

Криосфера земли и биологическое разнообразие*

Э. А. Карнышева[°], С. Н. Вирясов[†], А. В. Брушков[°], С. Г. Игнатов[†]

brouchkov@geol.msu.ru | ignatov@obolensk.org

[°]Географический факультет Московского Государственного университета им. М.В.Ломоносова

[†]Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии, Оболensk, Россия

Криосферой (от греческого 'kryos' – холодный) называется часть планеты Земля, где вода находится в твердом состоянии в виде льда. Такие условия позволяют живым организмам сохраняться в течение длительного периода времени. Основной компонентой живого в криосфере являются бактерии. Понимание механизмов защиты бактерий при таком хранении имеет большой потенциал в различных направлениях медицины.

Ключевые слова: криосфера, вечная мерзлота, бактерии.

Cryosphere of the Earth and Biological Diversity*

E. A. Karnysheva[°], S. N. Viryasov[†], A. V. Brushkov[°], S. G. Ignatov[†]

[°]Geographical Faculty of Lomonosov Moscow State University

[†]State Research Center for Applied Microbiology & Biotechnology, Obolensk, Russia

The cryosphere (derived from the Greek word for cold "kryos") is the frozen water part of the Earth system. These conditions can protect alive organisms during long period of time. Therefore the cryosphere is very important for global biodiversity. Bacteria are a main part of the living cryosphere. Understanding bacterial protection mechanisms during long period of time has great potential for different medical fields.

Keywords: cryosphere, permafrost, bacteria.

В настоящее время криосфера представляет собой 25% от поверхности Северного полушария Земли [12]. Парадигма криосферы от «безжизненных континентов» [13] сдвигается в сторону специфических экосистем [16] и идеального места для возникновения жизни [9]. Многолетнемерзлые породы, занимающие 6% территории России и значительные пространства Земли, содержат органическое вещество в форме биогенных газов, продуктов разложения, а также древние живые микроорганизмы, разнообразие которых, формы существования и активность практически не изучены. Мерзлые породы и льды арктической криолитозоны и обнаруживаемые в них микробные сообщества представляют собой уникальный объект для исследования взаимодействия биологических систем с экстремальными физико-химическими условиями среды их обитания или консервации. Мерзлая часть литосферы традиционно считалась областью биогеохимического покоя, хотя сведения о наличии в мерзлоте живых бактерий появились в России в конце XIX века в связи с находками мамонтов на севере Сибири.

Мамонтова гора находится в республике Саха (Якутия), приурочена к левому берегу р. Алдан, в его нижнем течении, и представляет собой один из наиболее интересных и полных разрезов неоген-плейстоценового времени осадконакопления Восточной Сибири.

Работа опубликована при финансовой поддержке РФФИ, грант 15-07-20370.

Климат района резко континентальный и суровый, что определяется, прежде всего, географическим положением Центральной Якутии. Климат Якутии отличается очень холодной зимой, теплым летом, малым количеством осадков и очень высокой годовой амплитудой температур.

Микроорганизмы – самая древняя форма жизни на Земле с гигантским ($\sim 10^{12}$) разнообразием бактериальных видов, фундаментальная составляющая любых экосистем, обеспечивающая выполнение биогеохимических функций, лежащих в основе глобального круговорота элементов: синтеза и разложения органического вещества, минерализации питательных элементов, фиксации атмосферного азота, нитрификации и денитрификации, трансформации металлов, соединений Р и S, антропогенных соединений (нефти, ароматических полициклов, хлорированных углеводородов, и т.п.). С одной стороны, микроорганизмы – источник широко распространенных социально значимых заболеваний, с другой стороны, на их основе создаются биотехнологии, определяющие уровень развития современной цивилизации. Благодаря внедрению новых методов молекулярной биологии, аналитической техники и биоинформатики, микробиология переживает период бурного развития. Сделан ряд открытий, принципиально меняющих представления о разнообразии бактериальных объектов и сложности формируемых ими сообществ. В водной среде, в почве и вечной мерзлоте обнаружено огромное количество ранее неиз-

вестных микроорганизмов – архей, существующих в экстремальных условиях. Выяснилось, что огромная часть биомассы на планете представлена именно археями. Археи обнаружены в организме человека и могут играть определенную роль в патогенезе ряда заболеваний. Получены данные о вирусах и нанобактериях – промежуточных формах жизни и о горизонтальном переносе генов между бактериями, входящими в состав микробных сообществ. Бактериофагами называются вирусы, инфицирующие бактерии и размножающиеся внутри них с использованием систем биосинтеза хозяина. Впервые фаги были описаны в 1915 г. Торотом и в 1917 г. Де-Гереллем. Из-за способности лизировать бактерии Де-Герелль назвал их бактериофагами («фаге», в переводе с греческого означает «есть»). Неконтролируемое применение антибиотиков и ослабление иммунного статуса организма приводят к образованию мультирезистентных штаммов патогенов, с которыми очень трудно бороться с помощью антибиотиков. В настоящее время бактериофаги рассматриваются как альтернатива антибиотикам. Лечение инфекционных заболеваний все в большей степени становится проблемным вследствие появления антибиотикоустойчивых популяций среди патогенов. В поисках решения этой проблемы возрос интерес к использованию в терапии инфекционных заболеваний бактериоцинов – низкомолекулярных пептидов с антимикробным действием, продуцируемых многими видами бактерий, в том числе молочнокислыми. По спектру и уровню антимикробной активности бактериоцины не уступают современным антибиотикам и даже превосходят их: они могут быть губительны, как для одного или нескольких близкородственных видов микроорганизмов, так одновременно и для разных грамположительных и грамотрицательных видов бактерий, а также грибов, вирусов, простейших и опухолевых клеток; их минимальные подавляющие концентрации (МПК) для бактериальных патогенов измеряются в наномолярных концентрациях. С позиций новых знаний еще большую актуальность приобрело изучение принципов сосуществования микробных популяций и их объединения в сообщества, в том числе создание биологических пленок, поиск носителей и регуляторов взаимодействий в микробных сообществах, изучение роли метаболических взаимодействий в их устойчивости. Под бактериальными биологическими пленками понимают структурно организованную группу микроорганизмов интерколорированную в полимерный матрикс (часто являющимся продуктом жизнедеятельности данных организмов) на любой поверхности. Образование биопленок есть механизм адаптации планктонной формы бактерий к окружающей среде [8]. Получены предварительные результаты по новому механизму образования биопленок [7].

Изучение микробной и вирусной компонент мерзлых экосистем и их биогеохимического потенциала становится особенно актуальной в связи с потенциальной угрозой глобального потепления. Выявление структуры микробно-вирусных сообществ и численности микроорганизмов необходимо также для ответа на вопрос о временных границах сохранения микробной жизни. Особый интерес в этом плане представляют природные объекты Арктической криосферы, для которых характерно сочетание нескольких периодически или постоянно действующих экстремальных физико-химических условий, способствующих длительной консервации микроорганизмов и вирусов.

Экстремальные природно-климатические условия, неустойчивость экосистем и экологические ограничения этого региона делают его уникальным исследовательским полигоном для изучения состояния биоресурсного потенциала вечной мерзлоты. Сведения о том, что происходит в структуре биоты при нарастании климатического пессимума в условиях высоких широт весьма ограничены, но чрезвычайно важны для понимания факторов и механизмов формирования биологического разнообразия, его реакций на негативные воздействия среды. Для микроорганизмов рассматриваемого региона характерен высокий адаптационный потенциал. До сих пор не ясны механизмы устойчивого развития или сохранения микробных сообществ в экстремальной геолого-геохимической среде плейстоценовых и голоценовых мерзлых толщ. В подобных условиях лизогенное состояние микробного сообщества становится наиболее предпочтительной стратегией его выживания благодаря преимуществу, получаемому в результате лизогенной конверсии полезными генами, привносимыми многими умеренными фагами. Информация о фаговой составляющей микробиоты криолитозоны данного региона практически отсутствует. Потенциальное изменение климата Земли ставит перед геофизиологией и микробиологией сложнейшие вопросы, связанные с поведением микроорганизмов и их сообществ, обитающих или сохраняющихся в криолитозоне в условиях меняющихся параметров природной среды Арктики. Вопреки некоторым представлениям толща мерзлоты от нижних до верхних горизонтов находится в постоянной динамике. Многолетняя изменчивость глубин сезонного оттаивания ледового комплекса составляет до 25% мощности сезонноталого слоя. Процессы миграции почвенной микрофлоры по профилю мерзлотных почв, которые до сих пор слабо или совсем не изучены.

Рельеф поверхности мерзлоты, состав и льдистость мерзлых пород, изменение водного режима почв в период максимального оттаивания могут приводить к масштабной латеральной миграции биомас-

териала по поверхности мерзлоты, перераспределению его в почвенном комплексе и формированию мощных надмерзлотных горизонтов его аккумуляции. Миграция почвенных растворов из надмерзлотных горизонтов также может распространяться за пределы почвенного комплекса, перенося микробно-вирусный материал в термокарстовые водоемы и местные реки. Миграция влаги в самой мерзлой толще при формировании и перестройке текстурообразующих льдов также может приводить к перемещению микроорганизмов.

Одним из наименее изученных вопросов является необыкновенная устойчивость бактерий к факторам окружающей среды и их длительная жизнеспособность. Защита от повреждений ДНК и мутагенеза, исследование механизмов поддержания жизни в течение тысячелетий является, наблюдаемое у некоторых бактерий, является одной из наиболее важных и многообещающих задач.

Вопрос идентификации микроорганизмов актуален не только с физиологи-биохимических свойств древних бактерий, но и с возможностью обнаружения патогенов. В настоящее время существуют разнообразные подходы по выделению и идентификации микроорганизмов [2, 6, 8, 10]. Наряду с известными иммунологическими подходами [4] разрабатываются бесконтактные методы на основе анализа газовой компоненты продуктов жизнедеятельности микроорганизмов [3]. Современные достижения в области физики и химии успешно применяются для идентификации микроорганизмов [1, 5, 10, 11, 14, 17]. Понимание тонких механизмов взаимодействия древних бактерий и их фрагментов и иммунной системы позволит разработать новую стратегию эффективной терапии хронических инфекций. Предварительные результаты показали возможность такой терапии [15].

Развертывание высокотехнологичных микробиологических исследований по указанным выше направлениям необходимо для изучения фундаментальных закономерностей организации и эволюции микробных сообществ геологических, почвенных и водных экосистем, решения задач здравоохранения, формирования современных представлений о закономерностях адаптации, мутагенеза, организации и функционирования бактериальных патогенов – возбудителей социально значимых инфекционных заболеваний, а также для разработки экспериментальных и теоретических основ бактериальных биотехнологий будущего.

Литература

- [1] Дубровин Е.В., Краевский С.В., Игнатюк Т.Е., Федюкина Г.Н., Игнатов С.Г. Способ определения наличия бактерий *Escherichia coli* detection по де-тектированию их фрагментов с помощью атомно-силовой микроскопии // Патент РФ №2437937, 2011
- [2] Волошин А.Г., Бунин В.Д., Акимова Л.А., Игнатов С.Г. Способ выделения и идентификации бактерий // Патент РФ №2431834, 2011
- [3] Волошин А.Г., Филиппович С.Ю., Бачурина Г.П., Бесаева С.Г., Игнатов С.Г. Спектрометрический анализ летучих компонентов микроорганизмов.// Приклад. биохим. и микробиол. – 2010. – Т. 46. – №3. – С. 331-335
- [4] Иващенко Т.А., Белова Е.В., Дентовская С.В., Белькова С.А., Балахонов С.В., Игнатов С.Г., Шемьяки Т. 50, №2, С. 211–218
- [5] Игнатов С.Г., Вилясов С.Н., Федюкина Г.Н. Применение асм для специфической визуализации микроорганизмов. В книге: Молекулярная диагностика – 2007 Под редакцией В.И. Покровского. 2007. С. 81-82
- [6] Игнатов С.Г., Волошин А.Г., Бунин В.Д., Дятлов И.А. Электрооптический анализ в микробиологии // Монография – Оболенск, ГУП МО «Серпуховская типография» – 2007. – С. 1-161
- [7] Игнатов С.Г., Волошин А.Г., Федюкина Г.Н., Ганина Е.А., Мочалов В.В., Денисенко Е.А., Перовская О.Н. Бактериальные биопленки и фаги// Инфекции и иммунитет, 2014, сентябрь, Спец. выпуск, С. 82-83
- [8] Лапыш М.Е., Светогоров Д.Е., Игнатов С.Г. Определение анизотропии поляризуемости бактериальных клеток при средней степени ориентации // Коллоидный журнал. – 1991. – Т. 55. – С.365-367
- [9] Мельников В.П., Геннадиев В.Б., Брушков А.В. Аспекты криософии: криоразнообразие в природе // Криосфера Земли, 2013, т. XVII, №2, С. 3–11
- [10] Тюрин Е.А., Дятлов И.А., Игнатов С.Г. Современные методы определения патогенных микроорганизмов, Нанотехнологии и охрана здоровья. 2012. Т. Р4. №10. С. 34-41
- [11] Уткин Д.В., Германчук В.Г., Спицын А.Н., Ерохин П.С., Кузнецов О.С., Куклев В.Е., Щербакowa С.А., Кутырев В.В., Ляпустина Л.В., Жарникова И.В., Курчева С.А., Кальной С.М., Жарникова Т.В., Куличенко А.Н., Генералов В.М., Сафатов А.С., Бурак Г.А., Терновой В.А., Шиков А.Н., Локтев В.Б., Агафонов А.П., Михеев В.Н., Игнатов С.Г., Бикетов С.Ф., Волошин А.Г., Дятлов И.А. Биосенсорные технологии в диагностике инфекционных болезней: коллективная монография.// под общ. ред. академика РАН, профессора В.В. Кутырева – Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2014. – 112 с. ISBN 978-5-94789-654-1. Тираж 300 экз.
- [12] Boetius A., Anesio A.M., Deming J.W., Mikucki J.A., Rapp Z. Microbial ecology of the cryosphere: sea ice and glacial habitats// Nature Reviews Microbiology 2015, № 13, P. 677-690
- [13] Byrd R.E.(1938). Alone:The Classic Polar Adventure. Washington,DC:Island Press.

[1] Дубровин Е.В., Краевский С.В., Игнатюк Т.Е., Федюкина Г.Н., Игнатов С.Г. Способ определения наличия бактерий *Escherichia coli* detection по де-

- [14] Dubrovin E.V., Yaminsky I.V., Fedyukina G.N., Ignatov S.G., Kraevsky S.V., Ignatyuk T.E. AFM specific identification of bacterial cell fragments on biofunctional surfaces // Open Microbiology Journal. 2012. T. 6. № 1. С. 22-28
- [15] Fursova O., Potapov V., Brouchkov A., Pogorelko G., Griv G., Fursova N., Ignatov S. Probiotic Activity of a Bacterial Strain Isolated from Ancient Permafrost Against Salmonella Infection in Mice Probiotics and Antimicrobial Proteins. // 2012, Volume 4, Issue 3, P. 145-153
- [16] Hodson A.J., Anesio A.M., Tranter M., Fountain A.G., Osborn M., Priscu J. et al. Glacial ecosystems. Ecol Monogr 2008, 78: P. 41–67
- [17] Ignatyuk T.E., Ivanova O.E., Eremeeva T.P., Fedjukina G.N., Voloshin A.G., Akimova L.A., Mochalov V.V., Ignatov S.G. Immobilization of viruses using langmuir antibody films based on amphiphilic polyelectrolytes for atomic force microscopy// В сборнике: Advances in single molecule research for biology and nanoscience Ignatov S.G. Proceedings of the IX. Linz Winter Workshop 2007. Linz: Trauner, 2008. P. 86-90
- [18] Maric S, Vranes J. (2007) Characteristics and significance of microbial biofilm formation. Period Bilogor 109: P. 115–121