

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АНТАРКТИДЫ КАК ПРЕДИКТОР РИСКОВ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЗЕМЛИ

А.Л. Панин¹, А.Б. Белов¹, Л.А. Краева¹, В.Н. Болахан¹, Н.Г. Владимирова¹,
А.Е. Гончаров², Д.Ю. Власов³, Ш.Б. Тешебаев⁴, А.Н. Шаров⁵, А.В. Толстиков⁶

¹Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

²Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова,
Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

⁴Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург,
Россия

⁵Санкт-Петербургский научно-исследовательский Центр экологической безопасности РАН,
Санкт-Петербург, Россия

⁶Институт водных проблем Севера Карельского НЦ РАН, Петрозаводск, Россия
e-mail: alp.52@mail.ru

В природе всё взаимосвязано, всё даётся в объяснении и выявлении тенденций в её развитии, то есть в прогнозе. И задача современных наук о Земле, в том числе и географии, состоит в глубоком изучении комплекса природных явлений новейшими методами с использованием новой техники.

Академик АН СССР А.Ф. Трешников (1914-1991гг.)

Введение

Микроорганизмы одними из первых реагируют на изменение климата. Микробные виды являются индикаторными системами, реагирующими на изменения условий их существования и сигнализирующими об этих изменениях в окружающей среде [1, 2]. Данные явления поддаются количественному и качественному анализу (по признакам циркуляции новых микробов с необычными биологическими свойствами – антигенной структуре, патогенности, контагиозности и др.) [3]. Эти изменения особенно рельефно видны в изолированной и пустынной местности оазисов Антарктиды, которые занимают всего 2% от всей её площади. Остальная территория шестого материка круглый год покрыта льдом. Температурный фактор и влажность среды обитания являются одними из решающих моментов для развития и роста микробов. По этой причине видоизменения в микробиоценозах, определяемые микробиологическим мониторингом (ММ), могут быть объективным прогностическим фактором (предиктором рисков) климатических изменений в полярных регионах Земли, имеющих негативный характер. Микроорганизмы являются частью биоценоза всех экологических процессов, которые наблюдаются в естественных условиях. Поэтому ММ необходимо считать составной частью экологического мониторинга [4, 5, 6, 7].

Прогностическое значение ММ в условиях Антарктиды обусловлено, прежде всего, климатическими изменениями, фиксируемыми в последние столетия. Наиболее интенсивное потепление климата отмечается в полярных зонах Земли. Всемирная метеорологическая организация констатирует, что в XX веке общее повышение температуры приземного атмосферного слоя составило 0,6 °С по сравнению с XIX столетием. По данным директора Главной геофизической обсерватории РФ В. Катцова, за последние 100 лет среднегодовая температура на планете повысилась на 0,8 °С. В наибольшей степени это произошло на Аляске, в Арктических регионах и в Антарктике, где за последние 20 лет скорость нарастания температуры увеличилась в три раза. По расчётам специалистов, темпы потепления в Арктике в XXI веке будут в 2–2,5 раза выше, чем во всём мире, и уже к концу столетия температура в ней может увеличиться на 7 °С. Происходящее потепление климата

способствовало разработке Всемирной организацией здравоохранения специальной программы по оценке воздействия климата на здоровье населения планеты.

Концептуальный подход в решении проблем, связанных с глобальным изменением климата, создает предпосылки для научного обоснования организации санитарно-эпидемиологического надзора и санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий в Антарктике и Арктике. Организация данных мероприятий наиболее актуальна в полярных зонах России и других стран в связи с новым этапом освоения природных ресурсов и увеличением военного присутствия в данном регионе. Опыт, полученный в Антарктике, с определёнными поправками вполне применим и в Арктике, интерес к которой неизмеримо возрос в последние годы у всех стран [8].

Первое обоснование роли внешней среды, как естественной среды обитания ряда патогенных микроорганизмов, содержалось в работе В.И. Терских (1958), где им предложено этих патогенов выделить в группу возбудителей самостоятельных инфекций – сапронозов [9]. К ним относятся легионеллы, актиномицеты, иерсинии кишечные, иерсинии псевдотуберкулёза, синегнойная палочка и другие. Изучая экологические аспекты сапрофитизма и паразитизма патогенных бактерий весьма вероятно дополнение этой группы инфекций «новыми» возбудителями известных инфекционных заболеваний [10, 11, 12, 13, 14].

Патогены сапронозов успешно существуют при низкой температуре, выживают при многократных циклах замораживания и размораживания, находятся в составе биологических плёнок и цианобактериальных матов, защищающих представителей этих сообществ от ультрафиолетового излучения и других неблагоприятных факторов внешней среды. Однако все они весьма чувствительны к высушиванию. Низкая влажность, постоянные сильные кatabатические стоковые ветры с купола Антарктиды являются главными лимитирующими факторами для этих повсеместно распространённых микроорганизмов. Болезни, вызываемые этим представительством возбудителей, изучает эпидемиологическая экология. Обязательных и факультативных возбудителей инфекций, обитающих в объектах окружающей среды, активно исследуют в различных экологических условиях, как паразитов, имеющих общебиологическое, медицинское и ветеринарное значение [2, 5, 15].

Актуальность проведения ММ определяется возможным резким ухудшением эпидемиологической обстановки в связи с расширением нозоареалов возбудителей ряда инфекционных заболеваний, как следствие – изменение климата, особенно при явлениях его глобального потепления. Происходящая в Антарктиде антропогенная трансформация внешней среды влияет на условия выживания и размножения микроорганизмов. Развитие полярной туристической индустрии и активное выполнение научно-практических программ Китаем, Индией и странами Латинской Америки с постоянно высоким уровнем инфекционной заболеваемости может в Антарктическом регионе способствовать увеличению заноса новых инфекционных агентов. Вышесказанное обуславливает необходимость организации специальных исследований по изучению распространённости микроорганизмов, имеющих медицинское значение [16, 17, 18].

Если будет доказана обратная точка зрения о наличии признаков глобального похолодания, то эти условия также могут отразиться на состоянии микробиоценозов из-за понижения влажности и изменения свойств психрофильных микроорганизмов.

Роль биологических объектов в качестве прогностических факторов до сих пор слабо представлена в научной литературе. Об отрицательном влиянии потепления климата на ареал антарктического криля с изменением распределения биологических компонентов разного трофического уровня указывают сотрудники Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского [19]. В отношении прибрежной зоны Антарктиды исследования, проводимые разными странами, свидетельствуют о «наложении» факторов потепления климата и фактора загрязнения. Авторы предлагают использовать беспозвоночных

животных в качестве биологических и токсикологических предикторов потепления климата в Антарктике [19].

Влияние антропогенного и орнитогенного загрязнения на динамику накопления цианобактериальных матов в районах расположения прибрежных объектов РАЭ с учётом температурного фактора было описано нами ранее [2]. Вместе с тем, данных о роли динамики микробиологических сообществ, в том числе с точки зрения эпидемиологической экологии, как предиктора рисков изменения климата в доступной литературе, отечественных и зарубежных интернет-источниках найти не удалось.

Цель исследования – обосновать целесообразность изучения микробиологических биоценозов в условиях Антарктиды и объяснить их роль как предиктора рисков в глобальных климатических изменениях.

Задачи работы:

1. Аргументировать перспективы проведения микробиологического мониторинга объединёнными усилиями различных стран и специалистов в полярных зонах Земли с целью диагностики и профилактики сапронозных инфекций.

2. Показать значение микробиологического мониторинга в полярных зонах Земли, позволяющего найти антропогенные и климатические трансформации в биоценозах, что может явиться перспективным объективным предиктором рисков климатических изменений, которые могут негативно сказаться на здоровье людей и животных.

Методы исследования

В процессе исследования были изучены нормативно-правовые акты, регламентирующие деятельность в области защиты окружающей среды, животного мира в Антарктике, руководящие документы по организации медицинского обеспечения сотрудников РАЭ и опыт полярных международных научных программ (агентств) [16, 17]. Анализ научной литературы позволяет в настоящее время говорить об отсутствии единой точки зрения на содержание понятия ММ. Многими оно подменяется «микробиологическим сопровождением» изучаемых процессов и чаще всего выпадает прогностическая составляющая любого мониторинга. Рассмотрим его с точки зрения медицинской практики. Под ММ понимается система постоянного динамичного слежения по заранее определённой программе за циркуляцией микроорганизмов с целью оценки количественной и качественной динамики, их влияния на характер эпидемического процесса, тенденций его развития и прогнозирования, выявления условий заражения людей и животных, разработки на этой основе оптимальных управленческих решений, целенаправленных профилактических и противоэпидемических мероприятий. ММ имеет и общебиологическое значение, а эпидемиологический анализ используется в изучении массовых неинфекционных заболеваний. Поэтому вполне приемлемо результаты ММ применять в предикторных целях для определения рисков негативных последствий глобального изменения климата [20].

Систематическое изучение микробиоты в антарктических экосистемах проводится с 1996 г. (42-й сезон РАЭ). Эти работы сопровождаются химическими и санитарно-бактериологическими исследованиями воды, грунта, изучением представителей флоры и фауны в районах расположения объектов РАЭ и на близлежащих территориях. За период 1996–2011 гг. отмечено увеличение количества бактерий в единице объема грунта в 1,5–3 раза на территориях объектов РАЭ, а также их большее разнообразие по сравнению с участками, не задействованными антропогенным воздействием. Роста количества бактерий в «чистых участках» местности не отмечено. Главной особенностью проведенных исследований являлось регулярность отбора микробиологических проб из одних и тех же местообитаний в районах расположения объектов РАЭ. [21].

В сезон 50 РАЭ (2004–2005 гг.) основная программа работы заключалась в изучении санитарного состояния научных станций Мирный, Прогресс, Новолазаревская, полевых баз Дружная-4 и Беллинсгаузен и составлением Санитарных паспортов на эти объекты. Были выявлены основные эпидемиологические факторы риска в водоснабжении, содержании

территории объектов РАЭ, в организации питания полярников, которые способствовали групповой заболеваемости [22] или могут привести к возникновению массовых случаев инфекционных заболеваний среди полярников и животных [17]. Факультативно проводились и микробиологические исследования. Наряду с исследованием микробных биоценологических взаимоотношений, был начат поиск возбудителей иерсиниозов, объединяющих два нозологических инфекционных заболевания – псевдотуберкулёз и кишечный иерсиниоз, а также других заболеваний, вызванных иными, более редкими видами иерсиний из 17-ти известных на сегодняшний день. Эти бактерии способны длительно существовать и размножаться в олиготрофных (голодных) условиях при низкой положительной температуре (психрофилы). Поэтому отмечается повышенный уровень заболеваемости иерсиниозами в регионах с умеренным и холодным климатом в сочетании с высокой влажностью. Инфекционное заболевание псевдотуберкулёз, вызывая пищевые вспышки, актуально для организованных коллективов. Кишечный иерсиниоз в последние годы характеризуется периодической спорадической заболеваемостью. Отдельные симптомы и синдромы иерсиниозов характерны более чем для 35 инфекционных и неинфекционных (соматических) заболеваний, поражениями функций желудочно-кишечного тракта, опорно-двигательного аппарата, мочевыводящей, сердечнососудистой и нервной систем. Эти болезни, протекающие с разнообразной клинической картиной весьма трудны в диагностическом плане, заслуживают пристального внимания, особенно для полярной медицины [23].

Среди представителей животного мира шестого континента наиболее вероятным резервуаром и источником иерсиний и других сапронозов являются, в первую очередь, птицы. В ходе 50 РАЭ была выполнена факультативная программа исследований «Изучение механизмов взаимного влияния орнитофауны и антропогенного воздействия в районах размещения объектов РАЭ». В реализации данной программы принимали участие врач-микробиолог (ответственный исполнитель), орнитолог, ботаник и лишенолог. Полученные данные позволили высказать предположение, что возможным резервуаром иерсиний в Антарктиде могут быть поморники и доминиканские чайки, наиболее тяготеющие к человеческому жилищу [24, 25]. Примеры мест отбора проб и проведения микробиологических исследований отражены на рисунках 1–3.



а)



б)

а) слизистые разрастания в неглубоких водотоках; б) первичные почвенные сообщества с включением зоогенных субстратов

Рисунок 1 – Места отбора микробиологических проб

Прогнозирование в экспедиционных условиях приобретает особое практическое значение – трудно или невозможно исправить (повторить) неверно выбранные мероприятия плана работы. В зависимости от степени конкретности и характера воздействия на ход исследуемых процессов и явлений различают три формы предвидения: гипотезу

(общенаучное предвидение), прогноз и план. Они тесно связаны друг с другом и с исследуемым объектом в системе управления и планирования, представляя собой последовательные ступени познания предмета изучения в будущем.

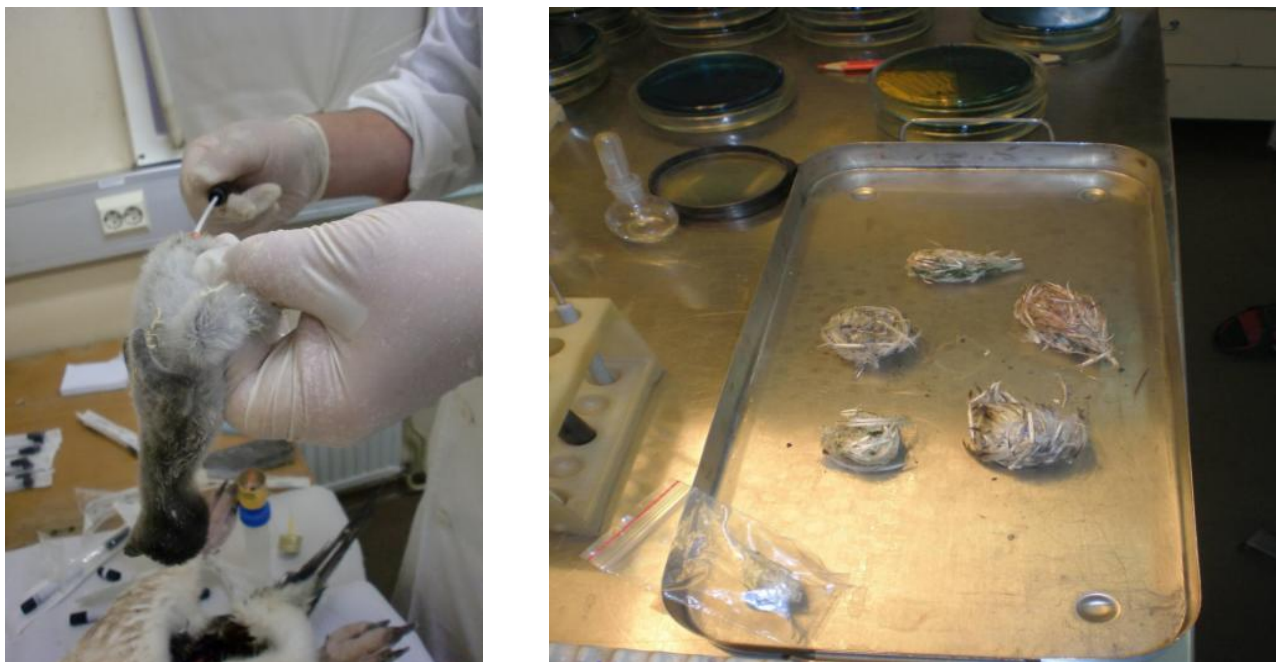


Рисунок 2 – Выделение патогенных микроорганизмов из орнитологических объектов

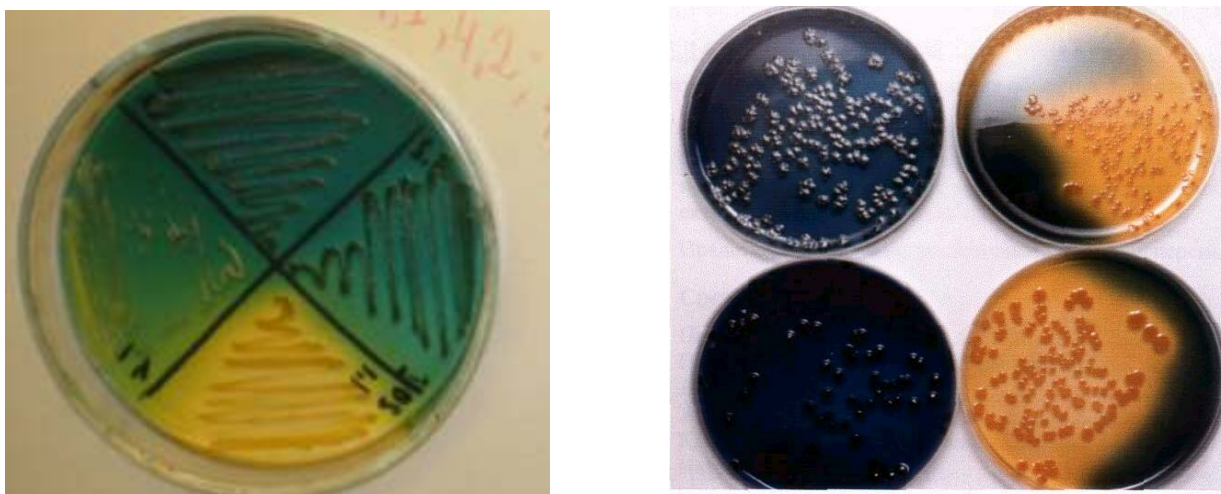


Рисунок 3 – Рост бактерий на селективных питательных средах

Исходное начало данного познавательного процесса – гипотеза. Это научно обоснованное предположение о структуре объекта, характере элементов и связей, образующих данный предмет изучения, механизме его функционирования и развития. На уровне гипотезы даётся качественная характеристика объекта, выражающая общие закономерности его поведения и хотя она носит наиболее общий характер, без неё невозможно никакое научное управление и планирование. Примером использования гипотезы является предположение, что психрофильные иерсинии могут находиться на территории прибрежной Антарктиды, что было подтверждено их обнаружением в ходе 52 РАЭ на территории о. Хасуэлл в 2,5 км от обсерватории Мирный. Были изолированы одиннадцать культур *Yersinia enterocolitica*. Из них у пяти изолятов выявлены генетические

маркеры вирулентности – хромосомные гены *Y. enterocolitica* (*ail*), детерминирующие основные патогенные свойства возбудителя кишечного иерсиниоза – адгезию и инвазию. У двух культур выявлена плаزمида вирулентности рода *Yersinia* (*pYV 47*). Причем, в одном случае, в погадке поморника, были обнаружены два указанных фактора вирулентности [26]. Вблизи острова обитает крупная колония императорских пингвинов; на его территории гнездятся пингвины Адели, поморники и другие птицы.

Для подтверждения гипотезы о возможности нахождения иерсиний на других прибрежных объектах Антарктиды, нами в период проведения сезонных работ 56 РАЭ (2010–2011 гг.) были предприняты широкомасштабные поисковые работы. На территории о. Хасуэлл удалось выделить *Y. enterocolitica*, *Y. aldovae*, *Y. kristensenii*, *Photorhabdus asymbiotica*, *Comamonas terrigena*, *Kingella denitri*, *Stenotrophomonas maltophilia*. Были обследованы и другие объекты РАЭ (научные станции Прогресс, Новолазаревская, обсерватория Мирный и полевая база Дружная-4). Из 170 изолированных штаммов условно-патогенных бактерий из объектов окружающей среды на дифференциально-диагностической среде для выделения иерсиний (СБТС) получено всего четыре культуры *Y. enterocolitica* и одна *Y. kristensenii*. Среди остальных преобладали энтеробактерии, псевдомонады и другие психрофильные микроорганизмы. По всей видимости, чрезвычайно низкая влажность даже на прибрежных объектах РАЭ препятствует размножению иерсиний [2, 27].

Следующим этапом научной деятельности является прогноз. В сравнении с гипотезой он имеет большую определённость и достоверность, поскольку основывается не только на качественных, но и количественных характеристиках. Прогноз выражает предвидение на уровне конкретно-прикладной теории и связан с будущим, которое всегда стохастично, то есть носит случайный или вероятностный характер. Его во времени точно предсказать невозможно, но стремиться к этому необходимо. При прогнозировании результатов ММ предстоит определить реальность выполнения намеченного плана. Это система взаимосвязанных, направленных на достижение единой цели программных заданий, определяющих порядок, сроки и последовательность осуществления отдельных мероприятий. Так, в ходе работ сезона 56 РАЭ приходилось творчески менять мероприятия плана из-за появившихся качественно новых возможностей и расширения участников совместных работ, в том числе взаимно полезных научных общений с белорусскими коллегами: Ю.Г. Гигиняком и А.А. Гайдашовым. Исследовались ассоциативные взаимоотношения цианобактерий и микромицетов (симбиоз с сочленами водных и почвенных биоценозов) в цианобактериальных плёнках и матах, их роль, как потенциальных хозяев патогенных и условно-патогенных бактерий в антарктических экосистемах, а также возможное движение бактерий по трофической цепи: рыбы, головоногие и птицы [2, 21, 27].

Успех научного поиска и проведения ММ связан с техническими возможностями, которые были удачно скооперированы при обследовании территорий объектов РАЭ. Работы включали зондирование водной толщи озер при помощи СТД-зонда (Quanta, США), взятие проб осуществлялось батометром Рутнера (2 л), планктонной сетью Апштейна (сито № 64) и трубчатым дночерпателем (стратометром) в соответствии с ГОСТ Р 51592–2000. Биологические пробы фиксировали 4% формалином или 96% спиртом, микробиологические пробы хранили в замороженном виде. Первичная обработка биологических проб выполнялась на антарктических станциях с использованием бинокля МБС 9 и стереомикроскопов Биомед и Микромед-1. Пробы фитопланктона концентрировали осадочным методом. Для определения концентрации хлорофилла «а» в планктоне воду фильтровали через фильтры с диаметром пор 22 мкм. Отбор проб различных субстратов, а также их последующий анализ проводились по общепринятым методикам в бактериологической лаборатории НЭС «Академик Фёдоров» и в стационарных условиях основных мест работы специалистов-микробиологов. Поиск иерсиний осуществляли при помощи дифференциально-диагностической питательной среды для выделения иерсиний

(СБТС) и агара среды Эндо. Посевы выращивали при температуре +26 °С 24–48 часов. Рост бактерий на селективных питательных средах (СБТС) показан на рисунке 3.

Часть материала подвергалась «холодовому обогащению» в пептонно-калиевой среде при +4 °С с высевом на СБТС на 2–3 и 5–7 сутки. Перед посевом на среду Эндо и при исследовании загрязнённых проб проводили щелочную обработку материала в течение 1–1,5 мин в смеси 0,75% КОН и 0,5% NaCl в объёме 0,2 мл в полистироловых планшетах для исследования микрометодом [28].

Для микологических исследований использовали пробоотборник воздушной среды ПУ-1Б, транспортные среды и контейнеры. Для культивирования и идентификации грибов применяли среды Чапека, Сабуро и картофельно-глюкозный агар [29, 30]. В стационарных условиях ИФА-диагностику осуществляли с использованием фотометра микропланшетного ELx800 (BioTek, США); ПЦР-диагностику выполняли на амплификаторе Терцик МС-2+ (ДНК-Технология, Россия). Использовались технологии MALDI-TOF/MS и секвенирование амплифицированных фрагментов генов [27].

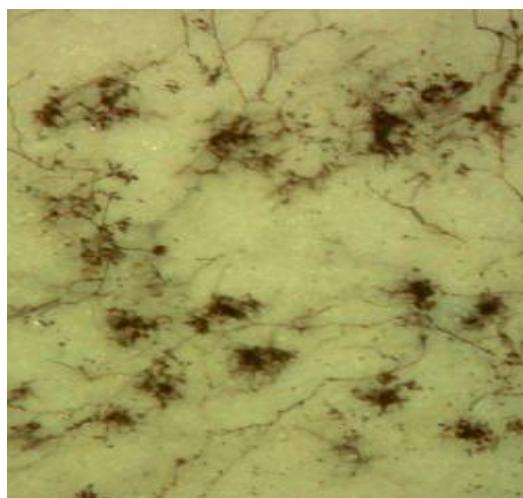
Всего в ходе микробиологических работ 56 РАЭ было изолировано и доставлено в г. Санкт-Петербург 198 штаммов бактерий. После проведения первичной идентификации классическими методами остались неопознанными 30 штаммов, которые в дальнейшем были изучены с помощью MALDI-TOF/MS. Проводили исследования на приборе Bruker Daltonics с чувствительностью в диапазоне 10–20 наномолей. Подготовку пробы проводили за 15–30 минут, скорость регистрации и обработки сигнала – 1–2 минуты. Результаты выдавались в виде масс-спектров и числовых значений, что удобно для математической обработки и наглядности. Вид микроорганизма автоматически определяли с помощью компьютерной программы на основании сверки полученных сигналов с имеющейся базой данных. Вместительность одного чипа – 96 проб, что вполне достаточно для обследования одной научной станции или полевой базы за день работы. В результате исследования идентифицированы 15 штаммов *Serratia* двух видов: *S. liquefaciens* и *S. grimesii*; 2 штамма *Staphylococcus sciuri*, 3 штамма *Citrobacter freundii*, 10 штаммов *Lactobacillus* [27].

Всего при выделении психрофилов получено значительное количество бактерий рода *Pseudomonas*: флуоресцирующие виды – *P. putida*, *P. chlororaphis*, *P. oryzae*, *P. fluorescens*, *P. luteola* и нефлуоресцирующие виды – без видовой дифференциации – *Pseudomonas* spp. Изолировано 8 штаммов иерсиний: 5 – *Y. enterocolitica*, 2 – *Y. kristensenii* и 1 – *Y. aldovae*. Часто встречается *Burkholderia cepacia* – вызывает внебольничные и больничные инфекции, а также условно-патогенные бактерии: *Photobacterium alysi*, *Eikenella corrodens*, *Kingella denitrificans*, *Achromobacter xylosoxidans*, *Obesumbacterium proteus*, *Stenotrophomonas maltophilia*. Реже изолировались: *Alcaligenes faecalis*, *Acinetobacter* (*A. lwoffii*, *A. haemolyticus*), *Brevundimonas vesicularis*, *Sutonella indologenes*, *Ochrobacterium anthropi*, *Comamonas terrigena*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter freundii*, *Oligella ureolytica*, *Tatumella plyseos*, *Serratia* (*S. marcescens*, *S. ficaria*, *S. plymuthica*, *S. liquefaciens*) [20, 27].

Для видовой идентификации микроорганизмов, не идентифицированных при помощи MALDI-TOF/MS, было проведено секвенирование амплифицированных фрагментов генов 16S rDNA с использованием специфических праймеров. Последовательности генов 16S rDNA 2-х штаммов оказались на 95–97% гомологичными с соответствующей последовательностью штамма *Psychrobacter faecalis* strain UCL-NF 1590 (GenBank № HQ698588.1). Полученные последовательности были депонированы в GenBank под номерами KJ398192 и KJ398193, соответственно. Штамм UCL-NF 1590, по данным P. Deschaght et al. (2012) [Deschaght P, Janssens M, Vanechoutte M, Wauters G. *Psychrobacter* isolates of human origin, other than *Psychrobacter phenylpyruvicus*, are predominantly *Psychrobacter faecalis* and *Psychrobacter pulmonis*, with emended description of *P. faecalis*. *Int J Syst Evol Microbiol*. 2012 Mar; 62(Pt 3):671-4. doi: 10.1099/ijs.0.032631-0. Epub 2011 May 6]. *Psychrobacter faecalis* является возбудителем госпитальной инфекции и вызывает пневмонию

у больных с муковисцидозом. В то же время последовательность 16S-rDNA данного штамма, а также последовательности выделенных нами изолятов тесно кластеризуются с соответствующей последовательностью штамма *Psychrobacter faecalis* DSM 14664, идентифицированного в пробах фекалий пингвинов и *Psychrobacter faecalis* hiss 34 из глубоководных морских отложений. Имеющиеся различия среди полученных образцов сиквенсов с доступными референтными последовательностями позволяют предположить, что выделенные культуры психробактеров являются эндемичными для Антарктики, что в доступной литературе не было отмечено. Причём один штамм получен из почвы колонии пингвинов Адели на о. Хасуэлл, второй – из материала от кальмаров, которыми могут питаться пингвины.

При проведении микологических исследований показано, что процессы деградации конструкций полярных объектов связаны с присутствием микромицетов из родов *Alternaria*, *Cladosporium*, *Exophiala*, *Trichophyton*, *Phoma* (рисунок 4).



а



б



в



г

а – грибы рода *Chaetomium* на бумаге; б – светлоокрашенные микромицеты на красочном покрытии; в – темноокрашенные грибы рода *Ulocladium* на фанере; г – темноокрашенные микромицеты рода *Cladosporium* на стекле

Рисунок 4 – Рост грибов на антропогенных материалах в районах расположения полярных станций

Особенно часто изолировались представители рода *Trichophyton*, имеющие важное медицинское значение. Визуальное обследование жилых и рабочих помещений полярных станций не выявило существенного биогенного разрушения материалов. Однако присутствие микромицетов в воздушной среде зафиксировано в 14-ти обследованных помещениях из 16-ти. Количество видов в пробе колебалось от 1 до 8. При этом содержание спор в воздухе составляло от 20 до 350 на 1 м³ воздуха. В 80% исследованных проб встречались условно-патогенные для человека микромицеты из родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium*. При этом выявлены зоны повышенного риска – бани (сауны), где обнаружен рост темноокрашенных плесневых грибов, а содержание спор значительно превышало допустимое значение (до 500 спор на 1 м³ воздуха). В 16 пробах воздуха были выявлены виды родов *Aspergillus* (4 вида), *Penicillium* (5 видов), *Cladosporium* (2 вида), *Paecilomyces* (3 вида), *Scopulariopsis* (2 вида), *Trichophyton* (2 вида) и другие. Большинство выявленных видов относится к группе условно-патогенных микромицетов [29, 30, 31, 32].

Выявленные микроорганизмы при наличии факторов патогенности могут стать причиной развития инфекционных процессов у людей со сниженным иммунным статусом в экстремальных условиях Антарктиды. Состав и численность бактерий и микромицетов влияют на условия жизни людей на полярных объектах. Несмотря на кажущееся разнообразие бактерий и микромицетов в Антарктике, можно говорить о высоко дискретном их распределении в наземных экосистемах. Так, в пустынных внутриконтинентальных районах их мало. Их количество заметно возрастает на прибрежных территориях с более тёплым и влажным климатом, вблизи колоний животных, а также в зонах антропогенного влияния. Адаптация организмов к жизни в Антарктике означает не только адаптацию к жизни при низких температурах, но и способность выживать при постоянных циклах замораживания и оттаивания. Основным результатом исследований по программе ММ в Антарктике, проведенного на объектах РАЭ, стало определение феномена антропогенной модификации сообществ микроорганизмов в естественных экосистемах и в изолированных средах обитания человека. Зафиксировано появление агрессивных (условно-патогенных и патогенных) штаммов, а также деструкторов строительных материалов и конструкций в районах антропогенного влияния [29, 30].

Экспериментально показано, что большинство выявленных бактерий и микромицетов характеризуются широким спектром ферментативной активности, что можно рассматривать как важный фактор адаптации к экстремальным условиям Антарктики. Ферментативная активность может значительно варьировать при различных температурах. Полученные данные значительно расширили существующее представление о микробиологическом разнообразии антарктического континента, условиях их приспособления к экстремальным условиям окружающей среды, влиянии микроорганизмов на состояние здоровья участников экспедиций и надежность строительных конструкций. Распространение микроорганизмов в Антарктике может осуществляться благодаря человеку, жизнедеятельности морских птиц и млекопитающих, а также с воздушными потоками [29].

Таким образом, полученные данные позволяют считать, что ММ является чрезвычайно перспективным направлением научных исследований в Антарктиде с точки зрения, как теоретической, так и практической деятельности по успешному освоению полярных зон. Однако эти изыскания необходимо продолжать комплексно с заинтересованными специалистами-полярниками. Так, работы по изучению реакции озер на изменение климата, выполненные в ходе 56 РАЭ с физико-географической точки зрения показывают, что в одних озёрах наблюдаются признаки, указывающие на потепление, в других районах заметных изменений не выявлено. При сравнении полученных результатов с данными за многолетний период (Симонов И.М. Оазисы Восточной Антарктиды. Л.: Гидрометеорологическое изд. 1971. 176 с.; Каур Е. Trophic status of lakes in Thala Hills, Antarctica – records from the years 1967-68 and 1988. Proc. NIPR Symp. Polar Biol., 11, 1998. P. 82-91.) отмечено [33, 34], что заметного изменения гидрофизических параметров в озерах оазиса Холмы Тала не

наблюдается. На карте 1972 г. в районе станции Новолазаревская видно, что конфигурация некоторых озер (например, Верхнего и Глубокого) отличается от современной – часть поверхности была закрыта снежниками, в настоящее время отсутствующими, что, вероятно, свидетельствует о наблюдающемся потеплении климата в оазисе Ширмахера.

Накопление донных отложений в глубоких озерах происходит со скоростью примерно 0.5 мм/год. Слоистая структура донных отложений объясняется различной интенсивностью роста водорослей и цианобактерий в течение года, и может использоваться для определения возраста осадков и оценке климатических изменений. Первичная продукция в озерах осуществляется преимущественно за счет водорослей бентоса. Дно большинства озер покрыто матами цианобактерий и водорослей, в верхних слоях которых обитают беспозвоночные животные, среди которых доминируют коловратки *Rotatoria* и тихоходки *Targidrada*. Основу матов составляют нитчатые цианобактерии *Oscillatoriales: Pseudanabaena frigida*, *Nostoc* sp., *Oscillatoria* sp. и др. В мелких озерах также наиболее развиты донные сообщества, которые составляют организмы, способные формировать покоящиеся стадии или впадать в анабиоз, что позволяет выживать при высыхании летом и промерзании озер зимой.

В районе станции Прогресс (Холмы Ларсеманн) исследованы несколько мелких озер (глубина до 5 м), в которых интенсивные процессы газообразования в донных осадках приводят к всплытию цианобактериальных матов. В планктоне оз. Степед обнаружено аномальное (более 1 000 экз/м³) для Антарктиды обилие веслоногих рачков кладоцер *Daphniopsis studeri*. На дне озера в цианобактериальных матах обнаружено значительное скопление тихоходок *Targidrada* sp., коловраток *Notholca* sp. и нематод *Plectus* sp. Обильное развитие беспозвоночных в оз. Степед, вероятно, связано с гнездованием поморников на берегах, которые приносят с пометом большое количество биогенных веществ, преимущественно фосфора. В настоящий момент пробы донных отложений находятся в замороженном состоянии и ждут изучения [33, 34, 35].

В заключение необходимо отметить, что за 18 лет проведения ММ в Антарктиде выявляется рост высеваемости широкого спектра микроорганизмов. Часть из них способна вызывать инфекционные и аллергические болезни. Главная особенность проведенных исследований состояла в регулярности отбора микробиологических проб из одних и тех же местообитаний в районах расположения полярных станций. Анализ заболеваемости полярников и накопление этого материала, особенно в условиях зимовочных работ, позволит обосновать концепцию «полярной эпидемиологии», как частный раздел эпидемиологии, теоретически обосновывающий концепцию противоэпидемической защиты населения и территории хозяйственного комплекса Арктики и Антарктики, а также пути ее реализации в практической деятельности полярной медицины. Немаловажно использовать подходы эпидемиологической науки в поиске прогностических факторов (предикторов) рисков трансформации климатических условий. Чем чаще будут проводиться научно обоснованные прогнозы, тем реже будут появляться сенсационные сообщения о выявлении «новых» возбудителей «неизвестных» инфекционных заболеваний и «политизированных» сообщений о глобальных изменениях климата Земли.

Выводы

1. Обоснована возможность использования микробиологического мониторинга состояния микробиоты Антарктиды в качестве прогностического фактора (предиктора) изменения климата Земли и соответствующих трансформаций среди представителей биосферы полярного региона.

2. Исследование биоценозов Антарктиды должно носить комплексную (экологическую и медицинскую направленности) и учитывать не только числовые и видовые изменения, но и появление новых, необычных свойств у изучаемых объектов.

3. Успешное проведение микробиологического мониторинга предполагает научно-практическую кооперацию всех заинтересованных специалистов для выявления резервуаров,

путей передачи инфекций и восприимчивых к ним лиц и организмов животных, которые могут активизироваться в условиях глобального изменения климата.

4. С учётом развития туризма в Антарктиде, активного участия в научных программах стран с высокой инфекционной заболеваемостью (Китай, Индии и Латинской Америки) вопросы санитарно-противоэпидемиологической (профилактической) направленности приобретают первостепенное значение.

5. Анализ заболеваемости полярников, личного состава других организованных коллективов и накопление этого материала, особенно в круглогодичных условиях, послужат основой создания концепции «полярной эпидемиологии», приобретающей актуальное значение в связи с новым этапом освоения Арктической зоны.

6. Отсутствие методов специфической профилактики сапронозной инфекции определяет актуальность проведения санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий и осуществления плановой неспецифической профилактики инфекционных заболеваний среди полярников.

7. Учитывая важную резервуарную роль птиц в Антарктиде, необходимо осуществлять динамическое наблюдение за пернатыми, обитающими на близлежащих территориях полярных объектов для своевременного проведения ветеринарно-профилактических и противоэпидемических мероприятий.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 10-05-00963 «Реакция озер на изменения климата» и № 13-04 00843 «Микроскопические грибы в арктических и антарктических экосистемах: закономерности распространения и адаптации к экстремальным условиям».

Авторы выражают признательность заместителю директора ААНИИ, начальнику РАЭ В.В. Лукину, старшему врачу РАЭ Г.А. Горбунову, начальникам 50 РАЭ В.Л. Мартьянову и 56 РАЭ В.И. Кучину за поддержку и содействие в работе.

Список литературы

1. Towards a rational strategy for monitoring of microbiological quality of ambient waters / H.R. Poma [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 2012. – N 433. – P. 98–109.

2. Цианобактериальные маты как объекты мониторинга антарктических экосистем / А.Л. Панин [и др.] // *Вестн. СПбГУ.* – 2013. – Сер. 3. – Вып. 2. – С. 3–11.

3. Методические указания по ретроспективному эпидемиологическому анализу и прогнозированию заболеваемости личного состава Вооружённых Сил Российской Федерации. – М.: Воениздат, 2006. – 143 с.

4. Литвин, В.Ю. Общие закономерности и механизмы существования патогенных микроорганизмов в почвенных и водных экосистемах / В.Ю. Литвин // *Экология возбудителей сапронозов.* – М., 1988-а. – С. 20–34.

5. Эпидемиологические аспекты экологии бактерий / В.Ю. Литвин [и др.]. – М.: Фармарус-принт, 1997. – 555 с.

6. Панин, А.Л. Организация микробиологического мониторинга в системе санитарно-эпидемиологического надзора за психрофильными микроорганизмами в районах расположения Российской антарктической экспедиции / А.Л. Панин [и др.] // *Военно-морская и радиационная гигиена: традиции, инновации, перспективы: материалы Юбилейной науч.-практ. конф., посвященной 70-летию кафедры ВМРГ ВМедА им. С.М. Кирова.* – СПб., 2010. – С. 166–169.

7. Панин, А.Л. Микробиологический мониторинг иерсиний как основа санитарно-эпидемиологического надзора за иерсиниозами в организованных коллективах / А.Л. Панин [и др.] // *Инфекция и иммунитет.* – 2013. – № 3. – С. 217–228.

8. Panin, A.L. Arctic ecology and features disease control troops (navy) Russian federation (RF) in the high latitudes / A.L. Panin., A.B. Belov // *3rd Pan European Congress of Military Medicine.* – Belgrad, 2014. – P. 126–127.

9. Терских, В.И. Сапронозы (о болезнях людей и животных, вызываемых микробами, способными размножаться вне организма во внешней среде, являющейся для них местом обитания) / В.И. Терских // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 1958. – № 8. – С. 118–122.

10. Сомов, Г.П. Ещё раз о сапронозах / Г.П. Сомов // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 1985. – № 5. – С. 98–103.

11. Белов, А.Б. Дискуссионные проблемы общей эпидемиологии / А.Б. Белов, П.И. Огарков // Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунобиологии. – 2003. – № 2. – С. 109–115.

12. Белов, А.Б. Эколого-эпидемиологическая систематика инфекционных болезней / А.Б. Белов, П.И. Огарков // Эпидемиология и инфекционные болезни. – 2009. – № 6. – С. 49–53.

13. Белов, А.Б. Биологическое разнообразие возбудителей инфекционных болезней и эпидемический процесс / А.Б. Белов, П.И. Огарков // Эпидемиология и инфекционные болезни. – 2010. – № 1. – С. 53–57.

14. Белов, А.Б. Вероятные перспективы развития экологической классификации инфекционных болезней человека по резервуарам возбудителей (взгляд эпидемиолога) / А.Б. Белов // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. – 2013. – № 1. – С. 6–14.

15. Сомов, Г.П. Психрофильность патогенных бактерий / Г.П. Сомов, Т.Н. Варвашевич, Н.Ф. Тимченко. – Новосибирск: Наука, 1991. – 204 с.

16. Матусов, А.Л. Условия жизни и состояние здоровья участников полярных экспедиций / А.Л. Матусов. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 157 с.

17. Медицинское обеспечение Российской антарктической экспедиции / Г.А. Горбунов [и др.]. – СПб.: ГУ–ААНИИ, 2009. – С. 55–64.

18. Панин, А.Л. Совершенствование санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий и санитарно-эпидемиологического надзора на объектах Российской антарктической экспедиции / А.Л. Панин [и др.] // Военно-морская и радиационная гигиена: традиции, инновации, перспективы: материалы Юбил. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию кафедры ВМРГ ВМедА им. С.М. Кирова. – СПб., 2010. – С. 106–107.

19. Самышев, Э.З. Биологические и токсикологические предикторы потепления климата в Антарктике / Э.З. Самышев [и др.] // Мониторинг состояния природной среды Антарктики и обеспечение деятельности национальных экспедиций: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. (к. п. Нарочь, 26–29 мая 2014 г.). – Минск: Экоперспектива, 2014. – С. 224–231.

20. Панин, А.Л. Роль микробиологического мониторинга территории прибрежной Антарктиды в изучении глобального изменения климата Земли / А.Л. Панин [и др.] // Мониторинг состояния природной среды Антарктики и обеспечение деятельности национальных экспедиций: материалы I Междунар. науч.-практ. конф. (к. п. Нарочь, 26–29 мая 2014 г.). – Минск: Экоперспектива, 2014. – С. 209–215.

21. Тешебаев, Ш.Б. Работы сезонной экологической группы (отряда) в 56 Российской антарктической экспедиции по исследованию химических и санитарно-бактериологических характеристик антропогенного воздействия на окружающую среду в районах прибрежной Антарктиды / Ш.Б. Тешебаев, А.Л. Панин, Е.Д. Добротина // Материалы 56 Сезонной РАЭ. Т. 2, ч. III. – Работа научных отрядов и групп (отв. Кучин В.И.). – СПб.: ГУ–ААНИИ, 2011. – С. 63–87.

22. Панин, А.Л. Контроль санитарного состояния станций Российской антарктической экспедиции / А.Л. Панин. // Материалы 50 Сезонной Российской антарктической экспедиции. Т. 2, ч. III. – Работа научных отрядов и групп (отв. Мартыанов В.Л.). – СПб.: ГУ–ААНИИ, 2005. – С. 427–462.

23. Panin, A.L. Monitoring of Yersinia in organized collectives / A.L. Panin // 10th International Symposium on Yersinia. – Recife, Brazil, 2010. – P. 83–84.

24. Панин, А.Л. Изучение механизмов взаимного влияния орнитофауны и антропогенного воздействия в районах размещения объектов Российской антарктической экспедиции (Факультативная программа) / А.Л. Панин [и др.] // Материалы 50 Сезонной Российской антарктической экспедиции. Т. 2, ч. III. – Работа научных отрядов и групп (отв. Мартыанов В.Л.). – СПб.: ГУ–ААНИИ, 2005. – С. 463–487.

25. Горбунов, Г.А. Изучение механизмов взаимного влияния орнитофауны и антропогенного воздействия в районах размещения объектов Российской антарктической экспедиции в условиях прибрежной Антарктиды / Г.А. Горбунов, А.Л. Панин, Ш.Б. Тешебаев // Инфекции, обусловленные иерсиниями: материалы II Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием. – СПб.: НИИЭМ им. Л. Пастера, 2006. – С. 63–64.

26. Тешебаев, Ш.Б. Использование ПЦР для выявления иерсиний в районе размещения объекта Российской антарктической экспедиции / Ш.Б. Тешебаев [и др.] // Генодиагностика инфекционных болезней: материалы VI Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием. Т. II. – М., 2007. – С. 163–164.

27. Панин, А.Л. Цианобактериальные маты в микробиологическом мониторинге антарктических экосистем / А.Л. Панин [и др.] // Микробиология: от микроскопа до нанотехнологий: материалы Всероссийской науч.-практ. конф., посвящённой 90-летию кафедры микробиологии ВМедА им. С.М. Кирова, 2013. – С. 134–138.

28. Эпидемиологический надзор и профилактика псевдотуберкулёза и кишечного иерсиниоза: методические указания МУ 3.1.1.2438-09. – М., 2009. – 61 с.

29. Кирцидели, И.Ю. Разнообразие и ферментативная активность микромицетов из слабозрелых почв Береговой Антарктики / И.Ю. Кирцидели, Д.Ю. Власов, Е.В. Абакумов // Микология и фитопатология. – 2010. – Т. 44 – Вып. 5. – С. 387–397.

30. Власов, Д.Ю. Местообитания микроорганизмов в районах Антарктических полярных станций «Прогресс» и «Мирный» / Д.Ю. Власов [и др.] // XV Кашкинские чтения: материалы науч.-практ. конф. по медицинской микологии. – СПб., 2012. – 74 с.

31. Власов, Д.Ю. Грибы на природных и антропогенных субстратах в Западной Антарктиде / Д.Ю. Власов [и др.] // Микология и фитопатология. – 2012. – Т. 46. – Вып. 1. – С. 20–26.

32. Власов, Д.Ю. Микробоценозы в районах Антарктических полярных станций / Д.Ю. Власов [и др.] // XVII Кашкинские чтения: материалы науч.-практ. конф. по медицинской микологии. – СПб., 2014. – 52 с.

33. Толстикова, А.В. Исследование озёр Восточной Антарктиды / А.В. Толстикова, А.Н. Шаров // Труды КарНЦ. – 2011. – № 4. – 142 с.

34. Филатов, Н.Н. Реакция озёр Восточной Фенноскандии и Восточной Антарктиды на изменения климата / Н.Н. Филатов [и др.] // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 444, № 5. – 554 с.

35. Филатов, Н.Н. Влияние изменений климата на экосистемы озёр / Н.Н. Филатов [и др.] // Вестник РФФИ. – 2013. – № 2 (78). – С. 42–50.

MICROBIOLOGICAL MONITORING OF ANTARCTICA AS RISK PREDICTOR OF THE EARTH'S CLIMATE CHANGES

A.L. Panin¹, A.B. Belov¹, L.A. Kraeva¹, V.N. Bolehan¹, N.G. Vladimirov¹, A.E. Goncharov², D.Yu. Vlasov³, S.B. Teshebaev⁴, A.N. Sharov⁵, A.V. Tolstikov⁶

¹Military-Medical Academy, by Kirov St. Peterburg, Russia

²Severo-Western State Medical University by Mechnikov, St. Peterburg, Russia

³Sankt-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

⁴*Arktichesky and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia*

⁵*Sankt-Petersburg Scientific Research Center for Ecological Safety, St. Petersburg, Russia*

⁶*Institut Northern Water Problems of the Karelian Research Centre of RAS, Petrozavodsk, Russia*

As result of microbiological monitoring in Antarctic coastal areas around Russian Antarctic Expedition objects it was revealed that the number of bacteria in preliminary Antarctic soil increased in 1.5-3 times for last years. Many species of opportunistic bacteria and micromycetes were found in observed territory. Variety of bacteria and fungi in the areas of anthropogenic pollution was significantly higher than in natural ecosystems. The results of these studies contribute to establish risks predictors of the global climate change, possibility of the emergence of zoonotic and anthroponotic diseases. These studies form the basis of the concept of "polar epidemiology" with scientific substantiation of preventive and anti-epidemic measures in the Antarctic and the Arctic.