

Устойчиво неравновесное состояние водно-карбонатной матрицы живых систем – первооснова их собственной активности.

В.Л. Воейков.

ВЛАДИМИР ЛЕОНИДОВИЧ ВОЕЙКОВ – доктор биологических наук, профессор кафедры биоорганической химии биологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Область научных интересов: биологические функции воды, биофотоника, законы биологической эволюции.

Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва,
E-mail: vgl@soil.msu.ru

Принцип собственной активности живых систем.

С момента возникновения биологии, как самостоятельной науки, продолжается дискуссия о том, обладают ли живые системы *собственной* активностью, или их жизнедеятельность в конечном итоге обусловлена действием на них внешних сил. Этой проблеме посвящена обширная литература. Одной из последних важных работ является труд Ю.В. Чайковского «Активный связный мир. Опыт теории эволюции жизни» [1]. Активность живых систем по аналогии с немецким *Wirksamkeit* понимается здесь как действующая сила и одновременно деятельное свойство (с. 220). Такая активность в совокупности с самосогласованностью протекающих в живых системах «непрерывных, неударных структурированных процессов» (выражение А.Г. Гурвича [2]) обеспечивает как их рост и развитие, включая направленную эволюцию жизни, так и поддержание гомеостаза в относительно стационарных условиях.

Для реализации принципа собственной активности живых систем необходимо, чтобы потенциал живой системы (плотность энергии, которую она может использовать) превышал потенциал объектов, над которыми она осуществляет работу. В противном случае она превращается в объект, которым манипулируют факторы внешней среды. Настоящая работа посвящена выяснению природы процессов, обеспечивающих живую систему столь высоким потенциалом, чтобы она могла реализовать принцип собственной активности. Мы высказываем гипотезу, согласно которой эти процессы обусловлены особыми энергетическими свойствами водно-карбонатной матрицы – материальной основы всех живых организмов.

В настоящее время в биологии доминирует концепция, фактически отрицающая собственную активность живых систем. Считается, что органические молекулы появились на Земле при действии на неорганические соединения интенсивных факторов – потоков УФ-фотонов, электрических разрядов, высоких температур, причем в условиях полной анаэробности. Существование современной биосферы объясняют тем, что фотосинтезирующие организмы используют потоки световой энергии Солнца для синтеза из CO_2 и воды органических веществ, служащих источниками энергии для других организмов экосистемы, которые превращают их вновь в неорганические вещества. Те снова используются зелеными растениями, и круг замыкается. Отсюда следует, что прекращение поступления энергии солнечного света приведет к исчезновению жизни на Земле. Эту концепцию обосновывают законами термодинамики открытых систем, согласно которым в открытых системах, к которым относятся и живые системы, за счет протока через них энергии может снижаться энтропия и повышаться уровень организации [3]. Хотя эти процессы и называют «самоорганизацией», подчеркивается, что именно внешние потоки вещества, энергии и информации, проходящие *сквозь* живые организмы, определяют их активность.

Тем не менее, принцип собственной активности отстаивался многими выдающимися биологами на протяжении всей истории существования биологической науки. Так, один из создателей физиологии растений Юлиус фон Сакс выступил в 1892 г. с жесткой критикой общепринятой уже тогда клеточной теории, которая базировалась на исследованиях *мертвых* тканей растений. Сакс предложил заменить понятие «клетка» понятием «Энергида». По Саксу, «...энергида представляет собой ядро, ассоциированное с его протоплазмой так, что ядро и окружающая его протоплазма образуют органическое целое, как морфологически, так и физиологически. Название «Энергида» должно подчеркнуть основное свойство этой структуры – наделенность внутренней действующей силой, если желательна, жизненной силой. ... Индивидуальная энергида способна жить свободно, не будучи окруженной клеточной «кожей», или может быть заключенной в «клетку», но каждая индивидуальная энергида способна строить себе внешнюю оболочку, или же несколько энергид способны вместе окружать себя общей оболочкой» [4].

Почти забытые представления Сакса сейчас вновь востребованы, поскольку неадекватность классической клеточной теории стала еще более явной. Согласно концепции «Клеточного тела» (“Cell Body”), идущей на смену классической клеточной теории [5], свойства *элементарной* живой системы, будь то прокариотическая или эукариотическая, растительная или животная система, совпадают, по существу, со свойствами энергиды Сакса. По современным представлениям, энергида – это содержащее хроматин ядро с протуберанцами из микротрубочек; она включает в себя centrosомы, эндоплазматический ретикулум и аппарат Гольджи. Энергида организует вокруг себя клеточные органеллы и строит содержащую актин и митохондрии клеточную периферию, обеспечивающую ее защиту от внешних факторов и обмен со средой веществом и информацией. Энергида способна к автономному делению, как вместе со своей периферией, так и без нее. В последнем случае образуются многоядерные «клетки», достигающие иногда метровых размеров. Оказалось, что по тем же принципам устроена и протоплазма прокариот. ДНК бактерий, не оформленная в виде ядра, тем не менее тесно ассоциирована с актино- и тубулино-подобными белками, которые, как и у ядерных клеток, составляют основу цитоскелета и участвуют в расхождении ДНК между дочерними клетками при делении. Таким образом, энергида – минимальный живой организм, обладающий собственной активностью.

Если энергида способна формировать свою периферию, управлять ей, т.е. совершать над ней работу, значит, она обладает запасом энергии более высокой плотности, чем та, что характерна для периферии, способной постоянно трансформироваться в свободную энергию. Что это за энергия? В какой форме она заключена в энергиде? Откуда энергия берется и как возобновляется после совершения определенной работы?

В биологической литературе имеется достаточно фактов, позволяющих утверждать, что живая материя постоянно находится в возбужденном состоянии, причем уровень возбуждения может достигать величин, характерных для энергии электронного возбуждения. Об этом свидетельствуют, в частности, открытые еще в 1930-е годы явления «Некробиотического излучения» [6] и «Деградационного излучения» [7] – волны излучения в УФ-области спектра, возникающие в ответ на воздействие на живые ткани раздражителей – наркотических средств, механических факторов, электрических импульсов, резкого охлаждения. А.Г. Гурвич пишет: «...необходимо допустить существование (в клетках) чрезвычайно лабильных молекулярных объединений — молекулярных констелляций, неравновесных по своему существу, т. е. поддерживаемых притоком энергии... Очевидно, что неравновесные молекулярные объединения обладают известной степенью свободной энергии, т. е. возбуждены... Неравновесность молекулярной системы характеризуется высоким энергетическим уровнем, соответствующим затрате энергии на ее поддержание. Очевидно, что при остановке притока энергии энергетический уровень молекулярной системы понизится, т. е. освободится часть ее энергии». [8].

В ответ на раздражение живых систем происходят вспышки излучения и в видимой области. Так, Д.Н. Насонов отмечает, что при наблюдении за живыми клетками с использованием темнопольной микроскопии «в ответ на раздражение сначала вся протоплазма начинает светиться бледно-голубым цветом, а затем в ней появляются ярко светящиеся белые структуры» [9]. Волны и вспышки излучения наблюдаются и при охлаждении растений до температур, соответствующих нижней границе их холодоустойчивости [10], при действии на растения токсического газа или гербицида [11], при механических воздействиях на развивающуюся икру вьюна [12], при охлаждении крови, в которой протекает иммунная реакция [13].

На возбужденное состояние материального субстрата живых клеток указывает и отличие его оптических свойств от свойств той же материи в основном, квазиравновесном состоянии. Было обнаружено, что оптическая плотность яйцеклеток морских ежей при 254 нм (длина волны, характерная для поглощения нуклеиновых кислот) возрастает после их гибели [14]. Д.Н. Насонов пишет: «...при обычной микроскопии в проходящем свете в нормальных клетках практически не видно ядер, которые обнаруживаются лишь с трудом по ограничивающему их легкому контуру. Остальная часть ядра сплошь и рядом является бесструктурной, «оптически пустой». При действии любого раздражителя в ядре ... появляются ядерный остов и глыбки хроматина, и ядро делается таким, как мы его знаем по фиксированным препаратам» [9].

Отсюда следует, что живая клетка («энергида») находится в состоянии чрезвычайно далеко от равновесия. При этом ее «элементы» могут пребывать в этом состоянии длительное время лишь в виде «конstellаций» – молекулярных объединений, в которых возбужденные молекулы образуют систему общих энергетических уровней. Имея высокий потенциал, такая система может осуществлять работу. В чем-то энергиды сходны с рабочим телом лазера, находящегося в состоянии инверсии заселенностей. Энергия, которая может быть использована для выполнения полезной работы, освобождается при переходе рабочего тела из возбужденного в основное состояние. Но если накачка обычного лазера осуществляется извне, т.е. за счет действия внешней «силы», то живые системы, обладающие собственной активностью, извлекают из среды и энергию, и вещество, затрачивая на это собственные энергетические ресурсы.

Суть работы, которую осуществляет живая система, раскрыл создатель теории живой материи Э.С. Бауэр [15]. Сформулированный им Принцип устойчивого неравновесия гласит: «Все и только живые системы никогда не бывают в равновесии и исполняют за счет своей свободной энергии работу против равновесия, требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях». Другими словами, живые системы обеспечивают как самосохранение, так и увеличение способности выполнять работу на всех уровнях их организации, начиная с надмолекулярного (с уровня «энергиды»), за счет *собственной* активности. В свою очередь, эта активность обусловлена тем, что структуры живых систем не являются равновесными, а для поддержания их в таком состоянии необходимо их постоянно возобновлять, т.е. постоянно затрачивать работу. «Химическая энергия пищи – пишет Бауэр – употребляется в организме для создания свободной энергии структуры (структурной энергии), для построения, возобновления, сохранения этой структуры, а не непосредственно превращается в работу». Но что представляет собой та живая материя, которая, согласно принципу устойчивого равновесия Бауэра, «никогда не бывает в равновесии», и как химическая энергия пищи трансформируется в ее структурную энергию?

Аэробное дыхание и горение.

Постоянный приток энергии, необходимый для поддержания неравновесного, активного состояния живой материи, обеспечивается у всех живых систем реакциями переноса электронов от доноров к акцепторам. Наибольший объем энергии можно получить, если акцептором служит кислород, восстанавливающийся, в конечном итоге, до

воды. Сейчас можно утверждать, что аэробное дыхание – свойство всех без исключения живых организмов. Даже те бактерии, которые считали анаэробами, содержат не только ферменты, отвечающие за кислородный обмен, но и аналоги электрон-транспортных цепей, в которых конечным акцептором электронов служит кислород [16].

По определению Антуана де Лавуазье дыхание – это «медленное горение **углерода и водорода**, сходное во всех отношениях с тем, что происходит в горящей свече. Дышащие животные – активные горючие тела, которые сгорают и выделяют продукты горения» [17]. Но в настоящее время аэробное дыхание сводят к митохондриальному дыханию. Здесь кислород играет роль конечного акцептора электронов, отдавших свою энергию в электрон-транспортной цепи для синтеза молекул АТФ. Поскольку порции энергии, освобождающиеся по ходу этого процесса, эквивалентны квантам ИК-области спектра ($\leq 0,5$ eV), митохондриальное дыхание аналогично не горению, а тлению.

Истинное горение представляет собой последовательное восстановление кислорода до воды четырьмя электронами («одно-электронное восстановление»), при котором освобождается энергия высокой плотности. Порции ее эквивалентны квантам света в видимой и даже УФ-областях спектра (>1 eV). Известно, что в организмах кислород может восстанавливаться по одно-электронному пути, но этот процесс до сих пор рассматривался как побочный и вредный, поскольку в ходе его образуются активные формы кислорода (АФК), которые считают опасными патогенами. Однако вклад одноэлектронного восстановления кислорода может достигать десятков процентов от всего потребляемого организмами кислорода и в течение ряда лет автор настоящей работы обосновывает позицию, согласно которой прямое восстановление кислорода играет, возможно, даже более фундаментальную роль в биоэнергетике, чем митохондриальное дыхание [18, 19, 20].

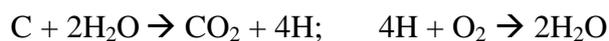
Недавно автор обнаружил, что его позиция не совсем оригинальна, что об альтернативном митохондриальном способе дыхания размышлял почти полвека назад Альберт Сент-Дьерди. Известно, что цианид, блокирующий активацию кислорода, вызывает мгновенную смерть, хотя запас АТФ в тканях остается еще достаточным. Скорость, с которой организм переходит из живого в мертвое состояние, свидетельствует, по мнению Сент-Дьерди, не только о метастабильности живого состояния, но и о том, что для его поддержания требуется непрерывная активация кислорода. Он предположил, что «...существуют две независимых системы генерации энергии, обе использующие O_2 в качестве акцептора кислорода, но одна из которых локализована в митохондриях и отвечает за синтез АТФ, а другая локализована в тех основных клеточных структурах, которые должны пребывать в их особом возбужденном состоянии... Почему NADH и NADPH не могут непосредственно отдать высокоэнергетичные электроны живым структурам, которые далее передадут их кислороду для более прямого использования их энергии?» [21]. Интересно, что когда были открыты NADPH-оксидазы – повсеместно присутствующие и активно восстанавливающие кислород ферменты, о гипотезе Сент-Дьерди об альтернативном митохондриальном биоэнергетическом процессе не вспомнили.

Итак, если принять во внимание, что от всего потребленного организмами кислорода на одноэлектронное восстановление может расходоваться доля, достигающая десятков процентов, высказывание Лавуазье, что «дышащие животные – это активные горючие тела» уже не кажется метафорой. Но как горение может идти в воде, которая представляет собой основную субстанцию любой живой материи?

Горение в воде и горение воды.

Еще в 1794 г. английский химик Элизабет Фулхейм сообщила, что сухой уголь не окисляется кислородом даже при очень высоких температурах, а горит только в присутствии следов воды. Она сделала вывод, что источником кислорода для окисления

углерода до CO_2 является вода, а ее атомы водорода восстанавливают кислород воздуха, что приводит к регенерации воды [22]:



Из этой схемы видно, что горит здесь именно вода, восстанавливающая кислород своими атомами водорода. В 1877 г. английский химик Диксон открыл, что вода абсолютно необходима и для горения угарного газа [23]. Сухая смесь CO и O_2 в тщательно высушенном сосуде не поджигается искрой, если только не добавить туда капли воды. Даже следов воды, прочно адсорбированной стенками сосуда, достаточно, чтобы газовую смесь можно было поджечь. К исследованию этой реакции подключились такие химики, как Д.И. Менделеев, М. Траубе, работы продолжались более полувека, но механизм этого явления так и не был раскрыт, и о роли воды в горении вновь забыли.

Какое отношение горение в химических системах имеет к окислительным процессам с участием кислорода, протекающим в сложно организованной живой материи? В 2000 г. американскими иммунологами было сделано неожиданное открытие. Оказалось, что антитела (иммуноглобулины) и некоторые другие белки катализируют окисление воды синглетным (возбужденным) кислородом до перекиси водорода, что равноценно горению воды [24]. Выяснилось, что донором электронов является вода, особым образом упорядоченная этими белками [25]. Значит, в определенных условиях вода может структурироваться так, что приобретает свойства восстановителя.

Структурно-энергетические свойства пограничной воды.

Традиционно воду рассматривают лишь как растворитель, среду, в которой протекают биохимические реакции. Считают, что по своим свойствам вода живых систем не отличается от обычной воды. Однако возьмем, например, такое живое существо, как медузу. Более 99% массы медузы приходится на долю воды, а массовая доля других веществ в теле медузы ничтожна. Несомненно, вода медузы представлена теми же молекулами, что и вода, в которой медуза обитает. Тем не менее, «живая вода» медузы принципиально отличается от «обычной» воды хотя бы потому, что в нее не проникают соли из морской воды, хотя каких-либо полупроницаемых пленок на границе между медузой и ее средой нет. Очевидно, что состояние воды медузы определяется биополимерами, хотя они составляют ничтожную часть ее массы и что в том же особом состоянии, что и вода медузы, пребывает определенная часть воды у всех других организмов.

Многие выдающиеся биологи прошлого обращали внимание на особые свойства воды, граничащей с биополимерами, но лишь недавно американский биофизик Дж. Поллак доказал, что вода, гидратирующая гидрофильные поверхности (пограничная вода), настолько отличается по своим свойствам от «объемной», что ее можно считать жидкокристаллической [26]. Толщина слоя такой воды у гидрофильных поверхностей может достигать сотен микрон. Она отличается от объемной по вязкости, плотности, температуре замерзания, диэлектрическим свойствам. Множество веществ, хорошо растворимых в обычной воде, в этой воде не растворяются, и поэтому Поллак назвал воду, прилегающую к гидрофильным поверхностям, “Exclusion Zone Water (EZ-water)” (вода зоны исключения).

Три свойства EZ-воды указывают, что она может играть важную роль в биоэнергетике: во-первых, EZ-вода заряжена отрицательно относительно контактирующей с ней объемной воды (ее потенциал достигает -150 мВ), во-вторых, в ней обнаружен пик поглощения УФ-света при 270 нм, в-третьих, толщина слоя EZ-воды увеличивается при освещении видимым светом и особенно при поглощении ИК-излучения. Отсюда следует, что электроны в EZ-воде возбуждены сильнее, чем в обычной воде, т.е. она может выступать в роли восстановителя, а поскольку энергия ИК-области спектра (тепло) повышает электронно-донорную емкость EZ-воды, она может служить практически неисчерпаемым источником электронов пока остается в жидком состоянии.

Для превращения потенциальной энергии квази-свободных электронов EZ-воды в свободную энергию, способную производить работу, необходим их акцептор. Естественным акцептором электронов служит кислород, причем источником его служит сама вода. Считается, что чуть ли не весь кислорода образуется из воды благодаря биологическому фотосинтезу. Но появляется все больше данных, что абиогенная продукция кислорода из воды происходит в значительно **больших** масштабах, чем считалось ранее. При этом кислород появляется уже в активном состоянии, в котором он является эффективным акцептором электронов [27]. Когда молекула кислорода акцептирует 4 электрона (+ 4 протона), образуются 2 молекулы воды и освобождается более 8 эВ высококачественной энергии электронного возбуждения. Если источником электронов служит вода, то схема ее горения выглядит так:



Такая реакция превращения воды в воду может служить источником энергии, поскольку молекулы воды в левой и в правой частях уравнения принадлежат разным структурам. Донором электронов служит организованная водная фаза – EZ-вода, находящаяся в устойчиво неравновесном состоянии, а та вода, что образуется – обычная объемная вода, вода в основном состоянии. Таким образом, энергия, освобождающаяся при осуществлении этого процесса – структурная энергия в точном понимании этого термина Э.Бауэром. Поскольку часть освобождающейся энергии может быть использована для восстановления EZ-воды, процесс отвечает требованию Принципа устойчивого неравновесия Э. Бауэра – эта динамическая водная система устойчиво неравновесна и за счет своей свободной энергии выполняет работу против равновесия, «требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях».

Приведенная выше схема не отражает важной особенности реакций горения – их разветвлено-цепного характера. Освобождающаяся при горении энергия способствует дополнительному возбуждению как EZ-воды, так и кислорода, увеличению потока электронов и скорости восстановления кислорода, «обострению» процесса горения. Горение приобретает колебательный характер, а ритм освобождения энергии может обеспечить ритмичное протекание сопряженных реакций [28].

Связь дыхания и горения: роль карбонатов в дыхании.

Напомним, что дыхание, по определению Лавуазье – это «медленное горение углерода и водорода Дышащие животные – активные горючие тела, которые сгорают и выделяют продукты горения». Продуктами горения пищевых веществ – жиров (углеводородов), и углеводов являются вода и углекислый газ. При взаимодействии с водой углекислый газ превращается в угольную кислоту, которая диссоциирует с образованием бикарбоната. Все эти реакции обратимы, и поэтому в водных средах живых систем всегда присутствуют все формы *карбонатов*, а их соотношение зависит от самых разных и постоянно меняющихся условий.

Лавуазье, открывший роль кислорода в дыхании, к сожалению, одновременно внес вклад в широко распространенное мнение об углекислоте, как о ненужном и даже вредном отходе дыхания – «мертвом воздухе». Лишь столетие спустя швейцарский физиолог Мишнер доказал, что интенсивность дыхания регулируется главным образом не **большим** или меньшим содержанием кислорода в воздухе, а малыми изменениями в парциальном давлении CO_2 в альвеолах [29]. Позднее Бор обнаружил, что углекислый газ способствует освобождению кислорода из гемоглобина, что необходимо для эффективного тканевого дыхания. Крупнейший вклад в понимание фундаментальной роли карбонатов в дыхании внес американский физиолог Хендерсон. Он утверждал, что углекислота (карбонаты) – главный гормон любого тела, который продуцируется каждой тканью и действует на каждый орган и что при снижении содержания в организме карбонатов ниже критического уровня дыхание прекращается. Он считал, что это

происходит за счет регуляции карбонатами кислотно-щелочного баланса крови, но оговаривался, что предстоит еще выяснить, сводится ли действие карбонатов к регуляции ими pH или они оказывают специфическое действие на молекулярные мишени. И, действительно, оказалось, что углекислота может реагировать с аминоклуппами белков, образуя нестойкие карбамоильные соединения. Активность модифицированных таким образом белков существенно меняется. А в свете сказанного выше о пограничной воде можно полагать, что повышение суммарного отрицательного заряда белка должно способствовать появлению около него более устойчивого слоя EZ-воды. Менее известно еще одно важнейшее свойство карбонатов. Они модулируют окисление, пероксидацию и нитрование как *in vivo*, так и *in vitro* поскольку и CO_2 , и HCO_3^- способны при взаимодействии с активными формами кислорода превращаться в более долгоживущие и более избирательно действующие свободные радикалы [30].

Таким образом, карбонаты абсолютно необходимы для дыхания. Поскольку, как указывалось выше, существенная часть кислорода при дыхании расходуется на горение, при котором в роли «топлива» может выступать и вода, нельзя исключить, что карбонатные растворы и сами «дышат» и запасают энергию высокой плотности, т.е. могут выступать как прообраз живых систем, обладающих собственной активностью.

Собственная активность бикарбонатных водных растворов.

Ранее мы обнаружили, что при добавлении к водным растворам бикарбонатов солей двухвалентного железа наблюдается вспышка излучения, интенсивность которой резко повышалась в присутствии люминесцентного зонда на АФК – люминола [31]. После длительного хранения раствора в герметично закрытом сосуде вспышка исчезала, но при восстановлении контакта с воздухом растворы снова начинали реагировать на добавление Fe(II)+люминола вспышками излучения. Такая реакция свидетельствовала, что в контактирующих с воздухом растворах бикарбонатов спонтанно протекают цепные реакции с участием АФК и появляются перекиси, разложение которых катализирует Fe(II). Без добавления железа в присутствии одного лишь люминола бикарбонатные растворы не излучали. Но если в них вносили H_2O_2 до концентрации 0,001-0,01%, то в присутствии люминола возникало излучение, интенсивность которого была тем выше, чем выше была концентрация бикарбоната. Наиболее интересные особенности поведения этих реакционных систем описаны ниже.

Сразу после инъекции H_2O_2 в растворы Na/KHCO₃ (1-5 mM) интенсивность излучения могла в течение 1-2 суток либо снижаться, либо даже возрастать. Затем излучение стабилизировалась вблизи некоторой средней величины и не затухало в течение многих недель и месяцев. Существенно, что растворы находились в запаянных ампулах или пробирках, надежно изолированных от контакта с воздухом. Так, образцы, приготовленные и герметизированные 2 июля 2008 г., продолжают люминесцировать уже в течение 10 месяцев без заметного снижения средней интенсивности излучения.

Некоторые вещества даже в сверх-малых дозах или концентрациях, которые принято называть «мнимыми» заметно влияют на среднюю интенсивность излучения из идентично приготовленных образцов. Такое действие обнаружено нами, например, для гидратированных фуллеренов (ГФ)¹. На рис. 1 представлена динамика излучения из тест-систем, содержащих 10^{-9} , 10^{-11} и 10^{-12} М ГФ в сравнении с контролем без ГФ. Видно, что после достижения квази-стационарного уровня интенсивность излучения растворов, содержащих 10^{-12} М ГФ, почти в 2 раза выше излучения в контроле, тогда как эффект более высоких концентраций ГФ менее выражен.

¹ Гидратированные фуллерены (ГФ) – это водный раствор молекул фуллерена C₆₀, заключенных в объемную оболочку из молекул воды [Andrievsky G.V. et al. Chem. Phys. Letters, 364, 8-17, 2002]. Выявлена как про-, так и антиоксидантная активность ГФ, т.е. они модулируют протекание ред/окс реакций. ГФ проявляют широкий спектр биологического действия как *in vivo*, так и *in vitro*.

В других экспериментах ГФ оказывали максимальное стимулирующее действие в разведениях, соответствующих «концентрациям» 10^{-15} и 10^{-19} М, тогда как промежуточные разведения не отличались от контроля или были даже ниже его. Подобные парадоксальные дозовые зависимости характерны для действия сверх-малых доз биологически активных субстанций в самых разных тест-системах (напр., [32]).

Из рисунка 1 также видно, что интенсивность излучения бикарбонатных растворов, которую регистрировали несколько раз в неделю, в течение периода измерения заметно варьировала. Периодичность в изменении интенсивности излучения выявляется при непрерывной записи излучения из образца. На рис. 2 представлены графики регистрации интенсивности излучения в течение недели с 16.03.09 по 22.03.09 из образца, приготовленного и помещенного в термостатируемую ($21 \pm 0,5$ °С) камеру счетчика фотонов 11.03.03. Образец не извлекали оттуда в течение всего периода регистрации.

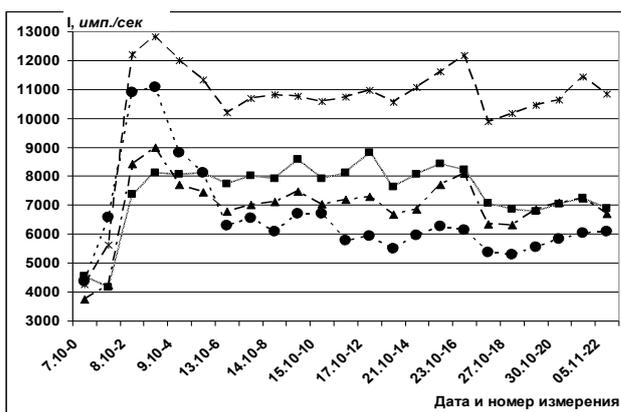


Рис. 1. Влияние ГФ на люминол-зависимое излучение из бикарбонатных растворов (5 мМ), в которые 07.10.08 внесли H_2O_2 (до 0,01%) и поместили по 1 мл в герметично закрытые пробирки. Контроль (без ГФ -- кружки), 10^{-9} М ГФ (квадраты), 10^{-11} М ГФ (треугольники), 10^{-12} М ГФ (звездочки). Каждая точка – среднее из измерений трех идентично приготовленных тест-систем. Стандартные отклонения от среднего варьировали в диапазоне от 3% (10^{-12} М ГФ) до 8% (контроль).

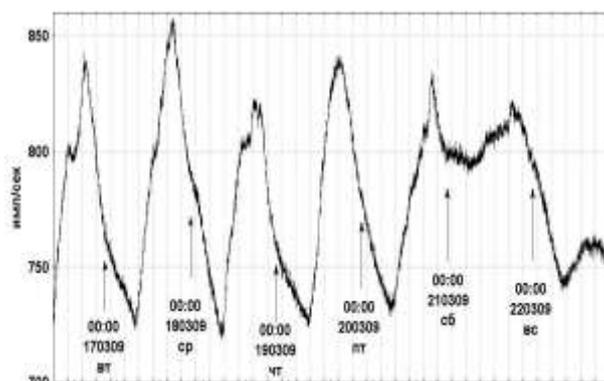
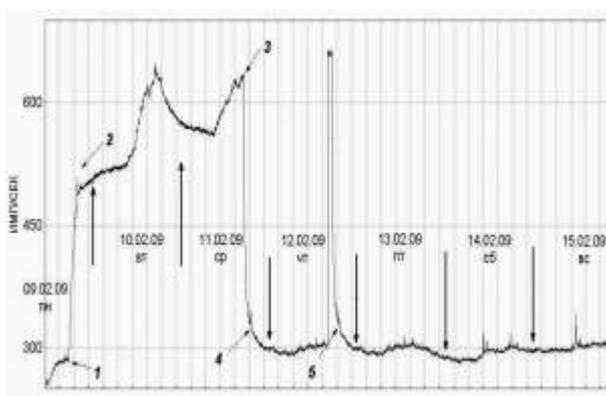


Рис. 2. Изменение интенсивности излучения в образце $Na/KHCO_3$, H_2O_2 0,01%, люминол 50 мкМ, приготовленном 11.03.09 за период с 16.03 по 22.03.2009. Исходные записи, полученные с дискретой 1 сек, сглажены с помощью программы Statistica 8 по 120 точкам.

На рис. 2 четко виден суточный ритм излучения: минимум интенсивности приходится на 8-10 часов утра, а максимум, как правило, в районе 6-8 часов вечера. Колебания излучения носят явно нелинейный, но самоподобный характер.



Необычно сильные изменения амплитуды излучения и нарушение его ритмичности наблюдались в образце, непрерывную запись излучения которого начали 26.01.09, в период с 9 по 15 февраля 2009 (Рис. 3). Весь размах колебаний амплитуды излучения на предыдущей неделе (с 02.02 по 08.02) укладывался в диапазоне 60 имп./сек – от 220 до 280 имп./сек, а суточные колебания варьировали

Рис. 3. Изменение интенсивности излучения в 5 мМ бикарбонатном растворе за период с 09.02 по 15.02.2009. 1 – начало лунного затмения, 2 – максимум лунного затмения, 3 и 4 ~ 48 часов, 5 – 72 часа после начала лунного затмения. Ось ординат – время (4-часовые интервалы), стрелки – полночь.

в пределах 20 имп./сек.

9 февраля в 17:37 начался резкий подъем интенсивности излучения (рис. 3, момент 1). Рост начался точно в момент начала полного лунного затмения, наблюдавшегося в Москве в этот день.

Максимум затмения пришелся на 19:38, и в этот момент времени на графике наблюдается небольшой пик (момент 2). Хотя затем затмение пошло на спад, интенсивность излучения продолжала расти. Уже на его новом уровне наблюдалось 1,5 суточных волны. Через 2 суток после начала затмения излучение резко падает (момент 3) с небольшим пиком ровно через 48 часов после максимума затмения (момент 4), а через 3 суток наблюдается вспышка излучения, на спаде которой снова наблюдается пик (момент 5, 72 часа после максимума затмения).

Пока, по-видимому, преждевременно высказываться по поводу механизма взаимосвязи такого космо-физического явления, как лунное затмение, и вариаций излучения из активированных перекисью водных растворов бикарбонатов, хотя четкие временные корреляции между вариациями излучения и моментом наступления и максимумом лунного затмения трудно объяснить простыми совпадениями.

Еще одной особенностью активированных H_2O_2 бикарбонатных растворов оказалась их реакция на внесение в них аликвот неактивированного бикарбоната или даже деионизированной воды, которую предварительно несколько минут перемешивали на лабораторной качалке. При добавлении к 1 мл активированного бикарбоната 50-100 мкл таких жидкостей интенсивность излучения возрастала в десятки раз и снижалась до исходного уровня в течение многих часов. Добавление новой порции «активной» воды к раствору после его релаксации вновь вызывало волну интенсивного излучения.

Итак, водные растворы бикарбонатов, активированные внесением незначительных количеств H_2O_2 обладают целым рядом необычных свойств. Известно много химических систем, в которых протекают свободно-радикальные реакции, сопровождающиеся излучением в присутствии люминесцентных зондов. Однако в подавляющем большинстве случаев по мере исчерпания реагентов излучение из них затухает. Описанная здесь система сохраняет способность люминесцировать, а, значит, генерировать энергию высокой плотности, в течение многих месяцев, причем в условиях, исключая обмен веществом (кислородом, продуктами реакции) со средой и к тому же в полной темноте. В этом отношении она демонстрирует высокую степень автономности. При этом в системе накапливается значительный запас энергии высокой плотности, что видно по ее способности реагировать на воздействия резким и длительным увеличением интенсивности излучения. О сильной возбужденности этой системы говорит и ее высокая чувствительность к физическим факторам, судя по всему, крайне низкой интенсивности. Это ярко проявилось и в реакции системы на такой космофизический фактор, как лунное затмение, и в суточных ритмах. При этом суточные волны обнаруживают высокую вариабельность формы, что обусловлено, по-видимому, модулирующим действием неких физических полей.

Безусловно, на данном этапе исследования активированного бикарбонатного раствора трудно предложить детальную модель тех процессов, которые отвечают за его устойчиво возбужденное состояние. Однако назовем некоторые предпосылки, которые необходимо будет в дальнейшем принять во внимание для объяснения его свойств. Во-первых, как уже отмечалось выше, любая водная система в первом приближении может рассматриваться как двухфазная, одна из фаз которой представлена организованной водой, обладающей восстановительными свойствами, а другая – менее организованной объемной водой. Во-вторых, в воде всегда присутствует некоторое количество перекиси водорода – продукта механо-химического расщепления молекул воды [³³], и продукта ее

разложения – кислорода [³⁴]. Присутствующие в такой воде карбонаты могут выполнять сразу несколько функций. CO₂ дополнительно способствует структурированию воды [³⁵] (а структурированная вода легче расщепляется). HCO₃⁻ легко реагирует с одним из продуктов расщепления воды – гидроксил-радикалом, восстанавливаясь до радикала CO₃^{-•}. Последний может вступать в разнообразные реакции, в частности, способствовать окислению организованной воды, окислять перекись водорода, рекомбинировать друг с другом с образованием органических соединений, обладающих высоким восстановительным потенциалом [³⁶]. В результате в системе возникает сеть взаимно поддерживающих друг друга реакций, а энергетический выход большинства из них обеспечивает генерацию энергии электронного возбуждения.

Однако для запуска любого эффективно протекающего разветвлено-цепного процесса (а рассматриваемый процесс относится к этому классу реакций) необходимо выполнение двух условий – преодоление пороговой начальной концентрации кислорода и энергетический импульс, «искру» для запуска далее уже самоподдерживающегося процесса. H₂O₂, введенная в раствор бикарбоната, по-видимому, и играет эту двоякую роль. При введении в раствор бикарбоната часть ее быстро распадается, и освободившаяся энергия запускает последующую цепь реакций. Одновременно в растворе увеличивается начальный уровень в воде кислорода.

Каков бы ни был механизм, обеспечивающий устойчиво возбужденного состояния бикарбонатной системы, непрерывное, неугасающее излучение из нее, поддержание ее в устойчиво возбужденном состоянии требует постоянного расхода энергии, а, следовательно, энергия должна откуда-то черпаться. Единственным и естественным источником питающей систему энергии является тепловая. Как было показано Поллаком и сотр., структурная температура EZ-воды, служащей донором электронов, ниже, чем неорганизованной воды [26]. Это естественно, поскольку понятие температуры связано со степенью динамической неупорядоченности материи. Следовательно, между организованной и неорганизованной водой постоянно существует температурный градиент. С другой стороны, он же обнаружил, что при поглощении EZ-водой излучения в ИК-области спектра (фактически, тепловой энергии) ее электронная емкость увеличивается. Таким образом, организованная вода постоянно черпает энергию из окружающей среды. Пока в среде достаточно тепловой энергии для поддержания воды в жидком состоянии, EZ-вода может поглощать ее из среды и трансформировать эту энергию низкого качества в энергию высокого качества (энергию электронного возбуждения). Такая водная система, по существу, представляет собой не генератор, а трансформатор энергии. Поэтому нарушения закона сохранения энергии при функционировании дышащей за счет горения бикарбонатной водной системы не происходит.

Собственная активность водно-карбонатной матрицы живых систем – основа их прогрессивного развития.

Рассмотренная выше активная водно-бикарбонатная система способна поддерживать себя в устойчиво неравновесном состоянии, но не способна к росту и развитию, так как может обмениваться со средой лишь энергией (и, судя по всему, информацией), но не веществом. С нашей точки зрения, она может служить моделью переживающей живой системы. Но нам не кажется невероятным, что, получив доступ к материальным ресурсам окружающей среды, подобная система получит возможность расти и развиваться, т.к. в ней могут протекать процессы, позволяющие повышать общий объем ее структурной энергии системы.

Энергии электронного возбуждения, освобождающейся при протекающих в системе процессах дыхания-горения, достаточно для возбуждения N₂. Постоянное присутствие в системе высоко активных окислителей и восстановителей обеспечивает появление как окисленных, так и восстановленных форм азота. И те и другие способны

взаимодействовать с карбонатами, их радикалами, карбонилами, которые спонтанно нарабатываются в ходе протекающих в системе разветвлено-цепных реакций. Запускаются процессы, типа аминокарбонильной реакции, в ходе которых, как известно, возникают сложные органические молекулы, включая нуклеиновые основания и даже биополимеры [37]. На поверхности возникающих в воде полимеров, их ансамблей появляются новые слои EZ-воды. При этом не только возрастает общий объем структурной энергии системы, но идет ее усложнение, что можно рассматривать как ее рост и развитие.

Этот сценарий представляет собой реализацию еще одного принципа, лежащего в основе общей теории живой материи Э. Бауэра, определяющего вектор биологического развития (эволюции) на всех уровнях организации живых систем – Принципа увеличивающейся внешней работы. Этот принцип подразумевает, что в ходе роста и развития увеличивается не только объем структурной энергии, которой располагает живая система, но и растет потенциал, т.е. происходит ее концентрирование в отдельных участках дифференцирующейся системы.

Электрогенные свойства EZ-воды, определяющие ее потенциал относительно объемной воды зависят от свойств той поверхности, что формирует EZ-воду. Чем выше плотность фиксированного отрицательного заряда на смачиваемой поверхности, чем больше площадь этой поверхности, тем больше электронная емкость формируемой этой поверхностью EZ-воды [38] т.е. запас структурной энергии системы. Из всех биополимеров максимальной плотностью фиксированного заряда обладают нуклеиновые кислоты, а среди них максимальные размеры, а, значит, и площадь поверхности имеет ДНК. Тогда, если в ходе самоорганизации по неизвестному пока механизму в самоорганизующейся водной системе появляются нуклеиновые кислоты, то будучи гидратированными они становятся наиболее «горячими точками» относительно их окружения, а гидратированная ДНК должна обладать максимальной плотностью структурной энергии и способностью совершать работу по организации окружающей среды и ее управлением по сравнению с другими биополимерами. Следующими в иерархии организаторов воды являются микротрубочки, и актиновые филаменты представляющие собой белки с избытком кислых, т.е. отрицательно заряженных аминокислот и формирующие фибриллярные структуры, т.е. структуры с развитой и сильно гидрофильной поверхностью. Они формируют и окружающий ядро цитоскелет, и «клеточный центр» -- центриоли, необходимые для деления ядра у эукариотических клеток, и ДНК у прокариотических клеток. Именно это образование и является согласно представлениям Юлиуса фон Сакса об «энергиде» [4] минимальным обладающим собственной активностью «живым организмом».

Таким образом, водные системы, в которых сосуществуют устойчиво неравновесная фаза EZ-воды и менее организованная объемная вода, в которой присутствуют кислород и протоны (ионы гидроксония), карбонаты, азот, другие неорганические растворенные можно охарактеризовать как дышащий, активный «прото-организм». Такие системы способны поддерживать за счет энергии дыхания свое неравновесное состояние и осуществлять работу, направленную на собственное развитие (эволюцию) и превращение на определенном этапе в минимально полноценный живой организм – энергиду.

Литература.

- 1 Чайковский Ю.В. Активный связанный мир. Опыт теории эволюции жизни. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008, 726 с.
- 2 Гурвич А.Г. Принципы аналитической биологии и теории клеточных полей. «Наука», М.: 1991, с. 43.
- 3 Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М.: Мир, 1986.
- 4 Sachs J. (1892) *Flora*. Bd. 75, S. 57-67.
- 5 Baluska F., Volkmann D., Barlow P.W. (2004) *Nature*. 428, p. 371.
- 6 Lepeschkin W.W. (1932) *Science*. 76, pp. 168-172.

- 7 Гурвич А.Г., Гурвич Л.Д. Митогенетическое излучение. Физико-химические основы и приложения в биологии и медицине. М.: Медгиз, 1945, с. 88-110.
- 8 Гурвич А. А. Проблема митогенетического излучения как аспект молекулярной биологии. Л.: Наука, 1968, с. 73.
- 9 Насонов Д.Н. Местная реакция протоплазмы и распространяющееся возбуждение. М.-Л.: Издательство АН СССР, 1959, с. 12.
- 10 Киталаев Б.Н., Голодрига П.Я., Тарусов Б.Н., и др. В кн.: «Сверхслабые свечения в биологии». М.: Наука, 1972, с 193-195.
- 11 Popp F.-A. In: Electromagnetic Bio-Information. (Popp F.-A., Warnke U., Konig H.L., Peschka W., eds.). Munchen-Wein-Baltimore: Urban & Schwazenberg, 1989, pp. 144-167.
- 12 Belousov L.V., Louchinskaya N.N. In: Biophotons. (Chang J.-J., Fisch J., Popp F.-A., eds.) Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 121-141.
- 13 Voeikov V.L., Asfaramov R., Bouravleva E.V., et al. (2003) Indian J. Exp. Biol. 43, pp. 473-482.
- 14 Vles F., Gex M., (1928) Archives de Physique Biologique. 6, pp. 255-286.
15. Бауэр Э.С. Теоретическая биология. М.-Л.: ВИЭМ, 1935.
- 16 Brioukhanov A.L., Netrusov A. I. (2007) Appl. Biochem. Microbiol. 43, pp. 567–582.
- 17 Lavoisier A. Oeuvres, Paris, 1864, v. II, p. 691.
- 18 Voeikov V. (2001) Rivista di Biologia/Biology Forum, 94, pp. 193-214
- 19 Voeikov V.L. (2006) J. Altern. Compl. Med. 12, pp. 265-270.
- 20 Воейков В.Л. IV Международный Конгресс «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине». Сборник избранных трудов. С. 46-45. С.-Пб: 2006.
- 21 Szent-Gyorgyi A. Introduction to a supramolecular biology. NY & London: Academic Press, 1960, pp. 128-129.
- 22 Laidler K.J., Cornish-Bowden A. In: New Beer in an Old Bottle: Eduard Buchner and the Growth of Biochemical Knowledge (Cornish-Bowden A., ed.) Valencia: Universitat de Valencia, 1997, pp. 123 – 126.
- 23 Bon W.A. (1931) J. Chem. Soc. (London). Pp. 338-361.
- 24 Wentworth A.D., Jones L.H., Wentworth P., et al. (2000) Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 7, pp. 10930 – 10935.
- 25 Datta D., Vaidehi N., Xu X., Goddard W.A. 3rd. (2002) Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 99, pp. 2636-2641.
26. Zheng J.M., Chin W.C., Khijniak E., et al. (2006) Adv. Colloid Interface Sci. 23, pp. 19-27.
27. Voeikov V.L. (2005) Cell Mol Biol (Noisy-le-grand). 51, pp. 663-75.
- 28 Воейков В.Л., Колдунов В.В., Кононов Д.С. (2001) Ж. физ. химии. 75, с. 1579-1585.
- 29 Miescher E. (1885) Arch. f. Physiol. Aus Histochemischen und Physiologischen Arbeiten von Fried rich Miescher, Leipzig, 1897.
- 30 Medinas D.B., Cerchiaro G., Trindade D.F., et al. (2007) IUBMP Life. 59, pp. 255-262.
- 31 Voeikov V., Asfaramov R., Koldunov V., et al. (2003) Clin. Lab. 49, p. 569.
- 32 Maltseva E.L., Palmina N.P., Burlakova E.B. (1998) Membrane & Cell Biology. 12, pp. 251-268.
- 33 Домрачев Г.А., Ролдыгин Г.А., Селивановский Д.А. (1992) Ж. физ. хим. 66, с. 851-855
- 34 Комиссаров Г.Г. Фотосинтез: физико-химический подход. М.: УРСС, 2003, с. 154-170.
- 35 Pauling L. (1961) Science. 134, pp. 15-21.
- 36 Mazellier P., Leroy E., De Laat J., Legube B. (2002) New J. Chem. 26, pp. 1784–1790.
- 37 Voeikov V.L. In: Water and the Cell. (G. Pollack, I. Cameron and D. Wheatley, eds.), Springer Press, The Netherlands, 2006. Pp. 285-298.
- 38 Zheng J.M., Wexler A., Pollack G.H. J Colloid Interface Sci., 2009, 332(2), 511-514.