

## Биологические проблемы первых колонизаторов планеты Земля

© 2011. Е. А. Жегалло<sup>1</sup>, к.г.-м.н., с.н.с., В. К. Орлеанский<sup>2</sup>, к.б.н., с.н.с.,  
К. Р. Напольская<sup>3</sup>, аспирант, А. И. Курапова<sup>3</sup>, аспирант,

<sup>1</sup> Палеонтологический институт имени А. А. Борисяка РАН,

<sup>2</sup> Институт микробиологии имени С. И. Виноградского РАН,

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,  
e-mail: zenova38@mail.ru, orleanor@mail.ru, ezheg@paleo.ru

Рассмотрены вопросы жизни первых колонизаторов планеты Земля (бактерий и цианобактерий), а также вопросы формирования между ними определённых «социальных» отношений, реализуемых как через биохимические вещества-сигналы, так и посредством электромагнитного излучения.

Microorganisms (bacteria and cyanobacteria) are the first colonizers of our planet. They have characteristic properties and features which the Nature used at the stages of biological evolution of the organic world. Bacteria and cyanobacteria have always been living in biocenoses which have social relations. These social relations are the beginning of social relations of the vegetative and animal worlds. Bacteria can use chemical and electromagnetic signals for information.

Ключевые слова: биокolonизация Земли, бактерии и цианобактерии,  
факторы выживания, взаимоотношения

Key words: Earth biocolonization, bacteria and cyanobacteria,  
survival factors, relationship

Ранний этап эволюции Земли всегда привлекал внимание различных специалистов. К настоящему времени показана ведущая роль бактериальных сообществ в образовании первичной биосферы Земли, послужившей основой для дальнейшего развития жизни на нашей планете [1]. В данной работе сделана попытка рассмотреть с точки зрения микробиологии особенности, «находки» и «разработки» Природы, которые сформировались у первых живых колонизаторов нашей планеты в период развития бактериального мира. Авторы полагают, что описываемые особенности затем, в процессе эволюции, стали важными элементами жизни более высокоорганизованных представителей растительного и животного мира.

Принято считать, что Космос существует по единым законам физики, химии и, надо надеяться, по единым законам биологии, хотя прямых данных о внеземной жизни пока нет. Тем не менее астрономы утверждают, что во Вселенной по условиям существования, присутствию биологической жизни может быть около одного миллиарда звёзд похожих на нашу планету. Для образования биологической клеточной жизни обязательно необходим определённый предварительный период времени и специфические геохимические условия, в которых формировались предбиологические структуры, которые сейчас принято называть «мир РНК» [2]. Конечным этапом этого процесса является

образование **морфологически оформленной бактериальной клетки**. В процессе движения материи от простого к сложному это наиболее важное и основополагающее событие. Предполагается, что на планете Земля образование бактериальных клеток завершилось 3,5–3,3 млрд. лет назад [3].

Многими исследователями принимается версия панспермии (заноса живых зародышей из космоса), которая в настоящее время стала доминирующей. Описываемое явление могло происходить и ранее в неохватных просторах Вселенной при формировании в тот период и в тех точках бактериального населения. Авторы считают, что это, как и другие рассматриваемые далее процессы, не является разовым актом, и допускают, что этот процесс многократно происходил в разных пространственных точках с различными вариантами геохимических условий, что привело к биоразнообразию бактерий как по морфологическому, так и по физиологическому параметрам.

Морфология бактериальных клеток более-менее однородна: шаровидные образования или палочки, которые в систематическом отношении разделяются или по физиологическим, или по генетическим параметрам. Имеется набор бросающихся в глаза форм: вибрионы, спиروهеты, нитчатые формы и соответственно различные колонильные и плёнчатые образования. Оформление бактериальной

клетки в целостный, морфологически обособленный организм в соответствии с геохимическими условиями места образования обусловил важнейший фактор биологической жизни микроорганизмов, а именно способ общения организма с окружающей средой. Это предопределило **тот или иной способ питания**: литотрофный (хемотрофный), фототрофный (фотосинтез), гетеротрофный (потребление готового органического вещества). Потребность в питании обуславливает **строго определённую экологическую нишу существования**. При этом каждый организм формирует свой **способ закрепления на пищевом участке**. Допуская, что условия в те далёкие времена могли быть аналогичными существующим сейчас, можно предположить, что в проточной среде необходимо было наличие слизи или стебельковых выростов (прообразов корней высших растений) для прикрепления к субстрату. Для того чтобы постоянно быть в толще водной питательной среды, образуются своеобразные газовые вакуоли – прообраз газовых пузырей у рыб. Бентосные организмы приспособились к жизни на дне водоёмов и формируют биоплёнки, в слизи которых устанавливались свои особые взаимоотношения друг с другом. Образовывались пищевые цепочки, в которых одни организмы в биоценозе – автотрофы – образовывали органику, другие – гетеротрофы – потребляли выделяемые готовые продукты.

Природные условия имеют тенденцию к изменению. В связи с этим каждый организм должен обладать **механизмом и диапазоном устойчивости** к колебаниям температуры, солёности, химического состава среды, рН и т. д. В условиях влияния особо неблагоприятных факторов, таких, как пересыхание водоёмов, низкие температуры, отсутствие питательных веществ, микроорганизмы могут впадать в покоящееся состояние – **анабиоз**, позволяющий сохраняться относительно долгое время. В последующей эволюции у растений и ряда животных также наблюдаются в жизненных циклах стадии длительного покоя и даже «впадание в спячку».

Принято считать, что из всех функций микроорганизмов одной из важнейших для обеспечения жизни на Земле является участие в круговороте элементов питания. Микроорганизмы формируют **малый биологический круговорот веществ**, обеспечивая переработку образовавшейся органики. В противном случае биологическая жизнь перестала бы существовать из-за горы трупов тех или иных организмов и отсутствия питательных веществ, которые

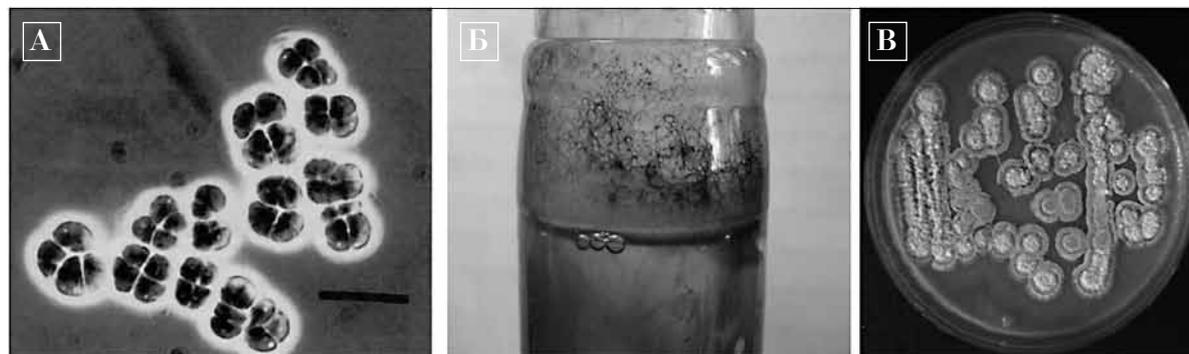
задействованы в малом биологическом круговороте. Исходя из этого, можно сделать заключение, что уже в ранний период биологической жизни нашей планеты сложилась закономерность, при которой любой отмирающий организм есть **субстрат-почва** для последующей новой жизни. Гетеротрофы, потребляющие в окружающей среде сложные органические вещества, приспособились **вырабатывать определённые ферменты**, которые разрушают эти вещества, переводя их в доступное состояние.

Необходимость постоянного поддержания жизненных функций заставила микроорганизмы образовывать специальные хеморецепторы, указывающие направление, двигаясь в котором, можно «поживиться». Развивалось явление, называемое **хемотаксис** – движение к питательному субстрату. Это также относится и к **фототаксису** – движению к свету (у фототрофных организмов).

**Движение и поиск пищи** в процессе биологической эволюции стали основополагающими факторами становления животного мира. В процессе бактериального развития движение развилось на основе реактивного выделения слизи. Осцилляторные цианобактерии, кроме того, освоили своеобразный способ спиралеподобного движения – ввинчивания в окружающую водную среду. Но, с нашей точки зрения, наиболее прогрессивный метод – это движение с помощью биологических моторов – жгутиков [4]. В дальнейшем этот способ на основе механических колебательных движений наиболее ярко реализовался у рыб и змей.

В период развития на Земле бактериальной флоры произошло ещё одно «революционное» и также основополагающее событие, а именно **выход жизни из воды в газовое пространство и далее на сушу**. Можно с определённой уверенностью сказать, что этот шаг бактерий заставила сделать сама Природа, в результате периодического или постоянного подсыхания тех водоёмов, где обитали бактерии и цианобактерии. Организмы должны были или выжить, или погибнуть. Каждый вид решал суровую проблему выживания по-своему. Наиболее типичным способом для микроорганизмов оказался способ «одевания в слизистую оболочку», что сейчас хорошо иллюстрируют бактерии, растущие на твёрдых агаровых средах и образующие слизистые колонии. Именно слизь предохраняет организмы от быстрого высыхания (рис. 1 А).

Цианобактерии также оделись в слизистые чехлы и в настоящее время уже свободно осваивают воздушные пространства. Работая с культурами цианобактерий, мы постоянно наблюдаем



**Рис. 1.** Выход микроорганизмов в газовое пространство:  
 А – Архебактерия *Methanosarcina* (фазовый контраст, масштаб 10 мкм).  
 Б – Рост нитчатых цианобактерий по стенкам сосуда над питательной средой.  
 В – Колонии актиномицетов на агаре

даем, как осцилляториевые растут по стенкам лабораторной посуды над поверхностью водной среды (рис. 1 Б). В природных условиях представители рода *Nostoc* образуют на почве хорошо выраженные слизистые колонии. Другие могут образовывать пучкообразные колонии, особенно в сырых местах.

Наиболее эффективно, с нашей точки зрения, эту проблему решили мицелиальные актинобактерии (актиномицеты), у которых приспособлением к выходу на сушу явилась дифференциация мицелия на первичный (субстратный) и вторичный (воздушный), способный проникать через границу раздела фаз (водной и воздушной) с выходом и ростом в воздушной среде (рис. 1 В). С образованием спороносного воздушного мицелия актиномицеты получили возможность более эффективно заселять новые территории благодаря распространению с воздушными потоками. Наши эксперименты показали, что некоторые актиномицеты не только приспособились к жизни в воздушной среде, но и могут уже развиваться при экстремально низкой влажности. Например, споры *Streptomyces odorifer* прорастают и мицелий увеличивается в длину даже при экстремально низкой активности воды  $a_w$ -0,50. При показателе  $a_w$ -0,86, когда у растений наступает увядание, у актиномицетов происходит ветвление мицелия, а при  $a_w$ -0,98 – проходит полный цикл развития от споры, развития мицелия до образования спор новой генерации [5].

Таким образом, выход на сушу дал начало новому явлению, которое сейчас называется **ксерофилией**, то есть возможности жизни растений при очень низких значениях влажности. Разделение актиномицетов на субстратный и воздушный мицелий лежит в основе другого явления – **геотаксиса**, которое в процессе биологической эволюции сейчас наиболее ярко проявля-

ется у растений и заключается в том, что корни стремятся вниз, в почву, а плодоносящая часть растёт вверх и формируется в воздушной среде.

Одним из определяющих факторов биологической жизни следует считать особенности **воспроизводства** себе подобного организма. Это удивительное явление природы каждый биологический вид решает по-своему. Наиболее распространённый способ размножения бактерий – деление клетки пополам с образованием поперечной перегородки. Имеются и более «многодетные» виды, когда содержимое клетки делится на несколько частей. Образовавшиеся новые клетки отделяются друг от друга и живут автономно, но могут образовывать колонии, таблички. Ряд организмов формирует при размножении цепочки клеток или нити той или иной длины, которые также распадаются на отрезки (гормогонии у осцилляториевых). Образовавшиеся части продолжают свой рост, увеличивая длину нити снова. В процессе развития бактериального мира методы воспроизводства усложнялись от вегетативного способа до формирования эндоспор или экзоспор из части клетки. У цианобактерий постоянно отмечаются хорошо выраженные споры из одной клетки или наблюдается слияние нескольких клеток в одну спору, окутанную общей оболочкой. Этот метод слияния нескольких клеток впоследствии приобретает важное биологическое значение для воспроизводства более высокоорганизованных организмов.

Каждому индивидуальному организму Природа выделила **свой срок существования**, в пределах общепопуляционного срока жизни данного вида. Для высших организмов этот срок заканчивается обязательной смертью, тогда как для микроорганизмов этот срок не является строго определённым. В условиях обилия пищи бактерии могут жить и размножаться

неопределённо долго. Так, вода в некоторых водохранилищах порой достигала сметанообразного состояния от обилия цианобактерий (явление, известное как «цветение воды»). Микробиологи показали, что с ростом и ухудшением условий питания, в связи с фактором значительного увеличения количества организмов в определённом объёме начинают вырабатываться вещества, сдерживающие рост и переводящие бактериальные клетки в покоящееся состояние (старение клеток) с переходом в анабиоз. Имеются данные, что в соответствующих условиях «спящее состояние» может исчисляться (с сохранением жизнеспособности) тысячами и миллионами лет [6]. Тем не менее отмершие микробные клетки отмечаются как в лабораторных, так и в природных условиях постоянно.

Данные, полученные биологами, показывают, что там, где бактериальных клеток становится более 2-3, между ними начинают складываться те или иные отношения. В этот момент Природа вводит в жизнь новое специфическое явление, а именно формируется **популяционно-социальный фактор**. Социальные отношения складываются как на уровне клеток одного организма (социальный фактор первого порядка), так и на уровне биоценоза (социума) различных видов (социальный фактор второго порядка).

*Социальный фактор первого порядка.* Изучая биологию нитчатых микроорганизмов (в частности цианобактерий), мы отмечаем такое явление, как разнообразие по форме кле-

ток нити. Например, у представителей рода *Anabaena* формируются специальные клетки – гетероцисты с их способностью к азотфиксации (рис. 2 А). У представителей рода *Gloeotrichia* на одной нити формируются специальные зоны споруляции, зона активного деления клеток и зона роста клеток (рис. 2 Б). У цианобактерий *Mastigocladus* наблюдаются клетки, которые ветвятся (рис. 2 В). У актиномицетов формируются два типа мицелия. Отсюда следует вывод, что в одном организме проявляется дифференциация клеток и отдельные клетки начинают выполнять различные специфические функции. Авторы считают, что при дальнейшей эволюции жизни такая **функциональная (и морфологическая. – Ред.) дифференциация клеток** одного организма приводит к появлению различных органов с различными функциями (у животных – печень, сердце и т. д., у растений – стебель, лист и т. д.).

*Социальный фактор второго порядка.* Работая с бактериями и цианобактериями в свете своих чисто профессиональных задач, анализируя свои и литературные данные, авторы пришли к заключению, что микроорганизмы обладают такими типами взаимоотношений, которые воспроизводятся и на более высоких уровнях организации живой материи, а также, с определённой степенью условности, – в общественных отношениях человечества. Нами в микробном мире отмечены следующие взаимоотношения: **конкуренция, антагонизм, паразитизм**. Эти типы «недружественного поведения» возникли

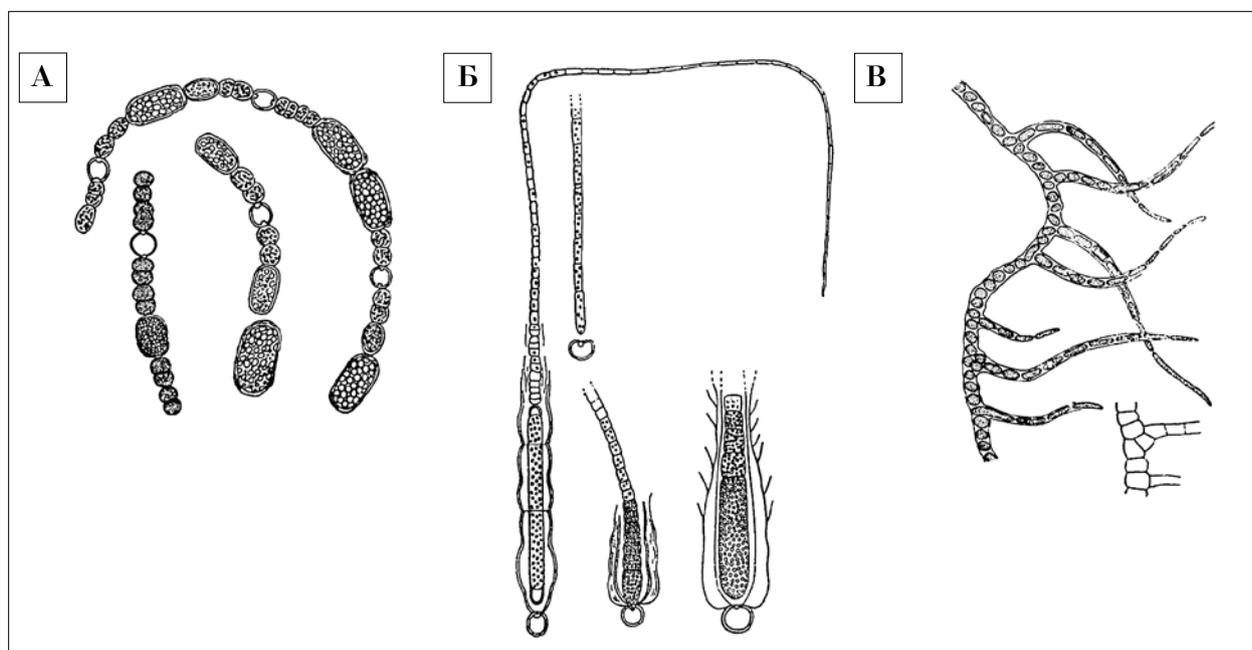


Рис. 2. Клеточная дифференциация у цианобактерий: А – Гетероцисты и споры у рода *Anabaena*. Б – Различные участки трихома рода *Gloeotrichia* (зона споруляции, зона роста). В – Ветвление нитей у рода *Mastigocladus*

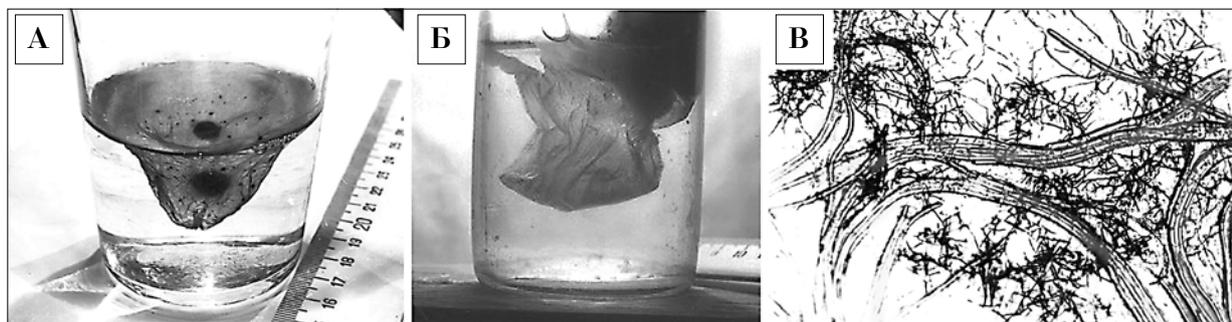


Рис. 3. Особенности поведения цианобактерий:

А – Образование ловчих сетей культурой рода *Oscillatoria*, по Горюновой С. В. [8].  
 Б – Сжатие ловчей сети. В – Совместный рост актиномицетов и цианобактерий (ассоциация)

и обусловлены охраной своей жизненной территории, борьбой за ресурсы и пространство. Примером таких отношений являются антибиотики, отпугивающие или угнетающие рост организмов-конкурентов.

**Нейтрализм, мутуализм** (обоюдная польза). Эти типы взаимоотношений представляют различные переходы отношений совместного существования – от равнодушия до «взаимной любви» (применительно к человеческим понятиям и терминам). Так, в биоценозах часто устанавливается устойчивая пищевая цепочка, когда одни организмы потребляют выделения других.

**Коллективизм.** Результаты полевых и лабораторных экспериментов с цианобактериями дают авторам право утверждать, что цианобактерии, в частности представители р. *Oscillatoria*, живут по законам стаи, формируя при этом различные структуры: ловчие мешки, своеобразные ряды, жгуты и т. д. [7].

Цианобактерии – автотрофы, но они охотно используют органику бактерий. Использование бактериальной органики и даже создание специальных для этого структур – явление, которое С. В. Горюнова [8] отнесла к начальному проявлению бактериального хищничества у цианобактерий (рис. 3 А, Б). Вводимая нами в культуру осцилляториевых взвесь актиномицетов также была оплетена нитями цианобактерий, но в этом случае возможен другой вид взаимоотношений – создание ассоциации [9] (рис. 3 В).

Коллективизм не может существовать без соответствующего информационного поля, создаваемого и воспринимаемого всеми членами социума. «Приказы и распоряжения» в микробном мире могут издаваться, передаваться, и восприниматься как биохимическим, так и биофизическим путями.

По биохимической передаче информации, путём выделения тех или иных химиче-

ских веществ, существует обширная литература. Биофизическая передача информации изучена пока слабо, но уже показана возможность межклеточного, дистанционного взаимодействия (ДВ) микроорганизмов (через стекло, жель, пенопласт и т. д.). Изучен широкий спектр микроорганизмов, относящихся к различным таксономическим группам: бактерии, актиномицеты, водоросли. В экспериментах по выявлению ДВ присутствовали две культуры, культура-излучатель (источник сигнала) и культура-детектор (по воздействию на которую судили о наличии и свойствах ДВ). Возможность механических контактов и обмена химическими сигналами отсутствовала. Показано, что под влиянием ДВ от культуры-излучателя актиномицеты накапливали на 70–110% больше биомассы по сравнению с контрольным вариантом, а водоросли накапливали биомассы на 150% больше. Кроме того, эксперименты показали, что ДВ является средством как внутривидовой, так и межвидовой коммуникации [10, 11]. Механизм передачи информации посредством электромагнитных волн изучен пока недостаточно, но это уже показано как на растениях, так и на животных [12]. В связи с этим интересно отметить, что человечество начало использовать электромагнитные волны как источник информации всего сто лет назад, бактерии же пользуются этим способом с начала колонизации Земли – миллиарды лет. За последнее десятилетие изучение специфики этих био-волн (для человека на уровне передачи мыслей на расстоянии) приобретает уже государственное значение. Имеются сообщения в средствах массовой информации, что военное ведомство США разрабатывает программу управления воинскими подразделениями путём мысленных приказов оператора военного штаба. В России уже создана аппаратура по управлению водителями транспортного средства путём отдачи мысленных приказов [13].

Таким образом, анализируя имеющийся материал, можно заключить, что социальные отношения в сообществах высокоорганизованных живых систем (грибов, растений, животных), а также и человечества были заложены Природой уже в самом начале колонизации планеты Земля – в первичных биоценозах бактериальных и циано-бактериальных сообществ. Можно заключить, что основные типы отношений эволюционировали, но их основа осталась неизменной на протяжении всей эволюции от прокариотных сообществ до отношений между представителями *Homo sapiens* (выживание сильнейшего, нейтраллизм, антагонизм, коллективизм и др.), усложнялись и эволюционировали лишь формы проявления взаимодействий. Образно можно считать, что бактериальная флора есть «оплодотворённые природой яйцеклетки», из которых развился растительный и животный мир.

### Выводы

Обобщая вышесказанное, авторы считают, что на начальном этапе бактериального развития на планете Земля, первых её колонизаторов, Природа наделила эти организмы следующими основными особенностями:

1. Наличие чётко оформленной морфологической структуры, простой по внешнему виду, но очень сложной по внутреннему строению и деятельности.

2. Постоянный обмен веществ с окружающей средой.

3. Необходимость воспроизводства себе подобного организма.

4. Каждый биологический организм имеет свой жизненный цикл и своё время жизни. Бактериальная клетка, впавшая в анабиоз, может сохранять жизнеспособность неопределённо долго.

5. Микроорганизмы (бактерии и циано-бактерии), являясь отдельными самостоятельными организмами, тем не менее живут в сообществе, где формируют свои разнообразные популяционно-социальные взаимоотношения, используя человеческие понятия и термины, от равнодушия до «взаимной любви», от «ненависти» до пищевой цепочки и т. д.

6. Природа в процессе бактериального этапа вложила в эти организмы ряд своих «находок» и «разработок», которые она в дальнейшем будет использовать на последующих стадиях биологической эволюции. Авторы считают, что Природа на стадии бактериального развития биомира расставила «столбы-указатели развития биологической жизни», которые затем превращались в «рабочую программу».

### Литература

1. Розанов А.Ю., Заварзин Г.А. Бактериальная палеонтология // Вестник Российской академии наук. 1997. Т. 67. № 3. С. 241–245.
2. Спирин А.С. Когда, где и в каких условиях мог возникнуть и эволюционировать мир РНК? // Палеонтологический журнал. 2007. № 5. С. 19.
3. Весталл Ф., Велш М. Раннеархейские ископаемые бактерии // Бактериальная палеонтология. М.: Изд-во ПИН РАН, 2002. С. 84–90.
4. Ермилова Е.В., Залуцкая Ж.М., Лапина Т.В. Подвижность и поведение микроорганизмов. Т. 1. Прокариоты. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. С. 192.
5. Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М., Судницин И.И., Грачева Т.А., Напольская К.Р., Белоусова М.А. Динамика прорастания спор и роста мицелия стрептомицетов в условиях низкой влажности // Микробиология. 2009. Т. 78. № 4. С. 491–495.
6. Воробьева Е.А., Соина В.С., Звягинцев Д.Г., Гиличинский Д.А. Жизнеспособные экосистемы криосферы // Бактериальная палеонтология М.: Изд-во ПИН РАН, 2002. С. 155–168.
7. Орлеанский В.К., Сумин Д.Л., Сумина Е.Л. Биопле синезелёных водорослей (рабочая гипотеза) // Фундаментальные аспекты биологии в решении актуальных экологических проблем. Астрахань: Изд-во КИЦ Полиграф-Ком, 2008. С. 190–193.
8. Горюнова С.В. Явление хищничества у синезелёных водорослей // Микробиология. 1955. Т. 24. № 3. С. 271–274.
9. Зенова Г.М., Омарова Е.О., Курапова А.И., Орлеанский В.К., Шадрин Н.В. Модельные ассоциации *Cyanoprokaryota* и актиномицетов // Альгология. 2010. Т. 20. № 3. С. 312–318.
10. Николаев Ю.А., Плакунов В.К., Филиппова С.Н., Сургучева Н.А., Эль-Регистан Г.И. Взаимодействия микроорганизмов, опосредованные физическими полями // Электромагнитные излучения в биологии «БИО-ЭМИ-2005». Калуга. 2005. С. 213–218.
11. Николаев Ю.А., Орлеанский В.К., Казаков А.Е. Коммуникация в сообществах микроорганизмов – основа общественных отношений высокоорганизованных форм жизни // Бюллетень Московского общества «Испытателей природы». Отдел Биологический. 2009. Т. 114. Вып. 2. Приложение 1. С. 70–73.
12. Будаговский А.В. Дистанционное межклеточное взаимодействие. М.: Изд-во НППЦ «Техника», 2004. С. 194.
13. Белоцерковский Г. Силой мысли // Газета «Полиск». 9.04.2010. № 15 (1080).

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН «Происхождение биосферы и эволюция геобиологических систем», гранта РФФИ 10-04-01475, 11-04-92202-Монг\_а.*