

Интеграция  
академической  
и университетской  
психологии

# ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЙ ПОДХОД В СОВРЕМЕННОЙ ПСИХОЛОГИИ

Ответственный редактор  
В. А. Барабанщиков



ИНСТИТУТ ПСИХОЛОГИИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

---

МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ АССОЦИАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПСИХОЛОГИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ ПСИХОЛОГИИ

МОСКОВСКИЙ ГОРОДСКОЙ ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА

# ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЙ ПОДХОД В СОВРЕМЕННОЙ ПСИХОЛОГИИ

Ответственный редактор  
*В. А. Барабанщиков*



Издательство  
«Институт психологии РАН»  
Москва – 2014

УДК 159.9  
ББК 88  
Е 86

*Все права защищены. Любое использование материалов данной книги полностью или частично без разрешения правообладателя запрещается*

Редакционная коллегия:

*Ю. И. Александров, В. М. Аллахвердов, В. А. Барабанщиков (отв. редактор),  
Н. А. Выскочил, А. Н. Гусев, А. А. Демидов (отв. секретарь), П. Н. Ермаков,  
А. Л. Журавлев, Ю. П. Зинченко, А. В. Карпов, Л. С. Куравский, С. Б. Малых,  
В. Н. Носуленко, В. И. Панов, А. О. Прохоров, В. В. Рубцов, В. В. Селиванов,  
А. А. Созинов, И. С. Уточкин, Д. В. Ушаков, Ю. Е. Шелепин*

**Е 86 Естественно-научный подход в современной психологии** / Отв. ред. В. А. Барабанщиков. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2014. – 880 с. (Интеграция академической и университетской психологии)

ISBN 978-5-9270-0293-1

УДК 159.9

ББК 88

Книга посвящена обсуждению широкого круга вопросов, касающихся реализации естественно-научного подхода в психологических исследованиях, и содержит около 150 статей, с различных сторон раскрывающих данную тему. Обсуждаются вопросы методологии естественно-научного изучения психических явлений, роли и места естественно-научных методов исследования (прежде всего, эксперимента) в развитии психологической науки, перспектив и границ применения экспериментальных и эмпирических методов в психологических исследованиях, создания новых экспериментальных средств и процедур, формализации психологического познания, объяснения и интерпретации данных экспериментальных исследований и мн. др. Данный труд является содержательным продолжением серии коллективных научных трудов, посвященных проблемам эксперимента в психологии, выпущенных за последнее время («Экспериментальная психология в России: традиции и перспективы», 2010; «Современная экспериментальная психология», 2011; «Экспериментальный метод в структуре психологического знания», 2012). Выход настоящего издания приурочен к 185-летию со дня рождения И. М. Сеченова и 165-летию И. П. Павлова, выдающихся русских ученых, заложивших естественно-научные основы изучения психических явлений в отечественной науке.

© Межрегиональная ассоциация экспериментальной психологии, 2014  
© ФГБУН Институт психологии Российской академии наук, 2014

ISBN 978-5-9270-0293-1

- Глебов В. В. Китайский студент в российской столице: социообразовательная адаптация // Азия и Африка сегодня. 2013. № 1. С. 45–51.
- Глебов В. В. Процессы академической адаптации иностранных студентов к процессу вузовского образования в России // Вестник РУДН. Сер. «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2012. № 5. С. 8–10.
- Казначеев В. П. Современные аспекты адаптации. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1980.
- Кузьмина Я. В., Глебов В. В. Динамика адаптации иногородних студентов к условиям экологии столичного мегаполиса // Мир науки, культуры, образования. 2010. № 6 (2). С. 305–307.
- Сошников Е. А. Комплексные факторы среды и состояние адаптации китайских студентов в условиях московского вуза // Вестник РУДН. Сер. «Экология и безопасность жизнедеятельности». 2012. № 5. С. 18–20.
- Сошников Е. А., Аникина Е. В., Глебов В. В. Воздействие комплексных факторов столичного мегаполиса на адаптационные процессы китайских и африканских студентов // Сборник научных материалов. Вторая Международная конференция «Психология человека в условиях здоровья и болезни». Тамбов: ТГУ им. Г. Р. Державина, 2012. С. 120–123.
- Сошников Е. А., Аникина Е. В., Глебов В. В. Динамика адаптации китайских и африканских студентов в условиях Москвы // Сборник научных материалов. XV Всероссийский симпозиум с международным участием «Эколого-физиологические проблемы адаптации» М.: РУДН, 2012. С. 287–289.
- Arakelov G. G., Glebov V. V. Psychology future in development of neurosciences // Psychology in Russia: State of the Art. 2010. Т. 3. С. 181–194.

## КОММУНИКАЦИЯ У ПРОКАРИОТ<sup>1</sup>

Т. Н. Греченко, А. В. Жегалло, А. Н. Харитонов

Институт психологии РАН (Москва)

grecht@mail.ru, zhegs@mail.ru, ankhome47@list.ru

Еще полтора-два десятилетия назад предполагали, что микроорганизмы живут относительно независимой «одноклеточной» жизнью. Сейчас общепринято, что они являются социальными существами. Современные исследования, выполненные микробиологами с использованием новых тонких технологий, показали, что индивидуальные клетки могут кооперироваться и общаться, чтобы совместно выполнять такие виды активности, как расселение, добывание пищи, конструирование пленки, репродукцию, химическую защиту и передачу сообщений (Brown et al., 2009). Во время формирования колоний бактерии генерируют множество сигналов, некоторые из них напоминают те, которые исходят из небиологических систем. Они демонстрируют разнообразное поведение, предполагающее информативные коммуникационные связи. Некоторые сообщения передают сведения о принципиально новых воздействиях и вызывают изменение генетического материала (Lyon, 2009). Это социальное поведение сравнимо с более известными образцами социальности у многоклеточных живых существ, таких как социальные насекомые и позвоночные. Бактерии живут почти исключительно в сообществах с другими микроорганизмами, а часто в ассоциации с многоклеточными «хозяевами». Такие сообщества

1 Исследование выполнено при поддержке РФНФ, проекты № 13-0600624а, № 12-06-00952а, № 13-06-00253а, и РФФ, проект № 14-28-00229.

способны сохранять сложную структуру и стабильность в течение определенного времени и показывать удивительное выживание в условиях меняющейся окружающей среды. Это результат взаимодействия между микробами и средой, а также между членами сообщества. Межклеточная (cell-to-cell) коммуникация является основой для координированной активности и фундаментом для функционирования биологической системы (Scholkmann et al., 2013).

При изучении способов взаимодействия микроорганизмов внимание сфокусировано на посредниках химической сигнализации, играющей ключевую роль в исследованиях так называемого «чувства кворума» микроорганизмов и этому посвящено много экспериментов. В микробном сообществе происходит множество химических взаимодействий, первичные и вторичные метаболиты вносят вклад в свойства связей между организмами. Химические вещества включают питательные вещества, токсичные и нейтральные побочные продукты, антибиотики и сигнальные молекулы межклеточного взаимодействия (Swift et al., 1996). Установлена роль гомосерина как посредника в общении бактерий при формировании плодового тела – формы социальной жизни некоторых микроорганизмов (гомосерин – природная аминокислота, важное промежуточное соединение в обмене незаменимых аминокислот треонина и метионина. Углеродная цепь гомосерина образуется у растений и микроорганизмов из аспартата) (Li, Satish, 2012). Эти химические сигналы облегчают микробные взаимоотношения, которые могут быть конкурентными, кооперативными или нейтральными и тем самым они определяют структуру сообщества. В свою очередь, внешняя среда, в которой находится сообщество, изменяет микроокружение индивидуальных клеток. Они отвечают на химические и другие сигналы среды различными способами (Duan et al., 2009).

Физические факторы взаимодействия между клетками исследованы мало. Однако физические способы коммуникации могут быть широко распространены в природе. Это предположение основывается на экспериментальных данных о микробных эмиссиях и ответах на три вида физических сигналов – звуковые волны, электромагнитное излучение и электрический ток. Эти сигналы быстро распространяются и даже на низкой интенсивности они обеспечивают полезный механизм в ситуации, когда требуется быстрый ответ (Reguera, 2011). Изучая роль электромагнитных волн (света) в коммуникации, Кучера и Цифра (Kučera, Cifra, 2013) показали, что слабая интенсивность эмиссии вместе с неблагоприятным соотношением сигнал-шум, типичным для естественных условий, не представляет существенного препятствия для обнаружения сигнала микроорганизмами.

Накопление экспериментальных данных поддерживает предположение о том, что микроорганизмы могут генерировать и отвечать на сигналы физической природы. Но необходимы работы, убедительно доказывающие, что физические сигналы действуют как переносчики специфической информации. Нами были выполнены опыты, которые показали участие электрических процессов в информационном обмене, происходящем в цианобактериальных сообществах.

## Метод

Опыты выполнены на нитчатых цианобактериях *Oscillatoria terebriformis*, которых содержали в физиологическом растворе следующего состава: (в граммах на литр):  $\text{NaHCO}_3$  – 3,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 17,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 0,5,  $\text{NaCl}$  – 30,  $\text{KNO}_3$  – 2,5,  $\text{MgSO}_4$  – 0,2,  $\text{CaCl}_2$  – 0,04,  $\text{FeSO}_4$  – 0,01. Часть результатов получена на цианобактериях *Geitlerinema sp.* и *Halo-*

---

*these sp.*, входивших в состав пробы цианобактериального мата из соленого озера Дусь-Холь (Тыва, Россия), еще одним компонентом которого были водоросли рода *Nitzschia*. Регистрацию электрической активности осуществляли двумя независимыми стеклянными микроэлектродами, заполненными 1 М раствором KCl. Для регистрации суммарной электрической активности микроэлектроды вводили под визуальным контролем в различные локусы биопленки.

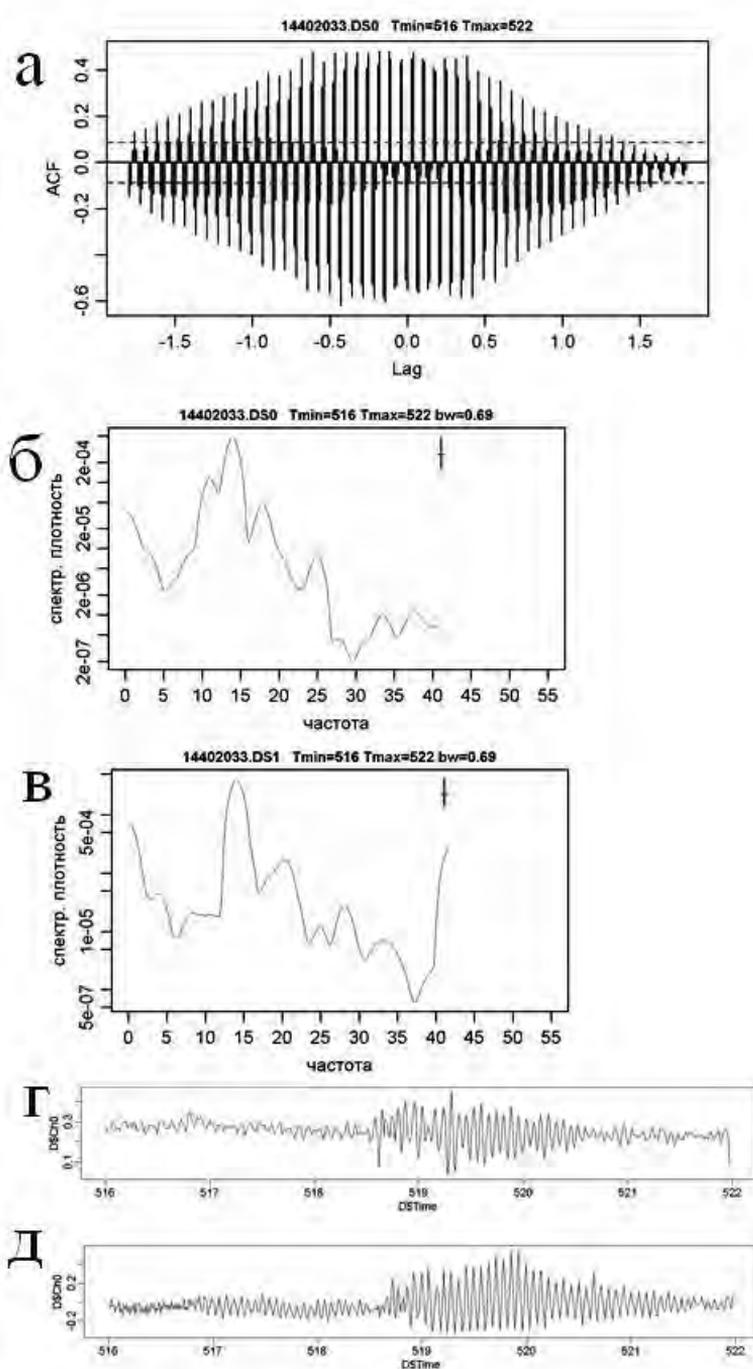
Фрагменты записи электрической активности цианобактерий *Oscillatoria terebriformis* и *Geitlerinema sp./Halothese sp.* оцифровывалась и подвергалась спектральному анализу в среде статистической обработки R 3.0 (R Development Core Team, 2011). Спектральный анализ выполнялся для исходной записи путем построения периодограммы с использованием быстрого преобразования Фурье (Shumway, Stoffer, 2011). Для выявления особенностей осцилляторной активности проводился автокорреляционный анализ, а наличие электрической связи между парой локусов биопленки при их одновременной регистрации выявлялась при помощи кросс-корреляционного анализа. Кросс-корреляционный анализ позволяет количественно охарактеризовать степень сходства электрических процессов и их взаимосвязи, выявить общие компоненты двух процессов и определить их временные отношения по сдвигу максимума кросс-корреляционной функции. Для визуализации распределения частот во времени использовался вейвлет-анализ. Длительность оцифрованных участков – 3 с, продолжительность однократной записи – 3 мин.

## Результаты

Цианобактерии – представители одноклеточных и нитчатых (вероятно, первая форма многоклеточности) фотосинтезирующих прокариот, геологический возраст которых – около 3,5 миллиардов лет. Они могут приспосабливаться к широкому диапазону изменений окружающей среды, демонстрируя адаптивность поведения. Более того, они сами способны изменять среду: принято считать, что именно цианобактерии создали первичную кислородную атмосферу.

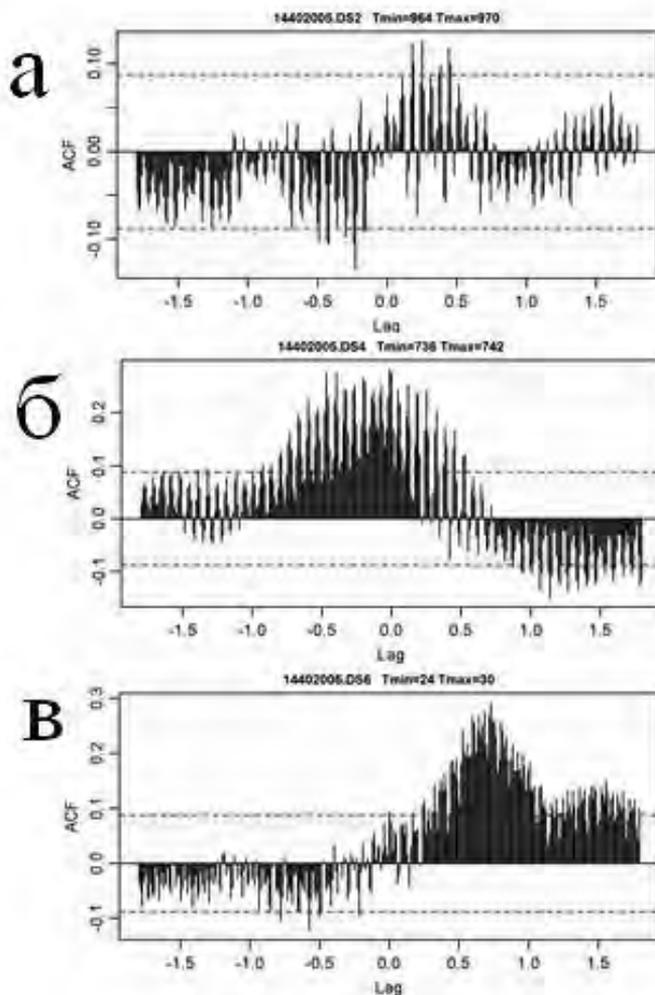
Регистрация электрической активности микроэлектродом в цианобактериальной пленке показывает синхронизированные синусоидальные ритмы частотой от 0,1 до 45 Гц. При регистрации потенциалов в зонах, заведомо отличающихся по активности (например, при освоении новых поверхностей или противостоянии другому сообществу) и, как показывают наблюдения, по цвету, получены электрические процессы разные по уровню синхронизации, частоте и амплитуде. При этом за счет движения нитей пленка дифференцирует органоподобные образования.

Применение Фурье-анализа к зарегистрированной электрической активности выявило наличие ритмики, весьма сходной по частотным показателям с известными ритмами мозга позвоночных животных (Греченко и др., 2013). Однако в проведенных опытах нас, прежде всего, интересовало взаимодействие (если оно имеется) между различными локусами биопленки. Рассмотрим результаты нескольких регистраций. На рисунке 1 показано, что активность, одновременно записанная от двух локусов, представлена осцилляциями весьма сходных по типу генерируемых периодических колебаний похожего спектрального состава – максимум расположен в области 14–15 Гц (рисунки 1б, в). Несмотря на то, что микроэлектроды были введены в удаленные части биопленки, эти локусы демонстрируют синхронную осцилляторную активность, что может означать жесткую зависимость одного от другого или же, наоборот, независимость при внешнем синхронизаторе, одина-



**Рис. 1.** Электрическая активность, зарегистрированная одновременно в двух локусах биопленки: а – кроссреляционная функция: по оси абсцисс запаздывание, по оси ординат – коэффициент корреляции; б, в – результаты частотного Фурье-анализа; г, д – электрическая активность от двух электродов, введенных в разные локусы биопленки

ково действующем на оба локуса (рисунок 1а). В течение опыта (и даже в течение одной трехминутной регистрации) динамика связи может весьма сильно изменяться, что ярко отражается на графике кросскорреляционной функции (рисунки 2а, б, в). Графики показывают, что происходит изменение локализации «ведущего» осциллятора – приоритет изменяется во времени, что отражается кросскорреляционной функцией (рисунки 2б, в). Результаты кросскорреляционного анализа показали, что взаимодействие между микроорганизмами, формирующими биопленку, существует, оно динамично и в то же время достаточно стабильно. Это следует из факта регистрации стереотипных паттернов электрической активности, которые генерируются рассматриваемым локусом. Это означает существование генераторов, определяющих характер осцилляторных электрических процессов и их модификации при получении сигналов из других локусов.



**Рис. 2.** Изменение связи двух локусов в течение регистрации их активности: а, б, в – графики кросскорреляции, характеризующие взаимодействие локусов биопленки (объяснение в тексте)

---

## Обсуждение

Бактерии, будучи самой ранней формой жизни на Земле, в естественных условиях пользуются химической и физической коммуникацией, чтобы сформировать иерархически структурированную колонию, состоящую из  $10^9$ – $10^{12}$  клеток каждая.

Роль физических факторов в передаче информации чрезвычайно велика (Fels, 2005). Электрические сигналы окружают ткани и клетки, и предполагается, что они участвуют в управлении полярностью клетки в таких процессах, как развитие, заживление ран и вторжение врагов. Применение экзогенного электрического поля может управлять клеточной поляризацией у всех типов клеток – от бактерий и простейших до нейронов и нейтрофилов. В исследовании на дрожжевых клетках показано, как под влиянием электрического поля происходит изменение геометрии клетки, изменение ориентации белковых молекул, влияние на pH и процесс деления (Minc, Chang, 2010). Экспериментально было показано, что в стрессовых ситуациях микроорганизмы увеличивают скорость развития соседних клеток, испуская физические сигналы. Длительное воздействие синусоидальными звуковыми волнами, продуцируемыми акустической системой на частотах 6–10, 18–22, 28–38 кГц, вызывают формирование колонии у *Bacillus carboniphilus*. Микроорганизмы *Bacillus subtilis* продуцируют звуковые волны на частотах между 8 и 43 кГц с широкими пиками на 8,5, 19, 29 и 37 кГц, что было определено при помощи чувствительной микрофонной системы. Сходство между звуковыми частотами, продуцируемыми *Bacillus subtilis* и частотами, которые индуцируют ответ у *B. carboniphilus*, преодолевая железную преграду, заставляет предположить, что звуковые волны функционируют как сигналы регулятора роста клеток, т. е. звук руководит формированием колонии микроорганизмов. Одноклеточные микроорганизмы, формирующие колонию на агаровой подстилке, если они посеяны в неблагоприятных условиях (например, при высокой концентрации солей или высокой температуре), начинают размножаться, если получают сигналы от рядом расположенных растущих по соседству гомологичных или гетерогенных клеток (Matsushashi et al., 1997).

При рассмотрении результатов опытов, выполненных на биопленках с одновременной регистрацией электрической активности в двух локусах и построением кросскорреляционной функции, обнаруживаются структурно те же типы взаимосвязи, которые найдены в коммуникации «высших» организмов, в частности людей. Так, в экспериментах по совместному оцениванию громкости сигнала диадой испытуемых (в нашем случае измерение проводилось в двух локусах – здесь почти полная аналогия) по произвольной и заданной шкалам В. Н. Носуленко (1981) выделил четыре типа взаимодействия: следование за лидером (один – лидер, другой, ведомый, в основном соглашается с оценкой лидера); переменное лидерство: в ходе одного опыта испытуемые часто меняются ролями, при этом «ведомый» либо повторяет, либо соглашается с оценкой ведущего в данной пробе; сотрудничество: партнеры корректируют, иногда многократно, свои оценки, стремясь получить общую оценку; независимое оценивание: испытуемые действуют обособленно, стараются дать оценку, отличающуюся от оценки партнера. Такие типы связи представлены на рисунках 1 и 2, с тем отличием, что в проведенных опытах они характеризуют коммуникацию прокариот.

Путем кооперации, основанной на межклеточной коммуникации, осуществляется морфогенез колонии (пленки), который включает координированную экс-

---

прессию гена, регулирующего клеточную дифференциацию, и деление и движение в пространстве. Сообща бактерии могут собирать информацию из окружающей среды и от других организмов, интерпретировать эту информацию, развивать общее знание и обучаться на прошлом опыте. Колония или пленка ведет себя подобно многоклеточному организму или социальному сообществу повышенной сложности, обладая как целое пластичностью, которая поддерживает наилучшую адаптивность к любым условиям с которыми она могла бы встретиться. Для достижения баланса между индивидуальностью и социумом бактерии общаются, используя обширный репертуар биохимических агентов. Кроме того, каждая бактерия имеет тонкую внутриклеточную сигнализацию, вовлекаемую в механизм сетевой коммуникации (Lyop, 2007). В естественных условиях роста бактерии живут в иерархических сообществах. Чтобы выполнять совместное поведение, бактерии пользуются настолько сложными коммуникациями, что их «химический язык» включает семантические аспекты (Ben-Jacob et al., 2004). Отдельные клетки или нити приобретают свойства и способности, возникшие в результате совместных действий, которые ранее не были представлены в генетической информации клеток, т. е. не требуется обязательного генетически наследуемого сохранения информации для эффективного ответа на условия внешней среды. Чтобы решить новую проблему, они оценивают ее через коллективное чувство, вспоминают сохраненную информацию о прошлом опыте и затем выполняют информационный процесс, распределенный по  $10^9$ – $10^{12}$  бактериям внутри колонии, трансформируя колонию в своего рода «супермозг». Это приводит к рассуждениям о специальной природе вычислительных принципов у бактерий сравнимых с принципами вычислительных алгоритмов Тьюринга о роли распределенных информационных процессов (Ben-Jacob, 2009). Чтобы разгадать особые секреты самоорганизации бактерий, были проведены экспериментальные и теоретические исследования абиотических и биотических систем. Опираясь на понятия основных биотических мотиваций и принципов, исследователи предположили, что обмен информацией между индивидуумами создает возможности для увеличения индивидуальных степеней свободы при увеличении кооперации микроорганизмов. Этот процесс совершается путем морфологического усложнения колонии через иерархический временно-пространственный паттерн. Высокая сложность колонии обеспечивает степень пластичности и гибкости, требуемую для лучшей колониальной адаптации к динамичной окружающей среде. Биотические системы могут модифицировать окружение и получать информацию для дальнейшего самосовершенствования (Ben-Jacob, 2003).

Выполненные нами исследования указывают на существенную роль, которую в обеспечении информационных процессов в цианобактериальных пленках играют электрофизиологические явления.

## **Заключение**

Изучение поведения цианобактерий показало, что они достигают высокого уровня приспособляемости благодаря «социальным» отношениям в их колониальных объединениях, а электрофизиологические опыты позволяют обнаружить сложные информационные процессы, функциональное значение которых заключается в установлении взаимодействия между членами сообщества.

---

## Литература

- Греченко Т. Н., Жегалло А. В., Харитонов А. Н. Частотный анализ электрической активности микроорганизмов // Эволюционная и сравнительная психология в России: традиции и перспективы. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2013. С. 201.
- Носуленко В. Н. Общение в задачах оценки сигналов // Проблема общения в психологии. М.: Наука, 1981. С. 45–60.
- Ben-Jacob E., Becker I., Shapiro Y., Levine H. Bacterial linguistic communication and social intelligence // Trends in Microbiology. V. 12. № 8. August 2004. P. 366–372.
- Ben-Jacob E. Bacterial self-organization: co-enhancement of complexification and adaptability in a dynamic environment // Philos. Trans. R. Soc. Lond. A. 2003. V. 361 (1807). P. 1283–1312.
- Ben-Jacob E. Learning from bacteria about natural information processing // Ann. N. Y. Acad. Sci. 2009. Oct. № 1178. P. 78–90.
- Brown S. P., West S. A., Diggle S. P., Griffin A. S. Social evolution in micro-organisms and a Trojan horse approach to medical intervention strategies // Phil. Trans. R. Soc. B. 2009. № 364. P. 3157–3168.
- Duan K., Sibley C. D., Davidson C. J., Surette M. G. Chemical interactions between organisms in microbial communities // Contrib. Microbiol. 2009. № 16. P. 1–17.
- Fels D. Cellular communication through light // PLOS One. 2009. № 4. P. 1–8.
- Kučera O., Cifra M. Cell-to-cell signaling through light: just a ghost of chance? // Cell Commun. Signal. 2013. № 11. P. 87.
- Li Z., Nair S. K. Quorum sensing: How bacteria can coordinate activity and synchronize their response to external signals? // Protein Science. 2012. V. 21. P. 1403–1417.
- Lyon P. From quorum to cooperation: lessons from bacterial sociality for evolutionary theory // Stud. Hist. Philos. Biol. Biomed. Sci. 2007 Dec. № 38 (4). P. 820–833.
- Matsuhashi M., Endoh K., Pankrushina A. N., Watanabe H., Yamamura H., Komiyama M., Endo S., Tobi M., Ohshima H., Mano Y., Hyodo M., Kaneko T., Otani S. Growth-promoting effect of carbon material upon bacterial cells propagating through a distance. // J. Gen. Appl. Microbiol. 1997. Aug. № 43 (4). P. 225–230.
- Matsuhashi M., Pankrushina A. N., Takeuchi S., Ohshima H., Miyoi H., Endoh K., Murayama K., Watanabe H., Endo S., Tobi M., Mano Y., Hyodo M., Kobayashi T., Kaneko T., Otani S., Yoshimura S., Harata A., Sawada T. Production of sound waves by bacterial cells and the response of bacterial cells to sound // J. Gen. Appl. Microbiol. 1998. № 44. P. 49–55.
- Minc N., Chang F. Electrical control of cell polarization in the fission yeast *Schizosaccharomyces pombe* // Curr. Biol. 2010. Apr. 27. № 20 (8). P. 710–716.
- Reguera G. When microbial conversations get physical // Trends Microbiol. 2011. March. № 19 (3). P. 105–113.
- Reguera G. et al. Extracellular electron transfer via microbial nanowires // Nature. 2005. № 435. P. 1098–1101.
- R Development Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing: Vienna, 2011.
- Scholkmann F., Fels D., Cifra M. Non-chemical and non-contact cell-to-cell communication: a short review // Am. J. Transl. Res. 2013. Sep. 25. № 5 (6). P. 586–593.
- Swift S., Stewart G. S., Williams P. The inner workings of a quorum sensing signal generator // Trends Microbiol. 1996. Dec. № 4 (12). P. 463–465.