

УДК 159.91

ИНВАРИАНТНЫЕ ЧАСТОТЫ БИОРИТМОВ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ РАЗНОГО ЭВОЛЮЦИОННОГО ВОЗРАСТА¹

© 2018 Т. Н. Греченко*, А. Н. Харитонов**, А. В. Жегалло***

ФГБУН Институт психологии РАН, 129366, г. Москва, Ярославская ул., д. 13, корп. 1, Россия

* Доктор психологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории психофизиологии им. В.Б. Швыркова. E-mail: grecht@mail.ru

** Кандидат психологических наук, научный сотрудник лаборатории познавательных процессов и математической психологии. E-mail: ankhome47@list.ru

*** Кандидат психологических наук, научный сотрудник лаборатории познавательных процессов и математической психологии. E-mail: zhegs@mail.ru

Поступила 26.06.2017

Аннотация. Проверялось предположение о сходстве частотных характеристик ритмов электрической активности клеток у живых существ разного таксономического положения и эволюционного возраста. В результате исследования обнаружены осцилляции в диапазоне одних и тех же частот у цианобактерий, у одноклеточных эукариот – дрожжей, амёбы обыкновенной, инфузории; у многоклеточных малоподвижных эукариот – молочного гриба и плодового тела миксомицет; у подвижных многоклеточных эукариот – пиявки и улитки, а также у плодов моркови и яблоки. Частотные спектры ритмической активности имеют локализацию пиков в областях, соответствующих известным ритмам, идентифицированным в ЭЭГ: дельта, альфа и бета-диапазонам. Полученные результаты объясняются происходящей синхронизацией биоритмов гелиогеофизическими колебательными процессами. Предполагается, что синхронизация осцилляторов исходно происходила в виде подстройки к ионосферным резонаторам Земли. Электрофизиологические данные подтверждают идею о взаимодействии и взаимозависимости планеты и населяющих ее живых организмов. Естественные электромагнитные поля явились необходимым условием зарождения жизни на Земле.

Ключевые слова: осцилляторы, биоритмы, эволюция, прокариоты, эукариоты, шумановский резонатор, альфеновский резонатор, биосфера.

DOI: 10.7868/S020595921803008X

Исторический путь развития представлений об электрических свойствах мозга и связи их проявлений с психическими процессами и состояниями хорошо известен. Началу их изучения предшествовало открытие Дюбуа-Реймоном в 1849 году электрогенных свойств нервов и мышц. В 1929 г. Гансом Бергером впервые была зарегистрирована электрическая активность мозга человека, что впоследствии привело к возникновению метода изучения электрической активности мозга – электроэнцефалографии [10]. Существенно то, что были идентифицированы основные частотные ритмы, известные как альфа, бета и дельта. Согласно многочисленным данным они играют важнейшую роль в механизмах восприятия, обработки и передачи информации в мозге [11; 27].

Однако не было понятно, почему электрические явления, осуществляемые мозгом, имеют именно такие частоты и являются ли электрические процессы живых клеток и тканей уникальными. Результаты исследований “неживых” объектов показывают, что электрические проявления свойственны многим из них, и одним из главных абиотических факторов окружающей природной среды являются физические поля, пронизывающие среду обитания и воздействующие на живую и неживую природу. Планета Земля имеет свое естественное электрическое поле, которое обусловлено сложным комплексом геофизических явлений. Распределение потенциала поля несёт в себе определённую информацию о строении Земли, о процессах, протекающих в нижних слоях атмосферы, в ионосфере, магнитосфере, а также в ближнем межпланетном пространстве и на Солнце. Планета с ее динамичной электрической составляющей

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 14-28-00229, Институт психологии РАН.

предстает “живым организмом”, воздействующим физическими полями на большинство процессов, протекающих в биосфере.

К идее Земли как живого организма, восходящей еще к Аристотелю, естествоиспытатели возвращались неоднократно, дополняя ее и рассматривая в различных ракурсах. Так, в 18 веке Джеймс Хаттон (1726–1797) считал планету Земля суперорганизмом, а физиологию — наукой для ее изучения. Накопленные факты о взаимосвязях биотических и абиотических процессов на Земле приводят В. И. Вернадского [4] к теории биосферы как саморегулирующейся системы, включающей в себя несколько “биокожных тел”, а Дж. Лавлока [36] — к теории “Живой Земли” — Геи. Согласно этим концепциям жизнь и среда — две части единой системы. Эволюция биоты (всех биологических организмов планеты) настолько тесно связана с эволюцией физического окружения в масштабе планеты, что вместе они составляют единую саморазвивающуюся систему, которая обладает саморегуляторными свойствами, напоминающими физиологические свойства живого организма [4; 33; 34; 37]. Планета Земля как самоорганизующаяся система, суперорганизм, обладает саморегуляторными свойствами, т.е. поддерживает целый ряд параметров внутренней среды в относительно стабильном, благоприятном для живых организмов уровне [36; 38]. При этом такие глобальные параметры планеты как химический состав атмосферы, ионный состав морской воды, климат поддерживаются в состоянии, далеком от термодинамического равновесия, но благоприятном для существования самой жизни [31]. Взаимозависимость между океаном, биосферой, атмосферой и геосферой доказана при помощи данных глобального мониторинга [28; 40]. Однако остается неясным, существуют ли взаимовлияния между планетой и населяющими ее существами.

Жизнь возникла на Земле более 4 млрд лет назад. Организм существует благодаря тесной связи и согласованности деятельности его органов и систем со средой обитания. В планетарном масштабе жизнь создает относительно стабильные условия на Земле. Предполагается, что со стороны живых организмов существует механизм обратной связи с окружающей средой, благодаря чему планета остается пригодной для жизни: атмосфера, гидросфера, осадочные породы и жизнь на Земле ведут себя как единая интегрированная физиологическая система. Значения поверхностной температуры и химические процессы регулируются проявлениями жизни, биотой. Биосфера начала формироваться не позднее, чем 3.8 млрд лет назад, когда на нашей планете стали зарождаться первые организмы. От зарождения жизни до настоящего времени в эволюции биосферы огромную

роль играют бактерии. Древнейшие живые организмы, обнаруженные на Земле к настоящему времени, — это цианобактерии. Остатки строматолитов — наслоений цианобактериальных матов, в которых органические слои чередуются с неорганическими (осадками) — из зеленокаменных пород формации Исуа в Гренландии датируются 3.7 млрд лет. Древнее микробное царство было главной живой системой на протяжении трех миллиардов лет. Основные качественные скачки в эволюции живых систем происходили в результате симбиогенезов: в исторически длительный период, когда бактерии были единственной формой жизни на Земле, осуществлялся непрерывный генетический обмен между ними с помощью вирусов и плазмид [15; 39]. Господство бактериальных сообществ сменилось развитием бесконечного разнообразия сложных многоуровневых симбиотических организаций [32]. На данный момент бактерии обитают не только в воде, но и в горных породах, почве, воздухе, и внутри других организмов. Бактерии могут жить в горячих источниках, где температура воды достигает 100 градусов, а также в соленых водах, где присутствует высокая концентрация *NaCl*. Ископаемые следы бактерий были обнаружены в результате раскопок, проведенных на северо-западе Канады, в северо-восточной Сибири и в Антарктиде. На рубеже 2.7 млрд лет назад атмосфера содержала менее 0.00001 части кислорода по сравнению с его нынешним уровнем, а второе из возможных стабильных состояний химического состава атмосферы Земли, 0.0005 часть от нынешнего уровня, было достигнуто примерно через 300 млн лет — преимущественно за счет метаболизма цианобактерий.

Живые организмы, населяющие Землю, живут в условиях ритмических изменений геофизических параметров среды [24; 25]. За миллионы лет эволюции организмы приспособились к географическим особенностям, уровню и колебаниям магнитного поля и природных электромагнитных воздействий. Экспериментальные данные подтверждают, что на протяжении жизни биологические объекты испытывают влияние факторов земного и космического происхождения [4; 24; 25; 36; 38; 46]. Все внутренние процессы в любом организме подчиняются ритмам космоса и Земли [35]. В процессе эволюционного развития у них выработались приспособления, которые помогают наилучшим образом согласовывать свою активность с условиями среды обитания [4; 17; 19; 23]. Известно, что эта согласованность обуславливается многочисленными колебательными процессами, протекающими на разных уровнях иерархии жизненных систем организма [1; 22]. Любой живой организм — это система, жизнедеятельность которой обеспечивается множеством микро- и макроскопических процессов. В живом организме тесно связаны

колебания различных типов, имеющие разные частоты. Характерные частоты протекания внутренних процессов у живых существ подстроены в ходе эволюции под устойчивые ритмы явлений среды [7; 30]. Исходя из представлений о глубочайшей связи живых организмов с внешним миром, понимаемым не просто как вмещающая среда обитания, а как часть космической системы с различными исходящими и приходящими влияниями, в настоящей работе были проведены электрофизиологические исследования живых существ, которые отличались как по структуре, так и по месту в истории развития жизни на Земле. В настоящем исследовании проверялась гипотеза об общности ритмических процессов у исследованных живых существ, от прокариот до многоклеточных эукариот.

Для этого были подобраны экспериментальные объекты, имеющие разное таксономическое положение и различный эволюционный возраст. **Группа прокариот** включала цианобактерии *Oscillatoria terebriformis*, сенные палочки *Bacillus subtilis* и бифидобактерии *Bifidobacterium animalis*. Цианобактерии — это древнейшие живые существа нашей планеты, творцы кислородосодержащей атмосферы. По характеру клеточной организации они соответствуют грамотрицательным бактериям и представляют самостоятельную эволюционную ветвь. Особенностью является отсутствие сформированного ядра. Диаметр клеток от 0.5 мкм до 100 мкм. Цианобактерии — нитчатые и колониальные микроорганизмы. За счет пространственных перемещений отдельных нитей цианобактерии смогли интегрироваться и создавать упорядоченные структуры [23]. Их древнейшие сообщества (как и современные) образовывали сложные системы, управлявшие собственным морфогенезом — построением организмоподобных и органоподобных структур — форма и назначение которых определялись ситуативными требованиями, что позволяло им синхронизированно осуществлять целенаправленное индивидуальное и коллективное поведение. Фактически, именно цианобактерии создали первые функциональные объединения, которые стали прообразами социальных отношений у более развитых живых существ. При пространственных перемещениях условия существования отдельных нитей в разных частях формируемых структур являются благоприятными в различной степени. Следовательно, поведение отдельных нитей в конкретные интервалы времени определяется приоритетами сообщества как целого. Как показывают электрофизиологические исследования, координированное поведение нитей цианобактерий обеспечивается сложной электрической коммуникацией [8]. Эволюционная история **прокариот** сенной палочки *Bacillus subtilis* и бифидобактерий

Bifidobacterium animalis началась, скорее всего, спустя несколько сотен миллионов лет и могла быть приурочена, соответственно, к появлению на Земле травянистых растений и предков млекопитающих животных. Если это соображение верно, то грубая оценка геологического возраста сенной палочки или аналогичной ей формы — не менее 400 млн лет, а бифидобактерий — 220 млн лет.

Одноклеточные эукариоты в нашей экспериментальной группе организмов представлены дрожжами, амебами и инфузориями. Они отличаются подвижностью — дрожжи малоподвижные, амеба и инфузории способны к значительно более активному перемещению в окружающем пространстве. Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* — одноклеточные эукариоты, грибы, обитающие в жидких и полужидких, богатых органическими веществами субстратах. Размеры дрожжевых клеток обычно составляют 3–7 мкм в диаметре. Особенностью дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* является способность к вегетативному размножению в одноклеточном состоянии. Хотя дрожжевые клетки малоподвижны, они могут образовывать колонии [45]. Размер амебы *Amoeba proteus* равен 200–500 мкм. Тело амебы протей образует выступы — ложноножки. Выпуская ложноножки в определенном направлении, амеба передвигается со скоростью около 0.2 мм в минуту. Псевдоподии постоянно меняют свою форму, исчезают и снова появляются. Амеба распознает разные микроскопические организмы, которые служат ей пищей. Инфузории *Paramecia caudatum* — свободноживущие одноклеточные эукариоты, наиболее древние представители этой группы появились, вероятно, около 2.5 млрд лет назад. Клетки имеют форму туфельки длиной 0.12–0.13 мм. Исследователями накоплен громадный материал о структуре различных клеточных элементов, свойствах электровозбудимой цитоплазматической мембраны, белковом составе и свойствах отдельных белков, входящих в систему управления двигательной активностью инфузорий [12].

У многоклеточных эукариот в отличие от одноклеточных, у которых все функции организма сосредоточены в их единственной клетке, возможно создание специализированных систем, регулирующих поведение. Однако эта специализация клеток многоклеточного организма появляется лишь постепенно. На многоклеточных организмах, ведущих **неподвижный образ жизни**, получены данные, демонстрирующие наличие у них ограниченного количества генераторов, о чем говорит анализ частотного спектра. Молочный гриб *Zoogloea* — многоклеточная эукариота — представляет собой шарообразное тело белого цвета диаметром 1.5–3 мм, в зрелом состоянии достигает 4 см в диаметре. *Mucormycetes* относятся к слизевикам,

которые на определенной стадии жизненного цикла собираются вместе и образуют плодовые тела, представляющие собой массу слизи, в которую погружены клетки. Внутри плодовых тел клетки переходят в покоящееся состояние. Эти организмы решают при помощи кооперации важнейшую для сообщества проблему выживания.

Из изучавшихся нами животных **многоклеточные эукариоты** пиявка *Hirudo medicinalis* и наземный моллюск *Helix lucorum* ведут **подвижный образ жизни**. Медицинские пиявки *Hirudo medicinalis* — это вид кольчатых червей, они способны жить как в воде, так и на суше. Передвижение пиявки осуществляется за счет присосок на обоих концах тела, которыми она может прикрепляться к подводным предметам, сгибается в дугу и перемещается. Нервная система состоит из надглоточного ганглия и 16 пар ганглиев, от которых отходят по 2 пары нервов, иннервирующих соответствующие им сегменты тела. *Helix lucorum* — наземный брюхоногий моллюск отряда легочных улиток. Он имеет разбросанно-узловую нервную систему, которая состоит из нескольких ганглиев. Многие нейроны нервной системы идентифицированы и их роль в организации поведения подвергается многостороннему анализу при помощи электрофизиологических, биохимических, генетических и других методов исследования.

В соответствии с предположением об определяющем влиянии геогелиокосмических факторов на жизненно важные процессы всех живых организмов, населяющих Землю, интересным и ключевым объектом исследования становится не только мир фауны, но и мир флоры. То, что растения — их стебель, корни и листья — имеют не только электрическую возбудимость, но и способны генерировать потенциалы действия и ритмические осцилляции, показано во многих работах [5; 18; 44], но электрическая активность плодов осталась за пределами внимания. В проведенных нами опытах были зарегистрированы полевые потенциалы плодов яблок, моркови и огурца.

МЕТОДИКА

Электрофизиологические исследования были выполнены на трех группах прокариот: цианобактериях *Oscillatoria terebriformis*, *Geitlerinema sp.* и *Halothece sp.*, сенных палочках *Bacillus subtilis*, медицинском препарате бифидобактерий *Bifidobacterium*, на одноклеточных эукариотах дрожжевых клетках *Saccharomyces cerevisiae*, инфузориях *Paramecia caudatum* и амебах *Amoeba proteus*, плодном теле социальной амебы *Mухомycetes*, на многоклеточных

организмах молочных грибах *Zooaglea*, медицинских пиявках *Hirudo medicinalis* и наземных моллюсках *Helix lucorum*, срезах плодов яблок *Malus Domestica* “Jonagold”, моркови *Daucus carota subsp. Sativus* и огурца *Cucumis sativus*.

Процедура исследования электрической активности. Применялся метод регистрации электрической активности при помощи стеклянных микроэлектродов, заполненных 1 М или 2.5 М (для многоклеточных организмов) *KCl*. Для работы с цианобактериями *Oscillatoria terebriformis* применяли физиологический раствор 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 мата, в который входили *Geitlerinema sp.* и *Halothece sp.*, исследовался в естественной среде (проба воды из соленого озера Дусь-Холь, Республика Тыва). Сенные палочки *Bacillus subtilis*, медицинский препарат бифидобактерий *Bifidobacterium*, одноклеточные эукариоты дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae* и амебы *Amoeba proteus* для регистрации помещались в жидкостную среду, а плодовое тело социальной амебы *Mухомycetes* находилось на деревянной подложке, на которой оно сформировалось. Инфузории *Paramecia caudatum* во время регистрации находились в растворе следующего состава: $KCl - 4 \text{ mM}$, $CaCl_2 - 1 \text{ mM}$, $MgCl_2 - 5 \text{ mM}$, $\text{трис-HCl} - 1 \text{ mM}$, $pH - 7.2$. Физиологический раствор для работы с нервной системой моллюска *Helix lucorum* состоял из $NaCl - 80 \text{ mM}$, $KCl - 4 \text{ mM}$, $CaCl_2 - 7 \text{ mM}$, $MgCl_2 - 4 \text{ mM}$, $\text{трис-HCl} - 10 \text{ mM}$, $pH - 7.2-7.5$. Для пиявок *Hirudo medicinalis* применялся физиологический раствор, содержащий $NaCl - 115 \text{ mM}$, $KCl - 4 \text{ mM}$, $CaCl_2 - 1.8 \text{ mM}$, $\text{трис-HCl} - 10 \text{ mM}$, $pH - 7.4$. Молочный гриб *Zooaglea* во время регистрации находился в жидкой среде, содержащей молоко и воду в равных количествах.

Статистический анализ. Статистическому анализу подверглись более 500 фрагментов электрической активности, зарегистрированной от выше перечисленных организмов. У цианобактерий *Oscillatoria terebriformis* выбрано для обработки 110 фрагментов электрической активности, у дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* — 75, у сенных палочек *Bacillus subtilis* — 25, у бифидобактерий *Bifidobacterium* — 20, у миксомицетов *Mухомycetes* — 84, у инфузорий *Paramecia caudatum* — 30, у амебы *Amoeba proteus* — 22, у пиявки *Hirudo medicinalis* — 20, у улитки *Helix lucorum* — 116, у молочного гриба *Zooaglea* — 10, на срезах яблок *Malus domestica* “Jonagold” — 48. Фрагменты записи электрической активности оцифровывались и подвергались спектральному анализу в среде статистической

обработки R3.0 (*R Development Core Team*, 2011). Спектральный анализ выполнялся для каждой исходной записи путем построения периодограммы с использованием быстрого преобразования Фурье [26; 43]. В работе представлены индивидуальные спектрограммы оцифрованных фрагментов. Для выявления особенностей осциляторной активности проводился автокорреляционный анализ. Длительность оцифрованных участков составляла 3 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При регистрации активности у **цианобактерий** *Oscillatoria terebriformis* и *Geitlerinema sp.* и *Halotheca sp.* было обнаружено, что отдельная цианобактерия генерирует электрические осцилляции, а синхронизация индивидуальных осцилляторов порождает ритмическую активность, частота которой от 3 до 15 Гц (рис. 1а, 2а).

Эксперименты показывают, что паттерн осциляторной активности и частота ритма, регистрируемого в данном локусе биопленки, зависят от активности цианобактерий, более высокий уровень активности требует более высокой частоты и амплитуды ритмических осцилляций. Ритмы в разных частях биопленки могут значительно отличаться – например, в активной зоне равен 16 Гц, а в спокойной – 3 Гц.

Была зарегистрирована электрическая активность от пленки сенных палочек и скопления бифидобактерий. В отличие от ритмов цианобактерий, осцилляторная активность в высокой части спектра достигает 30 Гц, а низкочастотная представлена 5–10 Гц (рис. 2б, 2в).

Дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Осцилляции, зарегистрированные внутриклеточным микроэлектродом от индивидуальной дрожжевой клетки, характеризуются чрезвычайным разнообразием амплитуды и формы. Синхронизация индивидуальных осцилляторных процессов у дрожжевых клеток порождает ритмическую активность, в которой можно выделить высокочастотный компонент до 27–35 Гц и низкочастотные компоненты в диапазоне 7–10 Гц (рис. 3а).

На электрические процессы дрожжевых клеток влияют такие факторы внешней среды, как температура, состав жидкости в экспериментальной камере и длительность нахождения в растворе определенного состава.

Амеба *Amoeba proteus*. Регистрация электрической активности позволила обнаружить

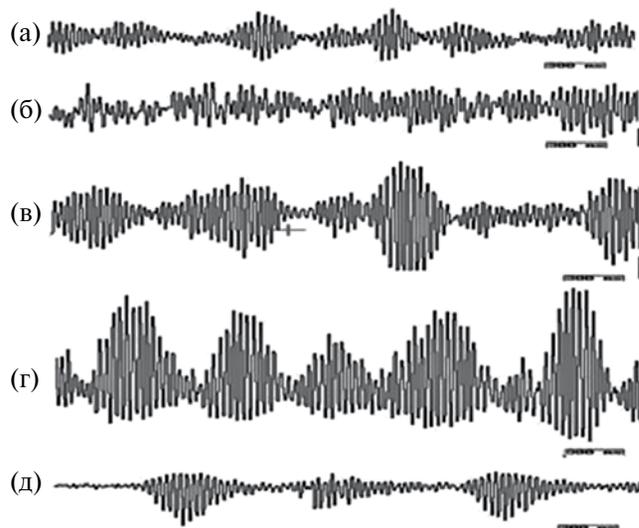


Рис. 1. Электрическая активность, зарегистрированная макроэлектродом у разных по сложности биологических объектов: (а) – цианобактерий *Oscillatoria terebriformis*, (б) – дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae*, (в) – молочного гриба *Zoogloea*, (г) – пиявки *Hirudo medicinalis*, (д) – яблока *Malus domestica* “Jonagold”, длительность фрагментов записи составляет 3 с. Калибровка: 10 мкВ, 300 мс.

осцилляторную активность, частотный спектр которой представлен на рис. 3б.

Инфузории *Paramecium caudatum*. Результаты регистрации электрической активности *Paramecium caudatum* внутриклеточным микроэлектродом указывают на то, что уровень мембранного потенциала покоя этих существ характеризуется значительными колебаниями: обнаружены изменения от 40–45 мВ до +20 мВ. Анализ электрической активности показывает, что в клетке регистрируются медленные и быстрые осцилляции, одновременно работает несколько эндогенных осцилляторов. Увеличение амплитуды волн эндогенной активности может приводить к генерации потенциалов действия разной амплитуды. Спектр ритмической активности парамеции представлен в низкочастотной области 3–15 Гц, в высокочастотной до 40 Гц (рис. 3в).

Молочный гриб *Zoogloea*. Электрическая активность представлена ритмическими осцилляциями, организованными в веретена (рис. 1в). Анализ частотного спектра показал устойчивую локализацию пика в области 28–30 Гц, другие области фактически не заняты. По-видимому, это означает отсутствие генераторов ритмов других частот (рис. 4а).

Мухомыцetes. Регистрация такого объективно показателя их жизнедеятельности как электрическая активность демонстрирует синхронизированные ритмы с локализацией частоты в области

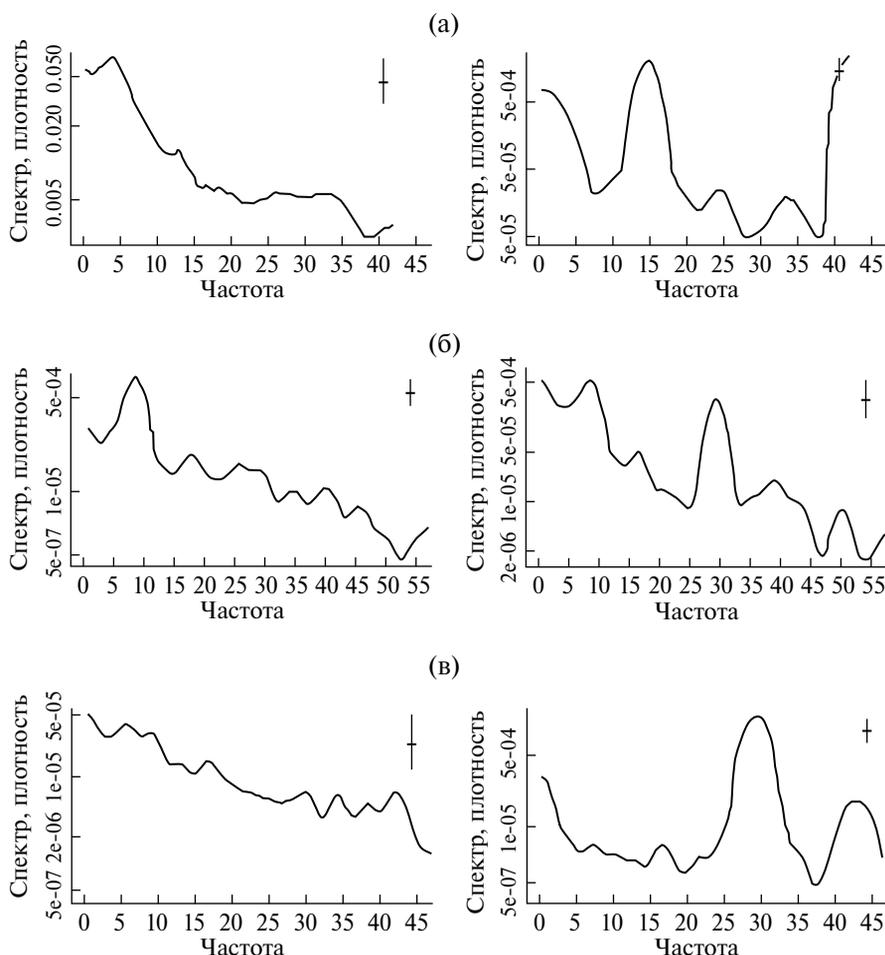


Рис. 2. Частотный спектр электрической осцилляторной активности, зарегистрированной от прокариот цианобактерий *Oscillatoria terebriformis* (а), сенных палочек *Bacillus subtilis* (б) и бифидобактерий *Bifidobacterium* (в). В левой колонке представлены наиболее часто встречающиеся у каждого вида низкие частоты (до 15 Гц); В правой – частоты выше 15 Гц. По оси абсцисс – частоты в Гц, по оси ординат спектральная плотность в условных единицах. Горизонтальная черта – полоса пропускания, вертикальная черта – 95% доверительный интервал.

30–32 Гц. Низкие частоты расположены в области 3–5 Гц (рис. 4б).

Пиявка *Hirudo medicinalis*. Ритмическая активность представлена электрическими осцилляциями, организованными в веретена (рис. 1г). Частотный спектр имеет максимум в области 30–32 Гц в высокочастотном диапазоне и 4–5 Гц в низкочастотном (рис. 5а).

Моллюск *Helix lucorum*. Полевые потенциалы из висцерального и париетальных ганглиев имели частотный состав с пиками локализации в высокочастотном диапазоне 30–32 Гц, а в низкочастотном диапазоне 3–15 Гц (рис. 5б), что согласуется с аналогичными результатами других авторов [42].

Срезы яблок *Malus domestica* “Jonagold” и моркови *Daucus carota subsp. sativus*. (рис. 6). Регистрация

макроэлектродами от клеток этих плодов позволила обнаружить ритмическую электрическую осцилляторную активность, организованную в веретена (рис. 1г). Следовательно, клетки этих растительных организмов имеют генераторы осцилляций, синхронизация которых порождает различные ритмы. Анализ спектрального состава показал локализацию пиков в области 28–32 Гц и 3–5 Гц.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Частотные спектры электрической активности, зарегистрированной у организмов, различающихся по сложности строения и имеющих разную эволюционную историю, показали, что наиболее

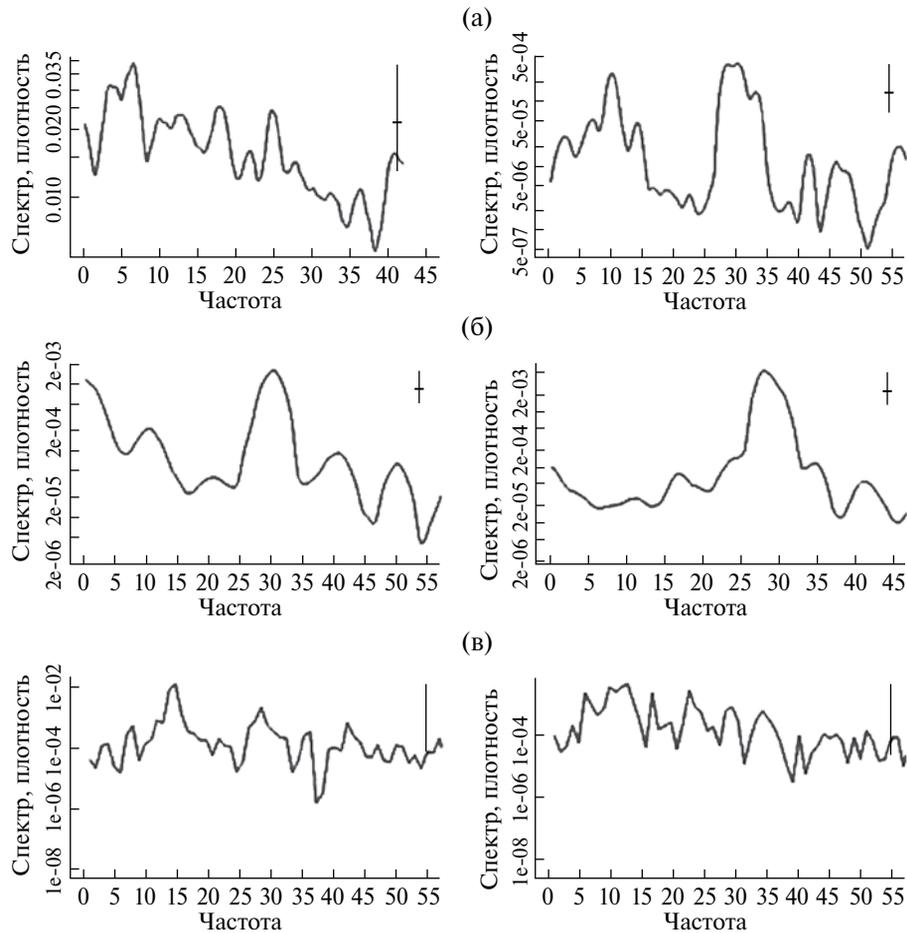


Рис. 3. Частотный спектр электрических осцилляций одноклеточных эукариотов: (а) – дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*, (б) – амёбы *Amoeba proteus*, и (в) – инфузории *Paramecia caudatum*. Обозначения как на рис. 2.

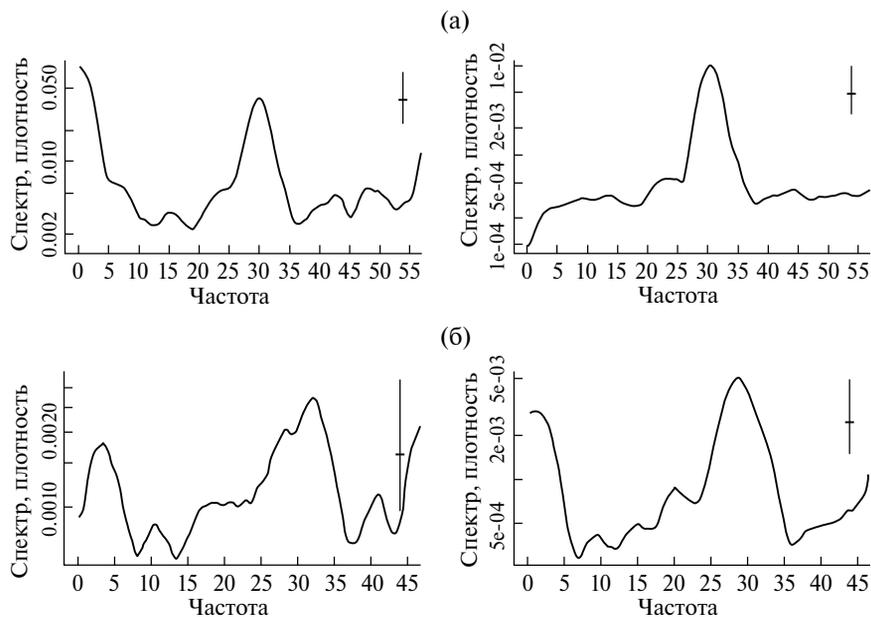


Рис. 4. Частотные спектры электрической активности многоклеточных эукариотов, ведущих неподвижный образ жизни; (а) – спектр осцилляторной активности молочного гриба *Zoogloea*, (б) – плодового тела социальной амёбы *Mucorales*. Обозначения как на рис. 2.

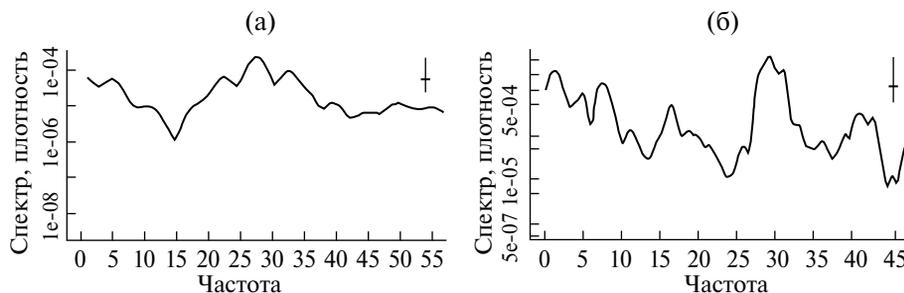


Рис. 5. Спектры электрической активности, зарегистрированной у пиявки *Hirudo medicinalis* (а) и наземного моллюска *Helix lucorum* (б). Обозначения как на предыдущих рисунках.

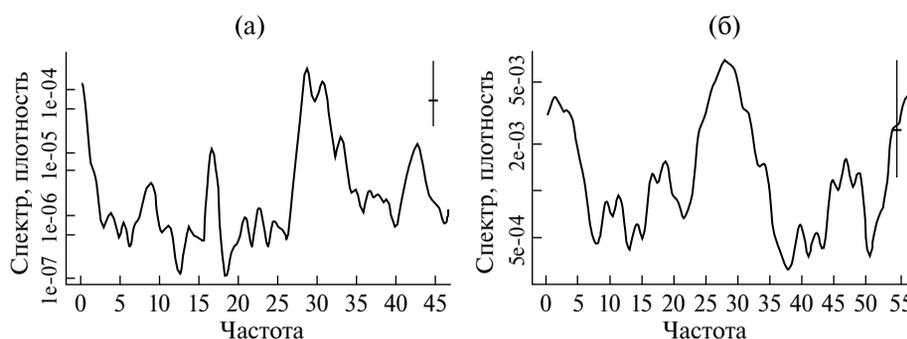


Рис. 6. Спектральный состав электрической осцилляторной активности, зарегистрированной от среза моркови *Daucus carota subsp. Sativus* (а) и среза яблока *Malus domestica 'Jonagold'* (б). Обозначения как на предыдущих рисунках.

известные ритмы, идентифицированные в ЭЭГ человека, уже представлены на самых ранних этапах развития жизни. Полученные результаты соответствуют предположению о том, что в ходе эволюции у живых организмов сформировался класс клеток, имеющих эндогенный осцилляторный механизм, позволяющий им определять различные аспекты своей жизни [21]. Наличие осцилляций в диапазоне одних и тех же частот у столь разнообразных существ может означать, что в основе генерации электрических сигналов лежат сходные механизмы, а постоянство частот свидетельствует об их эволюционной консервативности: созданные природой на самых ранних этапах возникновения жизни, они сохранились до наших дней, обеспечивая внутреннюю целостность и внешние связи любой единицы живого. Корни основных ритмов живых систем находятся в глубинах зарождения жизни.

Ритмы отражают сложные психофизиологические процессы, происходящие в любом организме. Имеющиеся экспериментальные данные свидетельствуют в пользу того, что характер этих ритмов является врожденным и, вероятно, наследственным [29]. Любой живой организм является независимой колебательной системой, которая

характеризуется набором внутренне обусловленных, в том числе генетически детерминированных, ритмов. Можно предполагать, что генетически детерминированные осцилляции являются следствием изменяющихся по частоте воздействий гелио-космических и геофизических факторов [9; 22].

Накопленные к настоящему времени данные показывают, что многие биоритмы синхронизируются гелиогеофизическими колебательными процессами [3]. В частности, обнаружено сходство преобладающих частот ЭЭГ мозга человека и низкочастотных пульсаций геомагнитного поля планеты [6]. Земной шар и окружающее его пространство на высотах от 0 до 100 км представляют собой огромный шумановский сферический резонатор с резонансной частотой около 7 Гц; а в области высот от 100 до 1000 км расположен ионосферный альфвеновский резонатор, первая резонансная частота которого меняется с течением времени в пределах 0.5–3 Гц [2]. Согласно теоретическим и экспериментальным данным, в системе Земля–ионосфера присутствуют резонансные частоты равные 6–8, 14, 20, 26 и 32 Гц. Шумановские волны с основной частотой 7.8 Гц, имеющие 24-часовую гармонику, влияют на циркадианный ритм организма [22]. В эти частоты входят и основные ритмы электроэнцефалограммы, в том

числе, альфа-ритм. Полученные результаты показывают взаимосвязь альфа-ритмов и шумановских частот. Альфвеновские волны в ионосфере формируют резонатор с частотой колебаний, которая зависит от толщины ионосферы, величины напряженности магнитного поля Земли и концентрации частиц ионосферной плазмы. Ионосферный альфвеновский резонатор является одним из основных структурных элементов магнитосферно-ионосферной электродинамической системы Земли и играет ключевую роль в электромагнитных геофизических процессах [20]. Первая резонансная частота альфвеновского резонатора меняется в пределах 0.5–3 Гц в зависимости от состояния ионосферы. Усиление альфвеновского резонансного явления происходит в ночные часы, днем амплитуда колебаний уменьшается до значений обычного шума.

Ритмическая активность, зарегистрированная у живых существ, различающихся по сложности строения и имеющих разную эволюционную историю, оказывается весьма сходной по частотным диапазонам. Периодические изменения внешней среды приводят к периодическим изменениям определенных параметров у живого организма [14]. Эндогенная ритмика, сформировавшаяся под влиянием этих циклических процессов окружающей среды, надежно согласовывает подстройку живых систем к изменяющейся среде обитания. Историческая “подстройка” под ритмы ионосферы скорее всего имела место в форме синхронизации осцилляторов с частотами альфвеновского резонатора и первой гармоникой шумановского резонанса. Естественные электромагнитные поля явились необходимым условием зарождения жизни на Земле [13,16,41].

ВЫВОДЫ

1. В исследовании обнаружена осцилляторная ритмическая электрическая активность у живых существ разного таксономического положения и эволюционного возраста – у прокариот цианобактерий, у одноклеточных эукариот дрожжей, амёбы обыкновенной, инфузории, у многоклеточных малоподвижных эукариот молочного гриба и плодового тела миксомицет, у подвижных многоклеточных эукариот пиявки и улитки, а также у корнеплода моркови и яблока.

2. Частотные спектры ритмической активности имеют локализацию пиков в областях, соответствующих известным ритмам, идентифицированным в ЭЭГ – дельта, альфа и бета-диапазонам.

3. Полученные результаты подтверждают предположение о том, что многие биоритмы синхронизируются гелиогеофизическими колебательными

процессами. Вероятно, синхронизация осцилляторов происходила в виде подстройки к ионосферным резонаторам Земли.

4. Электрофизиологические данные подтверждают идею о взаимодействии и взаимозависимости планеты и живых организмов, населяющих ее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян Н.А., Петров В.И., Радыш И.В. Хронофизиология, хронофармакология и хронотерапия. Волгоград: ВолГМУ, 2005.
2. Бару Н.А., Колосков А.В., Рахматулин Р.А. Зависимость характеристик ионосферного альфвеновского резонанса от состояния геокосмоса по данным синхронных наблюдений в антарктике и евразии // Украинский антарктический журнал. 2013. № 12. С. 177–185.
3. Бреус Т.К., Халберг Ф., Корнелиссен Ж. Влияние солнечной активности на физиологические ритмы биологических систем // Биофизика. 1995. Т. 40. Вып. 4. С. 737–749.
4. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Наука, 1989.
5. Воденев В.А., Опритов В.А., Мысягин С.А., Пятыхин С.С. Дистанционные электрические сигналы у растений. Учеб. метод. пособие. Н. Новгород: ННГУ, 2007.
6. Гаврилов В.А., Власов Ю.А., Морозова Ю.В., Федористов О.В., Яковлева Ю.Ю. Методы и результаты скважинных геоакустических и электромагнитных измерений на Камчатском геодинамическом полигоне // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными. Материалы четырнадцатой международной конференции 27–31 октября 2008 г. Петропавловск. 2008. Ч. 1. С. 107–108.
7. 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. № 6. С. 76–87.
8. Греченко Т.Н., Харитонов А.Н., Сумина Е.Л., Сумин Д.Л. Генез памяти // Экспериментальная психология. 2013. Т. 6. № 4. С. 67–78.
9. Гринцов М.И. Гринцова В.М. Механизмы биологических эффектов гелио-геофизических возмущений // Успехи современного естествознания. 2002. № 1. С. 96–118.
10. Гусельников В.И. Электрофизиология головного мозга. М.: Высшая школа, 1976.
11. 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.
12. Доронин В.К., Зозулин С.В. Гетерогенность внутриклеточных потенциалов инфузории *Spirostomum*

- ambiguum* // Журнал эволюционной и биохимической физиологии, 1976. № 12(6). С. 539–543.
13. Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Ленинград: Гидрометеоздат, 1974.
 14. Загускин С.Л. Ритмы клетки и здоровье человека. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2010.
 15. Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М.: Мир, 1983.
 16. Марков А.В. Рождение сложности. М.: Астрель, 2012.
 17. Мартынюк В.С., Темурьянц Н.А., Москвочук О.Б. Корреляция биофизических параметров биологически активных точек вариаций гелиогеофизических факторов // Биофизика. 2001. Т. 46. Вып. 5. С. 905–909.
 18. Опритов В.А., Пятыгин С.С., Ретивин В.Г. Биоэлектрогенез у высших растений. М.: Наука, 1991.
 19. Орлеанский В.К., Васильева Л.В., Зенова Г.М., Жегалло Е.А., Харитонов А.Н., Греченко Т.Н. Биовулканология и микробиология // Восьмая международная конференция “Вулканизм, биосфера и экологические проблемы”, Майкоп-Туапсе, 2016. С. 164–166.
 20. Поляков С.В. Ионосферный альфвеновский резонатор и его роль в электродинамике верхней атмосферы Земли. Дисс. ... докт. физ.-мат. наук, Нижний Новгород, 2003.
 21. Соколов Е.Н. Пейсмекерный потенциал в организации ритмической активности нейрона // Пейсмекерный потенциал нейрона. Ред. Е.Н. Соколов, Н.Н. Тавхелидзе. Тбилиси: Мецниереба, 1975.
 22. Хабарова О.В. Биоэффективные частоты и их связь с собственными частотами живых организмов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2002. № 5. С. 56–66.
 23. Харитонов А.Н., Греченко Т.Н., Сумина Е.Л., Сумин Д.Л., Орлеанский В.К. Социальная жизнь цианобактерий // Дифференционно-интеграционная теория развития. Ред. Н.И. Чуприкова, Е.В. Волкова. М.: Языки славянской культуры: Знак, 2014. С. 283–303.
 24. Холодов Ю.А. Шестой незримый океан [Очерки по электромагнитной биологии]. М.: Знание, 1978.
 25. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М.: Мысль, 1976.
 26. Bloomfield P. Fourier analysis of time series. NY: John Wiley and sons, inc., 2000.
 27. Buzsaki G. Rhythms of the brain. Oxford University Press. 2006.
 28. Free A., Barton N.H. Do evolution and ecology need the Gaia hypothesis? // Trends in Ecology and Evolution. 2007. Vol. 22. № 11. P. 611–661.
 29. Gallinat J., Winterer G., Herrmann C.S., Senkowski D. Reduced oscillatory gamma-band responses in unmedicated schizophrenic patients indicate impaired frontal network processing // Clin. Neurophysiol. 2004. 115. P. 1863–1874.
 30. Gillette M.U., Sejnowski T.J. Physiology: Biological clocks coordinately keep life on time // Science. 2005. № 309. P. 1196–1198.
 31. Karnani M, Annala A. Gaia again // Biosystems. 2009. 95(1). P. 82–87.
 32. Kovalev O.V., Kazansky A.B. Two faces of Gaia // Gaia Circular. 1999. V. 2. № 2. P. 9.
 33. Lenton T.M. Gaia and natural selection // Nature. 1998. 394 (6692). P. 439–447.
 34. Levit G.S., Krumbein W.E. The biosphere theory of V.I. Vernadsky and the Gaia theory of James Lovelock: a comparative analysis of the two theories and traditions // Zh Obschch Biol. 2000. 61(2). P. 133–144.
 35. Liu J., Prindle A., Humphries J., Gabalda-Sagarra M., Asally M., Lee D., San Ly, Garcia-Ojalvo J., Süel G. Metabolic codependence gives rise to collective oscillations within biofilms // Nature. 2015. 523 (7562). P. 550–554.
 36. Lovelock J.E. Gaia as seen through the atmosphere // Atmospheric environment. 1972. № 6. P. 579–580.
 37. Lovelock J.E. Self-regulation of the Earth as a living organism // Microbiologia. 1988. № 4(3). P. 141–148.
 38. Lovelock J.E. New statements on the Gaia theory // Microbiologia. 1995. № 11(3). P. 295–304.
 39. Margulis L, Bermudes D. Symbiosis as a mechanism of evolution: status of cell symbiosis theory // Symbiosis. 195. № 1. P. 101–124.
 40. Margulis L., West O. Gaia and the colonization of Mars // GSA Today. 1993. № 3(11). P. 277–291.
 41. Oparin A.I. The origin of life. New York: Dover Publications, 2003.
 42. Schütt A., Başar E., Bullock T.H. The effects of acetylcholine, dopamine and noradrenaline on the visceral ganglion of *Helix pomatia*. I. Ongoing compound field potentials of low frequencies // Comp Biochem Physiol C. 1992. № 102(1). P. 159–168.
 43. Shumway R.H., Stoffer D.S. Time series analysis and its applications. Springer Texts in Statistics, 2011.
 44. Toko K., Souda M., Matsuno T., Yamafuji K. Oscillations of electrical potential along a root of a higher plant // Biophys. J. 1990. V. 57. P. 269–279.
 45. Traven A., Janicke A., Harrison P., Swaminathan A., Seemann T., Beilharz T.H. Transcriptional profiling of a yeast colony provides new insight into the heterogeneity of multicellular fungal communities // Plos One. 2012. V. 7. № 9. e46243.
 46. Zubow K., Zubow A.V., Zubow V.A. Experimental methods for the determination of the super light velocities of the gravitation. Structure and properties of gravitation waves // Nature. 1912. Horizons in World Physics. Ed. A. Reimer. NY. Vol. 277. P. 112–117.

INVARIANT FREQUENCIES OF BIORHYTHMS OF LIVING ORGANISMS OF THE DIFFERENT EVOLUTIONARY AGE

T. N. Grechenko*, A. N. Kharitonov**, A. V. Zhegallo***

Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences; 129366, Moscow, Yaroslavskayast, 13, Bldg. 1, Russia

* *Sc.D. (psychology), leading researcher, V.B. Shvyrkov laboratory of Neuronal Bases of Mind. E-mail: grecht@mail.ru*

** *PhD (psychology), research scientist, Laboratory of cognitive processes and mathematical psychology E-mail: ankhome47@list.ru*

*** *PhD (psychology), research scientist, Laboratory of cognitive processes and mathematical psychology. E-mail: zhegs@mail.ru*

Received 26.06.2017

Abstract. The assumption was checked experimentally that biorhythms were initially synchronized by heliogeophysical oscillatory processes, and synchronization of oscillators happened in the form of fine tuning to ionospheric resonators of Earth. The availability of oscillations of similar frequencies in the living beings of different taxonomical position and evolutionary age point to similar mechanisms that generate such oscillations. The frequency peaks of rhythmic oscillations were located, that correspond to the known rhythms identified in human EEG, i.e. the delta, alpha and beta ranges. The electrophysiological data support the idea about overall interaction and interdependence of the planet and the living organisms that inhabit it. Natural electromagnetic fields must have been a necessary condition of origin of life on Earth.

Keywords: oscillators, biorhythms, evolution, prokaryote, eukaryote, ionospheric resonator, biosphere.

REFERENCES

1. *Agadzhanjan N.A., Petrov V.I., Radysh I.V.* Hronofiziologija, hronofarmakologija i hronoterapija. Volgograd: VolIGMU, 2005. (In Russian)
2. *Baru N.A., Koloskov A.V., Rahmatulin R.A.* Zavisimost' harakteristik ionosfernogo al'fvenovskogo rezonansa ot sostojaniya geokosmosa po dannym sinhronnyh nabljudenij v antarktike i evrazii // *Ukraińskij antarktichnij zhurnal.* 2013. № 12. P. 177–185. (In Russian)
3. *Breus T.K., Halberg F., Kornelissen Zh.* Vlijanie solnečnoj aktivnosti na fiziologičeskie ritmy biologičeskikh sistem // *Biofizika.* 1995. V. 40. Vyp. 4. P. 737–749.
4. *Vernadskij V.I.* Biosfera i noosfera. Moscow: Nauka, 1989. (In Russian)
5. *Vodeneev V.A., Opritov V.A., Mysjagin S.A., Pjatygin S.S.* Distancionnye jelektricheskie signaly u rastenij. Ucheb. metod. posobie. N. Novgorod: NNGU, 2007. (In Russian)
6. *Gavrilov V.A., Vlasov Ju.A., Morozova Ju.V., Fedoristov O.V., Jakovleva Ju. Ju.* Metody i rezul'taty skvazhinnyh geoakustičeskikh i jelektromagnitnyh izmerenij na Kamčatskom geodinamičeskom poligone // *Svjaz' poverhnostnyh struktur zemnoj kory s glubinnymi.* Materialy četyrnadcatoj mezhdunarodnoj konferencii 27–31 oktjabrja 2008 g. Petrozavodsk. 2008. Ch. 1. P. 107–108. (In Russian)
7. *Grechenko T.N., Haritonov A.N., Zhegallo A.V., Aleksandrov Ju.I.* Psihofiziologičeskij analiz oscil'jatornyh processov v povedenii biosocial'nyh sistem // *Psihologičeskij zhurnal.* 2015. V. 36. № 6. P. 76–87. (In Russian)
8. *Grechenko T.N., Haritonov A.N., Sumina E.L., Sumin D.L.* Genez pamjati // *Jeksperimental'naja psihologija.* 2013. V. 6. № 4. P. 67–78. (In Russian)
9. *Grincov M.I., Grincova V.M.* Mehanizmy biologičeskikh jeffektov gelio-geofizičeskikh vozmushhenij // *Uspėhi sovremenno-geostestvoznaniya.* 2002. № 1. P. 96–118.
10. *Gusel'nikov V.I.* Jelektrofiziologija golovnogogo mozga. Moscow: Vysshaja shkola, 1976. (In Russian)
11. *Danilova N.N.* Rol' vysokochastotnyh ritmov jelektricheskoj aktivnosti mozga v obespečenii psihičeskikh processov // *Psihologija. Zhurnal Vysšej shkoly jekonomiki.* 2006. V. 3. № 2. P. 62–72. (In Russian)
12. *Doronin V.K., Zozulin S.V.* Geterogenost' vnutrikletočnyh potencialov infuzorii *Spirostomum ambiguum* // *Zhurnal jevoljucionnoj i biohimičeskoj fiziologii,* 1976. № 12(6). P. 539–543. (In Russian)
13. *Dubrov A.P.* Geomagnetnoe pole i zhizn'. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974. (In Russian)
14. *Zaguskin S.L.* Ritmy kletki i zdorov'e čeloveka. Rostov-na-Donu: Izd-vo Južnogo federal'nogo universiteta, 2010. (In Russian)

¹ This work was supported by the Russian Science Foundation grant #14-28-00229, Institute of Psychology, Russian Academy of Sciences.

15. *Margelis L.* Rol' simbioza v jevoljucii kletki. Moscow: Mir, 1983. (In Russian)
16. *Markov A.V.* Rozhdenie slozhnosti. Moscow: Astrel', 2012. (In Russian)
17. *Martynjuk V.S., Temur'janc N.A., Moskvochuk O.B.* Korreljacija biofizicheskikh parametrov biologicheski aktivnykh toчек variacij geliogeofizicheskikh faktorov // Biofizika. 2001. V. 46. Vyp. 5. P. 905–909. (In Russian)
18. *Opritov V.A., Pjatygin S.S., Retivin V.G.* Bioelektrogenез u vysshih rastenij. Moscow: Nauka, 1991. (In Russian)
19. *Orleanskij V.K., Vasil'eva L.V., Zenova G.M., Zhegallo E.A., Haritonov A.N., Grechenko T.N.* Biovulkanologija i mikrobiologija // Vos'maja mezhdunarodnaja konferencija "Vulkanizm, biosfera i ekologicheskie problemy", Majkop-Tuapse, 2016. P. 164–166. (In Russian)
20. *Poljakov S.V.* Ionosfernyj al'fvenovskij rezonator i ego rol' v jelektrodinamike verhnej atmosfery Zemli. Diss. ... dokt. fiz.-mat. nauk, Nizhnij Novgorod, 2003. (In Russian)
21. *Sokolov E.N.* Pejsmekernyj potencial v organizacii ritmicheskoy aktivnosti nejrona // Pejsmekernyj potencial nejrona. Ed. E.N. Sokolov, N.N. Tavhelidze. Tbilisi: Mecniereba, 1975. (In Russian)
22. *Habarova O.V.* Bioeffektivnye chastoty i ih svjaz' s sobstvennyimi chastotami zhivyh organizmov // Biomedicinskie tehnologii i radioelektronika. 2002. № 5. P. 56–66. (In Russian)
23. *Haritonov A.N., Grechenko T.N., Sumina E.L., Sumin D.L., Orleanskij V.K.* Social'naja zhizn' cianobakterij //Differencionno-integracionnaja teorija razvitija. Ed. N.I. Chuprikova, E.V. Volkova. Moscow: Jazyki slavjanskoj kul'tury: Znak, 2014. P. 283–303. (In Russian)
24. *Holodov Ju.A.* Shestoj nezrimyj okean [Oчерki po jelektromagnitnoj biologii]. Moscow: Znanie, 1978. (In Russian)
25. *Chizhevskij A.L.* Zemnoe jehо solnechnyh bur'. Moscow: Mysl', 1976. (In Russian)
26. *Bloomfield P.* Furier analysis of time series. NY: JohnWileyand sons, inc., 2000.
27. *Buzsaki G.* Rhythms of the brain. Oxford University Press. 2006.
28. *Free A., Barton N.H.* Do evolution and ecology need the Gaia hypothesis? // Trends in Ecology and Evolution. 2007. Vol.22. № 11. P. 611–661.
29. *Gallinat J., Winterer G., Herrmann C.S., Senkowski D.* Reduced oscillatory gamma-band responses in unmedicated schizophrenic patients indicate impaired frontal network processing // Clin. Neurophysiol. 2004. 115.P. 1863–1874.
30. *Gillette M.U., Sejnowski T.J.* Physiology: Biological clocks coordinately keep life on time // Science. 2005. № 309. P. 1196–1198.
31. *Karnani M, Annila A.* Gaia again // Biosystems. 2009. 95(1). P. 82–87.
32. *Kovalev O.V., Kazansky A.B.* Two faces of Gaia // Gaia Circular. 1999. V. 2. № 2. P. 9.
33. *Lenton T.M.* Gaia and natural selection //Nature. 1998. 394 (6692). P. 439–447.
34. *Levit G.S., Krumbein W.E.* The biosphere theory of V.I. Vernadsky and the Gaia theory of James Lovelock: a comparative analysis of the two theories and traditions // ZhObshch Biol. 2000. 61(2). P. 133–144.
35. *Liu J., PrindleA., Humphries J., Gabalda-SagarraM., AsallyM., Lee D., San Ly, Garcia-Ojalvo J., Süel G.* Metabolic codependence gives rise to collective oscillations within biofilms // Nature. 2015. 523 (7562). P. 550–554.
36. *Lovelock J.E.* Gaia as seen through the atmosphere // Atmospheric environment. 1972. № 6.P. 579–580.
37. *Lovelock J.E.* Self-regulation of the Earth as a living organism // Microbiologia.1988. № 4(3). P. 141–148.
38. *Lovelock J.E.* New statements on the Gaia theory //Microbiologia. 1995. № 11(3). P. 295–304.
39. *Margulis L, Bermudes D.* Symbiosis as a mechanism of evolution: status of cell symbiosis theory // Symbiosis. 195. № 1. P. 101–124.
40. *Margulis L., West O.* Gaia and the colonization of Mars //GSA Today.1993. № 3(11). P. 277–291.
41. *Oparin A.I.* The origin of life. New York: Dover Publications, 2003.
42. *Schütt A., Başar E., Bullock T.H.* The effects of acetylcholine, dopamine and noradrenaline on the visceral ganglion of Helix pomatia. I. Ongoing compound field potentials of low frequencies // Comp BiochemPhysiol C. 1992. № 102(1). P. 159–168.
43. *Shumway R.H., Stoffer D.S.* Time series analysis and its applications. Springer Texts in Statistics, 2011.
44. *Toko K., Souda M., Matsuno T., YamafujiK.* Oscillations of electrical potential along a root of a higher plant //Biophys. J. 1990. V. 57. P. 269–279.
45. *Traven A., Janicke A., Harrison P., Swaminathan A., Seemann T., Beilharz T.H.* Transcriptional profiling of a yeast colony provides new insight into the heterogeneity of multicellular fungal communities// Plos One. 2012. V. 7. № 9. e46243.
46. *Zubow K., Zubow A.V., Zubow V.A.* Experimental methods for the determination of the super light velocities of the gravitation. Structure and properties of gravitation waves // Nature. 1912. Horizons in World Physics. Ed.A. Reimer. N.Y. Vol. 277. P. 112–117.