

Динамические свойства солитонов в биологических фракталоподобных структурах.

1. Введение. Описание проблем в биологических системах

Известно, что многие процессы в молекулярных системах хорошо описываются с помощью солитонов [1]. Показано, что в силу исключительной устойчивости солитонов, они являются переносчиками энергии и информации в биологических системах. Представление о солитонах используется для объяснения механизма сокращения поперечно-полосатых мышц, переноса энергии избыточных электронов через белковые молекулы, движения протеинов в молекулярных квазиодномерных структурах и пр. [1].

Следует, однако, обратить внимание на то, что живая система организована иерархическим образом: ее устойчивое существование обеспечивается взаимодействием соподчиненных друг другу структур, относящихся к разным пространственным масштабам. Нередко они обладают сходной топологией, что придает «вертикальной» организации живого черты фрактала [2].

Так, довольно отчетливо фрактальные свойства проявляются в топологии «систем коммуникации организма» - кровеносных сосудов, бронхов, лимфососудов, желчных протоков, а так же в нервной системе [3]. Фракталоподобная структура проявляется и в некоторых сухожилиях, мышечных волокнах, на субклеточном уровне - на поверхности ядерной мембраны [2]. Расчеты и измерения показывают, что полимерная белковая цепь в свободном клубке характеризуется фрактальной размерностью близкой к 2.0, а случайно разветвленный биополимер - размерностью, превышающей 3.0 [4].

Фрактальным структурам подобны и уровни организации пространственно-полевых структур в концепции [6]. Эта концепция основана на следующих положениях. Известно, что помимо прочих свойств, биологическая клетка является излучателем широкого спектра колебаний. «Многолетние исследования сверхслабых излучений в клетках и тканях живых организмов позволяют сделать вывод, что живые клетки испускают кванты электромагнитного поля. Можно полагать, что для клетки излучение - необходимое проявление ее жизнедеятельности, то есть речь идет о своеобразных электромагнитных полях. Они для самой клетки являются ее внутренней системой передачи информации, без которой жизнь

клетки невозможна» [16,17]. С другой стороны, показано, что когда клетки образуют некоторую биологическую систему, их поведение начинает принципиально отличаться от поведения каждого единичного члена системы. Предполагается, что одной из основных причин наблюдаемого отличия свойств системы от свойств отдельных клеток является взаимная синхронизация излучений составляющих эту систему клеток. Когда биологические клетки образуют систему, и эта система доходит до определенного уровня сложности, она приобретает принципиально новое качество: в ней начинается взрывной бифуркационный процесс самоорганизации. Из набора независимых клеток, она превращается в клеточный ансамбль, взаимодействующий с окружающим пространством как единое целое. Сказанное резюмируется следующим постулатом: основным условием функционирования любой сложной биологической системы является клеточная резонансная синхронизация. Эта синхронизация осуществляется как за счет внутренних синхронизирующих воздействий, идущих от отдельных частей данной системы, так и за счет воздействий внешних. Таким образом, биологическую систему можно рассматривать как набор источников полевого излучения, синхронизированных по частоте и фазе. Известно, что наложение полей когерентных источников формирует в пространстве интерференционную картину. Иными словами, с биологическим объектом оказывается связана определенным образом организованная пространственно-полевая интерференционная структура. Для каждой устойчивой биологической системы такая структура является квазистационарной, то есть она относительно медленно меняется во времени и сохраняет свою конфигурацию в системе координат, связанной с данным объектом. Данные представления пересекаются с концепцией универсальной космической голограммы, или головерсума [19,20]. В этой концепции, получившей широкий отклик, обсуждается целостность универсума, неотрывной частью которого является человек и его сознание, а связь между ними определяется как универсальная информация и полевая голограмма, обусловленная особенностями системной организации мозга человека.

В работе [6] голографический, или интерференционный принцип распространяется на уровень целостного организма. Отсюда, в частности, следует, что рассматриваемая волновая структура может быть самым непосредственным образом связана с системой акупунктурных точек и каналов. С точки зрения данной гипотезы акупунктурные точки являются не измененными клетками, как

считалось одно время, а лишь проекциями на поверхность кожи узловых элементов пространственно-полевой объемной структуры. При этом основные элементы данной пространственно-полевой структуры могут быть обнаружены в любой сколь угодно малой ее части. Это подтверждается на примере акупунктурных каналов. Известно, что многие проекционные точки наблюдаются на ухе, на радужке глаза, на кисти руки, на ноге, на спине и т.д. В принципе можно взять любой участок поверхности кожи и там найти точки, соответствующие системам и органам организма, но при этом, чем меньше мы возьмем этот участок, тем меньше будет разрешение. Далее авторы рассматривали группу биологических организмов, образующих некоторую систему. К этой группе применимы все изложенные выше соображения. Каждый отдельный организм этой группы может характеризоваться своим собственным излучением, имеющим определенный набор частот и фаз, и при синхронизации этих организмов они могут образовывать новую единую между собой систему, которая будет характеризоваться своей собственной пространственно-полевой структурой. Все приведенные выше выводы полностью относятся и к этой структуре. Она является следующим уровнем организации по отношению к структуре отдельного человека. Эта структура формируется за счет излучений своих элементов и в то же время посылает синхросигналы к каждой системе. Таким образом, некоторые группы людей могут сформировать свою собственную единую пространственно-полевую структуру. По принципам голографии строение этой структуры будет аналогично строению структуры каждого индивидуального человека. Из рассмотренных принципов видно, что структура каждого следующего уровня возникает, когда на предыдущем уровне происходит процесс синхронизации, то есть в данном случае когда наблюдается взаимная резонансная синхронизация излучений отдельных структур, то есть отдельных личностей. Первым уровнем такой синхронизации является уровень небольшой группы людей. При формировании такой структуры каждая составляющая системы перестает быть независимой, а становится ячейкой более общей пространственно-полевой структуры. Поэтому, воздействие на любой из элементов этой структуры, а также на всю эту структуру как целое в той или иной степени влияет на все составляющие ее системы. Следующий уровень структурирования - это уровень этноса. То есть группы людей, объединенных единством территории, религии, языка и представлений. Как для каждого человека характерна индивидуальная пространственно-полевая структура, так подобная индивидуальность характерна и для каждого этноса. И,

наконец, следующим уровнем является уровень всего человечества, образующий свою собственную структуру во Вселенной и плавно переходящий в уровень Космического Сознания.

Таким образом, сходная топология уровней пространственно-полевых структур имеет выраженную фракталоподобную структуру. Мы все имеем врожденную необходимость к развитию, расширению и интегрированию областей сознания, к расширению когерентных баз данных обрабатываемой информации. Сознание в атомных, молекулярных и неживых системах представляется нам пассивным (непроявленным) совсем не в силу его отсутствия или характерного различия его свойств на данных уровнях, а по причине микроскопичности составляющих часть целого элементов и нашей неспособности увидеть его в данной системе в настоящем свете [7]. Сознание как реакция на окружение связано с осознанием этой реакции, что на более высоком уровне развития приводит к появлению самосознания и ощущению разницы между «я» и «не я». Именно этот уровень присущ мозгу человека на данном этапе. Однако индийские мыслители и психологи (йоги) сформировали гипотезу, подтвердив ее практически, о возможности выхода за рамки категорий «я» и «мое» и достижения сознания других людей, живых существ и в конечном итоге всего существующего [7]. Сознание, подобно фракталам развивается к большим значениям масштабов. Следуя этому пути мы проходим подобные паттерны, имеющие на каждой стадии единственные в своем роде различия. Это касается любой сферы деятельности человека - от добычи пищи до отношений с окружающими. Различия добавляют специфику в жизнь, специфику, которая может привести к беспорядку, к перегрузке данными, если не знать лежащих в основе паттернов фундаментальных законов. Но если иметь представления о законах, о ключе фрактальных структур, можно заглянуть по ту сторону миллионов разветвлений, и увидеть Единство позади великого разнообразия в природе.

Самоорганизующаяся система подобия может определять принципиально новый класс биологических взаимодействий [2]. Межмасштабные фрактальные связи могут сопрягать иерархически удаленные и функционально изолированные уровни живой системы, организуя ее «по вертикали», и представляют собой явление, способное претендовать на роль универсального макроскопического механизма биологической интеграции. Теоретически и экспериментально показано [10], что фрактальные $1/f^\beta$ - флуктуации могут формировать «вертикальные» связи между различными структурами головного мозга при решении

поведенческих задач. Экспериментально обоснована гипотеза [11], согласно которой фрактальные стохастические взаимодействия распространяются и в масштабах целого организма, образуя особую группу регуляторных связей в системе гомеостаза. Установлено, что $1/f^\beta$ - флуктуации в периодических ритмах растущего эмбриона и материнского организма проявляют взаимную корреляцию [12].

Допустимо предположить, что биологические фрактальные структуры и процессы в определенном смысле вторичны по отношению к масштабной инвариантности пространства-времени [2], которая в свою очередь, не имеет каких-либо ограничений по масштабу и сама по себе создает необходимые условия для фрактальных информационных взаимодействий. Эта идея может быть проиллюстрирована известным демонстрационным опытом по ориентации частиц железа во внешнем магнитном поле: частицы выстраиваются по магнитным силовым линиям, повторяя их топологию лишь в ограниченной области пространства, хотя действительная протяженность силовых линий не ограничивается этой областью. Аналогично этому, фрактальная структура биогенных процессов, «выстроенных» в метрическом самоподобии самоорганизующегося живого объекта, может в скрытой форме выходить далеко за пределы функционально допустимых диапазонов временных, пространственных и энергетических масштабов, в которых она регистрируется экспериментально. Эта аналогия дает основания ожидать, что в ряде случаев масштабная структура фрактальных физиологических процессов должна реагировать на возмущения, направлено меняющие метрические свойства пространства-времени в живой системе / «магнитного поля» /, хотя и не взаимодействующие напрямую с биологическими тканями. Рассуждая далее, можно предположить, что такое сугубо метрическое возмущение способно инициировать каскад последующих функциональных изменений и оказать значимое влияние на состояние всего живого объекта. Очевидно, что теория фрактальных взаимодействий и теория биологического поля Гурвича [16] должны коррелировать и взаимно дополнять друг друга.

Гурвич выдвинул гипотезу, в соответствии с которой в пространстве зародыша присутствует некое непрерывное поле. Его элементарными источниками служат клетки, но область действия клеточного поля выходит за ее пределы, и поэтому в каждой точке любого клеточного комплекса существует синтезированное поле [16]. Клеточное поле анизотропно и векторизовано. Гурвич постулировал, что анизотропия поля видоспецифична. В таком

случае анизотропным является и синтезированное поле совокупности клеток, а поведение отдельной клетки в коллективе будет обусловлено координатами данной клетки в пространстве синтезированного поля. В самой клетке ее собственное поле создает и поддерживает неравновесную, динамическую молекулярную упорядоченность. Важнейшим свойством поля является его непрерывность и преемственность - нет живых систем без поля, при делении клетки делится и ее поле.

Гурвич считал, что комбинация понятий, заложенная в теории поля, не противоречит основам физического мышления. А ценность теории может быть установлена лишь при использовании ее в качестве эвристического принципа, поскольку позволяет выдвигать экспериментально проверяемые гипотезы. Действительно, концепция поля позволила Гурвичу, исходя из единого принципа, непротиворечиво объяснить глубинные механизмы основных жизненных проявлений: морфогенеза, обмена веществ, клеточного деления, наследственности, изменчивости, процессов их реализации. Многие следствия теории биологического поля подтверждаются экспериментально. Так, Гурвич предполагает, что клеточное поле выходит за структурные границы данной клетки, что служит предпосылкой возникновения синтетического поля клеточной системы. Тогда и синтетическое поле должно простираться за структурные границы клеточной системы. Отсюда следует возможность несубстанционального взаимодействия родственных клеточных систем. В ряде исследований показано, что если взять две клеточные популяции, исключить возможность обмена между ними химических регуляторов, но сохранить физический (например, оптический) контакт, то раздражение одной из них сопровождается физиологическими изменениями не только в ней, но и в соседней [17]. Правда, эти эксперименты свидетельствовали лишь о способности одной группы клеток несубстанционально (например, за счет излучения, сопровождающего инициированный процесс) влиять на другую. Недавно было показано [18], что при наличии лишь оптического, но не химического контакта между двумя образцами белых кровяных клеток цельной крови между ними может возникать настоящая коммуникация: при индукции, например, фагоцитоза в одном образце второй не только реагирует на это, но и влияет на характер процесса протекающего в первом. Такое взаимодействие, если не доказывает окончательно, то служит веским аргументом в пользу существования у обеих клеточных популяций полей, которые при определенных обстоятельствах могут объединиться в общее синтетическое поле [18].

Было показано [21], что нелинейность взаимодействия между компонентами физических систем приводит к образованию на их фазовых диаграммах зон динамического хаоса, внутри которых фазовая траектория предсказывается лишь статистически. Моделируя поведение системы подобного рода на компьютере, исследователь не может заранее определить, какое состояние она примет через интересующее число итераций. Для получения такой информации временной отрезок, разделяющий прошлое и будущее, должен быть пройден самой системой, т.е. итерации обязательно должны быть выполнены. Аналогичные эффекты наблюдаются и в эксперименте: например, диссипативные системы, демонстрирующие возникновение пространственно-временной периодичности (конвекция Бенара, реакция Белоусова - Жаботинского), как правило, обладают и возможностью перехода в описательный режим хаотических автоколебаний. Наиболее близкие к физиологии - множество интерактивных систем ведут себя подобно непрерывно осыпающейся и восстанавливающейся «песочной куче» для которой стохастичность, выраженная в форме масштабно-инвариантных флуктуаций, оказывается единственно возможной формой устойчивой динамики [22].

Известно, что в любой, достаточно сложной открытой неравновесной системе с необходимостью возникает внутренняя стохастичность макроскопического порядка, которая должна рассматриваться как неотъемлемый атрибут динамики такой системы.

Таким образом, в морфологии обнаружен широкий круг фрактальных структур на всех уровнях иерархии организации. Наличие динамического хаоса и $1/f^{\beta}$ - флуктуаций в физиологических процессах [3] определяют фрактальную структуру биологических систем. Другими словами, поскольку биологические системы относятся к самоорганизующимся открытым неравновесным системам [24], то их полное описание должно быть с необходимостью стохастично [8].

Процедуру оценки параметра β по спектральной кривой проводят в два приема - уточняют частотную локализацию области флуктуации (как правило, область вблизи нуля частот) и аппроксимация спектра на этих частотах указанной выше зависимостью с использованием метода наименьших квадратов.

Публикуемые в медицинской и биологической литературе результаты экспериментов и наблюдений указывают на то, что всем без исключения функциям организма в той или иной степени свойственна низкочастотная флуктуационная динамика. Наиболее

общая эмпирическая закономерность, выявленная в ходе исследований, состоит в том, что в условиях нормального, физиологически устойчивого режима гомеостатической регуляции организма, его низкочастотные флуктуации имеют характер упомянутого фликкер-шума. Так, например, спектры флуктуаций RR - интервала кардиограммы, периода α - ритма энцефалограммы, частоты открывания мембранных клеточных каналов, показателей сенсомоторной реактивности здорового организма на низких частотах выглядят почти идентично и описываются зависимостью $1/f$ ($\beta=1$) [23]. Напротив, при развитии тех или иных дисфункций и паталогий форма флуктуационного спектра существенно отличается от описанного вида, что находит выражение в искажении $1/f^\beta$. - зависимости или отклонений показателя β от своего нормального значения. К примеру, нормальная проводимость ионных каналов клеток разных тканей соответствует $\beta \geq 1$. В то время как деятельность мембранных каналов в условиях их функциональной дезинтеграции соответствует снижению показателя β до значений близких к нулю.

Один из наиболее универсальных механизмов фрактальной организации описан в рамках модели «самоорганизующейся критичности» [2,13]. По результатам этого исследования, исходным условием пространственно-временной фрактальности является пространственная распределенность степеней свободы кооперативной неравновесной системы, а также ее способность длительное время находиться в особом «минимально-стабильном» критическом состоянии. Пребывание самоорганизующейся системы вблизи критической точки определяет ее чувствительность к случайным возмущениям, которые распространяются в системе подобно «эффекту домино», захватывая пространственные области расширяющегося масштаба. В численном эксперименте показано [13], что управляемая этим лавинным процессом система эволюционирует к новому, более высокоорганизованному состоянию, в котором все ее характеристики - как пространственные, так и временные - характеризуются инвариантностью масштабов. Так, пространственно-неупорядоченный массив элементов трансформируется в систему статистически - самоподобных кластеров, а случайные некоррелированные возмущения - в фрактальные флуктуации со спектром $1/f^\beta$. Эффект самоорганизующейся критичности может лежать в основе происхождения флуктуаций [2,10] и фрактальных пространственных

структур в живых системах, а также управлять воздействием этих двух аспектов биологической самоорганизации.

Все живые организмы являются открытыми системами. Их жизнедеятельность неразрывно связана с непрерывным расходом энергии и обменом веществ [1]. Источником энергии растений и фотосинтезирующих бактерий служит свет. Животные не могут преобразовывать энергию солнечных лучей непосредственно в другие виды энергии. Они пополняют свои энергетические потребности используя питательные вещества. Для высокоорганизованных живых систем питательными веществами служат углеводы, жиры и белки. Путем окисления при дыхании эти вещества выделяют энергию.

Процесс окисления топлива (уголь, дрова, нефть) является основным источником энергии, используемым в быту, промышленности и транспорте. Обычно при этом энергия сгорания топлива вначале преобразуется в тепловую энергию, которая далее преобразуется в другие виды. В атомных электростанциях ядерная энергия также вначале преобразуется в тепловую энергию. Использование промежуточного этапа в виде тепловой энергии значительно снижает коэффициент полезного действия энергетических установок.

В живых организмах использования окисления органических веществ и световой энергии в растениях также включает промежуточный этап. Однако в промежуточной стадии образуется не тепловая, а химическая энергия.

В клетках живых организмов энергия окисления запасается при синтезе молекул аденозинтрифосфатной кислоты (АТФ) из молекул аденозиндифосфатной кислоты (АДФ) и фосфорной кислоты. Молекула АТФ состоит из аденина, сахара рибозы и трех фосфатных групп. В состав молекулы АДФ входят две фосфатные группы.

Процесс синтеза молекул АТФ называется фосфорилированием. Он состоит в замене атома водорода концевой фосфатной группы молекулы АДФ на третий фосфат с выделением молекул воды.

Образующиеся при фосфорилировании молекулы АТФ диффундируют к местам потребления энергии. Там в присутствии молекул воды и комплекса ферментов и коферментов происходит обратная реакция с выделением около 0,5 эВ энергии. Такая реакция называется гидролизом молекул АТФ.

Синтез и гидролиз молекул АТФ являются универсальными промежуточными этапами огромного количества энергетических преобразований в клетках бактерий, растений и животных от самых простейших до человека. Вследствие больших размеров

органических молекул и ферментных структур выделение и использование энергии гидролиза часто разделены расстояниями, значительно превышающими межатомные. Поэтому возникает важный вопрос о механизме переноса энергии гидролиза на такие расстояния.

Обсуждению механизма транспорта энергии в биологических системах было посвящено специальное заседание Нью-Йоркской Академии наук в 1973 году. Обсуждались три основных вопроса:

- 1) имеется ли кризис в биоэнергетике;
- 2) какова природа кризиса;
- 3) как можно преодолеть этот кризис.

Уже сама постановка этих вопросов указывала на то, что отсутствовало ясное понимание механизма эффективного переноса энергии гидролиза молекул АТФ.

Предлагаемые объяснения наталкивались на непреодолимые трудности. Кратко эти трудности определялись следующими обстоятельствами. Количество энергии, выделяемой в одном акте гидролиза молекулы слишком мало (0,5 эВ). Оно только в 20 раз превышает среднюю энергию теплового движения и не достаточно для возбуждения электронных состояний молекул. Энергии, выделяемой при гидролизе молекул АТФ, достаточно только для возбуждения внутримолекулярных колебаний. Подходящими колебаниями могли быть хорошо изученные при поглощении инфракрасного света колебания группы атомов C=O, входящих в состав пептидных групп (ПГ) всех белковых молекул. Эти колебания получили название амид 1. Для их возбуждения требуется только 0,21 эВ энергии. В связи с этим ряд участников конференции считали, что энергия гидролиза молекул АТФ переносится вдоль белковых молекул в виде колебаний амид 1.

Это предположение активно оспаривалось другими участниками конференции. Они утверждали, что в конденсированной среде время жизни вибрационных возбуждений отдельных ПГ составляет только пикосекунду. Из-за малого времени жизни такие колебания не могли бы участвовать в переносе энергии гидролиза на расстояния, значительно превышающие размеры самих ПГ.

На это возражение сторонники переноса энергии вибрационными возбуждениями отвечали, что, по-видимому, особая структура белковых молекул может играть ключевую роль в стабилизации и увеличении времени жизни колебаний амид 1 в таких макромолекулах. Однако они не помогли убедительно обосновать это утверждение. Поэтому вопрос о кризисе в биоэнергетике остался неразрешенным.

Независимо в том же 1973 году была опубликована работа И. И. Кислухи и А. С. Давыдова, в которой было показано, что в альфа-спиральных белковых молекулах могут распространяться без потери энергии колебательные возбуждения коллективной, нелинейной природы. Такие возбуждения в дальнейшем получили название давыдовских солитонов. Последующие работы, выполненные в Институте теоретической физики АН УССР послужили началом проведения многочисленных исследований в СССР, США, Англии и других странах эффективности переноса вибрационной энергии солитонами в биологических системах. Такие исследования в значительной степени разрешили вопрос о кризисе в биоэнергетике. Было также показано, что солитоны могут играть существенную роль во многих биологических явлениях.

В наших изложениях понятие солитона используется в широком смысле- при описании любых автолокализованных возбуждений, распространяющихся без существенного изменения своей формы и скорости, вследствие динамического баланса между нелинейностью и дисперсией.

2. Структура альфа-спиральной пространственной конфигурации. Постановка задачи

Наиболее активную роль в биоэнергетике играют белковые молекулы. Они непосредственно связаны со всеми основными проявлениями жизни. Все химические процессы в клетке происходят с участием белков - ферментов. Белки преобразуют химическую энергию в механическую. Они ответственны за все клеточные и межклеточные движения. В комплексе с жироподобными молекулами - липидами - они осуществляют транспорт ионов и молекул из клетки и внутрь клетки через клеточные мембраны. Белки участвуют в окислении пищевых продуктов для обеспечения энергией процесса синтеза молекул АТФ.

Все белки являются полимерными молекулами очень большого молекулярного веса. Напомним, что молекулярный вес белка по величине составляет пятый порядок, в то время как для молекулы воды он равен 18.

Белки образуются в результате полимеризации различных аминокислот. Аминокислотой является химическое соединение, в котором к центральному углеродному атому присоединена аминогруппа ($\text{NH}(2)$), карбоксильная группа (COOH), атом водорода

и группа атомов (R), которыми отличается одна аминокислота от другой (рис.1).

Имеется большое количество аминокислот в природе, однако, белки живых организмов образуются только из 20 различных аминокислот. Участок белковой цепи, содержащий две ПГ, показан на рис. 2. Атомы, входящие в состав каждой ПГ, лежат в одной плоскости.

Однако вследствие возможности вращения вокруг одинарных связей (такие вращения указаны на рис.2 стрелками) вся белковая молекула может принимать различные пространственные конфигурации. В частности, белковая молекула может свернуться в спираль. Спиральная структура белковой молекулы впервые установлена Поллингом и Кори в 1953 году. Они назвали ее альфа-спиральной и показали, что такая структура возникает при образовании трех цепочек водородных связей между ПГ белковой молекулы. Схема расположения ПГ в альфа-спиральной белковой молекуле приведена на рис. 3, где ПГ изображены эллипсами, а водородные связи - линиями, соединяющими эти группы.

Наша задача состоит в том, чтобы обобщить солитонные описания квазиодномерных молекулярных систем на их представление во фрактальных биологических структурах, обосновать и наметить очертания развития метода фрактальной диагностики состояния живых систем на основании солитонных представлений. Это представляется возможным, если мы введем стохастику в гамильтониан солитона, тем самым расширив область определений волновых функций на фрактальное пространство $\Xi = \mathcal{R}(1) \otimes \mathcal{R}\{W(t)\}$. Здесь $W(t)$ - вообще, марковский процесс.

Рассмотрим наиболее общие примеры взаимодействия солитона со смещениями пептидных групп (ПГ) при стохастическом взаимодействии, а так же донорно- акцепторную модель переноса электронов белковыми молекулами, учитывая стохастику данной динамики. Будем рассматривать такие белковые молекулы, которые имеют альфа-спиральную пространственную конфигурацию. Такая структура возникает при образовании трех цепочек водородных связей между ПГ белковой молекулы.

3. Математическая модель

Предположим, что вдоль оси x в узлах na ($n=0, \pm 1, \dots$) расположены ПГ массы M . Тогда в континуальном приближении гамильтониан солитона с эффективной массой m , взаимодействующий со смещениями $u(x,t, W(t))$ молекул массы M из равновесных положений na , можно записать в виде

$$H = 1/a \iint \left\{ \hbar^2/2m |\Psi_x(x, t|W(t))|^2 + 1/2 Mu_i^2 + Mv^2 U(\rho|W(t)) - \theta \rho |\Psi(x, t|W(t))|^2 \right\} dx W(t) dW(t) \quad (1)$$

где ρ - относительное уменьшение равновесного расстояния a между соседними молекулами

$$\rho = -\partial u / \partial x \quad (2)$$

v - скорость продольного звука в линейном приближении теории, θ - энергия характеризующая связь солитона со смещениями. $U(\rho|W(t))$ - безразмерный межмолекулярный стохастический потенциал взаимодействия имеющий равный нулю минимум в точке $\rho = 0$ и возрастающий при $\rho > 0$.

Волновая функция солитона удовлетворяет условию нормировки

$$1/a \int_{-\infty W(t \rightarrow -\infty)}^{+\infty W(t \rightarrow +\infty)} |\Psi(x, t|W(t))|^2 dx W(t) dW(t) = 1 \quad (3)$$

Отсюда видно, что $dx W(t) dW(t) = d\mu(t)$ есть мера расширенного пространства $\Xi = \mathcal{R}(1) \otimes \mathcal{R}\{W(t)\}$.

Будем производить интегрирование по dW в смысле интеграла Ито [5]:

$$\int_{t_0}^t G(t') dW(t') = ms - \lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \sum_{i=1}^n G(t_{i-1}) [W(t_i) - W(t_{i-1})] \right\} \quad (4)$$

где $G(t)$ - произвольная стохастическая функция, $W(t)$ - марковский процесс, а ms -lim - среднеквадратический предел.

Интеграл Ито обладает следующими свойствами

$$\int_{t_0}^t W(t')^n dW(t') = \frac{1}{n+1} [W(t)^{n+1} - W(t_0)^{n+1}] - \frac{n}{2} \int_{t_0}^t W(t')^n dt^{\beta-1}, \quad dW^2 = dt^{\beta-1}, \quad (5)$$

$$\int_{t_0}^t W(t') dW(t') = \frac{1}{2} [W(t)^2 - W(t_0)^2 - (t - t_0)^{\beta-1}] \quad (6)$$

где β - параметр, связанный с размерностью пространства соотношением

$$\Omega = \frac{5 - \beta}{2} \quad (7)$$

Гамильтониану (1) соответствует система уравнений

$$i\hbar \Psi_t + \hbar^2/2m \Psi_{xx} + \theta \rho \Psi = 0, \quad (8)$$

$$u_{tt} - v^2 U_{\rho\rho} u_{xx} = \theta / M (|\Psi|^2)_x$$

Эта система уравнений описывает взаимодействие комплексного поля $\Psi(x, t/W)$ с нелинейным полем $u(x, t/W)$. Вследствие трансляционной инвариантности системы (4), будем искать решения в виде волновой функции

$$\Psi(x, t/W) = \Phi(\xi/W) \exp\left\{ \frac{i}{\hbar} [m\chi v - (\Sigma + 1/2 m v^2)] + i\eta \right\} \quad (9)$$

и функцией $\rho(x, t/W) = \rho(\xi/W)$

В этих выражениях $\xi = (x - X - vt)/a$, X и η - произвольные постоянные.

При учете (9) система уравнений (8) преобразуется к виду

$$D\Phi_{\xi\xi} + \theta\rho\Phi = -\Sigma\Phi, \quad D \equiv \hbar^2 / 2ma^2, \quad (10)$$

$$Mv_0^2 [U_{\rho\rho} - (v/v_0)^2] \rho_\xi = \theta(\Phi^2)_\xi.$$

$$\text{Здесь } \Phi \equiv \Phi(\xi/W), \quad U_{\rho\rho} \equiv U_{\rho\rho}(\rho/W), \quad \rho_\xi = \rho_\xi(\xi/W)$$

Будем интересоваться только решениями, удовлетворяющими при $|\xi| \rightarrow \infty$ граничным условиям

$$\Phi(\pm\infty) = \Phi_\xi(\pm\infty) = \rho(\pm\infty) = 0 \quad (11)$$

и условию нормировки

$$\int_{W^-}^{W^+} \int \Phi^2(\xi/W) W dW d\xi = 1, \quad (12)$$

где введены обозначения

$$W^+ \equiv W(t_+) \equiv W(t \rightarrow +\infty), \quad W^- \equiv W(t_0) \equiv W(t \rightarrow -\infty).$$

Усредненная по процессу волновая функция определяется как

$$\Phi(\xi) = \langle \Phi(\xi/W) \rangle_W = \int_{W^-}^{W^+} \Phi^2(\xi/W) W dW. \quad (12a)$$

Учитывая граничные условия и вводя безразмерные параметры

$$\lambda \equiv \lambda(v|W) = \frac{-\Sigma(v|W)}{D}, \quad \sigma = \frac{\theta}{D}, \quad \tau = \frac{\theta}{Mv_0^2}, \quad s \equiv s(v) = \frac{v}{v_0}, \quad (13)$$

можно преобразовать систему уравнений (10) к безразмерному виду

$$\Phi_{\xi\xi} + \sigma\rho\Phi = \lambda\Phi, \quad (14)$$

$$V_\rho = \Phi^2\tau, \quad (15)$$

где

$$V \equiv V(\rho|W) = U(\rho|W) - \frac{1}{2}s^2\rho^2(\xi|W). \quad (16)$$

Предположим, что для всех ρ и W выполняются соотношения

$$U_{\rho\rho}(\rho|W) > 0, \quad U_{\rho\rho}(0|W) = 1. \quad (17)$$

Из условий (18), (11) и уравнения (15) следует, что возможные значения скорости солитона заключаются в интервале

$$0 \leq s \leq 1. \quad (18)$$

При скоростях возбуждения, превышающих скорость звука, единое возбуждение (автолокализация) разрушается - инерционное поле $u(x, t/W)$ не успевает следовать за полем $\Phi(\xi/W)$. Такие возбуждения описываются расплывающимися волновыми пакетами. Из уравнения (15) и граничных условий (11) следует, что для существования солитонных решений функция $\partial V(\rho/W)/\partial \rho$ должна быть положительной при всех $\rho > 0$ и W из области определения $U(\rho/W)$.

Умножая уравнение (15) на $\partial \Phi/\partial \xi$ и интегрируя в пределах от $-\infty$ до ξ , при учете граничных условий (11) получим уравнение

$$(\Phi_\xi)^2 = \lambda \Phi^2 - \sigma A, \quad (19)$$

где

$$A \equiv A(\xi|W) = \int_{-\infty}^{\xi} \rho(\xi'|W) d\Phi^2(\xi'|W). \quad (20)$$

Предположим, что при $\xi=0$ и всех $\Phi(\xi/W)$ и $\rho(\xi/W)$ принимают максимальные значения, которые мы обозначим Φ^0 и ρ^0 . Тогда производная $\partial \Phi(0/W)/\partial \xi = 0$ и из (19) следует равенство

$$\lambda = \sigma A(0|W) \Phi_0^{-2}. \quad (21)$$

При изменении ξ в пределах от $-\infty$ до ξ , значение $\rho(\xi'/W)$ изменяется от 0 до $\rho(\xi/W)$. Поэтому, учитывая соотношение

$$d\Phi^2 = \tau^{-1} dV_\rho, \quad (22)$$

следующее из (15), можно преобразовать (20) к виду

$$A = \tau^{-1} \int_0^\rho \rho' dV_{\rho'} = \tau^{-1} V_\rho G, \quad (23)$$

где

$$G \equiv G(\rho|W) = \rho(\xi|W) - \frac{V(\rho|W)}{V_\rho(\rho|W)}. \quad (24)$$

Используя (15) и равенство

$$(\Phi_\xi)^2 = V_{\rho\rho}^2 \rho_\xi^2 / 4\tau V_\rho, \quad (25)$$

следующее из него, можно преобразовать уравнение (19) к виду

$$\rho_\xi = \pm \frac{2V_\rho}{V_{\rho\rho}} (\lambda - \sigma G)^{1/2}. \quad (26)$$

При учете (21) и (23) спектральный параметр λ определяется выражением

$$\lambda = \sigma G(\rho_0|W). \quad (27)$$

Подставив это значение в (26) и интегрируя, получим неявное выражение для функции $\rho(\xi/W)$

$$\xi(\rho|W) = \pm(2\sigma)^{-1/2} \int_{\rho(\xi|W)}^{\rho_0} \frac{V_{\rho\rho} d\rho}{V_{\rho} \sqrt{G(\rho_0|W) - G(\rho|W)}}. \quad (28)$$

Значение ρ^0 находится с помощью условия нормировки (12) с использованием (15) и (28). Зная ρ^0 , с помощью (15) можно найти и максимальную амплитуду солитона.

Через функцию $V(\rho/W)$ и ее производные определяется энергия и импульс солитона в расширенном пространстве $\Xi = \mathcal{R}(1) \otimes \mathcal{R}\{W(t)\}$.

$$E = 1/2m v^2 + \Sigma + Q \quad (29)$$

где Σ - энергия солитона, взаимодействующего с деформированной решеткой.

$$\Sigma = -Mv^2 \tau \int_{W(t=-\infty)}^{W(t=+\infty)} G(\rho^0|W) W dW \quad (30)$$

Q- энергия деформации решетки

$$Q = Mv^2 \int_{W(t=-\infty)}^{W(t=+\infty)} \int_{-\infty}^{+\infty} [V(\rho|W) + s^2 \rho^2] W dW d\xi \quad (31)$$

Аналогичным образом определяется и импульс

$$P = v \left(m + M \int_{W(t=-\infty)}^{W(t=+\infty)} \int_{-\infty}^{+\infty} \rho(\xi|W) W dW d\xi \right) \quad (32)$$

4. Обобщение модели переноса электронов вдоль альфа-спиральной белковой молекулы

Рассмотрим донорно-акцепторную модель переноса электронов вдоль альфа-спиральных белковых молекул. Полагаем, что избыточный электрон попал от донора в цепочку ПГ. Перекрытие волновых функций электрона в цепочке периодически расположенных дипольных электрических моментов (входящих в состав ПГ [10]), моделирующих белковую молекулу, приводят к обменному взаимодействию D и к коллективизации электронных состояний. Энергетический уровень электрона $\varepsilon = 0,9 \text{ эВ}$ в поле одного электрического диполя превращается в энергетическую зону состояний для квазичастицы с эффективной массой

$$\mu = \hbar / 2aD \quad (33)$$

Вследствие сильного взаимодействия квазичастицы с цепочкой, описываемого деформационным потенциалом, появляется тенденция к изменению межпептидных расстояний в области, в которой находится квазичастица. Энергетические состояния квазичастицы в цепочке имеют сложный характер, обусловленный ее взаимодействием с локальной деформацией. Поэтому движение избыточного электрона, попавшего в цепь от донора, следует исследовать с учетом смещений равновесных положений молекул цепочки без электрона [1]. Давыдов и др. решали эту задачу без учета стохастичности и показали, что движение электрона в бесконечной цепи ПГ описывает система подобная (4), с μ вместо m солитона. Следовательно, данную проблему можно исследовать отмеченным выше способом.

5. Случай гармонического взаимодействия

Рассмотрим сказанное на примере гармонического взаимодействия, где стохастичность выражается следующим соотношением

$$U(\rho|W) = U(\rho) \exp[W(t)], U(\rho) \equiv U(\rho(W)) = \frac{1}{2} \rho^2 (\xi|W). \quad (34)$$

Для нахождения ρ воспользуемся соотношениями, следующими из (16), (24) и (34)

$$\frac{V_\rho}{V_{\rho\rho}} = \frac{\rho \exp[W(t)] - s^2 \rho}{\exp[W(t)] - s^2} = \rho, \quad G(\rho|W) = \frac{1}{2} \rho. \quad (35)$$

Из (26), (27), (13) и (35) имеем

$$\int_\rho^{\rho_0} \frac{d\rho}{\rho \sqrt{\rho_0 - \rho}} = \sqrt{2\sigma\xi}. \quad (36)$$

Данный интеграл берется с помощью замены переменной

$$\begin{aligned} x &= \sqrt{\rho_0 - \rho} \\ \int_\rho^{\rho_0} \frac{d\rho}{\rho \sqrt{\rho_0 - \rho}} &= -2 \int_0^{\sqrt{\rho_0 - \rho}} \frac{dx}{\rho_0 - x^2} = \sqrt{\rho_0} \ln \frac{1 - \sqrt{1 - \rho/\rho_0}}{1 + \sqrt{1 - \rho/\rho_0}} = \\ &= 2\sqrt{\rho_0} \ln \left(\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho}} - \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho} - 1} \right). \end{aligned} \quad (37)$$

Отсюда получим выражение для ρ

$$\rho \equiv \rho(\xi|W) = \rho_0 sch^2 [(\sigma/2\rho)^{1/2} \xi]. \quad (38)$$

Значение ρ^0 находится из условия нормировки (12), а также (15) и (38)

$$\frac{2}{\tau} \int_{-\infty}^0 \rho_0 sch^2 [(\sigma/2\rho)^{1/2} \xi] \chi \partial \xi = 1, \quad (39)$$

где

$$\begin{aligned} \chi(\beta) &\equiv (1-s^2) \sum_{n=0}^{\infty} \chi_n(\beta) = \int_{W^-}^{W^+} (\exp[W(t)] - s^2) W(t) dW(t) = \\ &= \sum_{n=0}^{\infty} (1-s^2) \left\{ \frac{1}{(n+2)n} [(W^+)^{n+2} - (W^-)^{n+2}] - \frac{n+1}{2} (\beta-1) \int_{t_0}^{t_k} W(t')^n t'^{\beta-2} dt' \right\}. \end{aligned} \quad (40)$$

И окончательно

$$\rho_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma^{1/2} \tau}{\chi(\beta)} \right)^{2/3}. \quad (41)$$

Найдем теперь усредненную по марковскому процессу $W(t)$ волновую функцию солитона, которая согласно (12а), (15), (16) и (34) представима следующим выражением

$$\begin{aligned} \Phi(\xi) &= \langle \Phi(\xi|W) \rangle_W = \int_{W^-}^{W^+} [V_\rho(\rho|W)/\tau]^{1/2} W dW = \\ &= \int_{W^-}^{W^+} [\rho_0 sch^2 [(\sigma/2\rho_0)^{1/2} \xi]/\tau]^{1/2} \exp 1/2 W (1-s^2 \exp(-W))^{1/2} W dW. \end{aligned} \quad (42)$$

Принимая во внимание (18), (41) и используя (5), для (42) будем иметь

$$\Phi(\xi) = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma^{1/2}}{\chi(\beta)\tau} \right)^{2/3} sch^2 \left[\left(\frac{\sigma\chi(\beta)}{\tau} \right)^{1/3} \xi^{1/2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\chi_n(\beta)}{2^n} \left(1 - (-1)^n \frac{s^2}{2} \right) \right]. \quad (43)$$

Перейдем теперь к нахождению энергии и импульса солитона при гармоническом взаимодействии (34) в расширенном пространстве $\Xi = \mathcal{R}(1) \otimes \mathcal{R}\{W(t)\}$.

Энергия солитона, взаимодействующего с деформированной решеткой, усредненная по марковскому процессу $W(t)$ с учетом (6) и (30) будет иметь вид

$$\begin{aligned}\Sigma(\nu) &\equiv \langle \Sigma(\nu|W) \rangle_W = -\frac{1}{2} M \nu^2 \tau \rho_0 \frac{1}{2} \left[(W^+)^2 - (W^-)^2 - (t_\kappa - t_0)^{\beta-1} \right] = \\ &= -\frac{1}{8} M \nu^2 (\sigma \tau^5)^{1/3} \frac{\chi'(\beta)}{[\chi(\beta)]^{2/3}},\end{aligned}\quad (44)$$

где

$$\chi'(\beta) = \left[(W^+)^2 - (W^-)^2 - (t_\kappa - t_0)^{\beta-1} \right] \quad (45)$$

Усредненная по марковскому процессу $W(t)$ энергия деформации решетки вычисляется с помощью выражений (31), (28), а также (34), (41) и (5)

$$\begin{aligned}Q(\nu) &\equiv \langle Q(\nu|W) \rangle_W = \frac{M \nu_0^2}{\sqrt{\sigma}} \int_{w^-}^{w^+} \int_0^{\rho_0} \frac{V_{\rho\rho} [V(\rho|W) + s^2 \rho^2]}{V_\rho \sqrt{G(\rho_0|W) - G(\rho|W)}} W dW d\rho = \\ &= \frac{M \nu_0^2}{\sqrt{\sigma}} \int_{w^-}^{w^+} \int_0^{\rho_0} \frac{\frac{1}{2} \rho^2 \exp W - \frac{1}{2} s^2 \rho^2}{\rho \sqrt{\frac{1}{2}(\rho_0 - \rho)}} W dW d\rho = -\frac{M \nu_0^2 \tau}{12\sqrt{2}} \left(\frac{1}{1-s^2} + \frac{s^2 \chi'(\beta)}{4\chi(\beta)} \right).\end{aligned}\quad (46)$$

Таким образом, для полной энергии солитона определяемой выражением (29), имеем

$$E = \frac{1}{2} m \nu^2 - \frac{1}{8} M \nu^2 (\sigma \tau^5)^{1/3} \frac{\chi'(\beta)}{[\chi(\beta)]^{2/3}} - \frac{M \nu_0^2 \tau}{12\sqrt{2}} \left(\frac{1}{1-s^2} + \frac{s^2 \chi'(\beta)}{4\chi(\beta)} \right).\quad (47)$$

Импульс солитона, усредненный по марковскому процессу $W(t)$ с учетом (32), (38), (41) и (5) находится как

$$\begin{aligned}P(\nu) &\equiv \langle P(\nu|W) \rangle_W = \nu \left(m + M \rho_0 \frac{1}{2} \chi'(\beta) \int_{-\infty}^{+\infty} \operatorname{sch}^2 \left[(\sigma / 2 \rho_0)^{1/2} \xi \right] d\xi \right) = \\ &= \nu \left(m + M \tau \frac{\chi'(\beta)}{2\chi(\beta)} \right).\end{aligned}\quad (48)$$

6. Роль солитона в представлении акупунктурных точек

В заключение хотелось бы предложить модель природы акупунктурных точек (АТ). Она выражается в следующей связи между органом и АТ. В момент нарушения функций некоторого органа из определенной фрактальной области (расширенного пространства Ξ) исходят электроны и ионы, которые вдоль белковой цепи переносятся солитонами в АТ находящуюся в подобной же фрактальной структуре. Попадая в АТ, система электронов и ионов

изменяет электрическую проводимость, что является единственным экспериментально обнаруженным отличием АТ от обычной точки на теле. Воздействие на точку вызывает восстановительный процесс: электрические заряды занимают вакантные места в соответствующем органе, а излучения от воздействия восстанавливают пространственно-полевую структуру как уровня организации соответствующего органа, так и уровня соответствующего АТ, тем самым усиливая их корреляцию.

7. Заключение

Представленные в работе данные показывают, что учет фрактальной природы в биологических системах и введение расширенного пространства в область определений волновых функций, описывающих их, позволяет обнаружить и исследовать принципиально новый круг явлений в физике и биологии. Так, в работе было обобщено солитонное описание квазиодномерной молекулярной системы на его представление во фрактальных структурах. Обобщение было сделано на примере взаимодействий солитона со смещениями пептидных групп находящихся в альфа-спиральной пространственной конфигурации, а также донорно-акцепторной модели переноса электронов белковыми молекулами. Расчет основных физических величин, таких как волновая функция, энергия и импульс солитона, энергия деформации решетки, показал их зависимость от состояния самой системы посредством параметра β . В рамках этого подхода оказывается возможным создание оригинальных методов диагностики и коррекции состояния живых систем. Диагностика сводится к следующей схеме. В определенной области биологической системы измеряется импульс солитона, либо одна из форм энергий описанных выше или их комбинаций. По этим данным определяется параметр β , регистрируя который и пользуясь обширным банком данных по этому параметру мы можем судить о состоянии данной области. Проводя, таким образом, исследования по основным областям биологической системы мы можем судить о состоянии всего организма в целом. Возникают предпосылки формирования адекватного концептуального аппарата для интерпретации процессов морфогенеза и описания несенсорного информационного обмена системы как внутри себя, так и со средой. Надеемся, что новая постановка позволит увидеть весьма интересные и труднообъяснимые биологические явления в свете современной физики.

Список литературы:

1. А. С. Давыдов. Солитоны в молекулярных системах. - Киев: Наукова думка, 1988
2. В. М. Урицкий, Н. И. Музалевская. Фрактальная организация живых систем. - Биомедицинская информатика и эниология. Под ред. К. Г. Короткова и Р.И. Полонникова. -СПб: «Ольга», 1995.
3. Э.Л. Гольдбергер и др.. Хаос и фракталы в физиологии человека. - В мире науки, N4, 1990
4. А.Ю. Гросберг и др.. Физика в мире полимеров. - М.: Наука, 1989
5. Э. С. Гардинер . Стохастические методы в естественных науках. - М.: Наука, 1988
6. К. Г. Коротков, А. Л. Кузнецов. Модель интерференционных пространственно-временных структур в биологии.- Биомедицинская информатика и эниология. Под ред. К. Г. Короткова и Р.И. Полонникова. -СПб: «Ольга», 1995
7. Р.И. Полонников. Информационное взаимодействие биообъектов /Телемедицина. Под ред. Р.И. Полонникова и Р.М. Юсупова.- СПб, 1998
8. Дж. Кайзер. Статистическая термодинамика неравновесных процессов. -М.: Мир, 1990
9. Н. И. Украинский, С. А. Миронов. О природе зоны проводимости в пептидных цепях. -Теорет. и экспер. химия, 1979, 15, N2
10. С. М. Anderson, А. J. Mandell. Fractal time and foundation of consciousness.-In: The secret symmetry: fractals in brain, mind and consciousness, ed. By E .McCornac, M. Stamenov., Amsterdam: John Benjamins, 1994 (in print)
11. N. I. Muzalevskaya et al. Stochastic control of living systems: normalization of physiological functions by 1/f magnetic field. - In: Proc.12th Int. Conf. On Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuation, N.Y.: AIP Press, 1993
12. S. P. Ninomija et al. On changes and relations between fetal fluctuations and its mothers fluctuations about R-R intervals of ECG following growth of the embryo. In: Proc.11th Int. Conf. On Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuation. Tokyo: Ohmsha, 1991
13. P. Bak et al. Self-organized criticality: an explanation of 1/f noise. - Phys. Rev. Lett., 1987, v.59, N4, p.381-384
14. А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов. Введение в синергетику. М.: Наука, 1990
15. В. И. Лоцилов. Информационно-волновая медицина и биология. М.:Аллегро-пресс, 1998

16. А. Г. Гурвич. Теория биологического поля. М.: Сов. Наука. 1944
17. В. П. Казначеев, Л. П. Михайлова. Роль сверхслабых излучений в межклеточной коммуникации. Новосибирск: наука. 1981
18. В. Л. Воейков. Концепции. // От эффекта Кирлиан к Биоэлектрографии. Сборник. под ред. К. Г. Короткова и др..1988
19. D. Bohm. Wholeness and the implicate order. N. Y. Routledge & Co. 1980
20. K. Pribram. The brain. // Millenium. Los-Angeles. J. I. Tarcher Inc. 1981
21. Шустер. Г. Детерминированный хаос . - М.: Мир, 1988
22. Н. И. Музалевская, В. М. Урицкий. Сб.статей/Телемедицина. Под ред. Р.И. Полонникова и Р. М. Юсупова.-СПб, 1998
23. Musha T., Yamamoto M., 1/f -like fluctuations of biological rhythm// Proc. 13 -th Int. Conf. of Noise in Physical Systems and 1/f Fluctuations. - Singapore: World Scientific, 1995
24. Г. Николис, И. Пригожин. Познание сложного: Введение. -М.: Мир, 1990