

Греченко Т.Н., Харитонов А.Н., Жегалло А.В. Электрические знаки биокоммуникаций

Grechenko T.N., Kharitonov A.N., Zhegallo A.V. Electrical signs in biocommunication.

Институт психологии Российской академии наук, Москва, Россия
Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

В проведенных опытах изучался электрический информационный канал, который эффективно действует у живых организмов разного эволюционного уровня – от бактерий до человека. Мы предполагаем, что для выяснения функционального значения электрической активности существенна не только частота осцилляций, но и временная структура их последовательности - паттерн. Регистрировалась электрическая активность у цианобактерий *Oscillatoria terebriformis* и *Geitlerinema sp*, дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, инфузорий *Paramecia caudatum*, пиявки *Hirudo medicinalis*, моллюска *Helix lucorum*, эмбрионов лиманной креветки *Artemia salina* и лягушки *Rana temporaria*. Спектральный анализ выполнялся путем построения периодограммы с использованием быстрого преобразования Фурье, а для выявления структурных особенностей проводился автокорреляционный анализ. Опыты на живых организмах разного эволюционного уровня показали, что у одного и того же объекта регистрируются паттерны разной структуры; эти паттерны устойчивы и повторяются в регистрациях у разных объектов одного и того же вида; один и тот же паттерн воспроизводится много раз у одного и того же объекта; у эволюционно разных существ обнаружены одинаковые по структуре паттерны; паттерн определяет уровень активности организма. Выдвигается предположение о том, что временная структура осцилляторной активности является биологической постоянной, неизменяющейся в эволюции.

Ключевые слова: биокоммуникация, осцилляции, электрическая активность, паттерн, периодограмма, автокорреллограмма.

We studied electrical information channel, which effectively operates in living organisms of different evolutionary levels, from bacteria to humans. It was assumed that to clarify the functional significance of the electrical activity not only the oscillation frequency is essential, but also the temporal structure of their sequences, the specific pattern that determines the level of activity of an organism. We registered the electrical activity in the cyanobacteria *Oscillatoria terebriformis* and *Geitlerinema sp*, the yeasts *Saccharomyces cerevisiae*, the ciliates *Paramecia caudatum*, the leech *Hirudo medicinalis*, the mollusk *Helix lucorum*, the spawn of frog *Rana temporaria* and eggs of estuary shrimp *Artemia salina*. Spectral analysis

using a fast Fourier transform and the autocorrelation analysis revealed that the patterns registered from the same object are numerous and have different structure. The patterns are stable and repeatable in registrations from different specimens of the same species. The same pattern is reproduced many times in one and the same object. Patterns identical in structure were found in biological objects of different evolutionary level. It is supposed that the temporal structures of the oscillatory activity are biologically conservative and may be biological constants unchanging in evolution.

Keywords: biocommunication, oscillations, electrical activity patterns, periodogram , autocorrelation

Коммуникация в мире живого понимается как обмен информацией между индивидуальными представителями или их объединениями. Она является основным компонентом социального поведения, без обмена информацией социальное поведение невозможно [Emmeche and Kuhl, 2011]. Информация помогает ориентироваться в процессах и закономерностях окружающего мира, она служит для управления и принятия решений. Организация и координация общего поведения зависит от коммуникаций. Коммуникация в человеческом обществе— это частный случай биокоммуникации.

Биокоммуникация - вся совокупность процессов распространения и обмена информацией в мире живых существ. Виды, у которых хотя бы в зачаточном виде имеется социальная интеграция, уже обладают простейшей коммуникацией [Ven-Jacob, 2003; Греченко и др., 2014]. Коммуникация между живыми существами основана на нескольких основных эволюционно-консервативных каналах передачи информации. Многие каналы коммуникации совпадают у людей и других биологических видов. Она может происходить по оптическому, акустическому, химическому, тактильному, электрическому каналам связи. Действие электрического канала у живых существ выражено электрической активностью элементов, включенных в процесс формирования информационных посылок.

Электрические коммуникации возникают, когда живая система содержит много элементов, а скорость принятия и расшифровки сообщения должна быть высокой [Уолтер, 1966]. Одной из таких систем является мозг, состоящий из множества нейронов, организованных в структуры, между которыми устанавливаются различные функциональные связи. В этом случае требуется и согласованность активностей, исходящих из различных отделов [Думенко, 2007; Седов и др., 2014]. Электрические коммуникации свойственны и одноклеточным эукариотам, имеющим настолько совершенную внутриклеточную организацию, что информационный обмен может происходить как внутри клетки посредством химического канала, так и при

помощи электрических сигналов, управляющих, например, органами движения [Свидерский, 2007]. Расшифровка функционального значения электрических сигналов является основной проблемой в изучении биокommunikации у живых существ [Barbieri, 2008].

В многоклеточной системе одной из важнейших характеристик является временная согласованность электрических процессов. В 50 годах М.Н. Ливановым было показано значение синхронизации биопотенциалов мозга в реализации поведения [Ливанов, 1972]. Результаты синхронизации электрических процессов по частоте известны как альфа-ритм, дельта-ритм и т.д. [Гусельников и Супин; 1968, Безденежных, 2004]. Многообразные и разноречивые представления о роли ритмической активности связаны с отсутствием прямой связи между частотными характеристиками ритма и его значимостью для определенного состояния организма [Шишкин, 1997]. Возникает предположение о том, что определяющим параметром ритмической активности нервной системы является не только его частотная характеристика, но и временная – последовательность сигналов, отражающая динамику ее развития [Bullock et al.; 1995, Бодунов, 1988; Каплан и др., 2006]. Существенным является не вообще наличие электрического процесса, а его дискретность, его дробление на паттерны. Эти своеобразные “слова” электрической ритмической активности отражают частотный диапазон задействованных осцилляторных механизмов и пространственно-временную организацию электрофизиологического процесса, который и определяет реализуемое поведение.

Результаты опытов, выполненных на организмах, принадлежащих разным уровням эволюции, от прокариот-цианобактерий до человека, показали, что у всех существ есть осцилляторная активность, частотные спектры которой сходны с обнаруженными в ЭЭГ человека и высших позвоночных животных (3-5 Гц, 10-12 Гц, 40-45 Гц) [Греченко и др., 2013]. Поскольку осцилляции регистрируются в нервных системах разной сложности, то можно предполагать, что весь набор ритмов подготовлен эволюционно, а актуальный, реализуемый в данный момент, связан с текущим состоянием и реализуемым поведением. Мы предполагаем, что осцилляторные процессы у живых организмов разного эволюционного уровня синхронизированы не только по частотам, но и по особенностям временной организации и представлены паттернами электрической активности. Применение дополнительных способов анализа позволило получить новые данные, показывающие не только сходство частотных диапазонов электрической осцилляторной активности, но и наличие одинаковых паттернов – временной организации осцилляций.

Методика

Были выполнены эксперименты, в которых при помощи стеклянных микроэлектродов регистрировалась электрическая активность у организмов разного уровня эволюции: цианобактерий *Oscillatoria terebriformis* и *Geitlerinema sp*, дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, инфузорий *Paramecia caudatum*, пиявки *Hirudo medicinalis*, моллюска *Helix lucorum*, эмбрионов лиманной креветки *Artemia salina* и лягушки *Rana temporaria*.

Для работы с цианобактериями *Oscillatoria terebriformis* применяли физраствор следующего состава (в граммах на литр): NaHCO_3 – 3, Na_2CO_3 – 17, K_2HPO_4 – 0.5, NaCl – 30, KNO_3 – 2.5, MgSO_4 – 0.2, CaCl_2 – 0.04, FeSO_4 – 0.01. Фрагмент цианобактериального мата, сформированного нитчатых цианобактериями *Geitlerinema sp*. и содержавшего одиночные цианобактерии *Halothese sp*. и одноклеточные водоросли *Niscia*, исследовался в пробе воды из естественной среды обитания (оз. Дусь-Холь, Республика Тыва), представляющую собой естественный рассол – хлоридно-магниевую-натриевую рапу с минерализацией до 125 граммов на литр и более; анионы Cl (62-73), SO_4 (27-38); катионы $\text{Na}+\text{K}$ (70-76), Mg (24-29); pH раствора 7,9.

В опытах на дрожжах *Saccharomyces cerevisiae* использовались “дикие” дрожжи, помещенные в водную среду температурой 22-25°C.

Электрическая активность свободно плавающих инфузорий *Paramecia caudatum* регистрировалась в камере объемом 0,35 мл, содержавшей специальный физиологический раствор (KCl – 4 mM, CaCl – 1 mM, MgCl_2 – 5 mM, tris HCl – 1 mM. pH раствора – 7,2). Регистрация электрической активности пиявок *Hirudo medicinalis* и моллюсков *Helix lucorum* производилась из ганглиев полуинтактных препаратов, помещенных в соответствующие физиологические растворы.

Электрическая активность развивающегося организма изучалась у эмбрионов лиманной креветки *Artemia salina* и лягушки *Rana temporaria*. Для этого в чашку Петри переносили часть кладки лягушки *Rana temporaria* и регистрация электрической активности производилась от икринок, находящихся в естественной для них среде. Для регистрации электрической активности эмбрионов рачка *Artemia salina* развивающиеся цисты помещали в чашку Петри с водой, химический состав которой был идентичен природному месту их обитания.

Статистический анализ. Фрагменты записи электрической активности оцифровывались и подвергались 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 and Stoffer, 2011]. Для выявления структурных особенностей осцилляторной активности

проводился автокорреляционный анализ. [Длительность оцифрованных участков.](#)

Результаты

Цианобактерии *Oscillatoria terebriformis*, *Geitlerinema sp.* и *Halothece sp.* – фотосинтезирующие прокариоты, эволюционный возраст которых составляет около 3,5 миллиардов лет. В природе образуют пленки и цианобактериальные маты. Цианобактерии могут приспосабливаться к широкому ряду изменений окружающей среды за счет большой адаптивности поведения и своего рода “социальных” отношений в формируемых ими сообществах [Сумина, 2006]. Для регистрации суммарной электрической активности микроэлектрод вводили в толщу цианобактериальной пленки. Регистрация электрической активности макроэлектродом в цианобактериальной пленке показывает синхронизированные синусоидальные ритмы частотой от 0,1 до 45 Гц. При отведении потенциалов в зонах, заведомо отличающихся по активности (например, при освоении новых поверхностей, противостоянии другому сообществу) и, как показывают наблюдения, по цвету, получены электрические процессы отличающиеся частотой и амплитудой осцилляций. При этом за счет движения нитей пленка образует органоподобные структуры.

Пекарские дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* – одноклеточные эукариоты, грибы. Размеры дрожжевых клеток обычно составляют 3-7 мкм в диаметре. У дрожжей можно выделить высокочастотный компонент до 28-30 Гц, и низкочастотные компоненты около 0,1 Гц (существуют ритмические компоненты и с частотой 1/час). На электрические процессы дрожжевых клеток влияют такие факторы внешней среды, как температура, состав жидкостной среды в экспериментальной камере, и длительность нахождения в растворе определенного состава.

Регистрации, электрической активности у одноклеточных эукариот – инфузорий *Paramecia caudatum* позволили обнаружить взаимодействие нескольких эндогенных осцилляторов, существующих фактически одновременно. Частота зарегистрированных электрических колебаний от 0,1 Гц до 50 – 55 Гц, амплитуда от 2-3 мВ до 30 мВ. Функция каждого из осцилляторов, по-видимому, связана с определенным поведением, которое осуществляется действием группы ресничек парамеции [Eckert, Naitoh, 1970].

Выполнены регистрации электрической активности на разных этапах эмбриогенеза травяной лягушки *Rana temporaria* и рачка *Artemia salina*. Опыты показали, что на ранних стадиях клеточной дифференциации у 70% клеток регистрируется осцилляторная электрическая активность. Амплитуда колебаний составляла 5–15 мВ. По мере развития эмбриона и перехода в стадию органогенеза количество клеток, имевших осциллирующую активность,

снижалось. Периодограммы, характеризующие частотный состав электрической активности эмбриона, показали, что частотный состав зависит от стадии развития эмбриона: наличие пика в области 3–5 Гц в первые часы дробления, а более поздние стадии характеризовались преобладанием высоких частот в спектральной характеристике осцилляций (25–30 Гц через 6–10 часов).

Часть экспериментов была выполнена на многоклеточных организмах, имеющих нервную систему - моллюсках *Helix lucorum* и пиявках *Hirudo medicinalis*. Все жизненно важные биологические функции многоклеточных организмов представляют собой ритмические процессы. Функции которых в нервной системе весьма разнообразны: они отвечают за частоту сокращений сердца и дыхания, температурную чувствительность, деятельность желудочно-кишечного тракта, организуют электрическую ритмическую активность мозга, ответственны за проявление циркадианных ритмов и организацию двигательной активности, участвуют в создании энграмм памяти.

Существование эндогенной осцилляторной активности у нейронов моллюсков убедительно доказано работами многих исследователей [Arvanitaki and Chalazonitis, 1964]. В висцеральном ганглии аплизии примерно 50–75% крупных нейронов демонстрируют спонтанные пейсмекерные разряды. От ганглиев центральной нервной системы моллюска и пиявки зарегистрированы осцилляторные потенциалы, характеризующие работу определенных нейронных ансамблей.

Применение преобразования Фурье к зарегистрированным от цианобактерий, дрожжей, парameций, пиявок, моллюсков, эмбрионов лягушки и рачка осциллограммам позволило проанализировать их частотный состав (например, Рис.1, Рис.3). В зависимости от состояния, в котором во время регистрации находится объект, периодограммы показывают локализацию пиков на разных частотах. Интерес представляет тот факт, что все локализации находятся в знакомых областях — это частоты, которые многократно описаны в исследованиях активности мозга на разных объектах. Были построены автокорреллограммы, которые показали временную структуру осцилляторной активности.

От цианобактериальной пленки зарегистрированы осцилляции низкой и высокой частоты (Рис.1, А, а, г). На периодограммах пики активности локализованы в области 3Гц и 30 Гц (Рис.1,А, б, д). Временная структура этих участков электрической активности представлена на

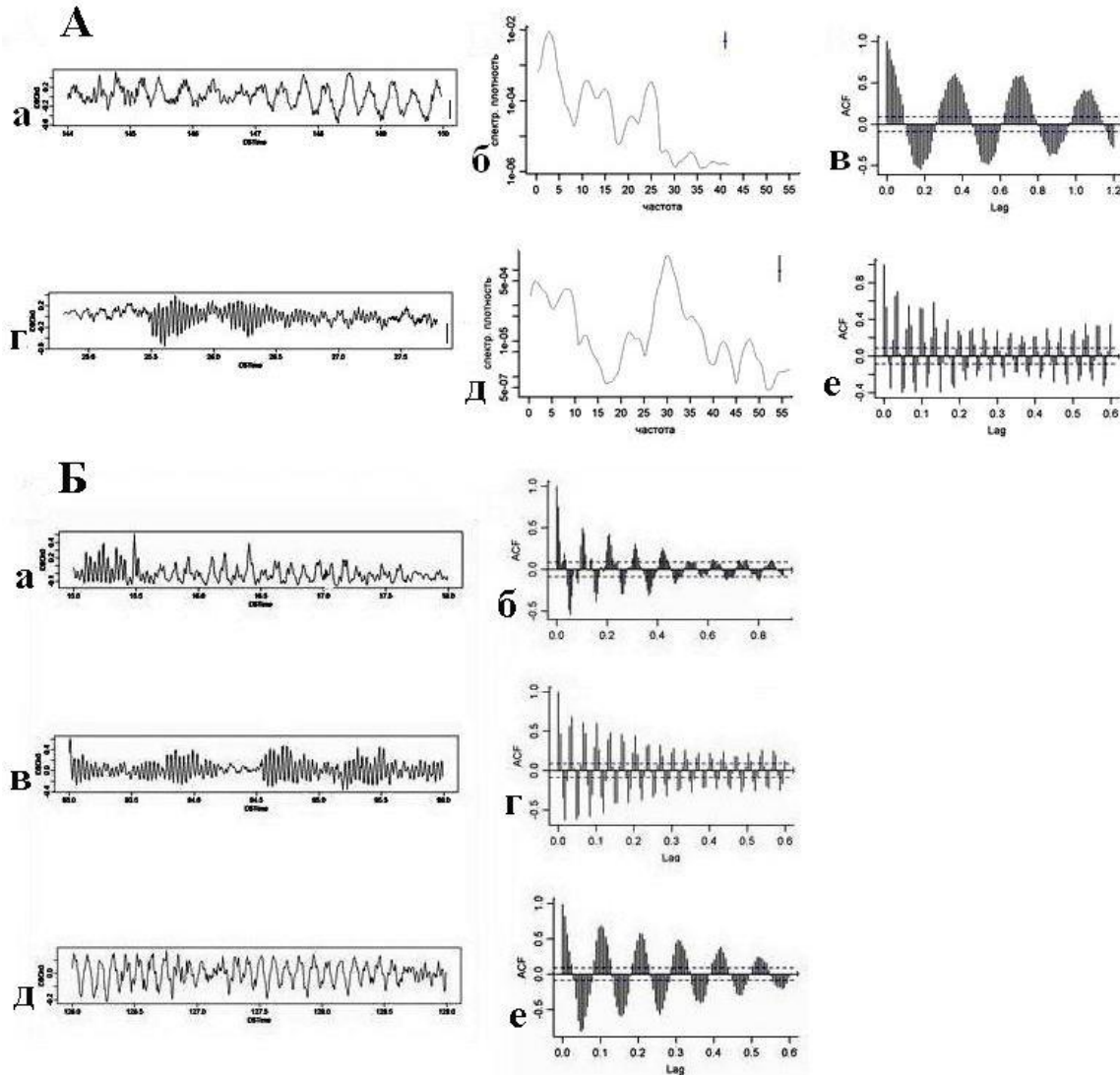


Рис.1 Электрическая активность и, зарегистрированная от биопленки (А) и в культуре (Б) и ее временные и частотные характеристики: А - а, г – электрограммы биопленки цианобактерий *Oscillatoria terebriformis*, длительностью 3 с, калибровка 20 мкВ. б, д – периодограммы этой активности. Обозначения: ось абсцисс - частоты в Гц, ось ординат- спектральная плотность в условных единицах, горизонтальная черта – полоса пропускания, вертикальная черта – 95% доверительный интервал; в,е - автокорреллограммы электрической активности. Обозначения: по оси абсцисс временное запаздывание в секундах, по оси ординат значение коэффициента автокорреляции. Б - электрическая активность дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и ее временная структура: а,в,д – электрограммы, зарегистрированные в разное время опыта, длительность записей 3 с; б,г,е – автокорреллограммы, характеризующие временную структуру соответствующей электрической активности. Обозначения как на рис.1А,Б.

автокореллограммах (Рис.1,А,в,е). Весьма похожие электрограммы и автокореллограммы получены при регистрации от культуры дрожжей (рис.1,Б). Частотно-временная характеристика участка осцилляторной электрической активности формируют паттерн, в котором отражены динамические свойства любого исследуемого биологического вещества. Это может быть ганглий, участок мозга или же колония микроорганизмов (Рис.2). Результаты анализа частотно-временных параметров электрической активности цианобактерий, дрожжей, моллюска и человека, представленные на Рис.2, позволяют сделать

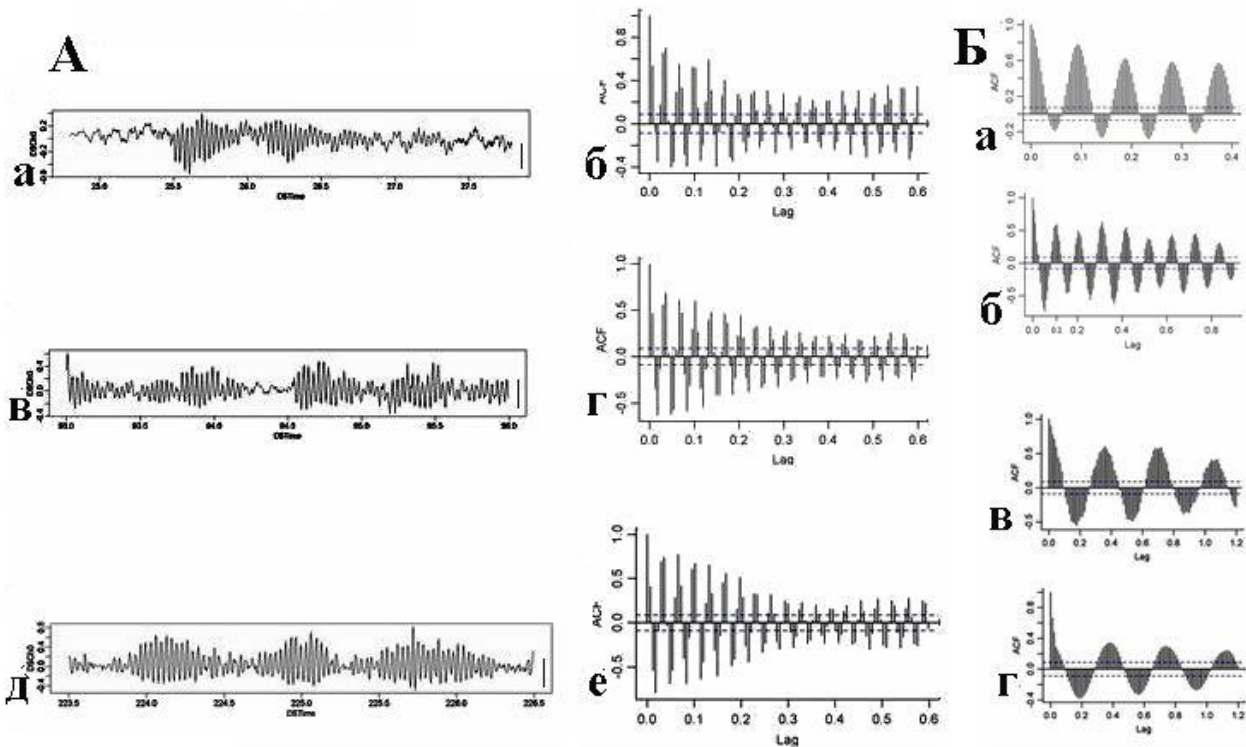


Рис.2. Электрическая активность, зарегистрированная у организмов разных по уровню эволюционного развития: А - цианобактерий *Oscillatoria terebriformis* (а), дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (в) и моллюска *Helix lucorum*(д) и их автокореллограммы, соответственно б, г, е. Б - автокореллограммы паттернов активности, зарегистрированной у человека (а) дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (б), цианобактерий *Oscillatoria terebriformis* (в) и эмбриона травяной лягушки *Rana temporaria* (г). Пары составлены по совпадению соответствующих коэффициентов автокорреляции и запаздывания. Обозначения как на рис.1.

предположение о том, что существуют некоторые биологические постоянные, кодирующие генерацию электрических осцилляций. Именно их наличие объясняет одинаковость паттернов активности у эволюционно разных живых существ – в описываемых опытах от прокариот до земноводных.

Биокоммуникация может осуществляться только посредством структурированного потока сигналов. По-видимому, его структура кодирует

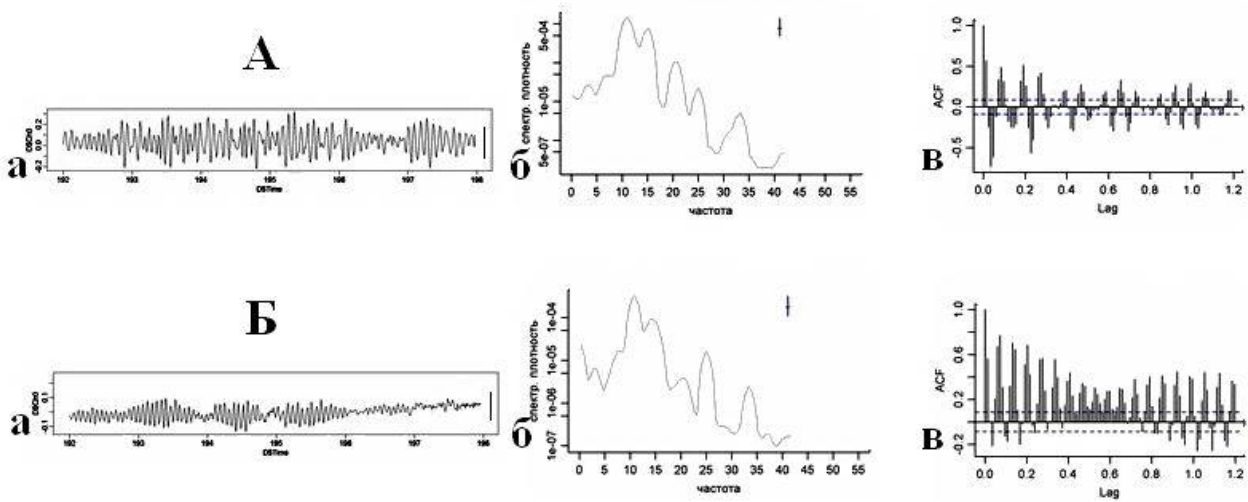


Рис.3. Электрическая активность, зарегистрированная одновременно двумя электродами в разных частях биопленки цианобактерий *Oscillatoria terebriformis*. А: электрограмма(а), периодограмма(б) и автокорреллограмма (в) электрической активности первого локуса; Б: аналогичные характеристики осцилляций второго локуса. Обозначения прежние.

функциональное значение информационной посылки. В экспериментах на биопленке цианобактерий получены данные, показывающие, что уровень активности микроорганизмов зависит не от частоты генерации электрических осцилляций, а от их распределения во времени (Рис.3). Одновременно производилась регистрация от двух локусов биопленки, в которых находились микроорганизмы, отличающиеся активностью: одни были вблизи создаваемой ими органоподобной структуры, а другие в отдалении от нее. Осцилляции имели весьма похожий частотный спектр, что показано на периодограммах (Рис.3,А.б,Б.б). Однако автокорреллограммы показали, что распределение колебаний во времени значительно отличается, что имело следствием интенсивность “трудолюбия” микроорганизмов.

Обсуждение

Опыты на живых организмах разного эволюционного уровня показали, что у одного и того же объекта регистрируются паттерны разной структуры; эти паттерны устойчивы и повторяются у разных экземпляров одного и того же биологического вида; один и тот же паттерн воспроизводится много раз у одного и того же объекта; у эволюционно разных существ есть одинаковые по

структуре паттерны; паттерн определяет уровень активности и тип поведения организма.

Согласно многочисленным данным, ритмическая активность играет важную роль в механизмах восприятия, обработки и передачи информации в мозге и являются результатом срабатывания множества нейронных систем [Безденежных, 2004; Данилова, 2006; Buzsaki, 2006]. Анализируя осцилляторную активность, исследователи обнаружили, что невозможно определить функциональную роль, опираясь только на ее частоту. Например, предполагалось, что альфа-ритм связан с колебаниями способности воспринимать внешние стимулы и реагировать на них, что он отражает работу сканирующего механизма, обеспечивающего зрительное восприятие, организует интеграцию и квантование сенсорных потоков, отражает процессы обработки информации в мозге, организует связь афферентного и эфферентного звеньев при формировании условного рефлекса, участвует в обеспечении механизмов памяти [Шишкин, 1997]. Понимание функциональной роли дельта- и бета-ритма также претерпело значительные изменения [Борбели, 1989; Ковальзон, 1999; Пигарев, 2005].

Ключом к пониманию функционального разнообразия значений одного и того же ритма может быть анализ паттернов, входящих в состав участка электрической активности. В пределах нескольких секунд в ЭЭГ с большой вероятностью происходят неслучайные перестройки автокорреляционной структуры ЭЭГ. Это означает, что временная диаграмма и амплитуда перестроек ЭЭГ отражают такие особенности динамики функциональных состояний мозга, которые возможно не проявляются в традиционных амплитудных и спектральных характеристиках ЭЭГ [Думенко, 2007; Каплан и др., 2006]. ЭЭГ индивида во всех ее феноменологических проявлениях описывается устойчивым паттерном активности. На это косвенно указывают факты стабильности спектральных свойств ЭЭГ, которые выступают в качестве важных характеристик нейродинамического уровня индивидуальности [Бодунов, 1988].

Почему у микроорганизмов есть паттернизированная осцилляторная активность? В природе они образуют сложные живые системы с разнообразной социальной жизнью. Бактерии – относительно простые организмы, их история – одна из наиболее успешных в эволюции. Близкие к протобионтам, они стояли у начала жизни на Земле. В естественных условиях бактерии образуют сообщества – колонии, биопленки, бактериальные маты. Чтобы выполнять совместное поведение, они пользуются настолько сложными коммуникациями, что генерируют распределенный информационный поток, трансформируя бактериальное сообщество в своего рода “супермозг” [Ben-Jacob, 2003]. Этот процесс совершается через морфологическое усложнение сообщества, через иерархический временно-пространственный паттерн. Электрический язык

бактерий оказался весьма разнообразным и сложным [Греченко и др., 2014, 2015б], кроме того, по-видимому, он стоит и у истоков создания своеобразных “слов” – паттернов осцилляторной активности, имеющей устойчивую временную структуру. Обмен информацией между индивидами создает возможности для увеличения индивидуальных степеней свободы, и одновременно увеличивается кооперация микроорганизмов [Греченко и др., 2015а, 2015б].

Мы провели исследование электрической сигнализации у живых существ, занимающих разное место на эволюционной спирали и в качестве “знака” закодированных информационных сообщений рассмотрели показатели электрической активности. О значении электрической активности как отводимой от одиночных нервных клеток, так и регистрируемой от множества живых элементов посредством макроэлектрода никогда не было единого мнения: категория “значения”, которую обычно описывали в терминах активации или торможения остается весьма неопределенной. Результаты выполненных опытов показывают, что приблизиться к пониманию смысла закодированных информационных посылок можно, дополнив анализ параметром распределенности электрического сигнала во времени.

Заключение

Показателями метаболических процессов, осуществляемых клеткой, могут быть разные явления, которые можно рассматривать в качестве знака, генетический код которого закреплен в эволюции, т.е. можно предполагать, что есть (прямое?) соответствие между кодом и его проявлением (знаком). Анализируя электрические знаки, появляющиеся в определенных жизненных обстоятельствах живых существ, можно прийти к предположению о наличии их общих эволюционных “корней” – одних и тех же кодов, подобно тому, как четыре азотистых основания природных нуклеиновых кислот в разных комбинациях кодируют все многообразие жизни на Земле.

Сообщение, регистрируемое микроэлектродом, закодировано последовательностью электрических сигналов определенной частоты и организованных в последовательность (паттерн). Это знак, значение которого понятно членам сообщества. Опыты показали, что аналогичные паттерны, характеризующиеся сходной структурой и доминирующей частотой, обнаружены у всех исследованных организмов. По-видимому, это означает, что в основе генерации электрических сигналов лежат одинаковые или сходные метаболические процессы; паттерны у одного и того же объекта повторяются неоднократно, следовательно, являются устойчивым “знаком” и у каждого объекта можно найти несколько устойчивых знаков. Их обнаружение у столь разнообразных существ, как те, что были объектом наших исследований, свидетельствует об их эволюционной консервативности: найденные природой у самых ранних истоков жизни, они сохранились до наших дней, обеспечивая внутреннюю целостность и внешние связи любой единицы живого – от клетки

до сложных биосоциальных систем. С нашей точки зрения, составление «каталога» таких знаков, составляет ближайшую задачу, а раскрытие их значений – ключевой вызов для эволюционной психофизиологии.

Исследование выполнено при поддержке ФАНО РФ, госзадание 0159-2015-0004 и 0159-2015-0012

Литература

Arvanitaki A, Chalazonitis N. Inhibitory processes of «intrinsically generated current» of low frequency from autorythmic neurons . C R Seances Soc Biol Fil. 1964;158:1674-7

Barbieri M. Biosemiotics: a new understanding of life. Naturwissenschaften. 2008 Jul;95(7): 577-99

Ben-Jacob E. Bacterial self-organization: co-enhancement of complexification and adaptability in a dynamic environment // Philos. Trans. R. Soc. Lond. A. 2003;361(1807):1283-1312.

Bullock T.H., McClune M.C., Achimowicz J.Z., Iragui-Madoz V.J., Duckrow R.B., Spencer S.S. Temporal fluctuations in coherence of brain waves // Proc. National Acad. Sci. (USA). - 1995. - V. 92, N 25. - P. 11568-11572.

Buzsaki G. Rhythms of the brain. Oxford University Press. 2006.

Eckert R. and Naitoh Y. Passive electrical properties of paramecium and problems of ciliary coordination // General Physiology. 1970. V. 55. P. 467-482.,

Emmeche C., Kull K. Towards a Semiotic Biology: Life is the Action of Signs. 2011. London: Imperial College Press

Shumway R.H., Stoffer D.S. Time series analysis and its applications. Springer Texts in Statistics, 2011.

Безденежных Б.Н. Динамика взаимодействия функциональных систем в структуре деятельности. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2004.

Бодунов М.В. «Алфавит» ЭЭГ: типология стационарных сегментов ЭЭГ человека. Индивидуально-психологические различия и биоэлектрическая активность мозга человека. М.Наука. 1988. С.56-70.

Борбели А. (Borbely A.) Тайна сна. (Москва: Издательство «Знание», 1989.

Греченко Т.Н., Харитонов А.Н., Жегалло А.В. Коммуникации прокариот // Естественно-научный подход в современной психологии. М.: Институт психологии РАН. 2014. С.246-258.

Греченко Т.Н., Харитонов А.Н., Жегалло А.В. Частотный анализ электрической активности микроорганизмов. Эволюционная и сравнительная психология в России: традиции и перспективы. М.: Институт психологии РАН. 2013. С.201.

Греченко Т.Н., Харитонов А.Н., Жегалло А.В. Эволюционные пути электрических осцилляторов. Экспериментальная психология. 2015а. Т. 8. № 2. С. 105–118.

Греченко Т.Н., Харитонов А.Н., Жегалло А.В., Александров Ю.И. Психофизиологический анализ осцилляторных процессов в поведении биосоциальных систем. Психологический журнал. 2015. Т. 36. № 5. С. 78-86.

Гусельников В. И., Супин А. Я. Ритмическая активность головного мозга. М. Издательство МГУ. 1968.г. 256

Данилова Н.Н. Роль высокочастотных ритмов электрической активности мозга в обеспечении психических процессов // Психология. Журнал Высшей школы экономики. 2006. Т. 3. № 2. С. 62–72

Думенко В.Н. Феномен пространственной синхронизации между потенциалами коры головного мозга в широкой полосе частот 1-250 Гц. – Журн. Высш. Нервн. Деят., 2007, Т.57, №5, С.520-532.

Каплан А.Я., Бьен Дж.Г., Тимашев С.Ф., Встовский Г.В., Пак Б.У. Функциональная изменчивость автокорреляционной структуры ЭЭГ. – Ж. Высш.Нервн.Деят., 2006, Т.56, №3, С.408-411

Ковальзон В.М. Природа сна. Природа. 1999. №8. С.

Ливанов М.Н. Пространственная организация процессов головного мозга. М.: Наука. 1972.

Пигарев И.Н. Мозг и сон. Наука в России. 2005(1): 61– 65.

Свидерский В. Л., Лобзин Ю. В., Горелкин В. С, Плотникова С. И. Двигательная активность инфузорий: теоретические и прикладные аспекты. Ж. Эволюц. Биохим. Физиол., 2007, 43(5),379-390.

Седов А.С., Медведник Р.С., Раева С.Н. Значение локальной синхронизации и осцилляторной активности нейронов таламуса в целенаправленной деятельности человека. – Физиология человека, 2014. Т.40, №1, С.5-12

Сумина Е.Л. Поведение нитчатых цианобактерий в лабораторной культуре Микробиология. 2006.Т. 75. № 4. С. 532–537.

Уолтер Г. (Walter G.) Живой мозг. - М.: Мир, 1966. - 300 с.

Шишкин С.Л. Исследование синхронности резких изменений альфа-активности ЭЭГ человека: Дисс. ... канд. биол. наук. М.1997.

References

Arvanitaki A, Chalazonitis N Inhibitory processes of «intrinsically generated current» of low frequency from autorythmic neurons . C R Seances Soc Biol Fil. 1964;158:1674-7

Barbieri M. Biosemiotics: a new understanding of life. Naturwissenschaften. 2008 Jul;95(7): 577-99

Ben-Jacob E. Bacterial self-organization: co-enhancement of complexification and adaptability in a dynamic environment // Philos. Trans. R. Soc. Lond. A. 2003;361(1807):1283-1312.

Bodunov M.V. “Alfavit” JeJeG: tipologija stacionarnyh segmentov JeJeG cheloveka. Individual'no-psihologicheskie razlichija i bioelektricheskaja aktivnost' mozga cheloveka. - М. “Nauka”, 1988, S.56-70.

Borbeli A. Tajna sna. (Moskva: Izdatel'stvo “Znanie”, 1989.

Bullock T.H., McClune M.C., Achimowicz J.Z., Iragui-Madoz V.J., Duckrow R.B., Spencer S.S. Temporal fluctuations in coherence of brain waves // Proc. National Acad. Sci. (USA). - 1995. - V. 92, N 25. - P. 11568-11572.

Buzsaki G. Rhythms of the brain. Oxford University Press. 2006.

Danilova N.N. Rol' vysokochastotnyh ritmov jelektricheskoy aktivnosti mozga v obespechenii psihicheskikh processov // Psihologija. Zhurnal Vysshej shkoly jekonomiki. 2006. T. 3. № 2. S. 62–72

Dumenko V.N. Fenomen prostranstvennoj sinhronizacii mezhdru potencialami kory golovnogoz mozga v shirokoj polose chastot 1-250 Gc. – Zhurn. Vyssh. Nervn. Dejat., 2007, T.57, №5, S.520-532.

Eckert R. and Naitoh Y. Passive electrical properties of paramecium and problems of ciliary coordination // General Physiology. 1970. V. 55. P. 467-482.,

Emmeche C., Kull K. Towards a Semiotic Biology: Life is the Action of Signs. 2011. London: Imperial College Press

Grechenko T.N., Kharitonov A.N., Zhegallo A.V. Kommunikacii prokariot // Estestvenno-nauchnyj podhod v sovremennoj psihologii. M. Izd.RAN, 2014, s.246-258.

Grechenko T.N., Kharitonov A.N., Zhegallo A.V. Chastotnyj analiz jelektricheskoj aktivnosti mikroorganizmov. Jevoljucionnaja i sravnitel'naja psihologija v Rossii: tradicii i perspektivy. M.: Institut psihologii RAN, 2013, S.201.

Grechenko T.N., Kharitonov A.N., Zhegallo A.V. Jevoljucionnye puti jelektricheskih osciilljatorov. Jeksperimental'naja psihologija. 2015. T. 8. № 2. C. 105–118.

Grechenko T.N., Kharitonov A.N., Zhegallo A.V., Aleksandrov Ju.I. Psihofiziologicheskij analiz osciilljatornyh processov v povedenii biosocial'nyh system. Psihologicheskij zhurnal. 2015. T. 36. № 5. S. 78-86.

Gusel'nikov V. I., Supin A. Ja. Ritmicheskaja aktivnost' golovnogoz mozga. M. Izdatel'stvo MGU. 1968.g. 256

Kaplan A.Ja., B'en Dzh.G., Timashev S.F., Vstovskij G.V., Pak B.U. Funkcional'naja izmenchivost' avtokorreljacionnoj struktury JeJeG. – Zh.Vyssh.Nervn.Dejat., 2006, T.56, №3, S.408-411

Koval'zon V.M. Priroda sna. Priroda. 1999. №8. S.

Livanov M.N. Prostranstvennaja organizacija processov golovnogoz mozga. M.: Nauka, 1972.

Pigarev I.N. Mozg i son. Nauka v Rossii. 2005(1): 61– 65.

Sedov A.S., Medvednik R.S., Raeva S.N. Znachenie lokal'noj sinhronizacii i osciilljatornoj aktivnosti neyronov talamusa v celenapravlennoj dejatel'nosti cheloveka. – Fiziologija cheloveka, 2014. T.40, №1, S.5-12

Shishkin S.L. Issledovanie sinhronnosti rezkih izmenenij al'fa-aktivnosti JeJeG cheloveka: Diss. ... kand. biol. nauk. M., 1997.

Shumway R.H., Stoffer D.S. Time series analysis and its applications. Springer Texts in Statistics, 2011. Bezdenezhnyh B.N. Dinamika vzaimodejstvija funkcional'nyh sistem v strukture dejatel'nosti. M.: Izd-vo "Institut psihologii RAN", 2004.

Sumina E.L. Povedenie nitchatyh cianobakterij v laboratornoj kul'ture Mikrobiologija. 2006. T. 75. № 4. S. 532–537.

Sviderskij V. L., Lobzin Ju. V., Gorelkin V. S., Plotnikova S. I. Dvigatel'naja aktivnost' infuzorij: teoreticheskie i prikladnye aspekty. Zh. Jevoljuc. Biohim. Fiziol., 2007, 43(5), 379-390.

Uolter G. Zhivoj mozg. - M.: Mir, 1966. - 300 s.

Греченко Татьяна Николаевна, доктор психологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт психологии РАН, 8-495-682-00-07 8-903-970-43-29

Харитонов А. Н. Кандидат психологических наук, ведущий научный сотрудник, Центр экспериментальной психологии МГППУ, научный сотрудник, Институт психологии РАН.

Жегалло А. В. Кандидат психологических наук, старший научный сотрудник, Центр экспериментальной психологии МГППУ, научный сотрудник, Институт психологии РАН.

Греченко Т.Н., Харитонов А.Н., Жегалло А.В. Электрические знаки биокommunikаций.