

ЭКОСИСТЕМЫ КРИОСФЕРЫ — ИСТОЧНИК МИКРООРГАНИЗМОВ С ОРИГИНАЛЬНЫМ БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОТЕНЦИАЛОМ

Л. Ф. Калёнова

ФГБУН ФИЦ «Тюменский научный центр» СО РАН,
ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»
(Тюмень, Российская Федерация)

В. П. Мельников

Институт криосферы Земли ФГБУН ФИЦ «Тюменский научный центр» СО РАН,
ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»,
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»
(Тюмень, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 21 марта 2018 г.

В последние десятилетия резко возрос интерес исследователей к проблемам эволюции окружающей среды в связи с циклическим режимом потепления и похолодания климата. Экосистемы криолитозоны и ледового покрова Арктической зоны оказались более чувствительными к переменам, чем экосистемы умеренных широт. В представленных результатах обращено внимание на последствия потепления, а именно на взаимодействие современных живых систем с микробиотой криолитозоны, не терявшей жизнеспособности в течение сотен тысяч и миллионов лет.

Ключевые слова: криосфера, экосистемы вечной мерзлоты, палеобактерии, метаболиты, адаптогены.

Введение

В условиях наблюдаемого изменения климата научная и познавательная значимость исследований биосферных процессов в Арктике и Антарктике резко возросла. Углубляя знания о биосферных процессах в криосфере, мы наводим мосты между отдельными естественнонаучными дисциплинами, что необходимо для создания синтетической конструкции данного объекта в широком диапазоне пространственно-временных параметров [1].

Современное потепление идет значительно быстрее, чем потепление во времена перехода от последнего оледенения к межледниковью [2]. В соответствии с климатической моделью Института физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН глобальное потепление в XXI в. составит в среднем 1,1—2,9°C [3]. Потепление Арктики идет более быстрыми темпами, в связи с чем следует ожидать деградации полярных льдов и многолетнемерзлых пород (ММП). ММП Арктики являются средой жизнеобеспечения оригинальных экосистем и сферой деятельности

многочисленных видов микроорганизмов (МО), в том числе из древних экосистем [4—6]. Деградация ММП, в первую очередь голоценового периода до 10—15 м по берегам рек и ручьев, может способствовать быстрому распространению МО из древних экосистем в окружающей среде. Если учесть, что даже известные человечеству и «погребенные» в мерзлоте споры сибирской язвы при выходе на поверхность через сотни лет после захоронения способны вызвать эпидемию опасного заболевания, то что говорить о бактериях из древних экосистем с неизвестной стратегией сохранения жизнеспособности?

Вся история развития человечества — это постоянная адаптация к условиям окружающей среды. В соответствии с объективными законами биосферы человеку отводится достаточно узкий «коридор», в котором он может развиваться, при этом экологическая безопасность становится важнейшим фактором, определяющим его существование на Земле [2]. Академик РАН В. И. Осипов отметил важность разработанной «Климатической доктрины Российской Федерации на период до 2020 года»: «Потери

© Калёнова Л. Ф., Мельников В. П., 2018

приходят к нам сами, а использование выгод требует от нас усилий» [2, с. 56]. С целью предупреждения и минимизации негативных природных воздействий и как компонент стратегической безопасности в России разработан системный экологический мониторинг [7], который предусматривает установление причинно-следственных связей между внешними воздействиями, здоровьем и качеством жизни людей.

Анализ литературных данных показал, что в мире практически не уделяется внимания изучению механизмов взаимодействия реликтовых МО из экосистем ММП с представителями современных экосистем. Приоритетными направлениями исследований являются определение видового разнообразия, особенностей экологии МО ММП, определение пределов длительности криоанабиоза, использование в биотехнологии [8—14].

В Тюменском научном центре Сибирского отделения (СО) РАН впервые в мире было предложено и разрабатывается новое научное направление — изучение механизмов взаимодействия реликтовых МО из экосистем криолитозоны с представителями современных экосистем. Направление подобных исследований является пионерным и вызывает большой резонанс и заинтересованность у экологов и специалистов центров биотехнологии как в России, так и за рубежом.

Цель настоящей работы — определить механизмы взаимодействия реликтовых микроорганизмов из экосистем криолитозоны с представителями современных экосистем в модельных экспериментах.

Материалы и методы

Объектом исследования явились бактерии реликтового штамма МЗ *Bacillus sp.* из ММП позднего неогена. Штамм МЗ *Bacillus sp.* депонирован во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов ФГУП ГосНИИгенетика 30 января 2009 г., регистрационный номер В-10130. Контролем служили современные МО лекарственного штамма IP5832 *Bacillus cereus* (Франция).

Методы исследований детально описаны нами ранее [15—20].

Результаты и обсуждение

Проведенные исследования позволили выделить несколько оригинальных механизмов биологической активности реликтовых МО из экосистем криолитозоны в условиях современного климата и при взаимодействии с представителями современных экосистем.

Биологические реакции реликтового штамма Bacillus sp. на изменение температуры внешней среды

Учитывая, что МО реликтового штамма МЗ *Bacillus sp.* в течение геологического времени пребывали в условиях стабильно отрицательных температур, на первом этапе была проведена оценка влияния

изменения температуры внешней среды на их биологическую активность.

Результаты исследования *in vitro* показали, во-первых, высокую жизнеспособность реликтового штамма МЗ *Bacillus sp.* в диапазоне температур от -186°C до 98°C . Во-вторых, реликтовый штамм МЗ на любые изменения температуры внешней среды в сторону как повышения (до 42°C), так и понижения (до -16°C) относительно средней температуры ММП (-5°C) отвечает всплеском ферментативной активности, что является его отличительной особенностью относительно современного аналога штамма IP 5832 ($p < 0,05$). Минимальная ферментативная активность штамма МЗ отмечена при температуре -5°C , что может служить основанием для предположения, что в условиях ММП бактерии могут находиться в состоянии гипометаболизма. Полученные данные согласуются с данными, полученными другими авторами [11].

Механизмы взаимодействия реликтового штамма Bacillus sp. с представителями современных экосистем

Выделено несколько особенностей влияния штамма МЗ на организм современных млекопитающих:

1. У реликтового штамма МЗ отсутствует токсичность для современных млекопитающих.

2. Под влиянием штамма МЗ активируется костно-мозговое кроветворение ($p < 0,05$), в том числе возрастает уровень стволовых клеток в костном мозге ($p < 0,01$) и активность дифференцировки лимфоцитов в тимусе ($p < 0,01$ относительно контрольных значений).

3. Под влиянием штамма МЗ повышение активности иммунной системы (рис. 1) не выходит за верхние пределы физиологической нормы (контроль), характерной для данного вида животных, независимо от дозы вводимых микробных клеток (м. кл.).

Важность этого феномена заключается в исключении аллергических реакций на антигены штамма МЗ, в то время как на высокие дозы (выше $5 \cdot 10^6$ м. кл.) современного лекарственного штамма IP5832 *Bacillus cereus* активность гуморального звена иммунной системы возрастает в семь раз, что не исключает развития аллергических реакций.

4. Продукты жизнедеятельности штамма МЗ (метаболиты), полученные при разных температурах культивирования бактерий, способны селективно модулировать активность иммунной системы (рис. 2).

Например, «холодовые» метаболиты, полученные при отрицательных температурах (-5°C), стимулируют синтез иммунокомпетентными клетками особых веществ — цитокинов, которые ответственны за развитие воспалительных реакций в организме (в том числе ФНО α , ИЛ1 β , ИЛ-2, ИФН γ), а «тепловые» метаболиты, полученные при положительных температурах (37°C) — цитокинов, ответственных за подавление реакций воспаления (в том числе ИЛ-4, ИЛ-10).

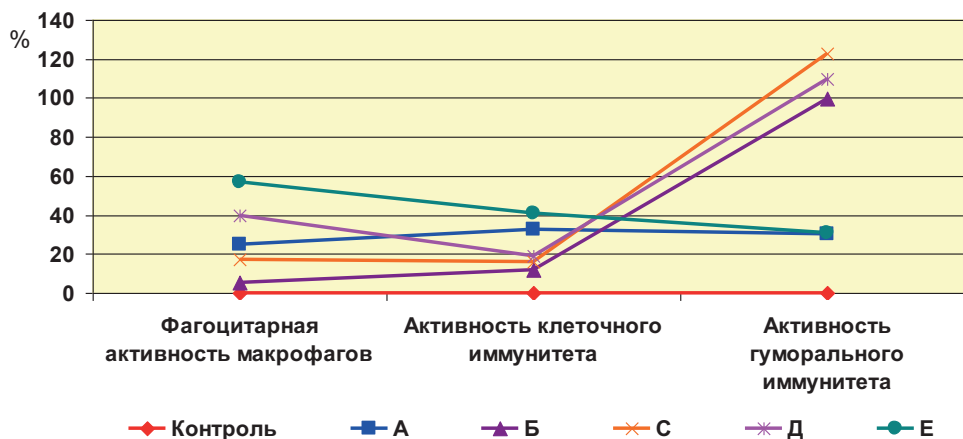


Рис. 1. Повышение функциональной активности иммунной системы под влиянием бактерий штамма M3 *Bacillus sp.* относительно средних значений физиологической нормы данного вида организмов (%): А – доза МО 0,005·10⁶ м. кл.; Б – 0,05·10⁶ м. кл.; С – 0,5·10⁶ м. кл.; Д – 5·10⁶ м. кл.; Е – 50·10⁶ м. кл.

5. «Тепловые» метаболиты штамма M3 ускоряют процесс заживления кожной раны на 30% относительно контроля и на 20% относительно солкосерила — лекарственного препарата ранозаживляющего действия (рис. 3). Данный эффект вполне закономерен с учетом высокой противовоспалительной активности «тепловых» метаболитов, выявленной в предыдущем исследовании.

Ускорение процессов ранозаживления в значительной степени воспроизводится отдельными низкомолекулярными веществами, выделенными из метаболитов штамма M3.

Заключение

Разрабатываемое в Тюменском научном центре СО РАН новое научное направление — изучение механизмов взаимодействия реликтовых МО, выделенных из экосистем криолитозоны, с представителями современных экосистем показало свою фундаментальную и практическую значимость.

Установлено, что экосистемы криосферы являются природной кладовой МО с оригинальным

биологическим потенциалом — более 30% протестированных реликтовых штаммов МО ММП способны повышать адаптационный потенциал, качество и продолжительность жизни современных организмов из различных экосистем. В частности, выделены штаммы, способные повышать всхожесть и продуктивность сельскохозяйственных растений, их устойчивость к нефтяным загрязнениям, засолению и пониженным температурам [21—23]; увеличивать выживаемость эмбрионов промысловых рыб [24] и продуктивность гидробионтов [25]; улучшать качество и продолжительность жизни млекопитающих [15]. То есть МО, пребывающие в ММП в состоянии гипометаболизма, при повышении температуры окружающей среды способны активироваться и принимать активное участие в современных биосферных процессах.

Углубленное тестирование биологического потенциала штамма M3 *Bacillus sp.* из ММП позднего неогена позволило определить отдельные механизмы данного влияния. Установлено, что реликтовый штамм M3 *Bacillus sp.* действует одновременно как

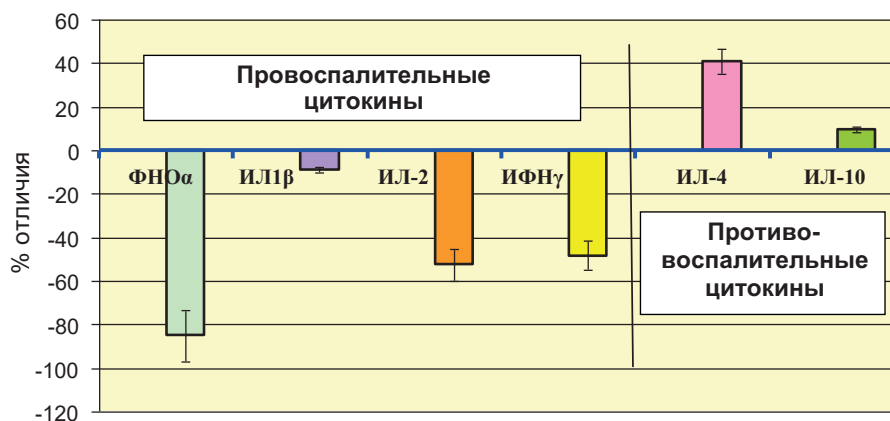


Рис. 2. Отличие влияния «тепловых» метаболитов от влияния «холодовых» метаболитов штамма M3 *Bacillus sp.* на уровень секреции цитокинов иммунокомпетентными клетками (%). За ноль приняты показатели уровня цитокинов под влиянием «холодовых» метаболитов. ФНО — фактор некроза опухоли, ИЛ — интерлейкины, ИФН — интерферон

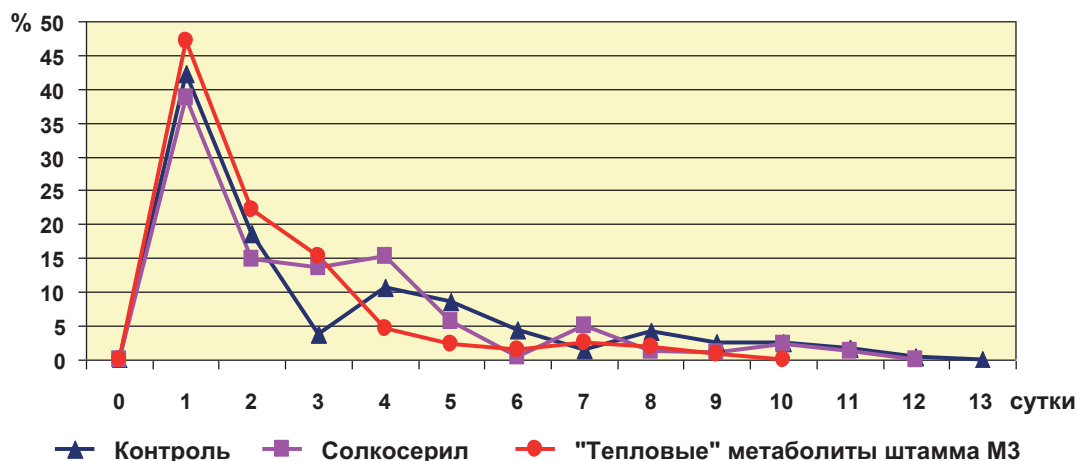


Рис. 3. Скорость заживления кожной раны под влиянием «тепловых» метаболитов штамма М3 *Bacillus sp.* (%)

иммуномодулятор, репарат и геропротектор, что интегративно характеризует его как универсальный адаптоген для представителей современных млекопитающих. Адаптогенный эффект у штамма М3 *Bacillus sp.* проявляется в широком диапазоне доз с наиболее стабильным ответом на малые дозы МО, которые оказывают на регуляторные системы организма-хозяина (нервную, иммунную и эндокринную) несомненное тренирующее действие, оптимизируя и синхронизируя их функции. Биологические эффекты действия штамма М3 *Bacillus sp.* в полной мере воспроизводятся их метаболитами и конкретными низкомолекулярными веществами. Вектор биологических эффектов метаболитов МО модулируется температурой. Метаболиты, полученные от МО при отрицательных температурах, в большей степени активируют в организме хозяина механизмы стрессоустойчивости, а при положительных температурах — механизмы регенерации (пролиферации).

Системность позитивного влияния штамма М3 *Bacillus sp.* на организм лабораторных животных может быть обусловлена несколькими механизмами. Взаимодействие штамма М3 *Bacillus sp.* с организмом хозяина может осуществляться посредством двунаправленной нейрогуморальной системы связи. Известно, что в состав метаболитов МО входят сигнальные молекулы, которые не имеют строгой видовой специфичности [26], способны обеспечивать не только межклеточное и межвидовое взаимодействие, а также модулировать иммунный ответ хозяина и секрецию цитокинов [27; 28]. На мембране нейронов центральной нервной системы млекопитающих имеются специфические рецепторы для сигнальных молекул МО. Причем доза сигнальных молекул, необходимая для активации синтеза нейронами регуляторных нейропептидов и гормонов, крайне мала — 10^{-12} моль [29; 30].

Обладающие выраженным адаптационным потенциалом реликтовые бактерии *Bacillus sp.* могут также включать принцип дополнительности в повышении

адаптационных свойств организма хозяина. Это обеспечивается главной стратегией адаптации МО как прокариотов — наличием в их геноме 60% вариабельных генов, которые приобретаются бактериями в экстремальных условиях существования. Именно вариабельные гены секретируют сигнальные молекулы, повышающие устойчивость микроорганизмов к новым условиям существования [31; 32].

Также не исключается возможность того, что продукты жизнедеятельности штамма М3 *Bacillus sp.* могут содержать вещества со свойствами катализаторов, ускоряющих и модулирующих процессы метаболизма. Подтверждением этому могут служить полученные нами данные о стимулирующем влиянии малых доз бактерий штамма М3 *Bacillus sp.*, их метаболитов и отдельных химических веществ на системные реакции организма. Из метаболитов штамма М3 *Bacillus sp.* выделены особые химические вещества — олигомеры, имеющие в основе двухосновный алкалоид и нарастающую цепь из звеньев этиленгликоля в виде «гребенки». Известно, что молекулы подобного строения могут значительно усиливать иммунный ответ организма.

Возникает закономерный вопрос: почему именно в ММП высока концентрация микроорганизмов (как уже отмечалось, более 30% протестированных нами), способных повышать адаптационный потенциал представителей современных экосистем? МО поверхностных слоев почвы в большей степени испытывают экологическую нагрузку, в том числе температурную (например, температура почвы в арктической зоне может меняться в диапазоне от +25°C до -60°C). Объяснение этому мы видим в следующем: подавляющая часть МО почвы — это деструкторы с высокой скоростью метаболизма, способные разлагать вещества, накапливать химические элементы и вовлекать их в новые геохимические циклы. Для ММП помимо стабильно отрицательных температур характерны значимое ограничение питательных веществ и свободной воды, относительная

изолированность колоний МО, особый физико-химический режим, повышенный радиационный фон и многие другие особенности. В данных условиях селекция МО могла идти по пути сохранения видов с оригинальными механизмами репарации поврежденных структур, обмена энергией и генетической информацией. Известно, что скорость эволюции прямо отражает эффективность и ошибочность процессов репарации поврежденных структур. Логично предположить, что реликтовые МО в экосистемах криолитозоны, прошедшие жесткий эволюционный отбор, обладают особыми механизмами репарации, которые можно использовать для ускорения процессов репарации у современных живых систем. Ведь репарация имеет общебиологическое значение, комплексы систем репарации универсальны, с помощью одних и тех же механизмов устраняются повреждения различной природы.

Подобная система резервирования в подземных кладовых микробиоты «вечного» возраста в миллионы, а возможно, и десятки миллионов лет (!) на протяжении древних и современных геологических эпох необходима для сохранения жизни даже после крупнейших катастроф планетарного масштаба.

Археологические исследования показывают, что ледниковые эпохи и межледниковья — периоды резкого и масштабного изменения биоты. Пульсирующая эволюция способствует селекции видов организмов с оригинальной сопротивляемостью переменам в очень широком масштабе параметров условий окружающей среды. Смена ледниковых и межледниковых периодов с избытками тепла или холода могла модулировать жизненно важные факторы живых существ, определяя их современный образ. Ледниковые периоды и межледниковья (глобальное потепление) — это скорее всего время существования принципиально иных сообществ, вымирание одних и формирование других видов организмов. В этой связи может возникнуть новое направление исследований сообществ микроорганизмов, их свойств, условий возникновения, биологической активности и других особенностей в зависимости от местообитания в холодных регионах планеты (глубина залегания, широта и долготы). То есть речь идет о нордическом детерминизме (как части географического) в бактериальном микромире.

С позиций экологической безопасности необходимо дальнейшее проведение фундаментальных исследований закономерностей развития биосферы и поиска новых принципов взаимоотношения Человека и Природы [2]. Микроорганизмы из экосистем криолитозоны могут способствовать расширению адаптационного «коридора» человека и служить фундаментальной базой для формирования видов организмов с параметрами, соответствующими новым климатическим условиям существования.

Способность к взаимодействию микробиоты из древних экосистем с современными живыми системами свидетельствует о целостности биосферы

планеты. При этом криолитозону можно рассматривать как природную кладовую эволюционно ценных форм жизни, а палеобактерии — как бесценный ресурс Арктики и носителей оригинальной генетической информации. Человеку, почти исчерпавшему потенциал своего развития, остается лишь разумно распорядиться эволюционно выработанным и генетически детерминированным адаптационным потенциалом бактерий из древних экосистем для повышения собственного адаптационного потенциала, способного обеспечить безопасность жизнедеятельности в условиях меняющихся параметров природной среды.

Работа выполнена по государственному заданию согласно плану НИР ТюмНЦ СО РАН на 2018—2020 г., протокол № 2 от 8 декабря 2017 г. (Приоритетное направление IX.133. Программа IX.133.1. Проект: IX.133.1.4 «Криобиологические процессы на суше и в прибрежной части Карского моря в условиях повышения среднегодовых температур»), и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-55-11005 «Механизмы, траектории и пятнистость изменений арктических экосистем, вызванных потеплением климата (КлимЭко)».

Литература

1. Мельников В. П. Новейшие явления, концепции, инструментарий как фундамент для старта к новым горизонтам криологии // Криосфера Земли. — 2012. — Т. 16, № 4. — С. 3—9.
2. Осипов В. И. Биосфера и экологическая безопасность: юбилейная лекция. — М.: РУДН, 2017. — 136 с.
3. Мохов И. И., Елисеев А. В. Моделирование глобальных климатических изменений в XX—XXIII веках при сценариях антропогенных воздействий RCP // Докл. Акад. наук. — 2012. — Т. 443, № 6. — С. 732—736.
4. Gilichinsky D. A., Vishnivetskaya T. A., Petrova M. A. et al. Bacteria in permafrost // Psychrophiles: from biodiversity to biotechnology / Eds. R. Margesin et al. — Berlin: Rosa Springer, 2008. — P. 83—102.
5. Складнев Д. А., Мулюкин А. Л., Филиппова С. Н. и др. Моделирование процесса распространения клеток микроорганизмов и фаговых частиц из мест вытаивания мерзлотных слоев // Микробиология. — 2016. — Т. 85, № 5. — С. 580—587. — DOI: 10.7868/S0026365616050165.
6. Мельников В. П. К созданию цельного образа криосферы // Криосфера Земли. — 2014. — Т. 18, № 4. — С. 3—12.
7. Агаджанян Н. А., Антикаева О. И., Гамбурцев Г. А. и др. Системный экологический мониторинг как компонент стратегической безопасности России // Прил. к журн. «Безопасность жизнедеятельности». — 2009. — № 9. — С. 1—24.
8. Wilhelm R. C., Niederberger T. D., Greer C., Whyte L. G. Microbial diversity of active layer and permafrost in an acidic wetland from the Canadian High Arctic // Can. J. Microbiol. — 2011. — Vol. 57, № 4. — P. 303—315.

9. Bakermans C., Skidmore M. L. Microbial metabolism in ice and brine at -5°C // *Environ. Microbiol.* — 2011. — Vol. 13, № 8. — P. 2269—2278.
10. Мельников В. П., Розов В. В., Курчатова А. Н. и др. Распределение микроорганизмов в мерзлых грунтах // *Криосфера Земли.* — 2011. — Т. 15, № 4. — С. 86—90.
11. Доманская О. В., Мельников В. П., Огурцова Л. В. и др. Некоторые особенности ферментативной активности различных штаммов рода *Bacillus*, выделенных из мерзлых отложений // *Криосфера Земли.* — 2017. — Т. 21, № 5. — С. 63—71. — DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2017-5(63-71).
12. Едидин Г. М., Брушков А. В., Игнатов С. Г. Филогенетический анализ микроорганизмов из мерзлых грунтов // *Вестн. Моск. ун-та. — Сер. 4. Геология.* — 2016. — Т. 4, № 5. — С. 92—95.
13. Шатилович А. В., Шмакова Л. А., Губин С. В., Гиличинский Д. А. Жизнеспособные простейшие в вечной мерзлоте Арктики // *Криосфера Земли.* — 2010. — Т. 14, № 2. — С. 69—78.
14. Brouchkov A., Melnikov V., Kalenova L. et al. Permafrost Bacteria in Biotechnology: Biomedical Applications // *Psychrophiles: From Biodiversity to Biotechnology* / R. Margesin (ed.). — [S. l.]: Springer, 2017. — P. 541—555.
15. Kalenova L. F., Sukhovei Yu. G., Brushkov A. V. et al. Effects of permafrost microorganisms on the quality and duration of life of laboratory animals // *Neuroscience and Behavioral Physiology.* — 2011. — Vol. 41, № 5. — P. 484—490.
16. Калёнова Л. Ф., Субботин А. М., Бажин А. С. Влияние бактерий из многолетнемерзлых пород разного геологического возраста на иммунную систему // *Вестн. новых мед. технологий (электрон. журн.).* — 2013. — № 1. — С. 2—105. — URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/4272.pdf>.
17. Kalenova L. F., Novikova M. A., Subbotin A. M. Effects of Permafrost Microorganisms on Skin Wound Reparation // *Bull. of Experimental Biology and Medicine.* — 2015. — Vol. 158, № 4. — P. 478—482.
18. Kalenova L. F., Novikova M. A., Kostolomova E. G. Effects of Low-Doses of *Bacillus* Spp. from Permafrost on Differentiation of Bone Marrow Cells // *Bull. of Experimental Biology and Medicine.* — 2015. — Vol. 158, № 3. — P. 364—367.
19. Kalenova L. F., Novikova M. A., Subbotin A. M., Bazhin A. S. Effects of Temperature on Biological Activity of Permafrost Microorganisms // *Bull. of Experimental Biology and Medicine.* — 2015. — Vol. 158, № 6. — P. 772—775. — DOI: 10.1007/s10517-015-2859-z.
20. Kalenova L. F., Kolyvanova S. S., Bazhin A. S. et al. Effects of Secondary Metabolites of Permafrost *Bacillus* sp. on Cytokine Synthesis by Human Peripheral Blood Mononuclear Cells // *Bull. of Experimental Biology and Medicine.* — 2017. — Vol. 163, № 2. — P. 235—238.
21. Субботин А. М., Нарушко М. В., Боме Н. А. и др. Влияние микроорганизмов из многолетнемерзлых пород на морфофизиологические показатели яровой пшеницы // *Вавилов. журн. генетики и селекции.* — 2016. — Т. 20, № 5. — С. 666—672.
22. Нарушко М. В., Симонова Е. О., Субботин А. М. Скрининг микроорганизмов, выделенных из многолетнемерзлых пород, на повышение холодоустойчивости растений // *Научная и производственная деятельность — средство формирования среды обитания человечества: Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции (с международным участием)* / Отв. ред. Д. С. Дроздов. — М.: П. Садуртдинов, 2016. — С. 231—233.
23. Симонова Е. О., Субботин А. М., Петров С. А. Повышение устойчивости растений к неблагоприятным факторам внешней среды под влиянием бактерий из многолетнемерзлых пород // *Материалы II Международного симпозиума «Молекулярные аспекты редокс-метаболизма растений» и Международной научной школы «Роль активных форм кислорода в жизни растений»* (Уфа, 26 июня — 1 июля 2017 г.) / Ред. И. В. Максимов и др. — Уфа: ООО «Первая типография», 2017. — С. 413—416.
24. Енюктаева О. В., Калёнова Л. Ф., Субботин А. М. Влияние *Bacillus* sp. на выживаемость эмбрионов вьюна *Misgurnus fossilis* L., развивающихся из икры низкого качества // *Естествознание и гуманизм: Материалы трудов участников 5-й Международной междисциплинарной научно-практической конференции «Инновации и человек»* / Под ред. М. Г. Чухровой, Н. Н. Ильинских. — Анталия, 2014. — С. 10—15.
25. Габдуллин М. А., Нарушко М. В., Петров С. А. и др. Оценка влияния микроорганизмов, выделенных из многолетнемерзлых пород на выклев науплиев *Artemia salina* // *Проблемы патологии, иммунологии и охраны здоровья рыб и других гидробионтов.* — [Б. м.], 2015. — С. 482—487.
26. Филиппова С. Н., Сургучева Н. А., Сорокин В. В. и др. Бактериофаги низкотемпературных систем Арктики и Антарктики // *Микробиология.* — 2016. — Т. 85, № 3. — С. 337—346. — DOI: 10.7868/S0026365616030046.
27. Николаев Ю. А., Мулюкин А. Л., Степаненко И. Ю., Эль-Регистан Г. И. Ауторегуляция стрессового ответа микроорганизмов // *Микробиология.* — 2006. — Т. 75, № 4. — С. 489—496.
28. Вахитов Т. Я., Петров Л. Н. Регуляторные функции экзометаболических бактерий // *Микробиология.* — 2006. — Т. 75, № 4. — С. 483—488.
29. Ritchie A. J., Jansson A. P., Stallberg J. P. et al. The *Pseudomonas aeruginosa* Quorum-Sensing Molecule N-3-(Oxododecanoyl)-L-Homoserine Lactone Inhibits T-Cell Differentiation and Cytokine Production by a Mechanism Involving an Early Step in T-Cell Activation // *Infection and Immunity.* — 2005. — Vol. 45. — P. 1648—1655.
30. Проворов Н. А., Тихонович И. А. Генетические и молекулярные основы симбиотических адаптаций // *Успехи соврем. биологии.* — 2014. — Т. 134, № 3. — С. 211—226.

31. Collins S. M., Surette M., Bercik P. The interplay between the intestinal microbiota and the brain // *Nature Reviews Microbiology*. — 2012. — № 10. — P. 735—742. — DOI: 10.1038/nrmicro2876/.
32. Воробьева Л. И. Стрессоры, стрессы и выживаемость бактерий // *Прикладная биохимия и микробиология*. — 2004. — Т. 40, № 3. — С. 261—269.

Информация об авторах

Калёнова Людмила Федоровна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, ФГБУН ФИЦ «Тюменский научный центр» СО РАН (625026, Россия, Тюмень, ул. Малыгина, д. 86), ведущий научный сотрудник ФГАОУВО «Тюменский государственный университет» (625003, Россия Тюмень, ул. Володарского, д. 6), e-mail: lkalenova@mail.ru.

Мельников Владимир Павлович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАН, руководитель научного направления, Институт криосферы Земли СО РАН ФИЦ «Тюменский научный центр» СО РАН (625000, Россия, Тюмень, а/я 1230), научный руководитель, Институт криологии и криософии, Тюменский государственный университет (625003, Россия, Тюмень, ул. Володарского, д. 6), заведующий кафедрой, Тюменский индустриальный университет (625000, Россия, Тюмень, ул. Володарского, д. 38), e-mail: melnikov@ikz.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Калёнова Л. Ф., Мельников В. П. Экосистемы криосферы — источник микроорганизмов с оригинальным биологическим потенциалом // *Арктика: экология и экономика*. — 2018. — № 3 (31). — С. 56—64. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-56-64.

THE CRYOSPHERE ECOSYSTEMS — A SOURCE OF MICROORGANISMS WITH ORIGINAL BIOLOGICAL POTENTIAL

Kalenova L. F.

Tyumen Scientific Center of SB RAS, Tyumen State University (Tyumen, Russian Federation)

Melnikov V. P.

Earth Cryosphere Institute SB RAS Tyumen Scientific Center of SB RAS, Tyumen State University, Tyumen Industrial University (Tyumen, Russian Federation)

The work was carried out according to the state design, according to the Research Plan of the Tyumen Scientific and Technical Center of the SB RAS for the years 2018-2020, protocol No. 2 of December 8, 2017 (Priority IX.133., Program IX.133.1., Project: IX.133.1.4., “Cryobiological processes at and in the coastal part of the Kara Sea in conditions of increasing average annual temperatures”) and with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research within the framework of the scientific project No. 18-55-11005 “Mechanisms, trajectories and spotting of changes in Arctic ecosystems caused by climate warming (KlimEko)”.

Abstract

The present warming is much faster than warming during the transition from the last glaciation to interglacial. The warming of the Arctic, reinforced compared to the global one, and changes in Arctic ecosystems are widely known. Ecosystems of permafrost zone and ice cover of the Arctic zone proved to be more sensitive to changes than ecosystems of midlatitudes. In this regard, degradation of polar ice and permafrost can be expected, and microorganisms from the ecosystems of the Pliocene, Paleocene and Pleistocene can enter the modern ecosystems. The role of microorganisms in bio-based systems is extremely high; they practically control many processes, from the accumulation of solar energy on Earth and up to the people health. Environmental safety becomes the most important factor determining the existence of man on Earth. In the results presented, the authors tried to pay attention to the warming effects, namely, the interaction of modern living systems with the microbiota of the cryolithozone, which has not lost its viability for hundreds of thousands and millions of years. It is found that cryosphere ecosystems are a source of microorganisms with original biological potential. More than 30% of the tested strains of microorganisms from permafrost can significantly increase resistance to stress, improve quality and life expectancy of modern species from various ecosystems (plants, hydrobionts, insects, mammals). In

particular, a strain with the properties of a universal adaptogen has been isolated, which acts on the mammalian organism as an immunomodulator, reparant and geroprotector. The ability of ancient ecosystems microbiota to interact with modern living systems indicates the integrity of the planet's biosphere. From this perspective, cryolithozone can be regarded as a natural incubator of evolutionarily valuable life forms, and paleobacteria as an invaluable resource of the Arctic and a carrier of original genetic information. Such a system of reserving the “eternal” age microbiota in the underground storerooms for millions, and possibly tens of millions of years (!) within ancient and modern geological epochs is necessary for preserving life even after the greatest disasters of planetary scale. Microorganisms from the cryolithozone ecosystems can contribute to the expansion of the human adaptive “corridor” and serve as a fundamental base for the formation of organism species with parameters corresponding to the new climatic existence conditions.

Keywords: *the cryosphere, ecosystems, permafrost, paleobacteria, metabolites, adaptogens.*

References

1. Mel'nikov V. P. Recent discoveries, theories, and tools: making a start toward new prospects in of cryology. *Earth's Cryosphere*, 2012, vol. 16, no. 4, pp. 3—9.
2. Osipov V. I. Biosfera i ekologicheskaya bezopasnost': yubileinaya leksiya. [Biosphere and environmental safety: jubilee lecture]. Moscow, RUDN, 2017, 136 p. (In Russian).
3. Mokhov I. I., Eliseev A. V. Modelirovanie global'nykh klimaticheskikh izmenenii v XX—XXIII vekakh pri stsenariyakh antropogennykh vozdeistvii RCP. [Modeling of global climate changes in the XX—XXIII centuries under scenarios of anthropogenic impacts of RCP]. *Dokl. Akad. nauk*, 2012, vol. 443, no. 6, pp. 732—736. (In Russian).
4. Gilichinsky D. A., Vishnivetskaya T. A., Petrova M. A. et al. Bacteria in permafrost // Psychrophiles: from biodiversity to biotechnology. Eds. R. Margesin et al. Berlin, Rosa Springer, 2008, pp. 83—102.
5. Skladnev D. A., Mulyukin A. L., Filippova S. N. et al. Modeling of dissemination of microbial cells and phages from the sites of permfrost thawing. *Microbiology*, 2016, vol. 85, no. 5, pp. 614—619. DOI: 10.1134/S0026261716050167.
6. Mel'nikov V. P. K sozdaniyu tsel'nogo obraza kriosfery. [Towards the Creation of an Integral Image of the Cryosphere]. *Kriosfera Zemli*, 2014, vol. 18, no. 4, pp. 3—12. (In Russian).
7. Agadzhanyan N. A., Aptikaeva O. I., Gamburtsev G. A. et al. Sistemnyi ekologicheskii monitoring kak komponent strategicheskoi bezopasnosti Rossii. [Systemic environmental monitoring as a component of Russia's strategic security]. *Pril. k zhurn. "Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti"*, 2009, no. 9, pp. 1—24. (In Russian).
8. Wilhelm R. C., Niederberger T. D., Greer C., Whyte L. G. Microbial diversity of active layer and permafrost in an acidic wetland from the Canadian High Arctic. *Can. J. Microbiol.*, 2011, vol. 57, no. 4, pp. 303—315.
9. Bakermans C., Skidmore M. L. Microbial metabolism in ice and brine at -5°C . *Environ. Microbiol.*, 2011, vol. 13, no. 8, pp. 2269—2278.
10. Mel'nikov V. P., Rogov V. V., Kurchatova A. N. et al. Raspredelenie mikroorganizmov v merzlykh gruntakh. [Distribution of microorganisms in frozen soils]. *Kriosfera Zemli*, 2011, vol. 15, no. 4, pp. 86—90. (In Russian).
11. Domanskaya O. V., Mel'nikov V. P., Ogurtsova L. V. et al. Nekotorye osobennosti fermentativnoi aktivnosti razlichnykh shtammov roda *Bacillus*, vydelennykh iz merzlykh otlozhenii. [Some features of the enzymatic activity of various strains of the genus *Bacillus* isolated from frozen deposits]. *Kriosfera Zemli*, 2017, vol. 21, no. 5, pp. 63—71. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2017-5(63-71). (In Russian).
12. Edidin G. M., Brushkov A. V., Ignatov S. G. Filogeneticheskiy analiz mikroorganizmov iz merzlykh gruntov. [Phylogenetic analysis of microorganisms from frozen soils]. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 4. Geologiya*, 2016, vol. 4, no. 5, pp. 92—95. (In Russian).
13. Shatilovich A. V., Shmakova L. A., Gubin S. V., Gilichinskiy D. A. Zhiznesposobnye prosteishie v vechnoi merzlotе Arktiki. [Viable protists in Arctic permafrost]. *Kriosfera Zemli*, 2010, vol. 14, no. 2, pp. 69—78. (In Russian).
14. Brouchkov A., Melnikov V., Kalenova L. et al. Permafrost Bacteria in Biotechnology: Biomedical Applications // Psychrophiles: From Biodiversity to Biotechnology. R. Margesin (ed.). [S. I.], Springer, 2017, pp. 541—555.
15. Kalenova L. F., Sukhovei Yu. G., Brushkov A. V. et al. Effects of permafrost microorganisms on the quality and duration of life of laboratory animals. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 2011, vol. 41, no. 5, pp. 484—490.
16. Kalenova L. F., Subbotin A. M., Bazhin A. S. Vliyanie bakterii iz mnogoletnemerzlykh porod raznogo geologicheskogo vozrasta na immunnuyu sistem. [Influence of bacteria from permafrost rocks of different geological ages on the immune system]. *Vestn. novykh med. tekhnologii (elektron. zhurn.)*, 2013, no. 1, pp. 2—105. Available at: <http://www.medsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/4272.pdf>. (In Russian).
17. Kalenova L. F., Novikova M. A., Subbotin A. M. Effects of Permafrost Microorganisms on Skin Wound Reparation. *Bull. of Experimental Biology and Medicine*, 2015, vol. 158, no. 4, pp. 478—482.
18. Kalenova L. F., Novikova M. A., Kostolomova E. G. Effects of Low-Doses of *Bacillus* Spp. from Permafrost on Differentiation of Bone Marrow Cells. *Bull. of Experimental Biology and Medicine*, 2015, vol. 158, no. 3, pp. 364—367.

19. Kalenova L. F., Novikova M. A., Subbotin A. M., Bazhin A. S. Effects of Temperature on Biological Activity of Permafrost Microorganisms. *Bull. of Experimental Biology and Medicine*, 2015, vol. 158, no. 6, pp. 772—775. DOI: 10.1007/s10517-015-2859-z.

20. Kalenova L. F., Kolyvanova S. S., Bazhin A. S. et al. Effects of Secondary Metabolites of Permafrost *Bacillus* sp. on Cytokine Synthesis by Human Peripheral Blood Mononuclear Cells. *Bull. of Experimental Biology and Medicine*, 2017, vol. 163, no. 2, pp. 235—238.

21. Subbotin A. M., Narushko M. V., Bome N. A. et al. Vliyaniye mikroorganizmov iz mnogoletnemerzlykh porod na morfofiziologicheskie pokazateli yarovoi pshenitsy. [Influence of microorganisms from permafrost on morphophysiological indices of spring wheat]. *Vavilov. zhurn. genetiki i seleksii*, 2016, vol. 20, no. 5, pp. 666—672. (In Russian).

22. Narushko M. V., Simonova E. O., Subbotin A. M. Skrining mikroorganizmov vydelennykh iz mnogoletnemerzlykh porod na povyshenie kholodoustoichivosti rastenii. [Screening of microorganisms isolated from permafrost for increasing the cold resistance of plants]. *Nauchnaya i proizvodstvennaya deyatel'nost' — sredstvo formirovaniya srede obitaniya chelovechestva: Materialy Vserossiiskoi molodezhnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem). Otv. red. D. S. Drozdov. Moscow, R. Sadurtdinov, 2016, pp. 231—233. (In Russian).*

23. Simonova E. O., Subbotin A. M., Petrov S. A. Povyshenie ustoychivosti rastenii k neblagopriyatnym faktoram vneshnei srede pod vliyaniem bakterii iz mnogoletnemerzlykh porod. [Increase of resistance of plants to unfavorable factors of the environment under the influence of bacteria from permafrost rocks]. *Materialy II Mezhdunarodnogo simpoziuma "Molekulyarnye aspekty redoks-metabolizma rastenii" i Mezhdunarodnoi nauchnoi shkoly "Rol' aktivnykh form kisloroda v zhizni rastenii" (Ufa, 26 iyunya — 1 iyulya 2017 g.). Red. I. V. Maksimov i dr. Ufa, OOO "Pervaya tipografiya", 2017, pp. 413—416. (In Russian).*

24. Enoktaeva O. V., Kalenova L. F., Subbotin A. M. Vliyaniye *Bacillus* sp. na vyzhivaemost' embrionov v'yuna *Misgurnus fossilis* L. razvivayushchikhsya iz ikry

nizkogo kachestva. [Effect of *Bacillus* sp. on survival of *Misgurnus fossilis* L. loach embryos developing from low quality caviar]. *Estestvoznaniye i gumanizm: Materialy trudov uchastnikov 5-i Mezhdunarodnoi mezhdistsiplinarnoi nauchno prakticheskoi konferentsii "Innovatsii i chelovek"*. Pod red. M. G. Chukhrovoy, N. N. Il'inskikh. Antaliya, 2014, pp. 10—15. (In Russian).

25. Gabdullin M. A., Narushko M. V., Petrov S. A. et al. Otsenka vliyaniya mikroorganizmov, vydelennykh iz mnogoletnemerzlykh porod na vyklev naupliov *Artemia salina*. [Evaluation of the influence of microorganisms isolated from permafrost on Nauplian hybrids. *Artemia salina*]. *Problemy patologii, immunologii i okhrany zdorov'ya ryb i drugikh gidrobiontov. [S. I.]*, 2015, pp. 482—487. (In Russian).

26. Filippova S. N., Surgucheva N. A., Sorokin V. V. et al. Bakteriofagi nizkotemperaturnykh sistem Arktiki i Antarktiki. *Mikrobiologiya*, 2016, vol. 85, no. 3, pp. 337—346. DOI: 10.7868/S0026365616030046.

27. Nikolaev Yu. A., Mulyukin A. L., Stepanenko I. Yu., El'-Registan G. I. Autoregulation of stress response in microorganisms. *Microbiology*, 2006, vol. 75, no. 4, pp. 420—426.

28. Vakhitov T. Ya., Petrov L. N. Regulatory Functions of Bacterial Exometabolites. *Microbiology*, 2006, vol. 75, no. 4, pp. 415—419. DOI: 10.1134/S0026261706040084.

29. Ritchie A. J., Jansson A. R., Stallberg J. R. et al. The *Pseudomonas aeruginosa* Quorum-Sensing Molecule N-3-(Oxododecanoyl)-L-Homoserine Lactone Inhibits T-Cell Differentiation and Cytokine Production by a Mechanism Involving an Early Step in T-Cell Activation. *Infection and immunity*, 2005, vol. 45, pp. 1648—1655.

30. Provorov N. A., Tikhonovich I. A. Genetic and molecular foundations of symbiotic adaptations. *Successes of modern biology*, 2014, vol. 4, no. 6, pp. 211—226.

31. Collins S. M., Surette M., Bercik P. The interplay between the intestinal microbiota and the brain. *Nature Reviews Microbiology*, 2012, no. 10, pp. 735—742. DOI: 10.1038/nrmicro2876/.

32. Vorob'eva L. I. Stressory, stressy i vyzhivaemost' bakterii. [Stressors, Stresses and Survival of Bacteria]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2004, vol. 40, no. 3, pp. 261—269. (In Russian).

Information about the authors

Kalenova Lyudmila Fedorovna, Doctor of Biological Sciences, Chief Scientific Researcher, Tyumen Scientific Center of SB RAS (84, Malygina str., Tyumen, Russia; 625026), Leading Researcher, Tyumen State University (6, Volodarsky's st., Tyumen, Russia, 625003), e-mail: lkalenova@mail.ru.

Melnikov Vladimir Pavlovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Academician of RAS, Professor, Head of the Scientific Direction, Earth Cryosphere Institute SB RAS Tyumen Scientific Center of SB RAS (1230, Tyumen, 625000, Russia), Scientific Director, Institute of Cryology and Cryoscopy, Tyumen State University, (6, Volodarsky's st., Tyumen, Russia, 625003), Head of the Department, Tyumen Industrial University (38, Volodarsky's st., Tyumen, Russia, 625000), e-mail: melnikov@ikz.ru.

Bibliographic description

Kalenova L. F., Melnikov V. P. The cryosphere ecosystems — a source of microorganisms with original biological potential. *Arctic: ecology and economy*, 2018, no. 3 (31), pp. 56—64. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-56-64. (In Russian).

© Kalenova L. F., Melnikov V. P., 2018