

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
Институт психологии

# **ЭВОЛЮЦИОННАЯ И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ПСИХОЛОГИЯ В РОССИИ: ТРАДИЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

Под редакцией  
А. Н. Харитонов



Издательство  
«Институт психологии РАН»  
Москва – 2013

УДК 159.929

ББК 88

Э 15

*Все права защищены.*

*Любое использование материалов данной книги полностью  
или частично без разрешения правообладателя запрещается*

Редакционная коллегия:

*Ю. И. Александров, К. И. Ананьева, В. А. Барабанщиков, Н. А. Выскочил,  
В. В. Гаврилов, А. А. Демидов, О. А. Королькова, В. И. Панов,  
А. А. Созинов (отв. секретарь), А. Н. Харитонов (отв. ред.), И. А. Хватов*

**Э 15 Эволюционная и сравнительная психология в России: традиции и перспективы / Под ред. А. Н. Харитонova. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2013. – 432 с. (Труды Института психологии РАН)**

ISBN 978-5-9270-0274-0

УДК 159.929

ББК 88

Коллективный труд, подготовленный ведущими отечественными специалистами, представляет собой современный срез эволюционной и сравнительной психологии в России. Рассматриваются вопросы истории и теории эволюционных и сравнительно-психологических исследований, а также использования психологических методов в исследованиях поведения. Проблематика межвидового взаимодействия представлена на материале взаимодействия человека и синантропных видов. В книге отражен широкий спектр эмпирических исследований и материалы, представляющие попытку экспериментально-психологического решения ряда конкретных проблем фило- и онтогенетического плана. Монография ориентирована на психологов-эволюционистов, зоопсихологов и этологов, а также на широкий круг специалистов разного профиля, интересующихся эволюционной и сравнительно-психологической проблематикой.



*Подготовка и публикация коллективного труда осуществлена  
при финансовой поддержке Российского гуманитарного  
научного фонда (РГНФ), проект № 13-06-14050г.*

© ФГБУН Институт психологии РАН, 2013

ISBN 978-5-9270-0274-0

## **ПЕРВОБЫТНЫЕ АРХИТЕКТОРЫ: КАК СООБЩЕСТВО ЦИАНОБАКТЕРИЙ УПРАВЛЯЕТ СВОЕЙ ФОРМОЙ**

*Е. Л. Сумина, Д. Л. Сумин, Т. Н. Греченко, А. Н. Харитонов*

**Н**есмотря на то, что форма живых организмов соответствует условиям их обитания, сами условия обитания непосредственно эту форму не определяют. В отношении формообразования это, наверное, главное, что отличает живые объекты от неживых. Более того, форма организмов не определяется не только условиями среды, но и собственным строением, так как строение может многократно изменяться в течение онтогенетического развития. Таким образом, в морфогенезе наблюдается то же явление «опережающего моделирования», что и в других аспектах существования организма, объединяемых понятием «поведение».

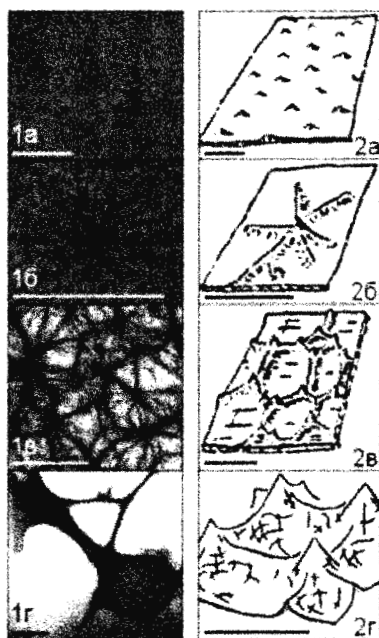
Установленное для многоклеточных эукариот явление эквививальности морфогенеза состоит в том, что конечная форма может достигаться множеством разных путей. Форма является результатом реализации ранее возникшей модели, а не однозначной смены стадий развития. Информационные эпигенетические процессы благодаря их сложности исследованы гораздо меньше, чем геномная составляющая наследственности. Наиболее изученными из них являются способы управления организмом изменением своей формы. Среди многоклеточных эукариот невозможно найти организм, изменяющий свою форму, в эволюционном и систематическом смысле, в соответствии с изменением внешних условий. Трудность изучения подобных проблем вытекает из принципов организации многоклеточных эукариот. Нитчатые цианобактерии, у которых процессы эукариотизации (возникновение многоклеточных прокариот и их сообществ) протекают параллельно (Гусев, Гохлернер, 1980), представляют сравнительный материал для исследования процессов причин изменения биологической формы. У их сообществ, в том числе ископаемых (строматолиты), отсутствует постоянная форма: она связана с конкретными условиями существования. На строма-

толитах у одного и того же объекта можно наблюдать процесс, одновременно несущий черты как онтогенеза, так и филогенеза. Это возможно благодаря отсутствию эквивинальности морфогенеза и полового процесса и наличию определенной формы. Если в случае строматолитов непрерывно такие изменения можно наблюдать в течение десятков тысяч лет, то у современных сообществ их можно наблюдать в течение часов. Форма объектов и способы ее образования могут достигаться только благодаря избирательному позиционированию составляющих их элементов. Оно не может быть достигнуто без общей модели, доступной каждому из элементов, и без общих для них способов изменения этой модели. Строматолиты позволяют судить о поведении цианобактерий только по его последствиям. Поведение современных сообществ цианобактерий можно наблюдать непосредственно. Разнообразие возникающих структур сопоставимо с морфологическим разнообразием элементов построек, но это совершенно другие структуры, поскольку они связаны не с образованием и изменением минерализованного тела, а с изменением «мягкого тела» сообщества. Здесь также наблюдаются избирательное позиционирование и опережающее моделирование. Так, например, при образовании тяжа (Сумина, Сумин, 2013) происходит смена нескольких структур, не имеющих физиологического смысла в момент их образования ни для самих нитей, ни для сообщества. Более того, сама структура также не имеет физиологического смысла. Осмысленна только ее конечная функция – перемещение или закрепление сообщества.

Обычно цианобактерии образуют пленки, рост которых напоминает распространение по субстрату, вызванное размножением. Для иллюстрации именно морфогенетической, а не репродуктивной, природы изменения формы сообщества рассмотрим два различных варианта, в которых эти изменения выражены наиболее интенсивно. Один из них – изменение формы в современном сообществе цианобактерий, другой – изменение формы сообщества, прослеженное на ископаемом материале. Оба случая сходны по выраженности биологического контроля – у современных цианобактерий она проявляется в высокой скорости процесса, у ископаемых – в образовании формы постройки, наименее соответствующей внешним условиям.

В серии экспериментов было отмечено, что при избыточном освещении пленка цианобактерий, занимающая всю поверхность лабораторного сосуда, преобразуется в систему тяжей (рисунок 1.1г) в течение нескольких часов (Сумина, Сумин, 2013). Явления, предшествующие такому преобразованию формы, развиваются в течение

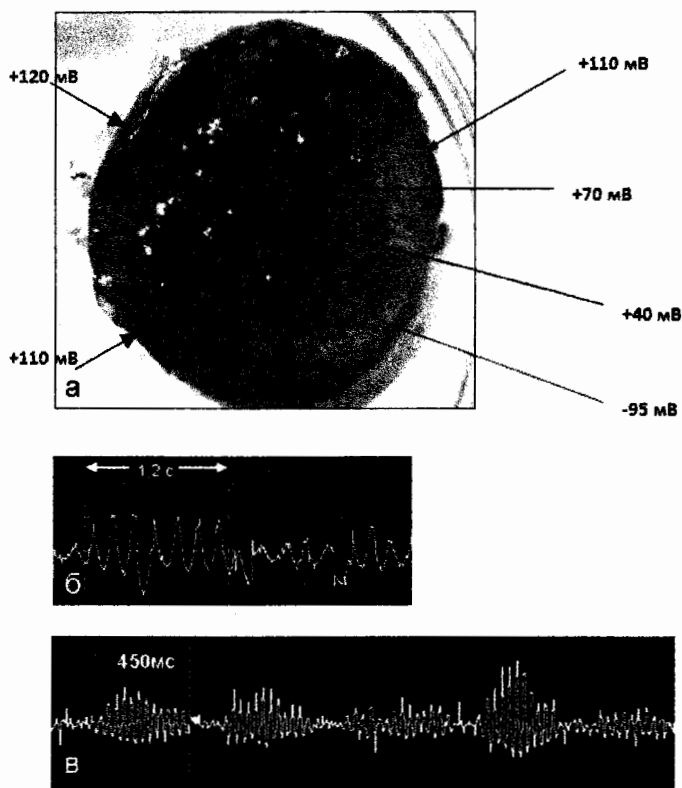
нескольких суток. Вероятно, физиологический смысл этого процесса состоит в предохранении сообщества от фотовывцветания. Скорость, определенность и целенаправленность этого процесса говорят о телеономическом характере преобразований, к числу которых принадлежит и морфогенез эукариот (Белоусов, 2005). Первой стадией процесса является образование в пленке сгущений (рисунок 1.1а) в течение суток или двух, вокруг которых впоследствии формируются лучи (рисунок 1.1б). Затем происходит объединение лучей с образованием полигональной сети с ячейками миллиметровой размерности (рисунок 1.1в). В сети образуются зоны сжатия и растяжения. На месте зон сжатия возникают тяжи, вначале неравномерные по толщине, впоследствии выравнивающиеся. Для управления этими процессами в сообществе должна создаваться информация о текущей форме, непосредственных условиях существования, несоответствии формы условиям, будущей форме, соответствующей условиям, и о способах перехода между начальной и конечной формой. Особо нужно отметить, что подавляющее большинство струк-



**Рис. 1.** Стадии формирования и результаты деятельности полигональной сети: 1а – г – в сообществе современных цианобактерий; 2а – г – на ископаемом материале (из: Власов, 1977). Масштабная линейка: 1а – в – 1 мм; 1г – 1 см; 2а – в – 5 мм; 2г – 5 см

тур не имеют функций, прямо изменяющих состояние сообщества в необходимую ему сторону, а лишь способствуют этому изменению. Также необходимо отметить, что периодическое изменение условий влияет на скорость процесса, но не влияет на его направленность.

Одним из проявлений коллективного взаимодействия в сообществе является формирование надорганизменных структур, важных для его существования как целого. Их построение требует согласования совместной деятельности нитей. Согласованная механическая активность у других организмов обеспечивается специфическими электрическими взаимодействиями. В связи с этим нами были исследованы электрические явления в цианобактериальной пленке. Было показано, что сообщество обладает не только механической, но и дифференцированной электрической целостностью, которая может служить основой для ориентации нитей (рисунок 2а).



**Рис. 2.** Электрическая активность цианобактерий: а – распределение зарядов в пленке; б – низкочастотные веретена,  $f$  – около 6 Гц; в – высокочастотные веретена,  $f$  – около 27 Гц

В сообществе постоянно регистрируются сложные модулированные сигналы, которые в общих чертах сходны с электрической активностью нервной системы эукариот. Интенсивность и сложность электрической активности совпадает с морфогенетической активностью в сообществе. Можно выделить следующие уровни структур, создающих пространственную информацию. Первый – пленка. Первоначально она не имеет видимых элементов строения, но инициирует образование сети. Второй уровень – многолучевые агрегаты. Многолучевые агрегаты являются элементарной единицей сети. Третий уровень – собственно полигональная сеть.

Электрофизиологическое исследование активности цианобактерий (культура термального вида *Oscillatoria terebriformis*) проводилось на разных стадиях решения ими совместной задачи – создания пленки (Греченко и др., 2012).

Регистрация суммарной электрической активности от сообщества показала, что для зрелой пленки типичны синхронизированные осцилляции частотой 6–8 Гц и 28–33 Гц (рисунок 2б, в), способные формировать единый электрический процесс. Амплитуда колебаний не превышала 30 мВ. Уровень потенциала покоя составлял –20... –40 мВ в зависимости от места введения микроэлектрода в пленку. Электрическая активность индивидуальной цианобактерии, зарегистрированная внутриклеточным микроэлектродом, характеризуется стабильной по частоте и амплитуде ритмикой, амплитуда отдельных осцилляций достигает 50 мВ при уровне мембранного потенциала –45... –50 мВ. Сигнал обладает поразительной устойчивостью по частоте и амплитуде, он монолитный, в нем нет проявлений многокомпонентности.

Предполагалось, что суммарные электрические осцилляции зависят от совместной активности цианобактерий, которая по интенсивности различна в разных местах сообщества. Поскольку предыдущими экспериментами было выявлено, что сообщество обладает способностью к регенерации, которая осуществляется направленным движением групп нитей, пленка была травмирована – надорвана в нескольких местах, чтобы спровоцировать необходимую для эксперимента активность в конкретном месте и в конкретное время. Затем в течение нескольких дней регистрировали электрическую активность различных структурных образований, создаваемых цианобактериями в процессе «залечивания ран», т. е. при осуществлении нитями совместного действия для воссоздания целостности сообщества.

Результаты показали, что сила и выраженность электрических осцилляций зависит от места регистрации: наиболее мощная

синхронизированная высокоамплитудная активность характерна для областей интенсивного движения нитей, в которых сформировались структуры типа тяжей, выполняющие коммутирующую функцию между восстанавливающимися краями разрыва пленки. В областях, где не происходит интенсивного образования новых структур, уровень электрической активности был чрезвычайно низким и характеризовался только наличием отрицательной разности потенциалов (от  $-20$  до  $-40$  мВ).

Таким образом, выявлена прямая связь между выраженностью синхронизированной электрической активности (осцилляциями) цианобактерий и уровнем деятельности по решению задачи восстановления целостности сообщества: чем выше интенсивность морфогенетических движений нитей, тем мощнее электрические осцилляции.

С эволюционной точки зрения нельзя не отметить, что проявление важнейшего поведенческого механизма – эндогенной ритмической активности – наблюдается у одних из древнейших организмов – цианобактерий. Они способны формировать сообщества (прообраз социума и организма одновременно), что позволяет им синхронизировать свои индивидуальные осцилляторы и осуществлять целенаправленное индивидуальное и коллективное поведение. Цианобактерии пришли к интеграции – созданию упорядоченных структур из множества нитей. Очевидно, что при пространственных перемещениях условия существования нитей в разных частях формируемых структур являются благоприятными в различной степени. Следовательно, поведение отдельных нитей в конкретные интервалы времени определяется приоритетами сообщества как целого. Таким образом, у цианобактерий выявлена электрическая активность, обеспечивающая регулятивные, когнитивные, коммуникативные и, возможно, другие функции. Поскольку цианобактериальное сообщество занимает промежуточное положение между популяцией и организмом, полученные данные подтверждают выводы В. Я. Бродского (2009) об определяющей роли развития природных информационных систем в становлении организмов.

На ископаемом материале направленное изменение формы и структуры цианобактериальных сообществ выражается в изменении формы строматолитов. Среди строматолитов сложной формы выделяется семейство *Tyssagetacea* (Власов, 1977). Ф. Я. Власовым было высказано предположение, что микрорельеф является ископаемыми следами управляющей системы, определявшей ход макроскопического морфогенеза. Авторами была обнаружена подобная управляющая система на современном материале и удалось



непосредственно наблюдать ее функцию, определяющую ход макроскопического морфогенеза. В обоих случаях управляющая система отвечает за процессы наибольшей интенсивности: у цианобактерий за наиболее интенсивные механические перемещения, у строматолитов – за образование форм, наименее сходных с абиогенными. В сообществе цианобактерий и, по-видимому, у строматолитов сеть образуется только на время выполнения функции. В плане сохранения информации, самым важным является то, что при прерывистом действии побуждающих факторов среды план морфогенетических изменений осуществляется непрерывно.

Таким образом, к настоящему моменту выявлены четыре способа управления сообществом своей формой как в неминерализованном, так и минерализованном (строматолиты) состоянии – морфологический, матричный, электрический и биохимический, и выделены специализированные структуры управления. Поскольку процесс морфогенеза является управляемым на разных уровнях – от макроморфологического до молекулярного, можно предполагать, что он происходит в рамках единого информационного пространства.

### Литература

- Бродский В. Я. Прямые межклеточные взаимодействия и «социальное» поведение клеток млекопитающих, протистов и бактерий. Возможные причины многоклеточности // *Онтогенез*. 2009. Т. 40. № 2. С. 97–106.
- Власов Ф. Я. Докембрийские строматолиты из саткинской свиты Южного Урала // *Материалы по палеонтологии среднего палеозоя Урала и Сибири*. УНЦ АН СССР, 1977. С. 101–125.
- Греченко Т. Н., Сумина Е. Л., Сумин Д. Л., Харитонов А. Н. Синхронизация электрических процессов и организация поведения прокариот: Тезисы докладов // V Международная конференция по когнитивной науке. Калининград: Изд-во БФУ, 2012. Т. 1. С. 327.
- Гусев М. В., Гохлернер Г. Б. Свободный кислород и эволюция клетки. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980.
- Сумина Е. Л., Сумин Д. Л. Морфогенез в сообществе нитчатых цианобактерий // *Онтогенез*. 2013. Т. 44. № 3. С. 203–220.