

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ РОЛЬ ВОДЫ В БИОЭНЕРГЕТИКЕ

В.Л. Воейков

Биологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва,
E-mail: vv1@soil.msu.ru

«Клетка – это машина, приводимая в движение энергией. Поэтому к ее изучению можно подходить, исследуя либо материю, либо энергию»
Альберт Сцент-Дьерди [1].

Современная физико-химическая биология достигла громадных успехов в исследовании тончайших деталей строения сложных материальных компонентов живой материи и взаимодействий этих компонентов друг с другом. Но, несмотря на стремительно растущий объем частной информации о молекулярной анатомии живых систем, ощущения того, что мы успешно движемся к пониманию того, как они функционируют, не возникает. Напротив, складывается чувство, что за деревьями все хуже виден «лес». Может быть, и биология клетки, и физиология, изучающая функционирование целых организмов, упускают из виду что-то принципиально важное?

Вода – забытая биосубстанция.

Если спросить, что представляет собой материя, обеспечивающая жизнедеятельность, ответ почти предопределен: это нуклеиновые кислоты, отвечающие за наследственность, белки – инструментарий процессов жизнедеятельности, липиды клеточных мембран, гормоны, нейромедиаторы и другие биорегуляторы, «топливо» – углеводы и жиры, соли и другая бионеорганика. Да, чуть не забыли воду, среду, в которой идут биохимические реакции и которая осуществляет доставку клеткам необходимых веществ и удаление продуктов их жизнедеятельности.

Но вспомним о таком *живом* организме, как медуза. Более 70 лет тому назад физико-химик R.A. Gortner определил, что в теле медузы на твердые вещества, в первую очередь на неорганические соли, и в значительно меньшей степени на биоорганические молекулы, приходится менее 0,1% ее массы [2]. Значит, это животное, способное двигаться, размножаться, питаться, защищаться от опасности, нападать, обладающее рефлекторной деятельностью – более, чем на 99,9% состоит из воды, и, по-видимому, совсем другой, чем морская вода, в которой она плавает. Получается, что медуза – это ожившая вода! Конечно, если медузу высушить и собрать отдельно ее воду, то в этой воде (как и в сухом остатке) следов жизни не обнаружится. Неизбежный вывод – субстанциональная основа живых существ – организованная вода.

Медуза – один из крайних примеров обводненности живого организма. Но с химической точки зрения любой живой организм состоит из воды более, чем на 99%. Концентрация воды в воде – 55.6 М, а концентрация всех остальных веществ в ней не превышает долей молей для солей, а для низко- и высокомолекулярных биоорганических молекул – сотых и тысячных долей моля (хотя по массе их содержание может составлять десятки процентов). Учитывая гигантскую концентрацию воды в биосистемах и то, что вода химически далеко не инертна, она обязана участвовать в биохимических реакциях в качестве полноправного реагента. Более того, вода может пребывать в разных состояниях, как минимум, в свободном и в связанном, а ее состояния, безусловно, определяют ее химическую активность.

Об особой организации воды живых систем, обусловленной ее взаимодействием с биополимерами и ионами, давно писали Д.Н. Насонов, А.С. Трошин, Г. Линг, А. Сцент-Дьерди, Л. Полинг. Их представления подкреплялись серьезными экспериментами и гораздо лучше объясняли и морфологические особенности живых организмов, и механизмы их жизнедеятельности, чем общепринятые гипотезы, в которых явно или неявно подразумевалось отсутствие существенных различий между состоянием воды в разбавленных водных растворах и в протоплазме. Но только в самое последнее время среди широких кругов клеточных биологов стал появляться интерес к структурным особенностям клеточной воды.

Неполнота биоэнергетических представлений.

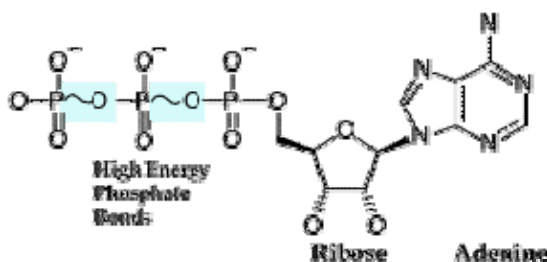
Жизнедеятельность, т.е. динамизм биологической материи, обеспечивается биоэнергетическими процессами. По большому счету наука о том, как и в какой форме (или формах) клетка генерирует энергию, как ее аккумулирует и как устроены механизмы преобразования энергии в полезную работу жизнедеятельности, находится почти в зачаточном состоянии. Такое заявление сразу может вызвать возражение – а как быть с подробным описанием биохимических механизмов извлечения энергии из основных ее источников – углеводов и жиров, с выяснением механизма синтеза в митохондриях «универсальной энергетической валюты клетки» – АТФ? Не умаляя замечательных достижений биоэнергетики в этих областях, следует все же отметить, что до сих пор остается неясным, как заключенная в АТФ энергия трансформируется в выполнение полезной работы. Остаются открытыми и такие вопросы: служат ли известные пищевые вещества единственным источником энергии, является ли главный путь, на котором происходит синтез АТФ – электронно-транспортная цепь митохондрий – основным путем преобразования энергии в доступную для использования форму – АТФ?

Недавно проф. К.Г. Коротков обратил мое внимание на пример, ярко свидетельствующий, насколько неполны наши представления о биоэнергетике. Были опубликованы результаты исследования энергозатрат перелетных птиц в сопоставлении с возможными источниками энергии для осуществления их перелетов [3]. Оказалось, что жировая масса, которую птицы накапливают перед перелетом, остается по его окончании неизменной, а общие потери веса составляют менее 6%. Проф. Коротков рассчитал, что если эти потери обусловлены сжиганием наиболее богатых энергией углеводов (что, вообще-то говоря, недоказано), то, с учетом КПД преобразования энергии сахаров в АТФ, этот источник может покрыть не более трети той работы, которую требуется осуществить птице, летящей над сушей. Что же касается птиц, летящих через Атлантический океан, то они должны умереть от истощения где-то на полдороги [4]. Что же служит окисляемым кислородом субстратом у птиц в процессе перелета, если обычного органического топлива для этого явно недостаточно?

Современная биоэнергетика не отвечает на такие вопросы, может быть, потому, что и здесь упущено что-то важное. Поэтому вернемся снова к мыслям Альберта Сцент-Дьерди, которые в свое время услышаны не были: «Биоэнергетика – это особый раздел химии воды ... вода образует неделимую систему со структурными элементами (клетки) обеспечивая возможность существования электронных возбуждений, невероятных при других обстоятельствах. В структурированной воде электронные возбуждения могут быть удивительно долгоживущими – обстоятельство первостепенной важности для переноса энергии в биологических системах» [5]. Так, может быть, вода одновременно является и основой структурной организации живых систем, и неотъемлемым участником энергетического потока, оживляющего биологическую материю?

Вода и классическая биоэнергетика.

Классическая биоэнергетика рассматривает в качестве основного источника энергии молекулу АТФ. Как написано в учебниках, АТФ играет эту роль благодаря наличию в ней «макроэргических связей» -- богатых энергией связей между терминальными остатками фосфорной кислоты, которые, в отличие от обычных химических связей, обозначаемых знаком тире (—), символизируют волнистой линией (~):



Структурная формула молекулы АТФ.

Для обеспечения энергией любого акта жизнедеятельности, например, мышечного сокращения, АТФ должна распасться на два фрагмента – молекулу АДФ и остаток фосфорной кислоты. Такой распад – суть гидролиз, т.е. разложение с участием воды. Значит, энергия освобождается при сопряженном процессе распада молекул АТФ и H_2O , и если последнее затруднено, то реализовать энергию молекулы АТФ трудно. А чтобы запасти энергию в молекуле АТФ, ее необходимо синтезировать, соединив молекулу АДФ с остатком фосфорной кислоты. При этом молекула воды освобождается. Как же в клетке, которую в биохимии молчаливо считали не слишком концентрированным раствором (вспомним, что более 99% всех молекул клетки – это H_2O), вообще может идти синтез АТФ? Ведь освободившуюся при соединении двух кирпичиков молекулу воды, казалось бы, не так уж просто «вытолкнуть» в окружающую воду. Но если большая часть молекул воды там, где идет синтез АТФ, не свободна, а связана, то образовавшейся молекуле воды гораздо проще покинуть место своего рождения. Значит, там, где идет синтез, свойства водной среды могут значительно отличаться от ее свойств в местах гидролиза.

Другой известный источник энергии – это разность электрических потенциалов между клеткой и средой за счет неравномерного распределения между ними ионов калия и натрия. Концентрация K^+ в живой клетке много выше, чем в среде, а Na^+ гораздо больше в среде, чем в клетке. Особенно велика разница потенциалов в нервных клетках. Проведение нервного импульса – это электрический разряд, при котором ионы калия выбрасываются из клетки, а ионы натрия входят в нее. Затем клетка направляет энергию обмена веществ на восстановление разности электрических потенциалов между протоплазмой и средой. На роль воды здесь почти не обращают внимания, хотя каждый ион K^+ и Na^+ окружен несколькими молекулами воды и ее перераспределяется много больше, чем ионов. К тому же, структурные особенности воды в гидратных оболочках K^+ и Na^+ сильно разнятся. Значит, состояние воды и в клетках, и во внеклеточной среде должно определять эффективность проведения нервных импульсов, т.е. влиять на работу нервной системы. То же можно сказать и о других возбудимых клетках, да и клетках, считающихся невозбудимыми, у которых изменения разности электрических потенциалов между клеткой и средой также функционально значимы. Другими словами, состояние воды существенно для электрической активности всех клеток живого организма.

Наиболее убедительно связать классическую биоэнергетику и состояние воды в протоплазме удалось, по нашему мнению, Гилберту Лингу в его гипотезе ассоциации-индукции (АИ-гипотезе). АИ-гипотеза была сформулирована впервые еще в начале 1960-х годов [6], но Линг продолжает совершенствовать ее до самого последнего времени [7]. Здесь мы можем изложить его гипотезу лишь фрагментарно, в связи с тем, как она позволяет объяснить механизм реализации биоэнергетического потенциала АТФ.

АИ-гипотеза основана на ограниченном наборе постулатов. Во-первых, клетка отличается от окружающей ее среды значительно более высокой концентрацией белков. Поскольку внутриклеточные белки по преимуществу заряжены отрицательно, они притягивают противоионы, причем по целому ряду причин ионы K^+ служат намного более предпочтительным противоионом гидратированных белков, чем Na^+ . Это служит основой избирательного накопления K^+ клетками в среде, существенно обогащенной Na^+ . Такие свойства протоплазмы (системы Вода-Белки- K^+) – необходимое, но не достаточное условие *живого состояния* клетки. Линг определяет живое состояние, как состояние с высоким энергетическим потенциалом и низкой энтропией. Интересно, что это определение близко к представлениям о живом состоянии Эрвина Бауэра. Его принцип «устойчивого неравновесия» соответствует высоко энергетичному состоянию системы, а концепция о «структурной энергии», которой обладает «живой белок» – низкоэнтропийному их состоянию [8]. Линг конкретизирует, что живое состояние системы Вода-Белки- K^+ обеспечивается субстанциями, которые он называет «главными адсорбентами». Самым главным из них является АТФ, который адсорбируется многими белками, в первую очередь, миозином, отвечающем за подвижность клеток. Сродство АТФ к миозину чрезвычайно велико – 10^{-11} - 10^{-13} М, т.е. связывание практически необратимо [9]. Линг отметил, что энергия, освобождающаяся при связывании АТФ с белками, много больше энергии, освобождающейся при гидролизе АТФ в растворе, и указал, что энергия адсорбции индуцирует разворачивание молекулы белка. Молекулы АТФ связываются с белками своими положительно заряженными «головками», и чем больше отрицательно заряженных аминокислот содержат белки, тем больше молекул АТФ они связывают. А поскольку отрицательно заряженные

остатки фосфорной кислоты экспонированы наружу, то их электростатическое отталкивание способствует распрямлению белков и значительному увеличению их площади.

Вокруг распрявленного белка вода выстраивается в несколько слоев, в которых ионы K^+ растворяются значительно лучше ионов Na^+ , что и обеспечивает существенное превышение внутриклеточной концентрации K^+ над Na^+ в клетках, богатых АТФ. Это, по Лингу, и есть *живое состояние* – состояние клетки с высоким энергетическим потенциалом и низкой энтропией. Вода, структурированная растянутыми макромолекулами, обеспечивает неравновесное распределение ионов, а, значит, и наличие электрохимического потенциала между двумя фазами – фазой структурированной воды гидратной оболочки макромолекулы и фазой, представленной по-другому организованной (или более дезорганизованной) водой, не входящей в оболочку макромолекулы. Устойчивость неравновесного состояния обеспечивается как высокой степенью сродства АТФ к связывающим центрам макромолекулы, так и тем, что дипольные молекулы воды выстраиваются на поверхности белка в шахматном порядке. Такой организации способствует дипольная природа пептидных связей (карбонил – «дельта-минус», амид – «дельта-плюс»). Благодаря эффекту индукции, первый монослой воды организует над собой второй и т.д.

Система, находящаяся в неравновесном состоянии, способна совершить работу при переходе в более равновесное состояние, когда ее потенциал снижается, а энтропия растет. Система из вытянувшихся, благодаря адсорбции на них АТФ белков, которые структурируют заключенную между ними воду, избирательно поглотившую ионы калия – это, фактически особая форма напряженного геля. Такие гели бурно реагируют даже на незначительные по силе воздействия импульсы, переходя в более равновесное состояние. Если при действии импульса на неравновесный белковый гель в нем происходит гидролиз нескольких молекул АТФ, то образующаяся АДФ тут же диссоциирует, т.к. сродство к белкам АДФ, на порядки величины ниже, чем АТФ. Энергия электростатического распрямления белка падает, он сжимается, гидратная оболочка сбрасывается, происходит перераспределение ионов. Часть освобожденной энергии обеспечивает ускорение гидролиза все новых молекул АТФ, ускорение сжатия молекул белка, и т.д. Этот процесс, по существу, кооперативный, т.е. самоускоряющийся фазовый переход водной системы из одного состояния в другое. В ходе его происходит превращение запасенной в напряженном белковом геле структурной энергии в полезную работу. Джералд Поллак недавно выдвинул и обосновал гипотезу о том, что фазовые переходы в напряженных гидрогелях являются механизмом реализации таких проявлений жизнедеятельности, как секреция, транспорт, коммуникация, подвижность, деление, наконец, мышечное сокращение и другие формы клеточной подвижности [10].

Таким образом, классической биоэнергетике, основным предметом изучения которой являются механизмы генерации, хранения и использования энергии, главным образом, в форме АТФ, для продвижения к пониманию этих механизмов необходимо учитывать фундаментальную роль воды, точное водно-полимерных систем («гелей») в реализации биоэнергетических процессов. В частности, без этого жизнедеятельность «живой воды» – медузы (gelly-fish – «рыба-гель» по-английски), кажется чудом.

Однако, как сейчас становится все более ясно, биоэнергетика не сводится к классическим представлениям. Организм генерирует и использует и другие формы энергии, помимо той, что так или иначе связана с АТФ. Вода играет фундаментальную роль и в нарождающейся неклассической биоэнергетике.

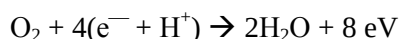
Роль горения в биоэнергетике.

Основным, если не единственным источником энергии для всех процессов жизнедеятельности служат окислительно-восстановительные реакции. Их суть в том, что доноры электронов, обладающие высоким восстановительным потенциалом, передают «горячие» электроны акцепторам, имеющим меньший восстановительный потенциал. При этом донор электрона (восстановитель) окисляется, а акцептор (окислитель) восстанавливается. Энергия электрона снижается, а освобожденная энергия либо рассеивается, либо при соответствующих условиях обеспечивает выполнение полезной работы. Восстановленный акцептор может, в свою очередь, стать донором электронов для акцептора с более низким восстановительным потенциалом и реакция повторяется.

Восстановительный потенциал электрона, «перескакивающего» с одной ступеньки на другую становится все ниже.

Именно такие реакции, протекающие в электрон-транспортной цепи митохондрий, служат источником энергии для производства АТФ. Но чтобы из начального потенциала электрона извлечь максимум энергии, в конце цепочки должен быть акцептор, при попадании на который процесс завершится. В митохондриях конечным акцептором электронов служит кислород. Здесь он выступает в роли стока для электронов, полностью отдавших на промежуточных ступеньках свой энергетический потенциал, разбив его по дороге на мелкие порции. Окислительно-восстановительный процесс, при котором энергия выделяется в виде порций, эквивалентных квантам тепловой энергии, а кислород выступает конечным акцептором электронов, называется «тлением». В современной биоэнергетике рассматривается лишь это путь кислородного дыхания.

Но существует и другой путь извлечения энергии из разности потенциалов между «горячими» электронами и кислородом – прямое последовательное восстановление молекулы кислорода четырьмя электронами:



Энергия при таком окислительно-восстановительном процессе выделяется в виде порций, достаточных для электронного возбуждения участников реакции. Энергия электронного возбуждения (ЭЭВ) соответствует энергии квантов видимого и даже УФ-света. Этот процесс называется «горением». Обычно горение сопровождается выделением света и тепла, но тепло – не непосредственный результат прямого восстановления кислорода, а результат рассеивания первично генерируемой ЭЭВ по нисходящим квантовым уровням. Горение сопровождается выделением тепла в слабо организованных системах. В хорошо организованных системах горение сопровождается излучением «холодного» света, безо всякого тепла. Классическим примером такого горения в биологии является биолюминесценция, излучение видимого света живыми организмами – бактериями, рыбами, всем известными светлячками.

До сих пор широко распространено мнение, что прямое восстановление кислорода («горение») – это побочный и опасный эффект кислородного дыхания, «ошибка метаболизма», когда, например, электроны, бегущие по электрон-транспортной цепи митохондрий, «случайно» соскакивают на молекулу кислорода задолго до того, как они растратят весь свой энергетический потенциал. Горение считается опасным, потому что на этом пути образуются так называемые «активные формы кислорода» (АФК). К этим промежуточным продуктам прямого восстановления кислорода относятся свободные радикалы типа супероксидного анион-радикала ($\text{O}_2^{\bullet-}$), его протонированной формы ($\text{HO}_2^{\bullet}$), продукты рекомбинации этих форм – перекись водорода (H_2O_2) и синглетный, т.е. электронно-возбужденный молекулярный кислород ($^1\text{O}_2$), продукт разложения перекиси – гидроксил-радикала ($\text{HO}^{\bullet}$), продукты их взаимодействия с хлором, азотом т.д. АФК считаются опасными реагентами, поскольку, благодаря своей высокой и мало контролируемой в экспериментах *in vitro* активности, они необратимо повреждают липиды, белки, нуклеиновые кислоты. Результаты исследования действия АФК *in vitro*, в неполноценных биологических системах (в культурах клеток, изолированных органах и тканях), при экстремальных ситуациях, принято экстраполировать на процессы, протекающие в полноценных биологических системах. Из-за такой, неправомерной, по нашему мнению, экстраполяции широко распространилось мнение об универсальной патогенности АФК и о необходимости всеми мерами подавлять их образование (см. обзор этих взглядов [11]).

Однако стало появляться все доказательств того, что АФК выступают в живых системах в роли биорегуляторов практически всех процессов жизнедеятельности, хотя механизм их регуляторного действия трудно объяснить в рамках доминирующих концепций биохимии и физиологии. Становится также ясно, что прямое восстановление кислорода – отнюдь не экзотический способ его потребления в сравнении с митохондриальным дыханием. Даже в состоянии покоя у животных по этому пути может утилизироваться 15-20% всего потребляемого кислорода, а при повышенной физиологической активности (например, на ранних стадиях эмбриогенеза, интенсивных реакциях на внешние факторы) прямое восстановление кислорода может даже доминировать над классическим митохондриальным дыханием. В крови и нервной системе такой способ дыхания доминирует всегда. В то же время содержание АФК в клетках и межклеточном матриксе всегда очень низко и даже в крайних

ситуациях не превышает микромолярного уровня. Образующиеся на этом пути АФК немедленно устраняются вездесущими «антиоксидантными» ферментами. Так, супероксиддисмутаза убирает супероксидные радикалы, каталаза и другие пероксидазы – перекись водорода, а антитела (иммуноглобулины) «уничтожают» синглетный кислород, окисляя им воду (ссылки см. [11, 12]). Конечный химический продукт всех этих реакций – вода, но другой продукт, на который внимание было обращено лишь недавно [13] – ЭЭВ, которая освобождается при каждом акте рекомбинации электронов на пути одноэлектронного восстановления кислорода.

Энергия в форме электронного возбуждения по целому ряду причин не привлекает внимания биохимиков, поскольку на основе классических представлений трудно понять, почему она сразу не рассеивается, и как ее можно использовать вообще. В свое время Сцент-Дьерди поставил ряд оригинальных опытов, которые привели его к пророческому выводу, что «биоэнергетика – это не что иное, как специальный раздел химии воды» и что «...вода организуется в нераздельную систему со структурными элементами клетки, давая возможность реализации электронных возбуждений, крайне маловероятных в других ситуациях... В структурированной воде электронные возбуждения могут не релаксировать весьма долго, что может быть крайне важным для переноса энергии в биологических системах» [14]. Все это оказалось забыто, пока не появились новые данные, не только свидетельствующие о правоте Сцент-Дьерди, но и позволяющие конкретизировать его представления.

Вода – трансформатор и генератор энергии высокой плотности в живых системах.

Выше утверждалось, что существенная часть воды в организме организована поверхностями, которые она гидратирует. Такая вода приобретает полимерные свойства. Известно, что полимеры могут претерпевать серьезные химические превращения под действием таких факторов, которые никак не влияют на низкомолекулярные соединения. Например, сжатие-растяжение полимеров под действием звука, колебаний температуры, других механических воздействий приводит к разрывам в них валентных связей и появлению свободных радикалов. Получается, что полимеры трансформируют механическую энергию, например энергию звуковых волн, которая является энергией чрезвычайно низкой плотности (частота осцилляций – герцы-килогерцы) в энергию высокой плотности (частота осцилляций 10^{14} - 10^{15} Гц), достаточную для разрыва внутримолекулярных связей полимеров. Возникшие радикалы в присутствии кислорода инициируют цепные и разветвлено-цепные окислительно-восстановительные реакции. Оказалось, что вода, особенно структурированная приповерхностная вода, под влиянием механических воздействий также может расщепляться на радикалы ($H\bullet$ и $\bullet OH$) [15, 16]. В ней появляется H_2O_2 , которая при распаде дает молекулярный кислород. Если же кислород в воде уже есть, она становится участником разветвлено-цепных процессов, в которые вовлекается все больше кислорода, продуцируются его активные формы и выделяются достаточно мощные импульсы ЭЭВ [17]. Таким образом, структурированная приповерхностная вода способна генерировать ЭЭВ, т.е. энергию высокого качества, либо преобразуя в нее низкокачественную энергию, либо непосредственно продуцируя ее за счет восстановления кислорода. А благодаря гигантской площади поверхности белков, поверхностей раздела между клетками и их средой и т.д., чуть ли не вся вода живых организмов в той или иной мере структурирована. Благодаря же фазовым переходам в таких гелях, структурированная (квази-полимерная) вода постоянно подвергается действию как минимум механических сил.

Недавно был открыт еще один связанный с водой механизм горения. Выше упоминалось, что все антитела (иммуноглобулины) катализируют окисление воды синглетным кислородом – одной из наиболее активных форм кислорода [18]. Другими словами, антитела способствуют горению воды. Механизм этого удивительного явления оказался связан с тем, что реальным катализатором этой реакции служит сама вода, соответствующим образом организованная белками в пространстве. В ходе реакции, помимо относительно устойчивого ее продукта H_2O_2 , образуются такие экзотичные пероксиды, как HO_2OH , HO_2OOH , HO_2-HOOH [19]. Весьма вероятно, что водные структуры, способные катализировать эту реакцию формируются не только антителами. А поскольку один из реагентов (синглетный кислород) постоянно поставляется реакциями дисмутации супероксидных радикалов, расщепления перекиси водорода и др., то процесс «горения» воды, сопровождаемый генерацией ЭЭВ, совсем не является чем-то исключительным. Действительно, мы наблюдали, что окисление воды сопровождает процесс медленного автоокисления аминокислот в водных растворах

[20], что его катализируют обычные для внутренней среды организма карбонаты и фосфаты [21] и даже благородный газ аргон [22], содержание которого в воздухе достигает 1%.

Таким образом, вода – основная субстанция всех живых организмов, может служить и источником АФК и топливом, сжигаемым кислородом, а то обстоятельство, что существенная часть воды в организме динамически структурирована, повышает вероятность ее расщепления и окисления со всеми вытекающими последствиями. Тогда при определенных обстоятельствах вода становится источником энергии, заменяющим обычные пищевые субстраты, и это может объяснить тот удивительный факт, что перелетные птицы не погибают от истощения, затрачивая на перелет объем энергии, существенно превышающий тот, что может быть получен из сжигания кислородом жиров, белков и углеводов.

Биоинформационное значение горения воды и горения в водных системах.

Окислительно-восстановительные процессы, протекающие в воде и водных системах, в ходе которых генерируется ЭЭВ, служат не только источниками энергии высокого качества, но могут в широком диапазоне условий автоматически приобретать колебательный характер. Тогда они могут служить ритмоводителями для зависимых от них биохимических реакций. Появление при таких реакциях АФК и генерация ЭЭВ позволяет вовлекать в оборот других участников – обычно химически инертные диоксид углерода (карбонаты) и азот. Те могут превращаться в карбонилы и амины, которые легко конденсируются, давая начало так называемой реакции Мейяра, в ходе которой возникают биологически активные гетероциклические, ароматические полимерные соединения, а также происходит дополнительная активация кислорода и генерация ЭЭВ. В ходе реакции Мейяра, протекающей в растворе простейших биомолекул, возникают устойчивые и мощные по амплитуде осцилляции фотонной эмиссии и окислительно-восстановительного потенциала [23]. Различия в редокс-потенциале внутри одной водной реакционной системы могут достигать 0,5 в. Такие различия обусловлены, очевидно, динамикой окислительно-восстановительного статуса водной основы реакционной системы, причем в разных частях одного и того же водного раствора могут сосуществовать области с высоким окислительным и высоким восстановительным потенциалами.

Генерация ЭЭВ является главной причиной самоорганизации, выражающейся в появлении устойчивых колебательных режимов в водных системах, в которых активируется кислород, окисляется вода. Поскольку в водных системах, как отмечал еще Сцент-Дьерди, ЭЭВ релаксирует медленно, то при непрерывной ее генерации в ходе реакций с участием АФК происходит быстрое выжигание присутствующим в воде кислородом всех доступных восстановителей и исчерпание в ней свободного молекулярного кислорода. В этих условиях в воде начинают накапливаться восстановительные, т.е. легко окисляемые эквиваленты («активный водород»). Кислород продолжает диффундировать в среду из воздуха, и когда его концентрация и концентрация активного водорода достигает критической, порождается новая волна горения, при развитии которой кислород исчерпывается, и вспышка угасает, пока не возникнут условия для новой вспышки. Таким образом, колебательный характер процесса – естественное свойство таких систем.

По существу, речь идет о двух- и многофазных системах, в которых одна из фаз может быть представлена воздухом, а другая водой, либо обе фазы – водные, однако не смешивающиеся друг с другом из-за разной структурной организации в них воды. Яркий пример подобной системы – клетки в культуре, где одна из фаз – вода, организованная белками протоплазмы, другая – вода клеточной среды. Действительно, при изучении дыхания клеток в культуре было обнаружено, что каждая индивидуальная клетка дышит (потребляет кислород с генерацией АФК) ритмично, хотя никакими специальными дыхательными центрами отдельные клетки не оснащены [24]. При этом частота и глубина дыхательных ритмов у клеток модулируется не только естественными биорегуляторами, к которым относятся гормоны и нейромедиаторы, но и ритмично подаваемыми импульсами электрической, магнитной, механической природы. Интенсивность таких импульсов может быть сверх-низкой, но если они подаются с частотой близкой к собственной частоте дыхания клеток, они могут очень сильно влиять как на амплитуду, так и на частоту дыхательных ритмов. Цикличность дыхания характерна не только для отдельных клеток, но и для их популяций. Например, в суспензии

нейтрофилов, содержащих сотни тысяч клеток постепенно устанавливается общая для всех ритмичность потребления кислорода и производства АФК [25].

Заключение.

А.Г. Гурвич, первооткрыватель способности живых организмов генерировать при дыхании энергию электронного возбуждения, необходимую для клеточного деления («митогенетическое излучение») определял жизнь как «неудержимый структурированный процесс» [26]. Здесь объединяется представление и о том, что процесс жизни требует для своего протекания структурной основы, и о том, что сам этот процесс обладает определенной структурой.

Живые организмы в тех известных нам земных формах представляют собой организованные водно-белково-ионные системы, в которых белки и другие биополимеры структурируют воду, а та структурирует их. Процесс жизни поддерживается в этих системах непрерывной генерацией энергии, ее превращениями и использованием для сохранения их живого состояния, например, в том смысле, как его определяли независимо друг от друга Линг и Бауэр.

Мы попытались показать, что и в энергообеспечении жизни вода играет ключевую, а может быть и первичную роль и как источник главного окислителя – кислорода, и как окисляемое им топливо. Говоря о воде, мы имеем в виду отнюдь не набор молекул H_2O . Молекулы H_2O выступают лишь в роли элементов, из которых могут быть построены различные структуры – «машины». «Машины» одного типа обеспечивают расщепление молекул воды до атомов Н и О или фрагмента •ОН для из последующего использования в качестве восстановителей и окислителей. «Машины» другого типа способствуют окислению воды, т.е. ее горению. Вообще говоря, разные типы таких водных «машин» могут сосуществовать в одной и той же системе, и тогда она приобретает свойства живого тела.

Безусловно, живое тело может существовать лишь как открытая система, т.е. система, которая взаимодействует с внешней средой, черпая из нее вещество и энергию. Но в простейшем случае для существования нашего воображаемого живого водного тела качество потребляемой из среды энергии значения не имеет. Структурированная вода, как было показано выше, способна трансформировать энергию низкого качества в энергию высокого качества, которую можно и удерживать в той или иной форме, а, значит, накапливать, и трансформировать в разные виды работ. Что касается вещества, то основное вещество, которое нужно нашей живой системе для продолжения существования, – это та же вода, поскольку потери воды в процессе жизнедеятельности неизбежны. А для сохранения структурированных состояний нашей живой системе требуется совсем немного других соединений, ведь она пока устроена даже проще, чем медуза, у которой на долю всего остального, помимо воды, приходится меньше 0,1%. Таким образом, высказывание писателя и провидца Антуана де Сент-Экзюпери: «Вода! Ты не просто необходима для жизни, ты и есть сама жизнь» – не просто красивая поэтическая метафора, а естественно-научный факт.

Литература.

1. Szent-Gyorgyi A. Bioelectronics: A Study in Cellular Regulations, Defense, and Cancer. Academic Press, New York, 1968, p 4.
2. Gortner, R.A. (1930) The state of water in colloidal and living systems. Trans. Faraday Soc., 26: 678-686.
3. Wikelski M., Tarlow E.M., Raim A., et al. (2003) Avian metabolism: Costs of migration in free-flying songbirds. Nature, 423, 6941, p 704.
4. Коротков К.Г. Личное сообщение.
5. Szent-Gyorgi A. Bioenergetics. Academic Press. New York. 1957.
6. Ling, G.N. A Physical Theory of the Living State: the Association-Induction Hypothesis. Blaisdell Publ. Co. Waltham, MA. 1962.
7. Ling G.N. Life a the Cell and Below-Cell Level; The Hidden History of a Fundamental Revolution in Biology. New York, Pacific Press, 2001.
8. Бауэр Э.С. Теоретическая биология. Изд-во ВИЭМ, М.-Л., 1935.

9. Trentham D.R., Eccleston J.F., Bagshaw C.R. (1967) Kinetic analysis of ATP-ase mechanisms. *Quat. Rev. Biophys.* 9; 218-281.
10. Pollack G. H. *Cells, Gels and the Engines of Life: A New, Unifying Approach to Cell Function*. Ebner & Sons, Seattle, WA, 2001.
11. Voeikov V.L. (2006) Reactive Oxygen Species(ROS): Pathogens or Sources of Vital Energy? Part 1. ROS in Normal and Pathologic Physiology of Living Systems. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 12, 2, pp. 111-118.
12. Voeikov V.L. (2006) Reactive Oxygen Species (ROS): Pathogens or Sources of Vital Energy? Part 2. Bioenergetic and Bioinformational functions of ROS *Journal of Alternative and Complementary Medicine*. 12, 3, pp. 265-270.
13. Voeikov V. (2001) Reactive Oxygen Species, Water, Photons, and Life. *Rivista di Biologia/Biology Forum*, 94, pp. 193-214
14. Сцент-Дьерди А. Биоэнергетика. ГИЗ физ-мат. литературы, Москва, 1960, с. 54-56.
15. Домрачев Г.А., Ролдыгин Г.А., Селивановский Д.А. (1993) Механо-химическая диссоциация воды в жидкой фазе. *Доклады РАН*, **329**, с. 258-265.
16. Ikeda S., Takata T., Komoda M., et al. (1999) Mechano-catalysis -- a novel method for overall water splitting, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **1**, 4485-4491.
17. Воейков В.Л., Чалкин С.Ф., Нилов С.Н. (2005) Сверхслабое свечение влажного воздуха, индуцированное УФ-фотонами сверхнизкой интенсивности. *Геофизические процессы и биосфера*. 4, №1/2 с. 101-111
18. Wentworth A.D., Jones L.H., Wentworth P., et al. (2000).Antibodies have the intrinsic capacity to destroy antigens, *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 97, 10930–10935.
19. Xu X., Muller R.P., Goddard 3rd W.A. (2002).The gas phase reaction of singlet dioxygen with water: a water-catalyzed mechanism. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 99, 3376-3381.
20. Voeikov V.L., Baskakov I.V., Kafkialias K., Naletov V.I. (1996).Initiation of degenerate-branched chain reaction of glycine deamination with ultraweak UV irradiation or hydrogen peroxide, *Russ. J. Bioorg. Chem.* 22, 35-42
21. Bruskov V. I., Chernikov A. V., Gudkov S. V., Masalimov Zh. K. (2003).Activation of reducing properties of anions in sea water under the action of heat, *Biofizika*. 48, 1022-1029.
22. Voeikov V. L., Khimich M. V. (2002). Amplification by argon of luminol-dependent chemiluminescence in aqueous NaCl/H₂O₂ solutions, *Biofizika*. 47, 5-11.
23. Voeikov V. L., Koldunov V. V., Kononov D. S. (2001). New oscillatory process in aqueous solutions of compounds containing carbonyl and amino groups, *Kinetics and Catalysis (Moscow)*. 42, 606-609.
24. Kindzelskii A. L., Petty H. R. (2002). Apparent role of traveling metabolic waves in oxidant release by living neutrophils, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 99, 9207-9212.
25. Voeikov V.L., Asfaramov R., Bouravleva E.V., et al. (2003). Biophoton research in blood reveals its holistic properties. *Indian J. Exp. Biol.*, 43, 473-482.
26. Гурвич А.Г. Принципы аналитической биологии и теория клеточных полей. М., "Наука", 1991, 287 с.