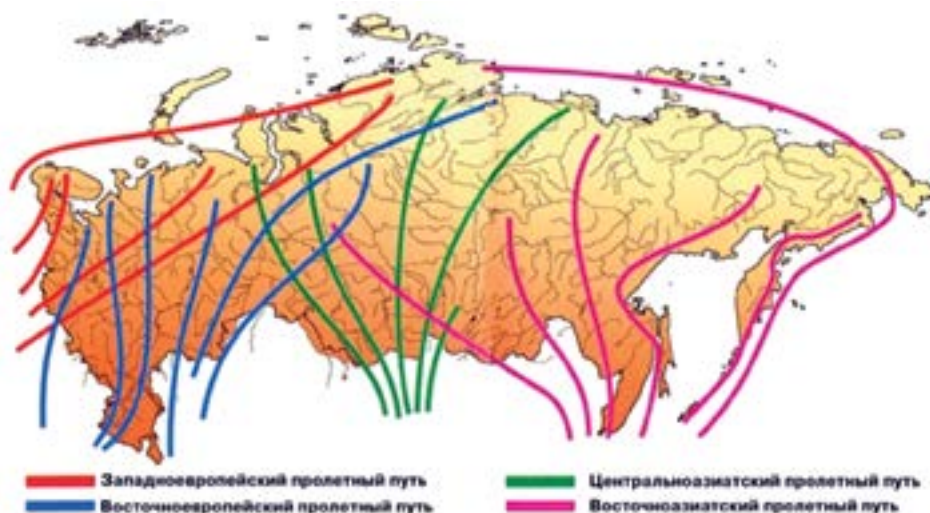
Известны четыре основных пути миграции птиц, перелетающих на значительные расстояния (рис. 10).

РИСУНОК 10. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СЕЗОННЫХ МИГРАЦИЙ ПТИЦ ЯКУТИИ



Наибольшее значение для России (Арктики в целом) имеют центрально-азиатский-индийский и восточно-азиатский-австралийский пути миграции, поскольку они связывают территории России со странами, в которых уже на протяжении нескольких лет регистрируются очаги высокопатогенного вируса гриппа H5N1 [11]. (рис. 11). Хотя для европейской части арктической зоны России с позиций биологической безопасности значимы и западноевропейский, и восточноевропейский пролетные пути.

РИСУНОК 11. ПУТИ МИГРАЦИИ ПЕРЕЛЕТНЫХ ПТИЦ В ЕВРАЗИИ

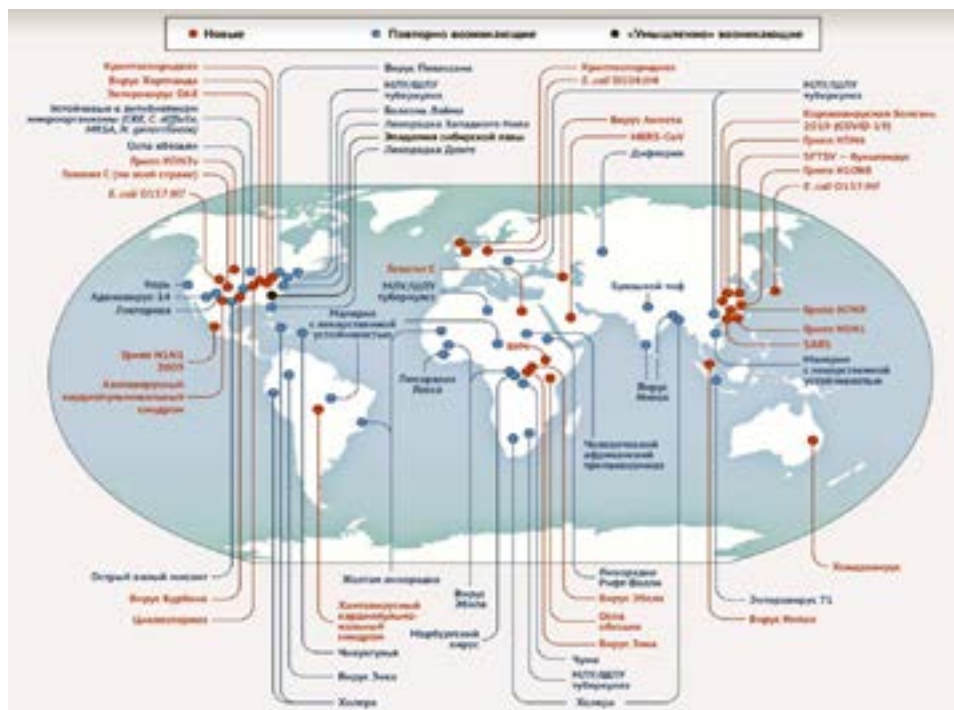


В образцах фекалий диких птиц, добытых на реке Буотама, обнаружены более 20 штаммов вируса птичьего гриппа «А»

В Якутии эпизоотий «птичьего гриппа», связанных с вирусом H5N1, пока не обнаружено. Хотя в образцах фекалий диких птиц, добытых на реке Буотама (Национальный парк Ленские столбы), в г. Якутске, Кобяйском районе, обнаружены более 20 штаммов вируса птичьего гриппа «А». Причем «Якутские» штаммы вируса «птичьего гриппа» оказались очень близкими патогенному штамму вируса H5N1, выявленному в Гонконге в 1997 г.

Нельзя исключить того, что те или иные штаммы — возбудители новых, повторно возникших или «умышленно» возникших инфекционных заболеваний (рис. 12), могут, мутируя, начать инфицировать перелетных птиц, переносящих их в Арктический регион.

РИСУНОК 12. ПЛАНЕТАРНАЯ КАРТОСХЕМА ВОЗНИКНОВЕНИЯ НОВЫХ, ПОВТОРНО ВОЗНИКАЮЩИХ И «УМЫШЛЕННО» ВОЗНИКАЮЩИХ ИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ



Не исключено также, что в биологических лабораториях США, расположенных в том числе в тех местах, откуда перелетные птицы мигрируют в Российскую Арктику (рис. 13), либо непосредственно на постсоветском пространстве (рис. 14), могут вестись работы по созданию штаммов новых патогенных вирусов, которые могут переноситься перелетными птицами, гнездящимися именно в Российской Арктике [12, 13].

РИСУНОК 13. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЛАБОРАТОРИИ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ США



РИСУНОК 14. СЕКРЕТНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЛАБОРАТОРИИ США НА ПОСТСОВЕТСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ



Это высоко вероятное обстоятельство чрезвычайно актуализирует безотлагательное решение задач обеспечения биологической безопасности в Арктике в интересах не только Российской Федерации, но и всего человечества.

В обозначенном формате весьма значимы планетарные, региональные и топологические особенности нозоэкосистем Арктической зоны России, касающиеся закономерностей зооантропонозов (северных таксонов) во времени и пространстве [14].

Должна быть создана Государственная программа Российской Федерации по обеспечению биологической безопасности Арктической зоны России

Нет сомнений, что эти актуальнейшие задачи должны решаться комплексно с привлечением профильных специалистов не только Роспотребнадзора, Министерства здравоохранения РФ, Министерства обороны РФ, но и всего научного сообщества, включая Российскую академию наук и профильные ВУЗы [12]. По-видимому, для этого должна быть создана Государственная программа Российской Федерации по обеспечению биологической безопасности Арктической зоны России, включающая: мониторинг возбудителей зоонозных инфекций, включая перелетных птиц (птичий грипп и др.) и диких животных; проведение подготовительных работ по созданию вакцин и лекарств в отношении выявленных зоонозных инфекций; выполнение работ, связанных с обеспечением микробиологической безопасности археологических работ и исторических раскопок, в первую очередь в местах скотомогильников и захоронений 17-19 веков, вблизи воронок, образовавшихся в результате взрывообразного разложения континентальных метангидратов («ямальских воронок»); обеспечение микробиологической безопасности при работе с объектами мамонтовой палеофауны и другие актуальные аспекты.

Литература:

1. Гаврилова М.К. Районирование (зонирование) Севера Российской Федерации // В сб. «Районирование (зонирование) Севера Российской Федерации» — Якутск: изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2007. — С. 64-98.
2. Спектор В.Б., Кершенгольц Б.М., Лифшиц С.Х., Спектор В.В. Карбонатно-метановая система саморегуляции планетарного климата // Известия РАН, 2007. №6, - С.1-12.

Literature:

1. Gavrilova M.K. Zoning (zoning) of the North of the Russian Federation // In Sat. «Zoning (zoning) of the North of the Russian Federation» - Yakutsk: publishing house of the Institute of Permafrost Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007. - P. 64-98.
2. V. B. Spektor, B. M. Kershengolts, S. Kh. Carbonate-methane system of planetary climate self-regulation // Izvestiya RAN, 2007. No. 6, - P.1-12.

3. S.Kh. Lifshits, V.B. Spektor, B.M. Kershengolts, V.V. Spektor A new look at the role of methane and methane hydrates in the evolution of global climate // *American Journal of Climate Change (AJCC)*. - Vol.7 No.2 2018. P.236-252);
4. Ревич Б.А., Малеев В.В. Изменения климата и здоровье населения России: Анализ ситуации и прогнозные оценки Изд. 2, доп. URSS. 2021. 210 с.
5. Дягилев Г.Т., Чернявский В.Ф., Егоров И.Я., Софронова О.Н., Никифоров О.И. Эпизоотолого-эпидемиологический мониторинг сибирской язвы в арктических и восточных зонах Якутии // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. — 2019. — Т.24, №2. — С.96-106.
6. Дягилев Г.Т., Неустроев М.П., Владимиров А.Н., Гололобова А.Г. Сибирская язва животных в Республике Саха (Якутия) // *Монография*. — Якутск — Сайдам, 2021. — 144 с.
7. Аржанов М.М., Мохов И.И., Денисов С.Н. Дестабилизация реликтовых метангидратов при наблюдаемых региональных изменениях климата // *Арктика: экология и экономика*, 2016. - №4 (24). — С.48-51.
8. Дучков А.Д., Соколова Л.С., Ааюнов Д.Е., Пермяков М.Е. Оценка возможности захоронения углекислого газа в криолитозоне Западной Сибири // *Криосфера Земли*. 2009. Т.ХIII, № 4. - С.62-68
9. Денисов С.Н., Аржанов М.М., Елисеев А.В., Мохов И.И. Оценка отклика субаквальных залежей метангидратов на возможные изменения климата в XXI веке // *ДАН (геофизика)*. — 2011. — Т.441, №5. — С.685-688.
10. Чернявский В.Ф., Ерофеевская Л.А., Антонов Н.А., Софронова О.Н., Никифоров О.И. О бактериях, выделенных из останков мамонтовой фауны и мёрзлых толщ в Якутии // *Наука и техника в Якутии*. - №2 (25). — 2013. — С.28-37.
11. Ивантер Э.В., Медведев Н.В. Экологическая токсикология природных популяций птиц и млекопитающих Севера // *Ин-т леса КарНЦ РАН*. — М.: Наука, 2007. — 229 с.
12. Спирин А.С. Фундаментальная наука и проблемы биологической безопасности // «Наука — здоровью человека». — Материалы совместного Общего собрания РАН, РАМН при участии РАСХН и РАХ, 16-18 декабря 2003. — М.: Наука, 2005. — С. 63-68.
13. Нетесов С.В. «Инфекции: угрозы в XXI веке // Там же. — С.85-94.
14. Конева И. В. Зооантропонозы Сибири и Дальнего Востока: Географические аспекты. — Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1992.- 164 с
3. S. Kh. Lifshets, V.B. Spektor, B.M. Kershengolts, V.V. Spektor A new look at the role of methane and methane hydrates in the evolution of global climate // *American Journal of Climate Change (AJCC)*. - Vol.7 No.2 2018. P.236-252);
4. Revich B.A., Maleev V.V. Climate change and health of the population of Russia: Analysis of the situation and forecast estimates. 2, add. URSS. 2021. 210 p.
5. Diaghilev G.T., Chernyavsky V.F., Egorov I.Ya., Sofronova O.N., Nikiforov O.I. Epizootologo-epidemiological monitoring of anthrax in the arctic and eastern zones of Yakutia // *Natural Resources of the Arctic and Subarctic*. - 2019. - V.24, No. 2. - P.96-106.
6. Diaghilev G.T., Neustroev M.P., Vladimirov A.N., Gololobova A.G. Anthrax of animals in the Republic of Sakha (Yakutia) // *Monograph*. - Yakutsk - Saidam, 2021. - 144 p.
7. Arzhanov M.M., Mokhov I.I., Denisov S.N. Destabilization of relic methane hydrates under observed regional climate changes // *Arctic: Ecology and Economics*, 2016. - No. 4 (24). - P.48-51.
8. Duchkov A.D., Sokolova L.S., Aayunov D.E., Permyakov M.E. Estimation of the possibility of carbon dioxide burial in the permafrost zone of Western Siberia // *Cryosphere of the Earth*. 2009. T.XIII, No. 4. - P.62-68
9. Denisov S.N., Arzhanov M.M., Eliseev A.V., Mokhov I.I. Assessment of the response of subaqueous methane hydrate deposits to possible climate change in the 21st century // *DAN (geofizika)*. - 2011. - T.441, No. 5. - P.685-688.
10. Chernyavsky V.F., Erofeevskaya L.A., Antonov N.A., Sofronova O.N., Nikiforov O.I. On bacteria isolated from the remains of the mammoth fauna and frozen strata in Yakutia // *Science and technology in Yakutia*. - No. 2 (25). - 2013. - P.28-37.
11. Ivanter E.V., Medvedev N.V. Ecological toxicology of natural populations of birds and mammals of the North // *Institute of Forests, KarRC RAS*. - M.: Nauka, 2007. — 229 p.
12. Spirin A.S. Fundamental science and problems of biological safety // «Science for human health». - Materials of the joint General Meeting of the Russian Academy of Sciences, RAMS with the participation of the Russian Academy of Agricultural Sciences and the Russian Academy of Arts, December 16-18, 2003. - M.: Nauka, 2005. - P. 63-68.
13. Netesov S.V. "Infections: Threats in the 21st Century," *Ibid*. — P.85-94.
2. Koneva IV Zooanthroposes of Siberia and the Far East: Geographical aspects. - Novosibirsk: VO «Nauka». Siberian publishing company, 1992.- 164 p.