

На правах рукописи

Панин Александр Леонидович

**МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ
САПРОЗООНОЗОВ В ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ**

1.5.11 Микробиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Федеральном бюджетном учреждении науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Пастера» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Научный руководитель:

Краева Людмила Александровна – доктор медицинских наук, заведующая лабораторией медицинской бактериологии ФБУН НИИЭМ им. Пастера Роспотребнадзора, Профессор кафедры микробиологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова МО РФ

Официальные оппоненты:

Мионов Андрей Юрьевич – доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела микробиологии ФБУН «Московский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г.Н. Габричевского» Роспотребнадзора.

Жуховицкий Владимир Григорьевич – кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией индикации и ультраструктурного анализа микроорганизмов ФГБУ "НИЦЭМ имени Н.Ф. Гамалеи" Минздрава России

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита состоится 15 июня 2023года в 14.00 на заседании диссертационного совета ПДС 0300.010 в ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» Министерства образования Российской Федерации по адресу: 117198, г.Москва, ул.Миклухо-Маклая, д.8_____.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» (117198, г.Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6)

Объявление о защите и автореферат диссертации размещены на сайтах <http://dissovet.rudn.ru>. и <http://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан « ___ » _____ 2023года.

Ученый секретарь
диссертационного совета ПДС 0300.010
кандидат медицинских наук, доцент

Подопригора Ирина Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В настоящее время Арктика и Антарктика становятся объектами пристального внимания со стороны многих стран и научного сообщества как регионы, от которых зависят погодные условия и экологическое здоровье планеты, территории с настоящим и будущим экономическим потенциалом. Поэтому 26.10.2020 г. Указом президента Российской Федерации № 645 принята «Стратегия развития Арктической зоны России и обеспечения национальной безопасности до 2035 года», в соответствии с которой необходимо уделять большое внимание обеспечению экологической и биологической безопасности при реализации государственной политики по освоению Арктики. Несмотря на значительную географическую удаленность, Антарктика также продолжает оставаться в сфере российских государственных интересов. Особое значение при этом приобретает воздействие прогнозируемого изменения климата на здоровье разных групп населения полярных регионов, которое должно рассматриваться в контексте взаимосвязанных социальных, культурных, политических и экономических факторов, действующих на эти сообщества (Ревич Б.А., 2009).

На долю России приходится треть Арктической зоны, что соответствует 18% площади страны, где проживает всего 2,4 млн. человек. К первичным факторам малонаселенности Арктической зоны РФ относятся природно-климатические особенности региона, которые составляют 20% от доли участия в формировании здоровья населения. Климатические изменения по оценкам Всемирной организации здравоохранения являются причиной 10% смертей в старшей возрастной группе. Экономический ущерб при этом достигает 88 млрд рублей в год (Акимов В.А., 2016; Андрюков Б.Г., 2020).

Расширение географических ареалов патогенных и условно-патогенных микроорганизмов является одним из наиболее значительных факторов возникновения новых инфекционных заболеваний человека и животных (Reed K.D., Meece J.K., Henkel J.S., Shukla S.K., 2003; В.А. Акимов, 2016). В последнее время интенсивно обсуждается процесс интродукции неиндигенной микробиоты в полярные регионы за счет возрастающей интенсивности антропогенной нагрузки (добыча полезных ископаемых, логистические операции, поселенческая инфраструктура, туризм и пр.) и природных процессов (миграция дальнеперелетных и кочевых птиц, деградация многолетнемёрзлых грунтов с последующим распространением законсервированных в ней древних микроорганизмов) (Кершенгольц Б.М., 2009; Malkhazova S.M., 2015; Cowan D.A., 2011; Lopatina A., 2013). Эти процессы несут серьезные риски дисбаланса в хрупких полярных биогеоценозах и в среде обитания человека.

Кроме того, «вечная мерзлота» представляет собой структурно неоднородную матрицу окружающей среды, которая сочетает в себе палеокриогенные запасы микробной биомассы и геномное разнообразие прошлых климатов (даже старше 1 миллиона лет) (Edwards A., 2020; Schuur E.A.G., 2015), которые могут повторно активироваться при деградации многолетнемёрзлых грунтов (Гончаров А.Е., 2019; Сажин А.Ф., 2019; Froese D.G., 2008). При этом её деформация приводит к нарушению функционирования различных инженерных сооружений, в том числе водопроводно-канализационных систем. Поэтому появляется опасность инфицирования питьевой воды (Акимов В.А., 2016). Более того, рядом исследователей установлено, что широко

распространенные в Арктике и Антарктике психрофилы и криофилы имеют ферменты адаптации к холоду, включая реакции холодового шока на модуляцию топологии ДНК, синтез и стабилизацию белка, а также метаболические процессы (Edwards A., 2020; Гончаров А.Е., 2019). Между тем, многие представители бактериальной микробиоты естественных биоценозов полярных регионов являются эмерджентными возбудителями нозокомиальных инфекций. Выделение таких бактерий от птиц на фоне меняющихся путей их миграции в условиях изменения климата говорит об опасности переноса ряда возбудителей инфекционных заболеваний, особенно сапрозоонозов, в полярные регионы с последующим распространением в воде, почве и воздухе (Власов Д.Ю., 2018; Юшкова Л.Я., 2019).

Одним из главных показателей, происходящих экосистемных изменений может служить микробиота в районах полярных станций и баз (Кирцидели И.Ю., 2016). Микробные сообщества являются индикаторными системами, реагирующими на изменения условий их существования и сигнализирующими об этих трансформациях в окружающей среде (Рома Н.Р., 2012). Поскольку микроорганизмы являются частью биоценоза всех природных процессов, которые наблюдаются в естественных условиях, микробиологический мониторинг необходимо считать составной частью постоянного экологического наблюдения. В то же время, климатические изменения, фиксируемые в последние десятилетия, наиболее интенсивно протекают в полярных регионах Земли, где за последние 20 лет скорость прироста температуры увеличилась в 3 раза. По расчетам специалистов уже к концу столетия температура может повыситься на 7 градусов. Пути распространения микроорганизмов, в том числе имеющих медицинское значение, также связаны с деятельностью людей, наличием млекопитающих и птиц, тяготеющих к человеческому жилищу, что может приводить к появлению природно-техногенной очаговости инфекционных болезней (Литвин В.Ю., 1997). Согласно рекомендациям ВОЗ (2008), актуальным становится контроль «распространения возбудителей инфекций, потенциально чувствительных к климату», многие из которых являются сапрозоонозами, что в свою очередь является обоснованием микробиологического мониторинга территорий полярных поселений, где люди проживают в условиях замкнутых групп, а также в организованных коллективах, военных баз, размещенных на территории Арктического региона (Махнев М.В., 2006).

Степень разработанности темы исследования

Существует несколько подходов к изучению микробиоты полярных регионов. Первый – общеприкладной, прошедший путь от убеждения о стерильности Антарктиды до обнаружения хемоавтотрофов и психрофилов во всех местах проводимого поиска. Так, общественный резонанс вызвали находки микроорганизмов в кернах и воде подледникового озера Восток на территории внутриконтинентальной Антарктиды (Булат С.А., 2020).

Второй подход – случайные выявления возбудителей инфекционных болезней среди заболевших полярников. Как правило, это являлось результатом стечения обстоятельств – присутствия микробиологов, выполняющих свои научные программы, на объектах, где возникали спорадические и групповые случаи инфекционных заболеваний. Учитывая удаленность, особенности медицинского обслуживания и закрытость темы «массовых случаев инфекционных болезней полярников» исследования природно-техногенной очаговости болезней в районах антарктических поселений с целью профилактики инфекционных, паразитарных и аллергических

заболеваний полярников до недавнего времени носили лишь фрагментарный характер (Матусов А.Л., 1979; Горбунов Г.А., 2009; Bonnedah J., 2005).

Третий, современный подход – попытки выделения психрофилов и психротолерантных бактерий, имеющих медицинское значение, в объектах окружающей среды. Такие исследования проводились специалистами с конца 70-х годов прошлого века. При этом выполнялись работы санитарно-гигиенической тематики, в которых не освещался целенаправленный поиск патогенных и условно-патогенных возбудителей инфекций. В дальнейшем, рядом исследователей были получены доказательства быстрой эволюции импортируемых в полярные регионы микроорганизмов с формированием новых («эмерджентных») инфекций. Так, например, установлены быстрые эволюционные преобразования штаммов высокопатогенного птичьего гриппа в популяциях пингвинов Адели (Hurt A.C., Vijaykrishna D., Butler J., 2014) в Антарктике, эволюция вирусов семейства *Togaviridae* (Синдбис и карельской лихорадки) в Скандинавии (Shirako Y. et al., 1991; Sane J., Kurkela S., Putkuri N., 2012) вследствие переноса этих патогенов перелетными птицами и укоренения их в новых экологических условиях. Выявлено, что многие из микроорганизмов способны восстанавливать физиологическую и пролиферативную активность после таяния льда (Kataayama T. et al., 2007; Филиппова С.Н. и др., 2014). Однако представителей психрофильных бактерий из рода *Yersinia* в Антарктике до сих пор выделить пока не удавалось. Между тем, в регионах с арктическим и субарктическим климатом регистрировались многочисленные очаги иерсиниозов. Последние относятся к числу широко распространенных инфекций в организованных коллективах, в том числе – воинских. Так, в Ленинградском гарнизоне заболеваемость военнослужащих псевдотуберкулезом существенно возросла в конце 80-х – начале 90-х годов. Количество больных во время ежегодных вспышек часто превышало 10-15 и более человек. Наиболее высокая заболеваемость в воинских коллективах отмечалась на Кольском полуострове, в Приморье и на Камчатке (Махнев М. В., 2006). Это обусловлено выраженной адаптационной способностью иерсиний к сапрофитному образу жизни в особых климатических условиях, что является одной из характерных особенностей сохранения этого рода бактерий. На территории размещения организованных коллективов высока вероятность наличия благоприятных условий для резервации этих возбудителей. Например, для псевдотуберкулеза показано наличие временных и относительно постоянных антропоургических очагов, даже в неэндемичных для этой инфекции регионах (Махнев М.В., 2006). Поэтому заболеваемость иерсиниозами в организованных коллективах может стать реальностью в связи с особыми условиями организации их жизнедеятельности. Данный факт требует проведения безотлагательной, а в дальнейшем – постоянной эпидемиологической разведки в местах дислокации воинских частей, подразделений, высших военно-учебных заведений, размещаемых в арктической и субарктической зоне.

В соответствии с вышесказанным необходимо постоянно уделять пристальное внимание обеспечению биологической и экологической безопасности для реализации государственной политики по освоению Арктики и Антарктики. Особое значение приобретает воздействие прогнозируемого изменения климата в сторону его потепления на здоровье разных групп населения полярных регионов, которое должно дифференцированно рассматриваться с учетом взаимосвязанных природно-климатических, социальных, культурных, политических и экономических факторов, различных на территориях высоких широт.

Цель исследования:

разработка алгоритма микробиологического мониторинга возбудителей сапрозоонозов в полярных регионах.

Задачи исследования:

1. Изучить видовое разнообразие и таксономическую структуру комплексов культивируемых микроорганизмов на территориях арктических и антарктических поселений и баз. Создать музей штаммов бактерий из полярных регионов.
2. Изучить биотические и абиотические факторы формирования микробных сообществ – цианобактериальных матов – как универсального биологического индикатора антропогенной и орнитогенной загрязненности окружающей среды Антарктиды.
3. Исследовать трофические цепи как основу распространения бактерий, имеющих медицинское значение, в биологических сообществах Антарктиды.
4. Исследовать генетические и фенотипические маркеры вирулентности и антибиотикорезистентности возбудителей сапрозоонозов из полярных регионов.
5. Разработать алгоритм микробиологического мониторинга возбудителей сапрозоонозов на объектах окружающей среды, среди животных, людей полярных и субполярных регионов для обеспечения здоровья населения.

Научная новизна результатов исследования

Изучены выделенные в высоких широтах штаммы бактерий и микробные сообщества, имеющие медицинское значение и относящиеся к 61 виду, 31 роду и 23 семействам (всего 765 штаммов).

Получены новые данные об основных факторах, оказывающих влияние на формирование микробных сообществ (цианобактериальных матов) как универсального биологического индикатора антропогенной и орнитогенной загрязненности окружающей среды Антарктиды. Был зарегистрирован «Способ оценки антропогенного и орнитогенного загрязнения окружающей среды Антарктиды по состоянию цианобактериальных матов (варианты)» (Патент на изобретение 2013 года RU № 2522005).

В ходе ретроспективного анализа получены новые данные о биоразнообразии иерсиний, циркулировавших в зоне ответственности Ленинградского гарнизона за 23 года: выделено 1365 штаммов *Yersinia*, в том числе *Y. pseudotuberculosis* – 323, *Y. enterocolitica* – 784, *Y. kristensenii* – 181, *Y. frederiksenii* – 56, *Y. intermedia* – 21.

Впервые выявлены генетические и фенотипические маркеры вирулентности штаммов *Serratia* spp, изолированных в высоких широтах: адгезивная активность и способность к био пленкообразованию в условиях низких температур. Изучена чувствительность штаммов бактерий, имеющих медицинское значение, к антибактериальным препаратам, найдены резистентные фенотипы среди бактерий следующих родов: *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Enterobacter*, *Serratia*.

Депонированы в Государственную коллекцию патогенных микроорганизмов III-IV группа патогенности ФГБУ «Научный центр экспертизы средств медицинского применения» Минздрава РФ 3 штамма *Yersinia*: *Y. aleksiciae* № 1311, *Y. intermedia* № 1360, *Y. frederiksenii* № 1366, выделенные из объектов внешней среды Ленинградского гарнизона, которые предназначены для использования в качестве тест-штамма для идентификации иерсиний. Зарегистрирована последовательность генома штамма *Serratia liquefaciens* № 72 из антарктической орнитогенной пробы с острова Токарева архипелага Хасуэлл в 3 км от станции Мирный в GenBank (Acc. № NZ_MQRG00000000.1).

Теоретическая и практическая значимость исследования

Установлено увеличение количества и пейзажа изолированных бактерий – возбудителей сапрозоонозов, выделяемых в полярных регионах в динамике за 10 лет. Во время научных экспедиций из проб, отобранных на архипелаге Шпицберген в 2010-2011 гг., получено 25 видов бактерий, а в 2018-2019 гг. – 58 видов; из проб, отобранных в Антарктиде в 2011 г., выделено 46 видов, а в 2019 г. – 55.

Создан музей штаммов бактерий из полярных регионов: 243 арктических и 344 – антарктических.

С 90-х годов среди личного состава Ленинградского гарнизона отмечается смена этиологически значимых возбудителей иерсиниозной инфекции: вместо *Yersinia pseudotuberculosis* начинают преобладать следующие виды: *Y. enterocolitica*, *Y. kristensenii*, *Y. intermedia*, *Y. mollaretii*, *Y. frederiksenii*, что связано с социально-экономическими причинами и изменением экологии возбудителей.

Предложены и обоснованы принципы микробиологического мониторинга за счет использования молекулярно-генетического скрининга на этапе отбора материала.

Разработан алгоритм проведения микробиологического мониторинга возбудителей сапрозоонозов, выделенных в высоких широтах, с возможностью использования геокодированных данных при работе с геоинформационными системами.

Методология и методы исследования

Методологическая основа диссертационной работы была спланирована на основании поставленной цели исследования и включает применение методов научного познания с целью решения поставленных задач. Применялись следующие методы исследования: классические бактериологические, молекулярно-генетические, масс-спектрометрический анализ MALDI-TOF, фенотипические методы определения устойчивости к антибиотикам согласно МУК 4.12.1890-04, Клиническим рекомендациям «Определение чувствительности микроорганизмов к antimикробным препаратам» (2018), рекомендациям EUCAST (версия 10.0).

Положения, выносимые на защиту

1. Особенности природно-климатических условий Арктики и Антарктики наряду с активным освоением полярных регионов создают условия для распространения микробных сообществ, характерных для каждого региона и привнесенных извне, в динамике. Полноценное исследование сапрозоонозов полярных регионов, имеющих медицинское значение, включает в себя изучение циркуляции бактерий по трофическим цепям и исследование их генетических и фенотипических маркеров вирулентности и антибиотикорезистентности.
2. Для объективной оценки антропогенного и орнитогенного загрязнения окружающей среды на территории Антарктиды может быть использован универсальный биологический индикатор – цианобактериальные маты.
3. Алгоритм микробиологического мониторинга возбудителей сапрозоонозов из объектов окружающей среды, от животных и людей полярных и субполярных регионов включает в себя оптимальный протокол микробиологического исследования и возможность переноса геокодированных данных об исследуемых пробах в базы данных разного формата, в том числе – геоинформационные системы.

Личное участие автора в получении результатов

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии во всех этапах выполнения диссертационного исследования: изучении литературы по теме исследования, написании плана работы, участии в экспедициях по отбору материала из полярных регионов, исследовании проб и выделенных штаммов, анализе полученных результатов, написании статей и учебно-методической литературы, подготовки

докладов, оформлении диссертации. Личный вклад автора составляет не менее 80% работы.

Внедрение результатов исследования в практику

- «Способ оценки антропогенного и орнитогенного загрязнения окружающей среды Антарктиды по состоянию цианобактериальных матов (варианты)» (Патент на изобретение RU № 2522005, 2013 г.).
- Свидетельство о депонировании в Государственную коллекцию патогенных микроорганизмов III-IV групп патогенности ФГБУ «Научный центр экспертизы средств медицинского применения» Минздрава РФ 3 штамма: *Y. aleksiciae* №1311, *Y. intermedia* № 1360, *Y. frederiksenii* №1366, выделенных из объектов внешней среды Ленинградского гарнизона; зарегистрирована последовательность генома штамма *Serratia liquefaciens* № 72 из антарктической орнитогенной пробы у станции Мирный в GenBank (Acc. № NZ_MQRG00000000.1).
- Методические указания МУ 3.1.1.2438-09 «Эпидемиологический надзор и профилактика псевдотуберкулеза и кишечного иерсиниоза».
- Отчет о НИР № VMA.03.03.04.1213/0135 «Совершенствование микробиологического мониторинга за иерсиниями для объективной оценки эпидемического процесса и проведения обоснованных санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий при иерсиниозах у военнослужащих».
- Санитарные паспорта научных объектов Российской антарктической экспедиции (РАЭ): круглогодичных станций Мирный, Прогресс, Беллинсгаузен, Новолазаревская и Восток.
- Информационные материалы и Методические рекомендации: «Санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия на объектах Российской антарктической и Высокоширотной арктической экспедиций» для администрации научных станций и «Микробиологический мониторинг за возбудителями сапрозоонозов в полярных регионах» для специалистов, занимающихся медико-биологическими проблемами Арктики и Антарктики, Санкт-Петербург, 2012 г.
- Изменения в «Руководство по медицинскому обеспечению Вооруженных Сил Российской Федерации на мирное время» в разделе «Проведение лабораторных исследований для выделения иерсиний», Москва, 2016 г.
- Раздел «Особенности выделения иерсиний в полярных условиях» в учебном пособии «Иерсиниозы: псевдотуберкулез и кишечный иерсиниоз» для студентов медицинских вузов, Москва, 2021 г.
- Главы Учебника для курсантов и студентов факультетов подготовки врачей «Медицинская микробиология», СПб, 2016 г. и Руководство к лабораторным занятиям «Микробиология, вирусология и иммунология», СПб, 2018 г.
- Полученные данные используются в процессе преподавания микробиологии в соответствующих высших учебных заведениях, на курсах повышения квалификации врачей, при проведении научно-практических семинаров Центра мониторинга за иерсиниозами НИИЭМ имени Пастера, на научных конференциях и съездах.

Степень достоверности и апробация результатов исследования

Степень достоверности полученных результатов исследования определяется достаточным объемом проведенных наблюдений, репрезентативностью материала. Дизайн исследования, анализ данных, статистическая обработка результатов соответствуют требованиям, цели и задачам исследования. Основные положения работы, выводы и практические рекомендации аргументированы с позиций

доказательной медицины, логически вытекают из результатов исследований и подтверждены фактическим материалом. Достоверность полученных результатов и выводов обеспечена использованием адекватных и современных методов исследования, методик проведения расчетов, достаточным объемом анализируемых материалов, апробацией результатов и положений в рецензируемых журналах. Организация и проведение диссертационного исследования одобрены Локальным Комитетом по этике ФБУН НИИЭМ имени Пастера Роспотребнадзора (протокол № 68 от 29.10.2020 года).

Материалы и основные положения диссертации доложены и обсуждены на 15 Российских, в том числе с международным участием, и 4 зарубежных научно-практических конференциях.

Диссертация обсуждена и рекомендована к защите на заседании Ученого совета ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Пастера» Роспотребнадзора (протокол № 4 от 21.04.2021 года).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационное исследование, включающее вопросы изучения генетических и фенотипических свойств микроорганизмов полярных регионов, соответствует паспорту специальности 1.5.11 микробиология (Медицинские науки). Результаты проведенного исследования соответствуют пунктам 1, 2, 3, 6, 7 паспорта специальности.

Публикации

По материалам диссертационной работы опубликована 21 научная работа, из них 7 статей – в научных рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК, 2 – в изданиях, входящих в библиографические базы данных Scopus и Web of Science.

Объем и структура диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав (обзора литературы, материалов и методов, результатов исследования и обсуждения полученных результатов), выводов, практических рекомендаций, списка литературы, приложений. Диссертация изложена на 194 страницах машинописного текста, иллюстрирована 9 таблицами, 8 рисунками и 11 приложениями. Список литературы содержит 115 отечественных и 156 зарубежных источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования

Материал для исследования. Работа выполнена на базе «Санкт-Петербургского научно-исследовательского института эпидемиологии и микробиологии имени Пастера» с 2010 по 2020 гг. Материал для исследований был получен в ходе экспедиций на территориях полярных регионов в период 2010-2018 гг. Всего изучено 765 штаммов микроорганизмов из Арктики и Антарктики, 148 проб цианобактериальных матов (ЦБМ). Проведены ретроспективные исследования в Ленинградском гарнизоне на иерсиниоз. Изучено 1 508 штаммов бактерий рода *Yersinia* spp.

В ходе выполнения работы использованы различные методы исследования

Методы исследования	Объем исследований
1. Бактериологические методы	765 штаммов
2. Общебиологические методы исследования цианобактериальных матов	148 ЦБМ
3. Молекулярные методы: выявление детерминант вирулентности у штаммов <i>Yersinia</i> spp: <i>ail</i> , <i>yst A</i> , <i>yst B</i>	136 штаммов
4. Фенотипические методы исследования вирулентности штаммов <i>Yersinia</i> spp	136 штаммов

5. Моделирование биопленкообразования in vitro	6 исследований
6. Методы математической обработки данных	3 951 исследований

Бактериологические методы включали в себя: отбор и посев проб, выделение «чистой» культуры, изучение морфологии колоний, микроскопию выросших микроорганизмов, биохимическую идентификацию с использованием тест-систем биохимического типирования: тест-системы MIKROLATEST® для идентификации бактерий (ERBA LACHEMA), наборы для биохимической идентификации Microbact (BioVitrum), Стрипы API® (BioMerieux). Все полученные изоляты дополнительно были идентифицированы при помощи метода масс-спектрометрии. Спектры собирались в автоматическом режиме на масс-спектрометре Microflex™™ LT MALDI-TOF (Bruker Daltonics, Германия) с использованием программы Flex Control при функционировании прибора в линейном позитивном режиме с необходимыми параметрами, описанными в инструкции к прибору. Штаммы бактерий, имеющих медицинское значение (65 шт.), были изучены на предмет чувствительности к антибиотикам с помощью фенотипических методов согласно МУК 4.12.1890-04, Клиническим рекомендациям «Определение чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам» (2018), рекомендациям EUCAST (версия 10.0).

Результаты исследований обрабатывали с использованием коммерческих пакетов стандартизированных программ «Statistica» для Windows 7.0. Математическая обработка выполнена на персональном компьютере с использованием стандартного статистического пакета «STATISTICA». Для первичной подготовки таблиц и промежуточных расчетов был использован пакет Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Влияние прогнозируемого изменения климата на сообщества полярных микроорганизмов может быть оценено в контексте взаимосвязанных природных (в первую очередь орнитогенных), социально-техногенных (экономических), культурно-экологических факторов, опосредованно действующих на микробные популяции. Несмотря на схожесть экстремальных полярных условий, неблагоприятно действующих на местную и привнесенную микробиоту, существует ряд отличий в условиях на Южном и Северном полюсах, влияющих на формирование полярной микробиоты. Нами проведено рассмотрение по 12 критериям, среди которых основными являются климатогеографические показатели, социально-экономические и культурные особенности, биологические отличия, возможности для проведения микробиологического мониторинга, полученные данные по эпизоотологии и эпидемиологии сапрозоонозов. Анализ критериев указывает на весьма различные условия формирования полярной микробиоты в Арктике и Антарктике. При этом изучали 3 вида биоценозов: естественный, антропогенный и орнитогенный.

Антарктические образцы для микробиологических исследований отбирали в ходе полевых работ на российских круглогодичных станциях Мирный, Прогресс, Новолазаревская, Беллинсгаузен и сезонных полевых базах Молодежная, Дружная-4 и Оазис Бангера (Антарктида), на архипелагах Шпицберген и Северная Земля (Арктика), а также в ходе пеших маршрутов в окружающих полярные поселения ландшафтных районах. Все данные были геокодированы (рис. 1).

В результате проведенных исследований нами установлено, что на VI континенте сначала формируются природно-техногенные очаги возбудителей сапрозоонозов, которые при их включении в естественную циркуляцию и в трофические цепи могут перейти в природно-очаговый статус. Причем, чем больше участников вовлечено в данную циркуляцию, тем более устойчивым является новый очаг и тем

дольше сохраняется его активность с укоренением патогенов в новых географических регионах. На рисунке 2 представлена схема трофических цепей, включающих микроорганизмы, на территории прибрежной Антарктиды.

лабораторный журнал_РАЭ 63(1 часть) – Excel

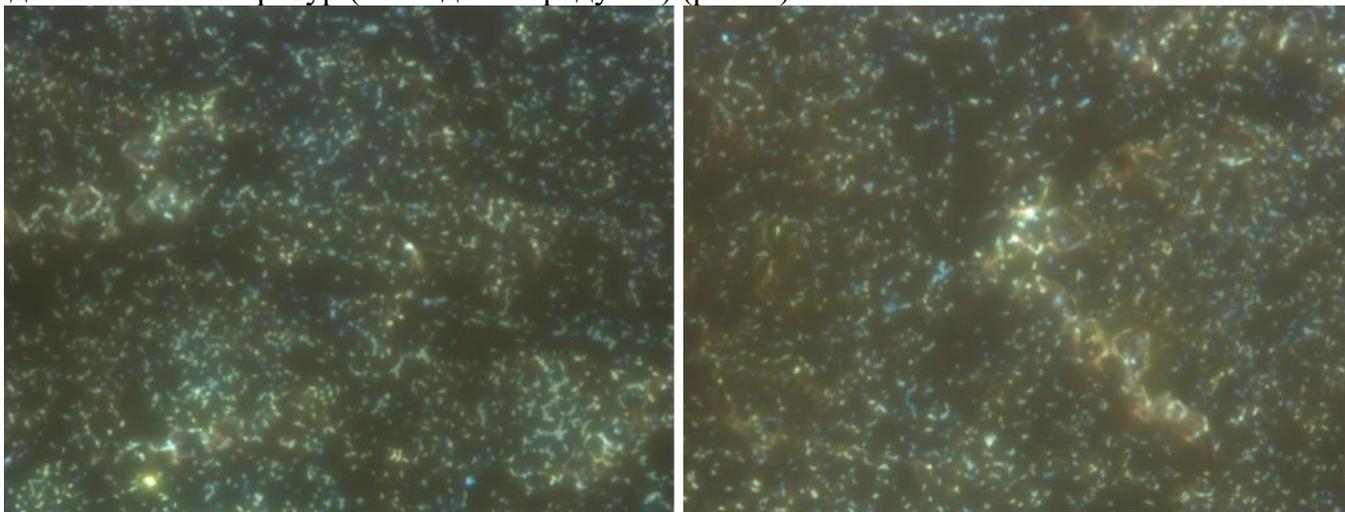
дата отбора	тип образца	наименование образца	географическая характеристика	мпа	сбтс	среда обогащения	холодородное обогащение	сывороточный агар	консервация в полужидком агаре	заморожено
05.01.2018	орнитогенный би	Смыв	15.11 05.01.2018 Остров Фулмар. Залив Трешникова. Гнездовые пингвинов Адели. S66o32'25", E93o00'	232(1)	очень крупные с фестончатым краем выпуклые колонии					
05.01.2018	орнитогенный би	Смыв	15.11 05.01.2018 Остров Фулмар. Залив Трешникова. Гнездовые пингвинов Адели. S66o32'25", E93o00'	233(1)	крупные кремневые плоские колонии, 233(2) среднего размера выпуклые бе					
05.01.2018	орнитогенный би	Смыв	15.12 05.01.2018 Остров Фулмар. Залив Трешникова. Гнездовые пингвинов Адели. S66o32'25", E93o00'	234(1)	среднего размера кремневые выпуклые колонии					
05.01.2018	орнитогенный би	Смыв	15.28 05.01.2018 Остров Фулмар. Залив Трешникова. Гнездовые пингвинов Адели. S66o32'26", E93o00'	235(1)	очень крупные с зеленоватым оттенком выпуклые колонии					
05.01.2018	орнитогенный би	Смыв	15.28 05.01.2018 Остров Фулмар. Залив Трешникова. Гнездовые пингвинов Адели. S66o32'26", E93o00'	236(1)	очень крупные выпуклые с зеленоватым оттенком колонии, 236(2) среднего					
05.01.2018	орнитогенный би	Смыв	15.29 05.01.2018 Остров Фулмар. Залив Трешникова. Гнездовые пингвинов Адели. S66o32'26", E93o00'	237(1)	среднего размера выпуклые белые колонии, 237(2) мелкие выпуклые бесце					
05.01.2018	орнитогенный би	Смыв	15.29 05.01.2018 Остров Фулмар. Залив Трешникова. Гнездовые пингвинов Адели. S66o32'26", E93o00'	238(2)	среднего размера вып	238(1)	крупные с фестончатым краем плоские кремневые колонии, 238(3) среднего			
05.01.2018	орнитогенный би	Смыв	15.29 05.01.2018 Остров Фулмар. Залив Трешникова. Гнездовые пингвинов Адели. S66o32'26", E93o00'	239(1)	крупные с фестончатым краем выпуклые колонии					
05.01.2018	орнитогенный би	Яйцо пингвина Адели	15.39 05.01.2018 Остров Фулмар. Залив Трешникова. Гнездовые пингвинов Адели. S66o32'28", E93o00'	240(1)	крупные с фестончатым краем кремневые выпуклые колонии					
05.01.2018	орнитогенный би	Смыв	15.40 05.01.2018 Остров Фулмар. Залив Трешникова. Гнездовые пингвинов Адели. S66o32'28", E93o00'06".	15,6	метров над уровнем моря					
06.01.2018	антропогенный и	Вода	11.45 06.01.2018 Остров Буромского. Залив Трешникова. Кладбище полярников и гнездовые пингвинов Адели. Озеро ниже могил. S66o31'59", E93o00'06".	6	метров над уровнем моря					
06.01.2018	антропогенный и	Вода	11.45 06.01.2018 Остров Буромского. Залив Трешникова. Кладбище полярников и гнездовые пингвинов Адели. Озеро ниже могил. S66o31'59", E93o00'06".	6	метров над уровнем моря					
06.01.2018	антропогенный и	Микробные маты	11.52 06.01.2018 Остров Буромского. Залив Трешникова. Кладбище полярников и гнездовые пингвинов Адели. Озеро ниже могил. S66o31'59", E93o00'06".	6	метров над уровнем моря					
06.01.2018	антропогенный и	Смыв гуано	11.54 06.01.2018 Остров Буромского. Залив Трешникова. Кладбище полярников и гнездовые пингвинов Адели. Озеро ниже могил. S66o31'59", E93o00'06".	6	метров над уровнем моря					
06.01.2018	антропогенный и	Талая вода	11.55 06.01.2018 Остров Буромского. Залив Трешникова. Кладбище полярников и гнездовые пингвинов Адели. Лука талой воды на скале у саркофагов. S66o31'59", E93o00'06".	6	метров над уровнем моря					
06.01.2018	антропогенный и	Микробные маты из	12.07 06.01.2018 Остров Буромского. Залив Трешникова. Кладбище поля [247(3)] крупные плоские шер [247(1) среднего размера кремневые плоские колонии, 247(2) среднего размера с ф							
06.01.2018	антропогенный и	Смыв из лужи на скале	12.10 06.01.2018 Остров Буромского. Залив Трешникова. Кладбище полярников и гнездовые пингвинов Адели. Озеро ниже могил. S66o31'59", E93o00'06".	6	метров над уровнем моря					
06.01.2018	антропогенный и	Смыв из гнезда	12.36 06.01.2018 Остров Буромского. Залив Трешникова. Кладбище полярников и гнездовые пингвинов Адели. S66o31'59", E93o00'06".	6	метров над уровнем моря					
06.01.2018	антропогенный и	Смыв из гнезда	12.36 06.01.2018 Остров Буромского. Залив Трешникова. Кладбище полярников и гнездовые пингвинов Адели. S66o31'59", E93o00'06".	6	метров над уровнем моря					
06.01.2018	антропогенный и	Смыв из гнезда	12.37 06.01.2018 Остров Буромского. Залив Трешникова. Кладбище полярников и гнездовые пингвинов Адели. S66o31'59", E93o00'06".	6	метров над уровнем моря					
06.01.2018	антропогенный и	Смыв из гнезда	12.37 06.01.2018 Остров Буромского. Залив Трешникова. Кладбище полярников и гнездовые пингвинов Адели. S66o31'59", E93o00'06".	6	метров над уровнем моря					

Рисунок 1 – Фрагмент электронного журнала с геокодированными данными



Рисунок 2 – Микробиологическое и эпидемиологическое значение трофических цепей на территории прибрежной Антарктиды

Ряд выделенных штаммов, имеющих медицинское значение, исследовали на наличие факторов патогенности. После полногеномного секвенирования штамма *Serratia liquefaciens* 72, выделенного из образца гуано колонии пингвинов Адели на острове Токарева в 3 км от станции Мирный, установлено, что в геноме присутствуют гены, кодирующие основные белки-шапероны холодового шока, кластер генов *tcfABCD*, определяющих способность к адгезии бактериальных клеток к эпителиальным тканям, гены RTX токсинов – адгезинов. Экспериментальные исследования подтвердили способность *Serratia liquefaciens* 72 к активному биопленкообразованию в широком диапазоне температур (от 6° до 37 градусов) (рис. 3).



Штамм *Serratia liquefaciens* 72, GenBank (Acc. № NZ_MQRG00000000.1)
Люминесцентная микроскопия - X 630.

Рисунок 3 – Регистрация биопленкообразования штамма *Serratia liquefaciens* 72

В Арктическом регионе отбор проб производился на островах Западный Шпицберген и Большевик архипелага Северная Земля. На архипелаге Шпицберген были изучены следующие типы биоценозов: естественный (47 проб, 39%), антропогенный (13 проб, 11%), орнитогенный (59 проб, 50%). При этом из образцов естественного биоценоза выделено 115 штаммов бактерий, из образцов антропогенного биоценоза – 31 штамм, из образцов орнитогенного биоценоза – 124 штамма.

На острове Большевик архипелага Северная Земля изучены 10 проб из естественного биоценоза (50%), 2 пробы – из антропогенного биоценоза (10%), 8 проб – из орнитогенного биоценоза (40%). При этом из образцов естественного биоценоза выделено 39 штаммов бактерий, из образцов антропогенного биоценоза – 4 штамма, из образцов орнитогенного биоценоза – 14 штаммов.

При ранжировании по частоте встречаемости видов бактерий было установлено, что в пробах естественного биоценоза на Шпицбергене преобладали бактерии родов *Acinetobacter*, *Enterobacter*, из антропогенных образцов – *Acinetobacter*, а из орнитогенных проб – представители родов *Enterobacter*, *Enterococcus*. Всего идентифицировано 270 жизнеспособных штаммов бактерий 58 видов, относящихся к 28 родам и 22 семействам (табл. 1, рис. 4).

В пробах, собранных на Северной Земле, во всех видах биоценоза преобладали представители рода *Pseudomonas*, как показатель их широкого распространения в естественных условиях (табл. 2, рис. 5).

Таблица 1
Распределение микробиоты из района микробиологических исследований на архипелаге Шпицберген по видам биоценоза

№ п/ п	Бактерии (семейство)	Количество выделенных штаммов бактерий в биоценозе					
		Естественный		Антропогенный		Орнитогенный	
		Абс. число	Доля (%)	Абс. число	Доля (%)	Абс. число	Доля (%)
1	<i>Yersiniaceae</i>	4	3,5	1	3,2	2	1,6
2	<i>Moraxellaceae</i>	18	15,7	9	29,0	17	13,7
3	<i>Pseudomonadaceae</i>	14	12,2	2	6,5	20	16,1
4	<i>Enterobacteriaceae</i>	15	13,0	4	12,9	27	21,8
5	<i>Enterococcaceae</i>	6	5,2	1	3,2	21	16,9
6	<i>Carnobacteriaceae</i>	9	7,8	1	3,2	6	4,8
7	<i>Staphylococcaceae</i>	15	13,0	4	12,9	8	6,5
8	<i>Streptococcaceae</i>	1	0,9	0	0	0	0
9	<i>Bacillaceae</i>	4	3,5	5	16,1	8	6,5
10	<i>Aerococcaceae</i>	8	7,0	0	0	5	4,0
11	<i>Xanthomonadaceae</i>	9	7,8	2	6,5	1	0,8
12	<i>Erwiniaceae</i>	3	2,6	1	3,2	1	0,8
13	<i>Micrococcaceae</i>	1	0,9	0	0	2	1,6
14	<i>Paenibacillaceae</i>	2	1,7	1	3,2	0	0
15	<i>Clostridiaceae</i>	0	0	0	0	2	1,6
16	<i>Microbacteriaceae</i>	1	0,9	0	0	2	1,6
17	<i>Flavobacteriaceae</i>	1	0,9	0	0	1	0,8
18	<i>Aeromonadaceae</i>	0	0	0	0	1	0,8
19	<i>Morganellaceae</i>	1	0,9	0	0	0	0
20	<i>Caulobacteraceae</i>	1	0,9	0	0	0	0
21	<i>Myroidaceae</i>	1	0,9	0	0	0	0
22	<i>Leuconostocaceae</i>	1	0,9	0	0	0	0

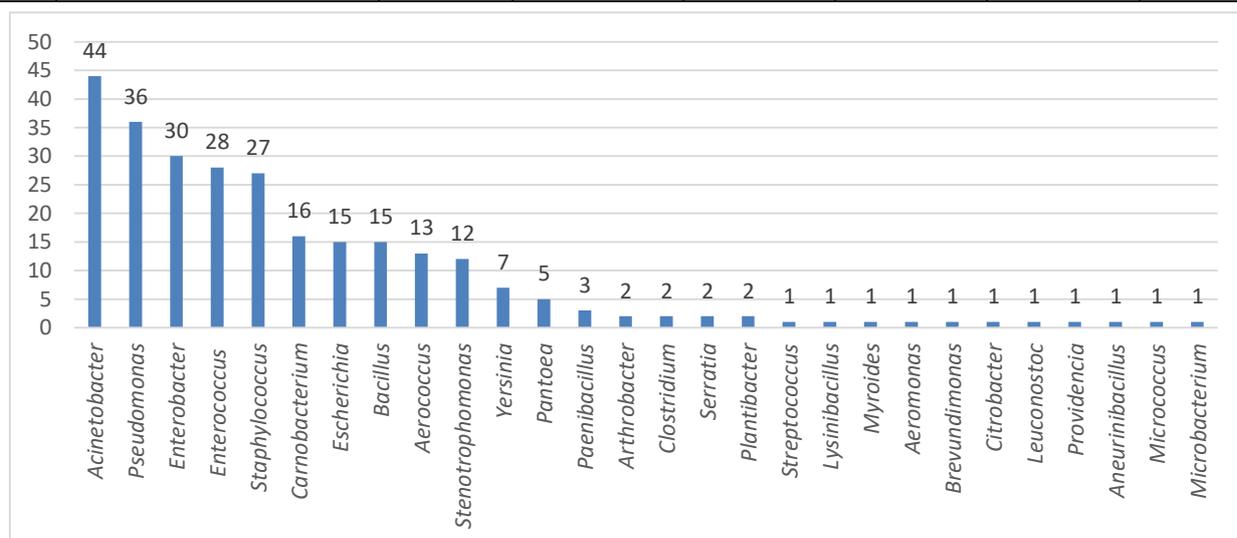


Рисунок 4 – Количество выделенных штаммов различных родов бактерий в пробах окружающей среды на архипелаге Шпицберген

Таблица 2

Распределение микробиоты из района микробиологических исследований на острове Большевик архипелага Северная Земля по видам биоценоза

№ п/ п	Бактерии (семейство)	Количество выделенных штаммов бактерий в биоценозе					
		Естественный		Антропогенный		Орнитогенный	
		Абс. число	Доля (%)	Абс. число	Доля (%)	Абс. число	Доля (%)
1	<i>Yersiniaceae</i>	3	7,7	0	0	1	7,1
2	<i>Moraxellaceae</i>	1	2,6	0	0	1	7,1
3	<i>Pseudomonadaceae</i>	20	51,3	1	25,0	6	42,9
4	<i>Nocardiaceae</i>	6	15,4	1	25,0	1	7,1
5	<i>Alcaligenaceae</i>	2	5,1	1	25,0	1	7,1
6	<i>Bacillaceae</i>	2	5,1	0	0	2	14,3
7	<i>Carnobacteriaceae</i>	1	2,6	0	0	0	0
8	<i>Xanthomonadaceae</i>	1	2,6	0	0	0	0
9	<i>Erwiniaceae</i>	1	2,6	0	0	1	7,1
10	<i>Micrococcaceae</i>	0	0	1	25,0	0	0
11	<i>Paenibacillaceae</i>	2	5,1	0	0	1	7,1

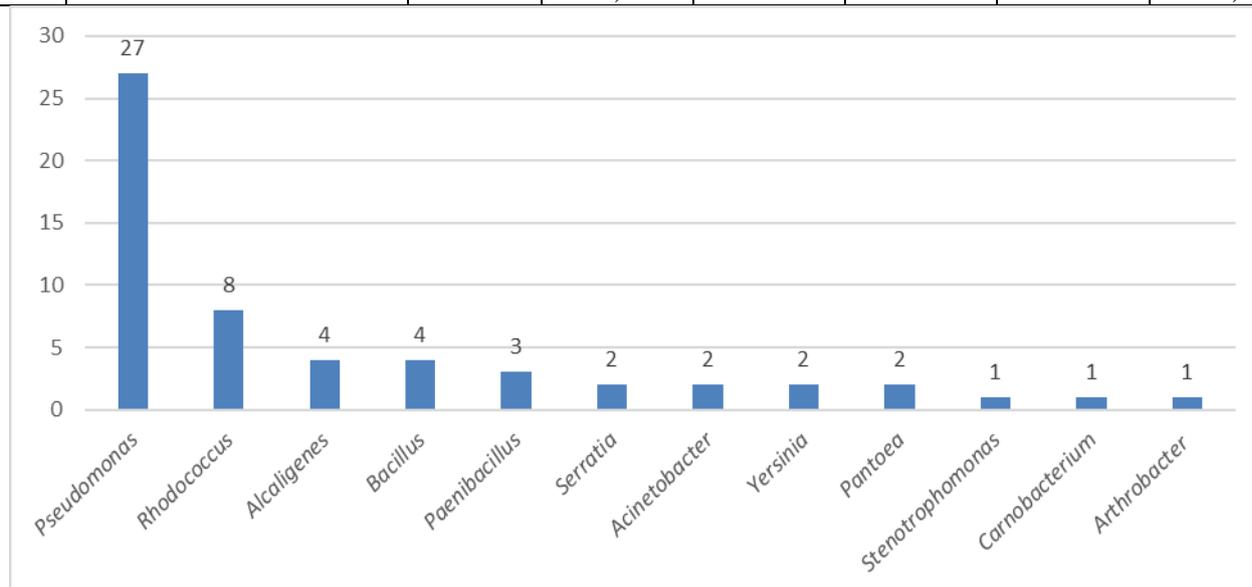


Рисунок 5 – Количество выделенных штаммов различных родов бактерий в пробах окружающей среды на острове Большевик архипелага Северная Земля

Важным является распространение в Арктическом регионе бактерий, устойчивых к антибиотикам. Так, ряд представителей родов *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Enterobacter*, *Serratia*, помимо природной резистентности к известным классам антибактериальных препаратов, проявляют низкую чувствительность к антибиотикам, которые рекомендуются для этиотропной терапии в случае развития инфекционного процесса, обусловленного этими микроорганизмами (табл. 3).

Чувствительность арктических бактерий к антибиотикам

Наименование антибиотика (класс)	Чувствительные (%)	Умеренно устойчивые (%)	Устойчивые (%)	МПК ₉₀ (мг/л)	Диапазон МПК (мг/л)
Чувствительность штаммов <i>Acinetobacter</i> spp к антибиотикам (n=20)					
Меропенем (карбапенемы)	20	15	65	16	0,5-32
Ципрофлоксацин (фторхинолоны)	10	15	75	2	0,25-4
Амикацин (аминогликозиды)	10	10	80	16	4-32
Чувствительность штаммов <i>Pseudomonas</i> spp к антибиотикам (n=20)					
Цефепим (цефалоспорины)	15	20	65	8	0,001-16
Меропенем (карбапенемы)	20	15	65	8	0,5-16
Ципрофлоксацин (фторхинолоны)	10	10	80	1	0,25-2
Амикацин (аминогликозиды)	40	40	20	16	1-32
Чувствительность штаммов <i>Stenotrophomonas</i> spp к антибиотикам (n=6)					
Триметоприм-сульфаметоксазол	0	20	80	8	0,5-16
Чувствительность штаммов <i>Enterobacter</i> spp к антибиотикам (n=15)					
Меропенем (карбапенемы)	20	53,3	26,7	4	0,5-16
Ципрофлоксацин (фторхинолоны)	13,3	66,7	20	0,5	0,125-2
Амикацин (аминогликозиды)	26,7	53,3	20	8	4-16
Чувствительность штаммов <i>Serratia</i> spp к антибиотикам (n=4)					
Меропенем (карбапенемы)	50	25	25	0,5	0,5-16
Ципрофлоксацин (фторхинолоны)	25	50	25	0,125	0,125-2
Амикацин (аминогликозиды)	75	25	0	2	1-8

В результате исследований микробного мира Антарктиды и цианобактериальных матов (ЦБМ) был разработан способ объективной оценки антропогенного и орнитогенного загрязнения окружающей среды на территории расположения научных станций и полевых баз Антарктиды при помощи универсального биологического индикатора – ЦБМ. При этом предложено 3 варианта оценки: 1) по физико-химическим

показателям матов; 2) по микробиологическим показателям; 3) по содержанию в них тяжелых металлов (Патент на изобретение RU № 2522005, 2013 г.) (рис. 6).

Оцениваемые показатели ЦБМ	Категория почвы		
	Чистая	Загрязненная	Сильно загрязненная
1. Физико-химическая характеристика матов:			
Площадь (м ²)	< 1	1-3	>3
Высота (см)	<5	5-10	>10
Цвет (<u>пигментообразование</u>)	Монохромный*	Полихромный <50%	Полихромный >50%
Характеристика подстилающего грунта в зависимости от антропогенного воздействия	Не подвергнут антропогенному воздействию	Антропогенное воздействие без нарушения рельефа местности	Антропогенное воздействие с нарушением рельефа местности и изменением водотока
Наличие биологических включений (<u>орнитогенных</u> , <u>антропогенных</u>)	Нет	Перья, погадки, бумага, стройматериалы	Помет, кости животных и рыб, отходы из мусоросборников, тяжелый мусор, нефтепродукты, фрагменты металла и строительного мусора, сточные воды.
Ph среды матов	6,5-9	5-6,5	3-5
2. Микробиологическая характеристика матов (КОЕ/г)			
<u>Энтеробактерии</u>	<1	1-10	>10
<u>Псевдомонады</u> и др. нитрифицирующие бактерии	<10	10-1000	>1000
<u>Клостридии</u>	<100	100-10 000	>10 000
Термофильные микроорганизмы	<1000	1000-100 000	>100 000
<u>Микромицеты</u>	<1000 **	1000-2000 ***	>2000 ****
3. Характеристика загрязнения тяжелыми металлами (Zc) ^{*****}	<16	16-128	>128

Рисунок 6 – Критерии оценки санитарного состояния объекта РАЭ по физико-химической и микробиологической характеристике цианобактериальных матов Санитарное состояние объекта по характеристике цианобактериальных матов согласно принятым критериям может быть чистым, загрязненным, сильно загрязненным (рис. 7).

Пример 1- чистый объект Полевая база Дружная-4 S 69044,877° E 073042,417° ЦБМ с доминированием нитчатых водорослей, между камнями на склоне к дороге от станции. 	Оцениваемые показатели ЦБМ	Результаты оценки
	Пример 2 – загрязненный объект Станция Прогресс, S 69022, 976° E 076024,009° <u>Орнитофильное</u> местообитание, грунт с зачаточными мхами и водорослями.	1. Физико-химическая характеристика матов:
Площадь (м ²)		1
Высота (см)		3
Цвет (<u>пигментообразование</u>)		Монохромный (зеленый)
Характеристика подстилающего грунта в зависимости от антропогенного воздействия		Не подвергнут антропогенному воздействию
Наличие биологических включений (<u>орнитогенных</u> , <u>антропогенных</u>)		Нет
Ph среды матов		7
2. Микробиологическая характеристика матов (КОЕ/г)		
<u>Энтеробактерии</u>		0
<u>Псевдомонады</u> и др. нитрифицирующие бактерии		5
<u>Клостридии</u>		0
Термофильные микроорганизмы		500
<u>Микромицеты</u>		900
3. Характеристика загрязнения тяжелыми металлами (Zc) ^{*****}		12
1. Физико-химическая характеристика матов:		
Площадь (м ²)	3	
Высота (см)	5	
Цвет (<u>пигментообразование</u>)	Полихромный (<50%)	
Характеристика подстилающего грунта в зависимости от антропогенного воздействия	Антропогенное воздействие без нарушения рельефа местности	
Наличие биологических включений (<u>орнитогенных</u> , <u>антропогенных</u>)	Перья, погадки, стройматериалы	
Ph среды матов	6	
2. Микробиологическая характеристика матов (КОЕ/г)		
<u>Энтеробактерии</u>	10	
<u>Псевдомонады</u> и др. нитрифицирующие бактерии	1000	
<u>Клостридии</u>	500	

Рисунок 7 – Пример оценки санитарного состояния объекта РАЭ по характеристике цианобактериальных матов

Результатом проведенной работы явилась разработка алгоритма микробиологического мониторинга возбудителей сапрозоонозов из объектов окружающей среды, от животных и людей полярных и субполярных регионов, который включает в себя оптимальный протокол микробиологического исследования и возможность переноса геокодированных данных об исследуемых пробах в базы данных разного формата, в том числе – геоинформационные системы локального, регионального и федерального уровней (рис. 8).



Рисунок 8 – Алгоритм микробиологического мониторинга возбудителей сапрозоонозов

Выводы

1. Вследствие значительных различий природно-климатических условий Арктики и Антарктики выявлены отличительные особенности микробных сообществ, распространенных на указанных территориях: в естественных биоценозах Арктического региона, преобладают представители семейств *Moraxellaceae* и *Pseudomonadaceae*, в то время как в одноименных биоценозах Антарктиды более широко распространены представители семейств *Yersiniaceae* и *Neisseriaceae*. Создан

- музей штаммов бактерий из полярных регионов: 243 арктических и 344 – антарктических.
2. Разработан способ объективной оценки антропогенного и орнитогенного загрязнения окружающей среды на территории Антарктиды при помощи универсального биологического индикатора – цианобактериальных матов. Комплекс показателей позволяет определить следующие категории почвы: чистая, загрязненная, сильно загрязненная (Патент на изобретение RU № 2522005, 2013 г.).
 3. Установлена циркуляция бактерий, имеющих медицинское значение (*Serratia* spp, *Pseudomonas* spp, *Acinetobacter* spp), в трофических цепях Антарктиды: от низших форм жизни до птиц и млекопитающих с вовлечением территорий расположения антарктических объектов.
 4. У представителей рода *Serratia*, выделенных в Арктике и Антарктике, установлены сходные черты адаптации к условиям полярного климата: высокие показатели адгезивности и биопленкообразования при низких температурах. Выявлен резистентный фенотип штаммов у бактерий, принадлежащих к видам, имеющим медицинское значение, из родов *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Stenotrophomonas*, *Enterobacter*, *Serratia*.
 5. Разработан алгоритм микробиологического мониторинга возбудителей сапрозоонозов среди людей, животных, объектов окружающей среды полярных и субполярных регионов, обеспечивающий усовершенствованный протокол микробиологического исследования и возможность переноса геокодированных данных в геоинформационные системы.

Практические рекомендации

С целью более глубокого исследования распространенности сапрозоонозов в полярных регионах предлагается использовать разработанный алгоритм микробиологического мониторинга, в основе которого лежит унифицированный подход к регистрации всех данных об исследуемых пробах и выделяемых при этом микроорганизмах в одном формате, доступном для переноса в любые многофункциональные информационные системы, позволяющие проводить анализ в пространстве и времени по любому доступному критерию. Примером таких систем являются геоинформационные системы разного уровня: от локального – до федерального. Использование подобных порталов позволит на основе заложенных данных с помощью встроенного в них математического аппарата анализировать ситуацию на указанной территории и прогнозировать ее развитие в динамике, тем самым находя позиции, нуждающиеся в более глубоком или повторном исследовании.

Для повышения эффективности бактериологических исследований на поиск в полярных пробах сапрозоонозов, имеющих медицинское значение, рекомендуется использовать разработанный алгоритм проведения микробиологического мониторинга, позволяющий уже на этапе скрининга выявлять пробы и биоценозы, имеющие эпидемиологическое значение.

Появляется возможность оценки антропогенного и орнитогенного загрязнения окружающей среды Антарктиды по состоянию цианобактериальных матов. Эти данные могут быть использованы для контроля всей антарктической территории в динамике.

Составленные Санитарные паспорта научных объектов Российской антарктической экспедиции, а именно: круглогодичных станций Мирный, Прогресс, Беллинсгаузен, Новолазаревская и Восток – позволят правильно организовать процесс пребывания личного состава экспедиций на территории Антарктиды. Подготовленные

информационные материалы и Методические рекомендации: «Санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия на объектах Российской антарктической и Высокоширотной арктической экспедиций» для администрации научных станций и «Микробиологический мониторинг за возбудителями сапрозоонозов в полярных регионах» для специалистов, занимающихся медико-биологическими проблемами Арктики и Антарктики, будут полезны для организаторов и участников научно-исследовательских экспедиций в полярные регионы.

Для более глубокого изучения иерсиний разработаны и утверждены в 2009 г. Методические указания МУ 3.1.1.2438-09 «Эпидемиологический надзор и профилактика псевдотуберкулеза и кишечного иерсиниоза» с подробным описанием протокола исследования на поиск этих сапрозоонозов, а также внесены изменения в «Руководство по медицинскому обеспечению Вооруженных Сил Российской Федерации на мирное время» в разделе «Проведение лабораторных исследований для выделения иерсиний».

Подготовленные разделы в учебники и учебные пособия по микробиологии используются при изучении вышеперечисленных вопросов в высших медицинских учебных заведениях.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Планируется продолжение исследования микробного мира Арктики и Антарктики. Будут изучены не только живые особи бактерий, но и фрагменты ДНК, которые помогут определить состав микробиоты указанных территорий в историческом аспекте. В дальнейшем будут исследоваться биологические свойства микроорганизмов – возбудителей ИСМП, особенно в отношении их чувствительности к антибиотикам и возможности горизонтального переноса факторов патогенности между представителями разных таксонов. Продолжатся исследования на поиск психрофильных сапрозоонозов, в том числе представителей семейства *Yersiniaceae*.

Будет пополняться музей полярных штаммов возбудителей сапрозоонозов.

Пример разработки способа оценки антропогенного и орнитогенного загрязнения окружающей среды Антарктиды по состоянию цианобактериальных матов планируется использовать при создании аналога для условий Арктического региона.

Все результаты с геокодированными данными будут встроены в геоинформационные системы доступного уровня, что позволит провести анализ распространенности сапрозоонозов в полярных регионах в динамике и прогнозировать развитие ситуации в будущем.

Аннотация

Исследования проб из биоценозов Арктики и Антарктики за 10 лет установило увеличение пейзажа выделяемых бактерий: на архипелаге Шпицберген в 2010-2011 гг. – 25 видов бактерий, в 2018-2019 гг. – 58; в Антарктиде в 2011 г. – 46, в 2019 г. – 55. Благодаря этим работам создан музей из 587 полярных штаммов. Значительные различия природно-климатических условий способствуют превалированию микроорганизмов, принадлежащих к разным таксонам – в естественных биоценозах Арктического региона чаще встречаются семейства *Moraxellaceae* и *Pseudomonadaceae*, а в Антарктиде – *Yersiniaceae* и *Neisseriaceae*. По генетическим и фенотипическим маркерам вирулентности у *Serratia* spp показана высокая адгезивная активность и способность к биопленкообразованию. Обнаружены резистентные к антибактериальным препаратам фенотипы бактерий: *Stenotrophomonas*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*. Для оценки антропогенного и орнитогенного загрязнения окружающей среды на территории Антарктиды и динамического слежения за её состоянием предложен биологический

индикатор – цианобактериальные маты. Наличие *Y. intermedia* во всех видах биоценозов указывает на вероятность инфицирования жителей, находящихся в условиях холодного стресса. Ретроспективный анализ результатов выделения иерсиний показал закономерность: с 90-х годов XX века в объектах окружающей среды Ленинградского гарнизона отмечается смена этиологически значимых возбудителей иерсиниозной инфекции: вместо *Y. pseudotuberculosis* преобладают: *Y. enterocolitica*, *Y. kristensenii*, *Y. intermedia*, *Y. mollaretii*, что связано с социально-экономическими причинами. Результаты проведенных скрининговых и детальных исследований предложено вносить в электронные таблицы, сопряженные с базами многоуровневых геоинформационных систем для оперативного анализа и прогнозирования ситуации по распространенности микроорганизмов в высоких широтах.

Данные исследования позволяют предложить алгоритм надежного и объективного микробиологического мониторинга сапрозоонозов в экстремальных условиях полярных регионов Земли.

Summary

Studies of samples from biocenosis of the Arctic and Antarctic over 10 years have established an increase in the landscape of isolated bacteria: on the Spitsbergen archipelago in 2010-2011. – 25 species of bacteria, in 2018-2019. – 58; in Antarctica in 2011 – 46, in 2019 – 55. Thanks to these works, a museum of 587 polar strains was created. Significant differences in climatic conditions contribute to the prevalence of microorganisms belonging to different taxa - the families *Moraxellaceae* and *Pseudomonadaceae* are more common in the natural biocenosis of the Arctic region, and *Yersiniaceae* and *Neisseriaceae* in Antarctica. According to genetic and phenotypic markers of virulence, *Serratia* spp has shown high adhesive activity and the ability to biofilm formation. Phenotypes of bacteria resistant to antibacterial drugs were found: *Stenotrophomonas*, *Acinetobacter*, *Pseudomonas*. To assess anthropogenic and ornithogenic pollution of the environment on the territory of Antarctica and dynamically monitor its state, a biological indicator, cyanobacterial mats, has been proposed. The presence of *Y. intermedia* in all types of biocenosis indicates the likelihood of infection in residents under cold stress conditions. A retrospective analysis of the results of the isolation of *Yersinia* showed a pattern: from the 90s. In the environmental objects of the Leningrad garrison, there is a change in etiologically significant pathogens of yersiniosis infection: instead of *Y. pseudotuberculosis*, *Y. enterocolitica*, *Y. kristensenii*, *Y. intermedia*, *Y. mollaretii* prevail, which is associated with socio-economic reasons. The results of the screening and detailed studies were proposed to be entered into spreadsheets associated with the bases of multilevel geoinformation systems for operational analysis and forecasting of the situation on the prevalence of microorganisms at high latitudes.

These studies allow us to propose an algorithm for reliable and objective microbiological monitoring of saprozoonosis in extreme conditions of the polar regions of the Earth.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Тешебаев Ш.Б. Эколого-эпидемиологическая характеристика иерсиний, выделенных из объектов внешней среды и их идентификация / Ш.Б. Тешебаев, А.Л. Панин, Е.А. Богумильчик, В.Л. Мартыанов, Г.Я. Ценева, В.Б. Сбойчаков // Вестник Российской Военно-медицинской академии. – 2008. - № 2 (22). – Ч. 2. – С. 555-556.
2. Панин А.Л. Микробиологический мониторинг на антарктических станциях России: ретроспективный взгляд в будущее / А.Л. Панин, Д.Ю. Власов, Ш.Б.

- Тешебаев, Г.А. Горбунов, К.К. Левандо, В.Б. Сбойчаков, Е.А. Богумильчик, В.В. Лукин // Профилактическая и клиническая медицина. – 2012. № 3 (44). – С. 70-76.**
3. Микробиология, вирусология и иммунология: Руководство к лаб. занятиям: учеб. пособие // [В.Б. Сбойчаков и др.] // под ред. В.Б. Сбойчакова, М.М. Карапаца. А.Л. Панин, глава: Микробиологическая диагностика возбудителей иерсиниозов. – М., 2012. – С. 192-194.
 4. Панин А.Л. Микробный пейзаж иерсиний, изолированных на территории Ленинградской военно-морской базы / А.Л. Панин, В.Б. Сбойчаков, Г.Я. Ценева, В.Н. Болехан, М.Г. Муравьева, С.В. Борисенко // Инфекция и иммунитет. – 2012. – Т. 2, № 1-2. – С. 310.
 5. Панин А.Л. Использование технологии MALDI-TOF/MS для идентификации микроорганизмов из внешней среды Антарктиды / А.Л. Панин, А.В. Наумик // Инфекция и иммунитет. – 2013. – Т. 3, № 2. – С. 161.
 6. **Панин А.Л. Микробиологический мониторинг иерсиний как основа санитарно-эпидемиологического надзора за иерсиниозами в организованных коллективах / А.Л. Панин, Л.А. Краева, В.Б. Сбойчаков, А.Б. Белов, В.Н. Болехан, Д.Ю. Власов, Г.Я. Ценева // Инфекция и иммунитет. – 2013. – № 3. – С. 217-228.**
 7. **Панин А.Л. Цианобактериальные маты как объекты мониторинга антарктических экосистем / А.Л. Панин, Е.А. Богумильчик, А.Н. Шаров, Д.Ю. Власов, М.С. Зеленская, А.В. Толстикова, Ш.Б. Тешебаев, Г.Я. Ценева, Л.А. Краева, В.Б. Сбойчаков, В.Н. Болехан // Вестник СПбГУ. – 2013. – Сер. 3. Вып. 2. – С. 3-11.**
 8. Панин А.Л. Цианобактериальные маты в микробиологическом мониторинге антарктических экосистем / А.Л. Панин, Л.А. Краева, А.Н. Шаров, Д.Ю. Власов, А.В. Толстикова, Ш.Б. Тешебаев, Г.Я. Ценева, В.Б. Сбойчаков, А.Б. Белов, В.Н. Болехан // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 90-летию кафедры микробиологии ВМедА им. С.М. Кирова «Микробиология: от микроскопа до нанотехнологий». СПб. – 2013. – С. 134-138.
 9. Панин А.Л. Микробиологический мониторинг Антарктиды как предиктор рисков изменения климата Земли // А.Л. Панин, А.Б. Белов, Л.А. Краева, В.Н. Болехан, Н.Г. Владимирова, А.Е. Гончаров, Д.Ю. Власов, Ш.Б. Тешебаев, А.Н. Шаров, А.В. Толстикова // Труды Белорусского государственного университета. – 2014. – Т. 9. Часть 2. – С. 68-81.
 10. Тешебаев Ш.Б. Характерные признаки загрязнённости грунтов в прибрежной Антарктиде при орнитогенной нагрузке / Ш.Б. Тешебаев, Е.Д. Добротина, А.Л. Панин // Арктика и Антарктика. М.: Наука. Вып. 8 (42) – 2015. – С. 168-177.
 11. Патент на изобретение «Способ оценки антропогенного и орнитогенного загрязнения окружающей среды Антарктиды по состоянию цианобактериальных матов (варианты)» № 2522005 от 13.12.2013. // Панин А.Л., Краева Л.А., Власов Д.Ю., Абакумов А.Е., Болехан В.Н. // Рос. Федерация: МПК G01N 33/24 – публ. 10.04.2015. Бюл. №10.
 12. **Панин А.Л. Природно-техногенная очаговость инфекционных болезней на территории Антарктических поселений / А.Л. Панин, В.Б. Сбойчаков, А.Б. Белов, Л.А. Краева, Д.Ю. Власов, А.Е. Гончаров // Успехи современной биологии. – 2016. – Т. 136. – №1. – С. 53-67.**
 13. Панин А.Л. Обоснование использования цианобактериальных матов для индикации микробиоты в окружающей среде Арктики и Антарктики / А.Л. Панин, Л.А. Краева,

- А.Е. Гончаров, Д.Ю. Власов, Е.В. Абакумов, А.Б. Белов, В.Б. Сбойчаков // Инфекция и иммунитет. – 2016. – Т.6. – № 3 – С. 280-281.
14. Тешебаев Ш.Б. Микробиологические компоненты грунтов района полевой геологической базы в Антарктиде / Ш.Б. Тешебаев, А.С. Ремнев, А.Л. Панин // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2016. – №2 (108) – С. 92-100.
15. Белов А.Б. Актуальные теоретические вопросы эколого-эпидемиологической концепции сапронозов и возможные пути решения / А.Б. Белов, А.Л. Панин // Успехи современной биологии – 2018. – №4. (138). – С. 364-384.
16. Краева Л.А. Микробиологический мониторинг в Арктике как способ сохранения биологической безопасности в регионе / Л.А. Краева, А.Л. Панин, Б.Ю. Гумилевский, Д.Ю. Власов, А.Е. Гончаров, О.Н. Сафронова // Известия Российской Военно-медицинской академии. – 2020. – Т. 39. – № S3-2. – С. 77-80.
17. Белов А.Б. Теория сапронозных инфекций: история развития и пути совершенствования в системе медико-биологических наук / А.Б. Белов, А.Л. Панин // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2020. 97(1). – С. 91-101. DOI: <https://doi.org/10.36233/0372-9311-2020-1-91-101>
18. Краева Л.А. Факторы риска распространения возбудителей инфекционных заболеваний в Арктической зоне / Л.А. Краева, А.Л. Панин, А.Е. Гончаров, Д.Ю. Власов, Н.Е. Гончаров, В.Б. Сбойчаков // Инфекционные болезни – 2021. – Т. 19. – № 2. – С. 14-20.
19. Гончаров А.Е. Оценка патогенного потенциала серраций из криогенных местообитаний / А.Е. Гончаров, А.П. Соломенный, А.Л. Панин, С.Е. Григорьев, М.Ю. Чепрасов, Я.А. Ахременко, В.В. Колоджиева, Н.Е. Гончаров, Л.А. Краева // Инфекция и иммунитет. – 2021. – Т. 11. – № 3. – С. 585-590.
20. Чеснокова М.В., Климов В.Т., Каримова Т.В., Загоскина Т.Ю., Панин А.Л. Лабораторная диагностика псевдотуберкулёза и кишечного иерсиниоза // Эпидемиология и инфекционные болезни. 2021. Т. 26, № 5. С. 224–237. DOI: <https://doi.org/10.17816/EID108746>
21. Краева Л.А. Эпидемиологическое значение мониторинга микробиоты арктических поселений по Северному морскому пути / Л.А. Краева, А.Л. Панин, А.Е. Гончаров, А.Б. Белов, Д.Ю. Власов, И.Ю. Кирцидели, Н.Е. Гончаров, И.В. Баранов, В.Б. Сбойчаков // Морская медицина. – 2021. – Т. 7. – № 4. – С. 23-33, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2021-7-4-23-33>

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ИСМП – инфекции, связанные с оказанием медицинской помощи

ПЦР – полимеразная цепная реакция

РАЭ – Российская антарктическая экспедиция – экспедиционное подразделение ААНИИ Росгидромета

ЦГСЭН МО РФ – Центр государственного санитарно-эпидемиологического надзора Министерства обороны РФ

ЦМБ – цианобактериальные маты

MALDI-ToF/MS – масс-спектрометрический анализ.