

Структурно-биологические эффекты воды и водных растворов

УДК 546.212

Вода как сенсор слабых воздействий физической и химической природы

В. И. Лобышев

ВАЛЕНТИН ИВАНОВИЧ ЛОБЫШЕВ — доктор физико-математических наук, заслуженный профессор МГУ им. М.В.Ломоносова, заведующий кафедрой физики СУНЦ МГУ им. М.В.Ломоносова, профессор, ведущий научный сотрудник кафедры биофизики Физического факультета МГУ. Область научных интересов: структура и роль воды и водных растворов в биологических системах, биологические эффекты нерадиоактивных изотопов, термостабильность биополимеров.

119992 Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, тел. (495)939-16-87, E-mail lobyshev@yandex.ru

Вода играет многообразную роль в биологических процессах [1, 2], что обусловлено ее уникальными свойствами [3–5]. Рассматривая проблему чувствительности воды к слабым внешним воздействиям, необходимо подчеркнуть, что реальная вода является сложной системой, она не состоит лишь из молекул H_2O . Концентрации диссоциированных протона и гидроксид-иона, создающих дефекты структуры воды, составляют около $10^{-7}M$. Наличие двух стабильных изотопов водорода и трех — кислорода приводит к появлению девяти форм молекул, из которых наиболее представлены $H_2^{18}O$, $H_2^{17}O$ и $DH^{16}O$. Суммарные концентрации изотопов ^{18}O , ^{17}O и D составляют соответственно 0,1M, 0,02M и 0,15 M, т.е. существенно больше, чем ионов в «обычной» воде. Обычно существенные изотопные эффекты наблюдают при больших концентрациях дейтерия, однако в биологических системах обнаруживаются неожиданно большие эффекты при малых изменениях концентрации дейтерия [6–9]. В воде содержатся растворенные газы — азот, кислород, углекислый газ и др., а также примеси органических и неорганических веществ, в том числе химические компоненты материала сосуда, в котором она хранится. Вода характеризуется весьма лабильным окислительно-восстановительным потенциалом вследствие генерации активных форм кислорода и азота под воздействием внешних факторов. Установлено различие физико-химических свойств и возможность разделения молекул орто- и пара-воды, обладающей параллельными либо антипараллельными спинами протонов [10, 11]. Биологическую роль таких спиновых состояний еще предстоит выяснить.

Таким образом, мы практически всегда имеем дело с раствором воды, т.е. сложной гетерогенной системой с большой совокупностью плохо контролируемых параметров.

В настоящее время хорошо известно такое фундаментальное явление, как влияние слабых внешних

полей на живые организмы [12–22]. Наряду с развитием представлений и моделей, объясняющих влияние слабых электромагнитных полей на системы и процессы в организме или живой клетке, высказываются суждения о том, что часть биологических эффектов может быть связана с действием этих факторов на свойства самой воды. Иными словами, вода является сенсором слабых физических и химических воздействий, вызывающих изменение ее физико-химических свойств и биологической активности. Это положение убедительно аргументируется экспериментами, в которых показано, что вода после соответствующей обработки сохраняет измененные свойства в течение длительного времени. Так, установлено, что практически любое достаточно продолжительное физическое воздействие на воду сопровождается появлением биологической активности, которая может сохраняться длительное время. Такую воду обычно называют активированной.

Физических факторов, которые обеспечивают получение активированной воды, очень много. Это: статические электрические и магнитные поля; квазистатические и переменные электромагнитные поля разных частот — от долей герц до 10^{11} Гц (диапазон КВЧ); видимый свет, лазерное излучение; тепловое воздействие, фазовые переходы; механическое воздействие (вибрация, ультразвук, разбрызгивание воды на внутреннюю поверхность резервуара — «левитирующая» вода); высокое статическое давление, пониженное давление (дегазирование); мембранный электролиз; статический и высокочастотный разряд (холодная плазма); сочетание двух и более из перечисленных факторов.

Во многих случаях при активировании воды наряду с биологической активностью обнаруживаются также изменения физико-химических характеристик водных систем, таких, как pH, окислительно-восстановительный потенциал, электропроводность, диэлектри-

ческая проницаемость, показатель преломления, спектры поглощения и излучения и др. [3, 13, 14, 16, 17, 23—34]. Из перечисленных выше способов использование магнитного поля имеет, по-видимому, самую длительную историю и широкий диапазон технологических приложений, среди которых наибольшее распространение получил метод «омагничивания» водопроводной воды с целью предотвращения образования накипи [13, 14, 31]. Однако понимание молекулярных механизмов изменения свойств жидкой воды в магнитном поле так и не достигнуто. Сложилось мнение, что «омагничиванию» подвергается только природная вода, содержащая ферромагнитные наночастицы и протекающая через неоднородное магнитное поле [32]. Однако результаты многих экспериментов не позволяют согласиться с этой точкой зрения как единственно верной.

Наиболее подробно, по-видимому, исследован процесс электрохимической активации воды в мембранных электролизерах, применяемый для получения высокоактивных метастабильных продуктов [33, 34]. Этот процесс используется для очистки воды, приготовления активных дезинфицирующих растворов, применяемых в сельском хозяйстве, ветеринарии, пищевой промышленности, медицине. Проведенное нами систематическое исследование физико-химических свойств католита и анолита из приэлектродных пространств мембранных электролизеров [35, 36], позволило выявить наличие в католите активных форм кислорода в виде пероксида водорода, помимо изменения рН и окислительно-восстановительного потенциала. Показано также, что в процессе релаксации свойств католита и анолита основную роль играет газообмен с окружающей средой, а сохранить в течение длительного времени измененный окислительно-восстановительный потенциал католита, обладающего стимулирующим биологическим действием, можно в твердом состоянии — льда. Отметим, что хотя основные следствия процесса мембранного электролиза воды и водных растворов солей стали понятными, однако причина низкого значения окислительно-восстановительного потенциала католита остается до конца неясной.

Активные формы кислорода и азота обнаружены также в воде, подвергаемой воздействию низкоинтенсивного ультразвукового поля [37, 38]. Образование пероксида водорода зафиксировано и при пропускании воды через капилляры [39] и даже при нагревании в течение 0,5 ч при 40°C [40]. Для формирования молекулы пероксида водорода требуется большая энергия. Возникает вопрос: откуда берется эта энергия при столь слабых воздействиях?

Сторонники гипотезы механохимического разложения воды полагают, что в воде при вязком течении, по аналогии с пластической деформацией твердых тел, возникают незаряженные дефекты Н и ОН [41]. При определенной концентрации этих нейтральных дефектов их подвижность и рекомбинация снова приводят к образованию молекул воды, молекулярного водорода и пероксида водорода, который регистрируется в эксперименте. Кроме того, нейтральные дефекты могут взаимодействовать также с ионами H^+ и OH^- , что приводит ко множеству высокоактивных соединений. Авторы работы, обнаружившие пероксид водорода в

воде при нагревании, считают, что вследствие статистического распределения молекул по энергиям есть конечная вероятность нахождения молекул воды с высокой энергией, достаточной для образования молекулы пероксида водорода. Обе этих трактовки требуют дополнительных обоснований. Но в любом случае следует признать достоверным экспериментально доказанный факт появления малых концентраций пероксида водорода в воде при очень слабых внешних воздействиях. Обнаружено также образование оксидов азота в воде под действием тепла и света [42].

Эти результаты перекликаются с результатами работ по исследованию влияния маломощного лазерного облучения в видимом и ближнем ИК диапазонах на свойства эритроцитов. Установлено, что при облучении крови светом определенных длин волн, соответствующих спектру поглощения молекулярного кислорода, преимущественно вне клеток генерируется синглетный кислород, приводящий к деформации эритроцитов [43, 44]. Феномен активации молекулярного кислорода инфракрасным излучением в системах, не содержащих пигментов, независимо был подтвержден в работе [45]. В настоящее время публикуется огромное количество работ, свидетельствующих о выдающейся биологической роли окислительно-восстановительного потенциала среды, поэтому имеющиеся данные об образовании активных форм кислорода и азота принципиально важны для понимания механизмов биологического действия активированной воды.

Достижимая современными методами анализа чувствительность определения пероксида водорода составляет не лучше 10^{-8} М. Можно предположить, что меньшие концентрации пероксида водорода всегда существуют в воде. Генерация пероксида водорода может быть следствием химической эволюции триплетного кислорода в водной среде и должна сопровождаться каскадом химических реакций, но они протекают на уровне очень малых концентраций, которые мы не умеем регистрировать. Поскольку реальные системы являются открытыми и всегда есть источники физических полей, в том числе тепловых, этот каскад реакций может поддерживаться за счет воздействия внешней среды. Следует заметить также, что вследствие малой вязкости воды очень небольшие, обычно пренебрегаемые градиенты температур приводят к возникновению потоков в жидкости, а это в свою очередь может привести к механохимическим процессам. Эти процессы в силу очень малых концентраций реагирующих компонент в отсутствие их окончательной рекомбинации могут быть длительными даже в изолированной системе.

Перейдем теперь к рассмотрению особенностей свойств сильно разбавленных водных растворов. В многочисленных исследованиях было установлено, что существует немонотонная дозовая зависимость наблюдаемых биологических эффектов от концентрации изучаемого препарата в области концентраций вплоть до 10^{-20} М [46, 47]. Обращают на себя внимание неожиданно большие биологические эффекты, сопровождающие малые вариации концентрации изотопа дейтерия в воде, возникающие при изменении фазового состояния воды (испарение, конденсация, замерзание, таяние) в круговороте ее в природе. Распространено мнение о том, что повышение содержания

дейтерия в воде приводит к ингибированию жизненных процессов, но это относится лишь к концентрированной тяжелой воде, не существующей в природе. В наших работах было показано, что увеличение содержания дейтерия в воде (до 1%) сопровождается ускорением гидролиза АТФ Na/K- и Ca-АТФазами, значительно превышающим степень ингибирования этой реакции в чистой D₂O [7], а также возрастает скорость регенерации гидроидных полипов [8]. При анализе феномена бурного развития жизни на границе тающего льда в Арктике нами было экспериментально установлено, что малые естественные вариации изотопного состава воды приводят к активации биологических систем, причем активирующее действие могут вызывать как пониженные, так и повышенные относительно океанического стандарта SMOW концентрации тяжелого изотопа [9]. В наших исследованиях [48] было также показано, что высокие концентрации тяжелой воды ингибируют рост культуры бактерий *Methylobacterium organophilum*, в то время как малые концентрации вызывают активирующий эффект.

Если механизм биологического действия растворенных веществ в области относительно малых концентраций (до 10⁻¹³ М) еще может быть понят в рамках существующих знаний [49], то объяснение эффекта сверхмалых концентраций затрудняется, поскольку теряется собственно статистический смысл концентрации (количество растворенного вещества может составлять одну или несколько молекул в расчете на одну клетку). В настоящее время идет накопление экспериментальных данных, но рационального объяснения результатов пока еще нет.

В гомеопатии используются еще большие разбавления, соответствующие «мнимым» концентрациям (термин, удачно предложенный В.Н. Бинги [17]), когда формально рассчитанное количество растворенного вещества становится меньше одной молекулы в исследуемом объеме. Поскольку гомеопатический способ приготовления препаратов, наряду с разбавлением, обязательно включает разного типа механические процедуры, называемые потенцированием или динамизацией, отмеченные выше сведения о генерации активных форм кислорода и азота в воде при механических воздействиях представляются принципиально важными. Но чаще всего при анализе эффектов, вызываемых слабыми воздействиями, в частности малыми концентрациями вещества в водных растворах, привлекают представления об изменении структуры воды.

В приложении к водным системам понятие о структуре очевидно для кристалла льда, в котором, как для любого кристалла, существует строго определенная кристаллографическая ячейка, бесконечно повторяющаяся и заполняющая полностью пространство в пределах кристалла. Кристаллическую решетку обычно исследуют дифракционными методами, используя рентгеновские лучи. Поскольку процедура рентгеноструктурного анализа длительная, а трансляционная подвижность кристалла практически отсутствует, получаемая дифракционная картина отражает результат усреднения колебательной структуры объекта. К сожалению, в настоящее время мы не располагаем методом исследования мгновенной структуры. Его заменяет лишь компьютерное моделирование, но его возмож-

ности пока сильно ограничены временем счета. Применение дифракционных методов к исследованию структуры жидкостей, в том числе воды, дает диффузионно усредненную картину. В отличие от кристаллов, структуре которых присущ дальний порядок, в жидкой воде из-за наличия трансляционной подвижности молекул имеет место лишь ближний порядок, т.е. можно зафиксировать расстояние между ближайшими соседними молекулами, которое мало отличается от такового во льду. Тем не менее структуру воды часто представляют как сеть водородных связей, объединяющих две и более молекул воды, т.е. рассматриваются колебательно усредненные структуры без трансляций.

Вода отличается от многих других веществ удивительным полиморфизмом. Это ярко проявляется в разнообразии структур льдов, которых насчитывается уже более двенадцати, полученных при различных температурах и давлениях. В области высоких давлений существует лед при температуре, существенно превышающей 100 °С. Вместе с тем полиморфизм твердой воды не является уникальным. Так, на фазовой *T, p* - диаграмме для серы найдено 12 стабильных кристаллических модификаций [50], а в области существования ее жидкого состояния обнаружено пять стабильных структур [51]. Полиморфизм наблюдается также в твердом состоянии и в расплавах других веществ, таких как Se, Р и Те [52]. Традиционное понимание аморфного и стеклообразного состояний веществ как структурно-однородной случайно связанной системы меняется в пользу представлений их как микрогетерогенных смесей в различных упорядоченных формах, в том числе и для аморфного состояния воды [52]. При анализе рамановских спектров жидкой воды, зарегистрированных при высоких температурах и давлениях, была обнаружена линия разрывов непрерывности (нижняя точка соответствует 0,4 ГПа и 25 °С) на зависимости частоты валентных колебаний от давления при разных температурах. Это интерпретируется как наличие областей существования минимум двух стабильных структур жидкой воды [53].

Следует отметить, что фазовые переходы между соседними формами льдов характеризуются небольшими изменениями энергии. Значительно большая энергия требуется для перехода льда в жидкое состояние. При плавлении льда вдвое увеличивается теплоемкость, что говорит о резком различии кристаллического и жидкого состояний. Но как же формируется пространственная структура воды? На этот счет имеются различные гипотезы.

Благодаря высокой симметрии молекулы воды образуют от одной до четырех водородных связей, вследствие чего в жидкой воде возможно формирование непрерывной сетки водородных связей с дефектами. Такая группа моделей, называемых непрерывными моделями, появилась давно, но приобрела большую популярность в настоящее время, в том числе в связи с использованием компьютерных методов молекулярной динамики. К сожалению, современные возможности не позволяют провести расчеты для большого ансамбля молекул воды на временах более наносекунды.

Около четырех десятилетий назад наиболее популярной была двухструктурная модель воды, развитая

во множестве модификаций, суть которой сводилась к представлению жидкого состояния как аддитивной смеси льдоподобной структуры и несвязанных одиночных молекул воды. Такие модели достаточно хорошо описывали термодинамические свойства жидкой воды в широком интервале температур. Тем не менее они оказались несостоятельными, поскольку предусматривали значительное количество свободных молекул воды в ее структуре, что противоречит экспериментальным данным.

Аналогичный подход доминировал и в описаниях свойств связанной воды в биологических системах, которой приписывали свойства обычного льда — модификации, обозначаемой как лед I. Полиморфизм кристаллических форм льда давал основание заключить о возможности многообразия структур связанной воды, но их рассматривали лишь как структуры, существующие в области очень высоких давлений. Правда, отмеченная выше энергетическая «близость» различных форм льда послужила основой метода оценки роли специфически связанной воды в фазовых переходах биополимеров [6].

Существуют также структуры воды в виде газогидратов и клатратов. Напомним, газогидраты — это структуры выпуклых многогранников, построенных из молекул воды и стабилизированных молекулой газа, размещающегося в полости многогранника и не образующего с ним химических связей. Классический пример — газогидраты метана, формирующиеся во влажном газе. Газогидраты могут образовываться и в жидкости в виде нанопузырьков. Клатраты — это также структуры из молекул воды, содержащие внутри гостевые молекулы. Такие структуры могут быть только дискретными, поскольку молекулами гостя могут быть лишь молекулы определенного размера, хорошо вписывающиеся в структуру клатрата и таким образом ее стабилизирующие. Множество аналогичных гипотетических структур, основанных на тетраэдрическом строении молекулы воды с элементами полиморфных льдов, подробно описаны на интернет-сайте [3].

Принципиальный шаг в развитии знаний о структуре воды был сделан при отходе от кристаллических форм к параметрическим структурам, рассматриваемым в обобщенной кристаллографии с использованием модульных представлений [54, 55]. Параметрические водные структуры должны играть ведущую роль в самоорганизации пространственных структур биологических систем разных уровней иерархии, так как они обладают основными структурными свойствами биосистем, включая хиральность. Знание модульных структур и принципов их сборки позволяет создавать модульный дизайн, предоставляющий практически неограниченные возможности для построения разнообразных структур, включающих стержни, спирали, сети, фракталы, плоские и канальные образования, комплементарные к различным биологическим структурам [56, 57]. Некоторые примеры таких структур даны на рис.1. Даже из немногочисленных примеров видно, что модульный дизайн дает возможность для системной самоорганизации тетраэдрических молекул воды.

Необходимо подчеркнуть, что приведенные примеры структур не являются равновесными, как структура льда I, обладающая строгой тетраэдрической симмет-

рией. Показанные на рис. 1 структуры слегка напряженные, и требуется небольшая дополнительная энергия для их создания. Запасенная энергия упругих напряжений параметрических структур связанной воды может высвобождаться при конформационных переходах биополимера, а сама связанная вода по этой причине может играть роль рабочего тела в механохимических, в том числе ферментативных процессах.

Характерно, что фрактальные структуры после проведения процедуры минимизации энергии обладают набором углов с максимумами вблизи 104° и 112° , но не при $109,5^\circ$, задаваемых исходно. Слабые воздействия, в том числе механический процесс потенцирования при приготовлении гомеопатических препаратов, вполне способны дать системе эту энергию, а существование минимума энергии сформировавшейся структуры обеспечивает ее стабильность. Сложившаяся структура оказывается практически нечувствительной к значительным изменениям потенциала взаимодействия. В этом заключается еще одно принципиальное отличие этих неравновесных структур от равновесных льдов и газовых гидратов. Кроме того, в отличие от льдообразных структур, описанные параметрические структуры обладают свойством хиральности, которое присуще и биополимерам, но которым не обладают химически синтезированные, в том числе многие лекарственные препараты. Различие в пространственном соответствии полярных групп аномерных глюкопираноз атомам кислорода в структуре воды, построенной из твист-гексагональных структур, позволяет объяснить различие в растворимости аномеров, что не удается сделать при рассмотрении воды как структуры льда I [57]. Заметим, что структуры, представленные на рис.1, могут комбинироваться, поскольку обладают одноклассными топологическими элементами. Так, например, во фрактальных и планарных структурах нетрудно обнаружить элементы спиралей 30/11 и спиралей 40/9. Локальная топологическая перестройка может привести к возникновению волны структурной перестройки посредством последовательного переключения водородных связей в протяженной структуре [58].

Остановимся на временных характеристиках процессов, происходящих в водных системах при воздействии слабых факторов. В отличие от быстрых релаксационных процессов время воздействия низкоинтенсивного фактора много больше времени жизни молекулы воды и по разным данным варьирует от нескольких минут до одного часа. Этот процесс практически не исследован.

Процесс релаксации (лучше сказать — эволюции системы) также характеризуется временами, весьма далекими от молекулярных масштабов. Многие авторы наблюдают характерные времена в интервале 5—16 мин. В наших исследованиях были зарегистрированы времена релаксационных процессов в водных растворах, составляющие около 12 мин, 110 мин, 24 ч и нескольких суток, после чего разбавленный водный раствор становится нечувствительным к слабым полевым воздействиям [26, 59]. Таким образом, только свежеприготовленный раствор либо свежечищенная вода, находящиеся в неравновесном состоянии, обладают чувствительностью к слабым воздействиям.

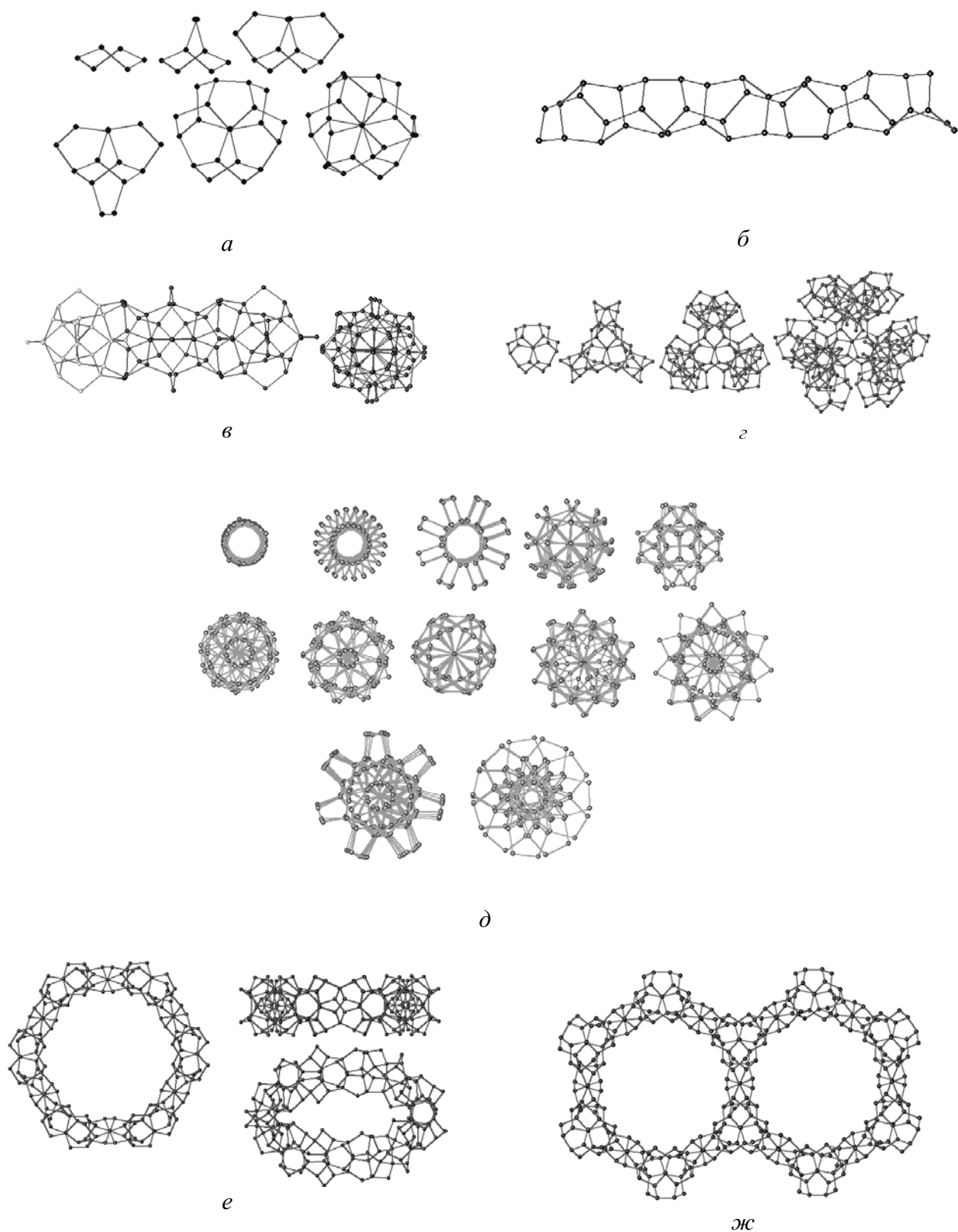


Рис.1. Параметрические модульные структуры:

a — усложнение простых модульных структур от твист-ванны до T0-модуля присоединением двух тетраэдрических атомов кислорода с последующей процедурой минимизации энергии; *б* — спираль 30/11, построенная из H-модулей; *в* — спираль из T-модулей в двух проекциях; *г* — звездчатые структуры из L-модулей; *д* — поперечные сечения некоторых спиралей с разной симметрией; *е* — кольцевая структура из L-модулей; *ж* — двойное кольцо

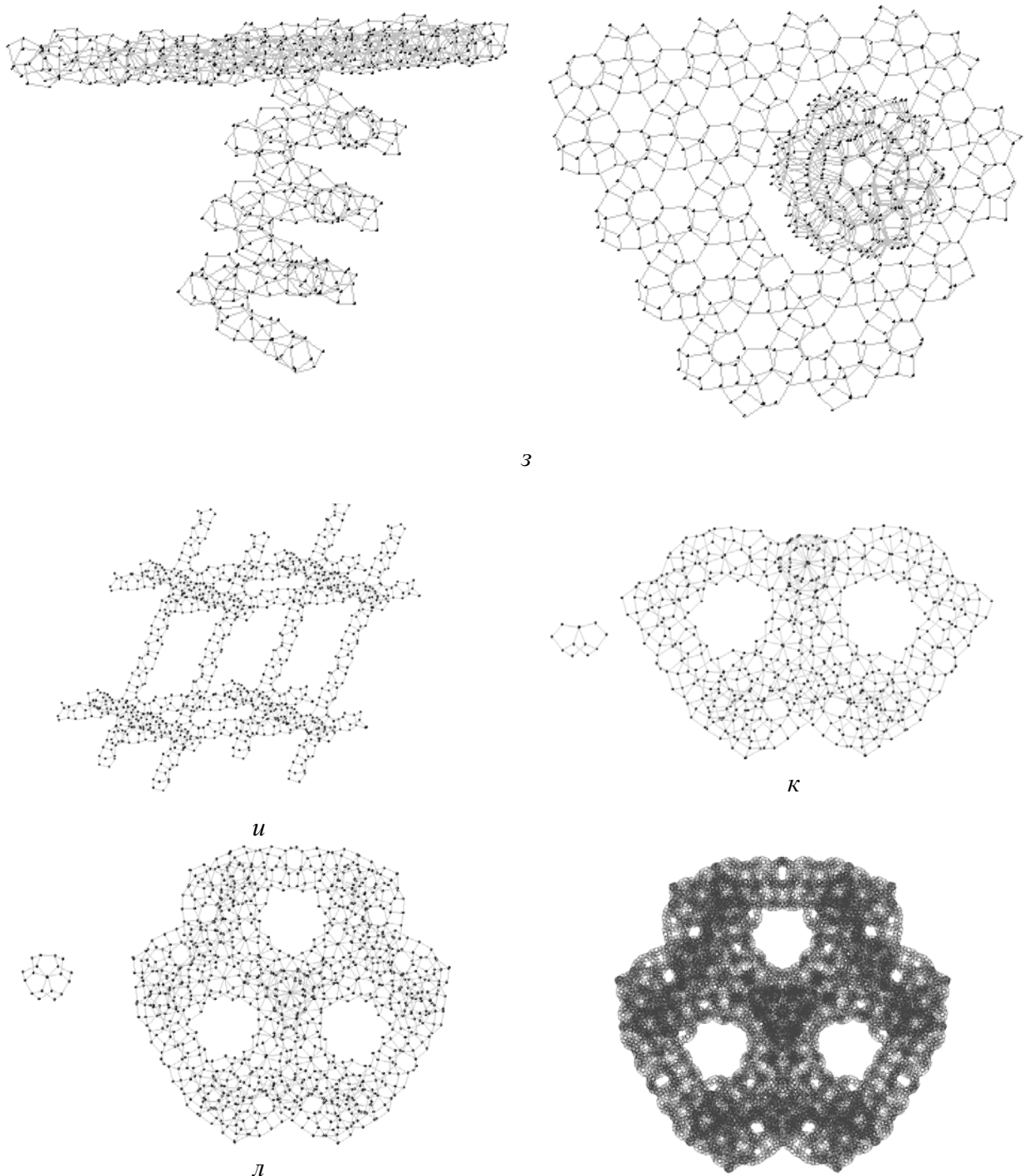


Рис.1. Параметрические модульные структуры (продолжение):

z — структура «примембранной» воды с «каналом»; *u* — «кристаллическая сверхрешетка» из спиралей 30/11; *k* — H0-модуль и его фрактальный аналог H1; *l* — L0-модуль (20 атомов кислорода) и его фрактальные аналоги L1 (1100 атомов) и L2 (68000 атомов)

Этот факт может служить объяснением часто отмечаемой плохой воспроизводимости результатов, когда не обращают внимания на исходное состояние исследуемой водной системы. Наличие характерных времен разного масштаба свидетельствует о фрактальности структур воды и о существовании разных механизмов эволюции водных

систем, что согласуется как с модельными представлениями о структуре, так и с экспериментальными данными о появлении активных форм кислорода и азота при слабых воздействиях.

Заметим, что убедительные результаты относительно эффектов малых концентраций могут дать экспе-

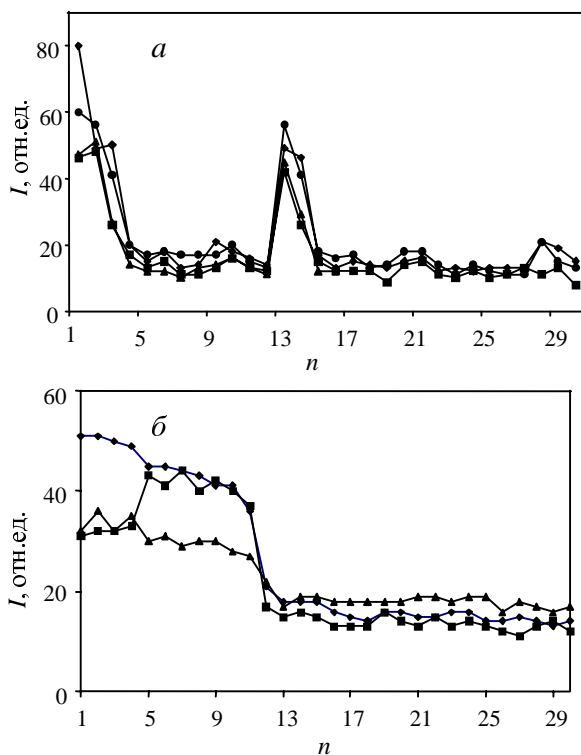


Рис.2. Интенсивность люминесценции (при 385 нм) растворов гомеопатических препаратов галита при возрастающем числе десятичных разбавлений (а) и образцов потенцированной воды (б).

n — число операций десятикратного разбавления растворов.

Длительность хранения препаратов: \blacklozenge — 1 день, \blacksquare — 1 неделя, \blacktriangle — 2 недели, \bullet — 6 недель; и образцов воды: \blacklozenge — 1 день, \blacksquare — 1 неделя, \blacktriangle — 6 недель. Интенсивность люминесценции воды, используемой для приготовления препаратов, составляет 10 отн. ед. Стандартное отклонение не более 5%.

рименты, охватывающие измерения в широком интервале концентраций. Нами было проведено систематическое исследование люминесценции серии водных растворов гомеопатического препарата хлорида натрия, которую готовили путем многократных последовательных операций десятикратного разбавления включительно до тридцатого разбавления (рис. 2а) [60, 61]. На кривой интенсивности люминесценции обнаруживается максимум, соответствующий тринадцатому десятичному разбавлению.

Чтобы выявить возможную роль потенцирования (встряхивания) при приготовлении гомеопатического препарата, мы провели аналогичное исследование образцов воды после однотипной ее обработки без введения хлорида натрия. Из рис. 2б видно, что потенцированные образцы воды обладают значительно большей интенсивностью люминесценции, которая резко убывает также в области тринадцатого разбавления.

Исследование двигательной активности пресноводных инфузорий в препаратах хлорида натрия показало достоверную отрицательную корреляцию ($\rho = -0,93$; $P > 0,999$) между подвижностью инфузорий и интенсивностью люминесценции. К сожалению, не была своевременно изучена подвижность одноклеточных организмов в потенцированной воде, однако уже имеющиеся результаты свидетельствуют о том, что для

биологического эффекта важна не только концентрация раствора, но и способ его приготовления.

Полученные результаты показывают, что воду следует рассматривать как способную к самоорганизации коллективную неравновесную динамическую систему и, как следствие, чувствительную к различным слабым воздействиям. По-видимому, в водных системах неразрывно сосуществуют как химические, так и структурные превращения. Что касается роли воды в биологических процессах и системах, то ее участие в образовании единого водно-липидно-белкового комплекса клеточной мембраны и сенсорная способность реагировать на слабые, в том числе электромагнитные и механические воздействия, предопределяет ее функцию преобразования слабых внешних сигналов в изменение макроскопической упругости мембраны, сопровождающейся модуляцией характеристик интегральных белков. Такая возможность была показана нами на модельных мембранных структурах [62].

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.И. Вода и ее роль в регуляции биологических процессов. М.—Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004, 212 с.
2. Clegg J.S. J. Cell Physiol., 1977, v. 91, p.143—154.
3. Chaplin M. www.lsbu.ac.uk/water/index.html
4. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды. Л.: Гидрометеоиздат, 1975, 280 с.
5. Franks.F., editor. Water. A Comprehensive Treatise. London: Plenum, 1972—1982, v. 1-7.
6. Лобышев В.И., Калининко Л.П. Изотопные эффекты D_2O в биологических системах. М.: Наука, 1978, 216 с.
7. Лобышев В.И., Твердислов В.А., Яковенко Л.В., Фогель Ю. Биофизика, 1978, №2, с.390.
8. Лобышев В.И. Там же, 1983, 4, с. 666-668
9. Лобышев В.И., Мельников И.А., Есиков А.Д., Нечаев В.В. Там же, 1984, 5, с.835-839.
10. Конохов В.К., Тихонов В.И., Тихонова Т.Л. Краткие сообщения по физике ФИАН. 1988, 9, с.12.
11. Tikhonov V.I., Volkov A.A. Science, 2002, v. 296, p. 2326.
12. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968, 288 с.
13. Холодов Ю.А. Магнетизм в биологии. М.: Наука, 1970, 96 с.
14. Классен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1982, 296 с.
15. Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. М.: Радио и связь, 1991, 168 с.
16. Темурьянц Н.А., Владимирский Б.М., Тишкин О.Г. Сверхнизкочастотные электромагнитные сигналы в биологическом мире. Киев.: Наукова думка, 1992, 186 с.
17. Бинги В.Н. Магнитобиология. Эксперименты и модели. М.: МИЛТА, 2002, 592 с.
18. Чудновский В.М., Леонова Г.Н., Скопинов С.А., Дроздов А.Л., Юсупов В.Н. Биологические модели и физические механизмы лазерной терапии. Владивосток: Дальнаука, 2002.
19. Эйдус Л.Х. Мембранный механизм биологического действия малых доз. М.: ИТЭБ РАН, 2001, 81 с.
20. Piccardi G. The Chemical Basis of Medical Climatology. Springer, 1962, 146 p.
21. Лобышев В.И., Никитин Д.И., Никитин Л.Е., Петрушанко И.Ю. Биофизика, 2003, т. 48, вып. 4, с.673.
22. Электромагнитные поля и здоровье человека. Под ред. Ю.А. Григорьева. М.: Изд. РУДН, 2002, 177 с.
23. Гуман А.К. В сб.: Структура и роль воды в живом организме. Л.: ЛГУ, 1966, вып.1, с. 179.

24. Зелепухин В.Д., Зелепухин И.Д. Ключ к «живой воде». Алма-Ата: Кайран, 1987, 172 с.
25. Летников Ф.А., Кащеева Т.В., Миннис А.Ш. Активированная вода. Новосибирск. Наука, 1976, 134 с.
26. Лобышев В.И., Рыжиков Б.Д., Шихлинская Р.Э. Ж. физич. химии, 1990, т.64, с.1517.
27. Coic M., Morse D. Langmuir, 1998, v.14, 4, p.787.
28. Новиков В.В., Кувичкин В.В., Фесенко Е.Е. Биофизика, 1999, т. 44, 2, 224.
29. Казаченко В.Н., Дерюгина О.Н., Кочетков К.В., Фесенко Е.Е. Там же, 1999, т.44, 5, 796 .
30. Антонченко В.Я., Давыдов А.С., Ильин В.В. Основы физики воды. Киев: Наукова думка, 1991, 672 с.
31. Магнитная обработка водных систем. Библиографический указатель отечественной и иностранной литературы. М., Министерство угольной промышленности СССР, 1971.
32. Бондаренко Н.Ф., Гак Е.З. Электромагнитная гидрофизика и природные явления. С-П.: С-П. государственный аграрный университет, 1995, 270 с.
33. Прилуцкий В.И., Бахир В.М. Электрохимически активированная вода: аномальные свойства, механизм биологического действия. М.: ВНИИИМТ, 1997, 228 с.
34. Электрохимическая активация: очистка воды и получение полезных растворов. Под ред. В.М. Бахира. М.: ВНИИ ИМТ, 2001, 176 с.
35. Петрушанко И.Ю., Лобышев В.И. Там же, 2001, т. 46, вып. 3, с. 389.
36. Петрушанко И.Ю., Лобышев В.И. Там же, 2004. т. 49, вып. 1, с. 22.
37. Степура И.И., Адамчук Р.И., Степура В.И. Биофизика, 2004, т.49, вып.5, с.773.
38. Акопян В.Б., Еришов Ю.А. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005, 224 с.
39. Домрачев Г.А., Диденкулов И.Н., Родыгин Ю.Л., Селивановский Д.А., Стунжас П.А. Хим. физика, 2001, т.20, 4, с.82.
40. Брусков В.И., Масалимов Ж.К., Черников А.В. ДАН, 2002, т.384, 6, с.821.
41. Домрачев Г.А., Селивановский Д.А., Домрачева Е.Г и др. Ж. структ. химии, 2004, т. 43, 4, с. 670.
42. Черников А.В., Брусков В.И. ДАН, 2005, т.400, 2, с.279.
43. Захаров С.Д., Иванов А.В. Квантовая электроника, 1999, т.29, с.192.
44. Захаров С.Д., Иванов А.В., Вольф Е.Б. и др.. Там же, 2003, т.33, с.149.
45. Красновский А.А., Дроздова Н.Н., Иванов А.В., Амбарцумян Р.В. Биохимия, 2003, т.68, с.1178.
46. Бурлакова Е.Б. Росс. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 1999, т.63, 5, с.3
47. Бурлакова Е.Б. Химическая физика, 2003, т.22, 2, с.21.
48. Никитин Д.И., Оранская М.Н., Лобышев В.И. Биофизика, 2003, т. 48, вып. 4, с.678.
49. Блюменфельд Л.А. Росс. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 1999, т. 63, 5, с.15.
50. Vezzoli G.C., Dachille F., Roy R. Science, 1969, v.166, p.218.
51. Vezzoli G.C., Dachille F., Roy R. J. Polymer Sci., 1969, v. A17, p.1557.
52. Roy R., Tiller W.A., Bell I., Hoover M.R. Material Research Innovations, 2005, v.9-4, p.577.
53. Kawamoto T., Ochiai S., Kagi H. J.Chem.Phys., 2004, v.120, p.5867
54. Бульенков Н.А. Кристаллография, 1990, т.35, 1, с.155.
55. Бульенков Н.А. Биофизика, 2005, т.50, вып.5, с.934.
56. Lobyshev V.I., Solovey A.B., Bulienkov N.A. J. Mol. Liquids, 2003, v. 106/2-3, p.277.
57. Лобышев В.И., Соловей А.Б., Бульенков Н.А. Биофизика. 2003, т.48, вып.6, с.1011.
58. Соловей А.Б., Лобышев В.И. Ж. физической химии, 2006, т. 80, 10, с. 1778.
59. Лобышев В.И., Рыжиков Б.Д., Шихлинская Р.Э. Там же, 1998, т.43, вып.4, с.710.
60. Lobyshev V I., Tomkevitch M S. In: «Optical Diagnostics and Sensing of Biological Fluids and Glucose and Cholesterol Monitoring». Eds. A.V. Priezzev, G.L. Cote. Proc. of SPIE, 2001, v.4263, p. 59.
61. Лобышев В.И., Томкевич М.С., Петрушанко И.Ю. Биофизика, 2005, т. 50, вып. 3, с. 464.
62. Lobyshev V.I., Gianic T., Masarova M. General Physiology and Biophysics, 1987, №6, 297.