

# Симметрия, самоорганизация, происхождение жизни. От физико-химических к биологическим, экологическим и социальным системам

В.А. Твердислов

*Рост научного знания 20-го века быстро стирает грани между отдельными науками. Мы все больше специализируемся не по наукам, а по проблемам*

В.И.Вернадский

Представления о симметрии в человеческом сознании ассоциируются в первую очередь с эстетическими категориями или математикой, однако в неживой и живой природе мы встречаем изумительные по своей красоте фигуры, часто похожие друг на друга и возникшие в процессах самоорганизации.

Эволюционирующие открытые системы развиваются в протоке энергии, образуя регулярные структуры. Существует принципиальная разница между возникающими регулярными структурами в неживой и живой природе. В первом случае – это проявление стихийной самоорганизации в системе. Регулярность биологических систем является следствием биологической эволюции, закрепившим их эффективность при функционировании как биологическую целесообразность.

Вот две подобные концентрические структуры (рис. 1). На одной мы видим цветные кольца в агате, возникшие при застывании лавы на древней Земле. А рядом – мальки рыб, собравшиеся вокруг капельки пищи. Фигуры похожи, а причины различны. Но обе они – следствие самоорганизации.

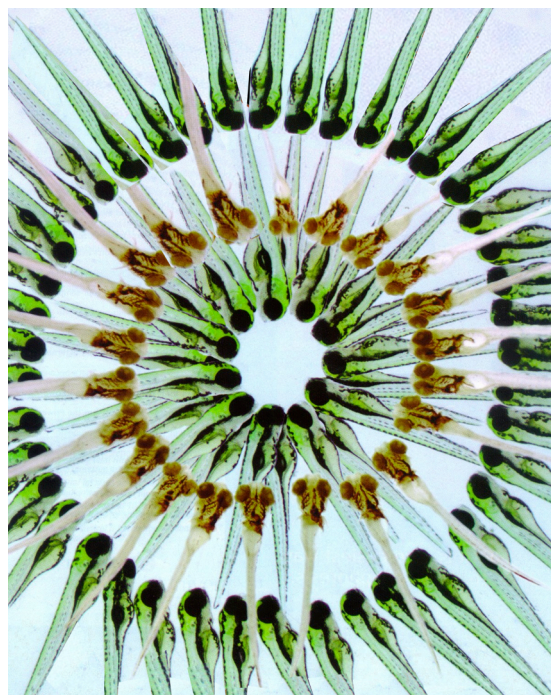


Рис. 1. Кольца агата и мальки рыб, собравшиеся вокруг капли аттрактанта.

Многие достижения последних лет в области физики, химии, биологии, биотехнологии и экологии явным или неявным образом связаны с представлениями об активных средах, способных к пространственно–временной самоорганизации. Эти представления позволили создать модели, описывающие такие несхожие процессы, как работа лазеров, периодические химические реакции, распространение волны кристаллизации в переохлажденной жидкости и нервного импульса, свертывание крови, взаимодействие популяций, распространение эпидемий и т.д. [1–6]. В целом данный подход не должен быть обязательно тесно связан с рассмотрением физической основы систем, но призван отражать общую синергетическую природу их поведения [7].

Отдельные физические, физико-химические и некоторые биологические системы в рамках представлений об активных средах могут рассматриваться как изолированные, самодостаточные объекты. Однако большинство биологических объектов, биоценозы, экосистемы, социальная сфера общества должно рассматриваться как иерархия сопряженных протяженных систем, каждая из которых является активной средой, поддерживающей развитие происходящих в ней процессов на всем ее пространстве [8–11]. Основой процессов самоорганизации в активных средах является возможность возникновения в них автоколебательных и автоволновых режимов, приводящих к эволюционированию систем, их пространственно-временной регуляризации.

Примерно 30 лет назад автором была высказана гипотеза, согласно которой возникновение предшественников живых клеток связано с поверхностной пленкой мирового океана, рассматриваемой в качестве активной среды. Затем эта гипотеза была экспериментально обоснована [12, 13].

Дальнейшее развитие рассматриваемых представлений позволило построить модель почвенных биоценозов как активной среды, в трофических цепях которой возможны автоволновые процессы [14, 15].

Одна из целей настоящей работы – привлечь внимание к возможности создания единой модели эволюции социоэкологических систем, образующих ноосферу, на основе представлений об активных средах. Речь идет не о простом механическом использовании метода аналогий с ранее успешно рассмотренными биофизическими системами, но о методологически едином подходе к рассмотрению самоорганизующихся природных систем.

### **Точечные и распределенные системы, активная среда, автоколебания, автоволны. Физико-химические и биологические активные среды**

Многие динамические системы, независимо от того являются ли они физическими, химическими или биологическими, могут быть описаны в традиционных терминах “реакция – диффузия” [1–5]. Пусть в какой-то области пространства протекает некий процесс (“реакция”) со своим характерным временем. Между соседними областями происходит перенос – диффузия – компонентов или продуктов процесса. Если характерное время основного процесса значительно больше времени переноса, то мы имеем дело с сосредоточенной, или точечной, системой (или с идеальным точечным реактором). Процессы в такой системе синхронны (синфазны). Со стороны она выглядит, как единое целое, хотя ее параметры могут изменяться со временем, например, осциллировать.

Когда же времена переноса сопоставимы с характерными временами самих процессов или превышают их, система становится *распределенной*. Таким системам

свойственно или образование регулярной, согласованной в пространстве и времени структуры, или хаотическое чередование процессов в различных точках.

Распределенные системы являются пассивной средой, когда перенос массы или какого-либо возмущения, например, волны, направляется из определенной точки (точек) и оттуда же питается энергией. Сама же среда пассивно относится к переносу, не поддерживая его энергией и допуская явление интерференции, т.е. сложения и взаимопропускания волн. Примером образования регулярных структур являются диссипативные системы, исходно термодинамически неравновесные и рассеивающие энергию. Запас свободной энергии может быть, к примеру, обеспечен градиентом концентрации какого-либо компонента смеси, а его диффузия может сопровождаться образованием нерастворимого осадка. Известно образование регулярных равновесных структур [3] – слоев Лизеганга (“ритмических осадков”) в виде колец или спиралей. В какой-то мере эти известные с прошлого века структуры могли служить упрощенной моделью биологического морфогенеза.

Способность к более высокому уровню самоорганизации распределенные системы приобретают, когда они становятся *активной средой*. Важнейшей особенностью активной среды является ее способность подпитывать энергией идущие в системе процессы в каждой точке пространства. После завершения процесса в каждой малой области системы идет процесс самовосстановления – локальное накопление энергии, способной обеспечить следующую фазу процесса.

Известно много систем разной природы – физической, химической, биологической, в которых процессы распространяются подобным образом, не затухая. Так распространяется фронт горения высушенной травы в степи, волна кристаллизации в переохлажденной жидкости, волна излучения в лазере, нервный импульс. Распространяющиеся таким способом волны называются *автоволнами*. В однородной среде фронт волны движется с постоянной скоростью и его форма не изменяется.

Наиболее известный пример, который позволяет выделить характерные режимы поведения активной среды – колебательная химическая реакция Белоусова–Жаботинского–Заикина [1–5]. Открытая в 1951 году Б.П. Белоусовым, реакция впервые была легализована и воспроизведена в 1961 году на кафедре биофизики физического факультета МГУ С.Э. Шнолем, Г.Н. Зацепиной и А.Е. Букатиной. Детальное изучение химизма реакции и автоколебаний выполнили выпускники кафедры биофизики А.М. Жаботинский и В.А. Вавилин, ее пространственно–временного поведения – А.Н. Заикин.

В основе процесса лежит гомогенная окислительно-восстановительная реакция – переход от 3–валентного церия к 4–валентному и обратно в присутствии серной кислоты, малоновой кислоты, бромата калия. Эта реакция по своей природе такова, что в каждой точке реактора происходят самопроизвольные осцилляции, сопровождающиеся изменением цвета раствора. Если весь объем реактора быстро перемешивается, система ведет себя, как точечная – осцилляторы связаны перемешиванием. В этом случае во всем объеме наблюдаются синфазные самоподдерживающиеся осцилляции – *автоколебания* – раствор периодически изменяет цвет.

При отсутствии перемешивания в тонком слое жидкости реакция Белоусова–Жаботинского–Заикина становится распределенной системой – двумерной активной средой, в которой точечные осцилляторы последовательно взаимодействуют друг с другом, что сопровождается появлением распространяющихся концентрических

цветных пространственных структур – *автоволн*. Эти кольцевые волны распространяются вокруг так называемых *водителей ритма* – спонтанно возникающих центров колебаний. Водитель ритма с самой высокой собственной частотой постепенно “съедает” всех своих конкурентов и втягивает всю систему в работу со своей частотой вплоть до полного истощения запаса свободной энергии в системе. Распространяясь, автоволны не изменяют своей амплитуды, как это бывает с волнами в пассивной среде, где они затухают (как, например, звуки в воздухе). Автоволны не проходят друг сквозь друга, а аннигилируют при столкновении.

На рис. 2 мы видим концентрические волны, возникающие в ходе реакции Белоусова и распространяющиеся от пульсирующего в центре «водителя ритма». Волны, распространяясь от него, используют распределенную в пространстве химическую энергию реагентов, потом система восстанавливается. Тогда накатывает следующая волна. Похожий волновой режим проявляют лишайники на камне: за каждой волной поверхность должна снова накопить питательные вещества.

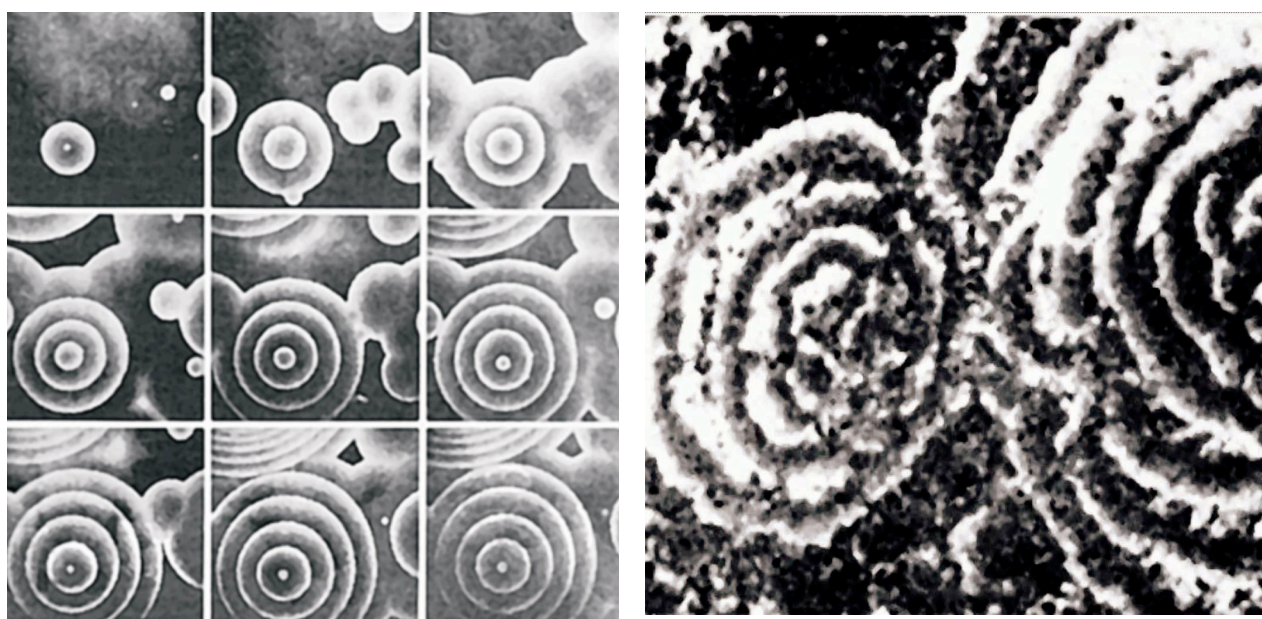


Рис. 2. Автоволны в реакции Белоусова (А.Н.Заикин) и автоволновой режим роста лишайника *Parmelia centrifugae* (С.Э.Шноль, Белое море).

Таким образом, реакция в точечной системе протекает как автоколебательный процесс, а в распределенной – как автоволновой.

Отметим, что не во всех случаях автоволновая система формируется взаимодействующими точечными осцилляторами. Примером такой, отличающейся от рассмотренной, системы может служить развевающийся на древке стяг, который при обдувании его ветром становится распределенной автоколебательной системой, хотя никаких осцилляторов в нем нет – есть проток ветровой энергии и специальные граничные условия: закрепленный и свободные края флага.

В 1983 году В.Н. Буравцев (выпускник кафедры биофизики физического факультета МГУ) “сконструировал” автоволновую систему с фазовыми переходами первого рода [11] – интерфазный осциллятор. Впоследствии нами были обнаружены и исследованы электрические колебания в осцилляторе Буравцева, генерирующем в отсутствие термодинамического равновесия колебательные фазовые переходы 1-го

рода на границе раздела воздуха и жидкости, содержащей летучий компонент [11a]. В тонком поверхностном слое водного раствора аммиака при температуре ниже температуры замерзания воды, но выше температуры замерзания смеси, за счет испарения аммиака из поверхностного слоя и обеднения им раствора, а также вследствие последующей диффузии аммиака в поверхностный слой из объемной фазы происходят последовательные процессы образования льда и его таяния. Граница раздела фаз в данном случае является распределенной активной средой, в которой развиваются автоволновые процессы.

В принципе, возможно существование экзотических активных сред, в которых автоволны интерферируют – проходят друг друга насквозь, если, распространяясь, волна не “выедает” всей свободной энергии до ее локальной регенерации. При этом волны могут изменить свою скорость, амплитуду и форму.

До сих пор речь шла об автоволнах в однородной среде. В неоднородной активной среде происходит искажение волнового фронта, возможен его разрыв, возникновение и размножение спиральных автоволн, т.н. ревербераторов. И химические и биологические волны могут быть спиральными, причем спирали могут быть вложенными одна в другую. Их называют ревербераторами.

На рис.3 слева - та же химическая система Белоусова, а справа на электронномикроскопической фотографии – спираль второго порядка, образованная микротрубочками в выростах-аксоподиях на оболочке одноклеточного обитателя наших водоемов – солнечника. У спиральных структур появляется новое свойство – они могут быть «правыми» и «левыми». И это крайне важно для живых систем не только на уровне клеток, организмов и их сообществ, но и на молекулярном уровне.

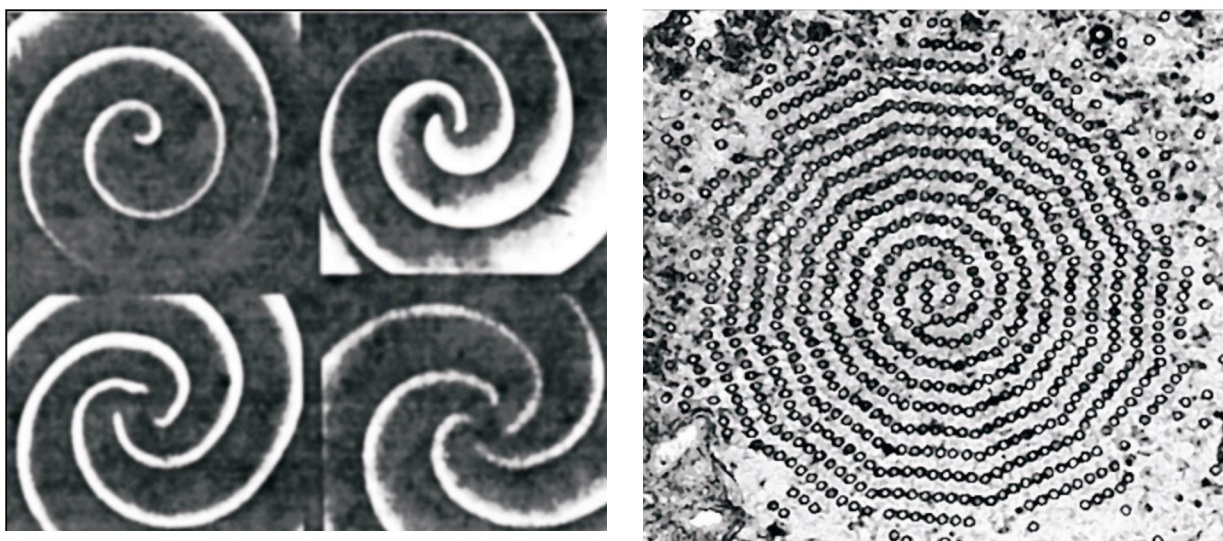


Рис. 3. Ревербераторы 1 – 4-го порядков в реакции Белоусова, электронномикроскопическая фотография среза аксоподии представителя простейших – солнечника *Actinosphaerium eichhorni* [16].

Ревербераторы иногда представляют собой сочетание право- и левозакрученных спиралей или вложение нескольких спиралей, соответственно, правых и левых. В специальных условиях могут образовываться возбужденные движущиеся со скоростью автоволны квазичастицы – экситоны [5], в других случаях – неподвижные слоистые или ячеистые структуры (упоминавшиеся ранее слои или кольца Лизеганга).

Известным примером одномерной биологической активной среды является нервное волокно, по которому без затухания могут последовательно распространяться нервные импульсы.

Известна картина спиральной автоволновой самоорганизации так называемых “социальных” амёб *Dictyostelium discoideum*, объединяющихся в определенной фазе жизненного цикла в единый организм под действием специфического аттрактанта цАМФ, выделяемого отдельными клетками [16]. Отмечено волновое движение протоплазмы на представленной стадии морфогенеза, формирующее структуру из вложенных спиралей.

Пример трехмерной активной среды, в которой возникают электрические и механические автоволны – сердечная мышца. Существенно, что в сильно неоднородных системах или при рассинхронизации циклов в соседних локусах происходит переход от регулярности и взаимосогласованности к хаотическому автоволновому режиму. Подобное явление наблюдается в сердечной мышце при переходе от регулярного автоволнового режима к хаотическому, т.е. фибрилляции.

Заметим, что не во всех случаях явно выраженная автоволновая самоорганизация является благом для биологической системы. Так в головном мозге при эпилептическом припадке возникают регулярные волны электрического возбуждения. Более того, по известным данным многим патологиям предшествует появление строго регулярных колебательных процессов.

Менее известны двухавтоволновые модели. До сих пор мы говорили об автоволнах одной природы. Однако же многокомпонентная активная среда, в принципе, может обеспечить возникновение автоволн разной природы.

Несколько лет назад Ф.И.Атауллахановым была высказана автоволновая гипотеза свертывания крови [6]. Было предположено, а затем и подтверждено экспериментально, что рост тромба обеспечивается распространением в крови концентрационной тромбиновой автоволны. При этом в зоне за движущимся фронтом этой волны создаются условия для зарождения еще одной автоволны – волны торможения свертывания. Последняя, двигаясь с большей, чем первая скоростью на некотором расстоянии от места повреждения сосуда настигает тромбиновую волну, останавливая дальнейшее свертывание.

Авторами обнаружен один весьма необычный для данной системы феномен, который вытекает из гипотезы о двухавтоволновой природе свертывания – феномен образования слоистых, или кольцевых структур. В ходе нормального роста тромба, его остановка, согласно гипотезе, происходит тогда, когда волна ингибитора нагоняет волну тромбина. Ингибитор и тромбин перестают генерироваться, но продолжают диффузионно распространяться, сильно уменьшаясь в своих концентрациях. При этом вокруг тромба возникает зона с повышенной концентрацией ингибитора – “зона торможения”. В нормальных условиях эта зона надежно удерживает тромбин в допороговой области концентраций.

Однако, как показало рассмотрение математической модели процесса, если несколько изменить кинетические параметры процесса свертывания, например, уменьшить порог активации свертывания для тромбина, может произойти следующее. Тромбин, хоть и выйдет за пределы “зоны торможения” в очень низкой концентрации, но эта концентрация все равно окажется выше пороговой. Это приведет к новому быстрому нарастанию концентрации тромбина и рождению новой волны роста тромба. Вокруг первичного сгустка, на некотором расстоянии от него, начнет расти второй сгусток, отделенный от первого жидким слоем.

Процесс может повториться несколько раз, приводя к формированию некой слоистой структуры – многослойного сгустка, в котором чередуются твердые и жидкие слои. Слоистые структуры были обнаружены авторами работы экспериментально. Свертывание плазмы крови происходило в тонком слое и инициировалось стеклянным шариком (известно, что стекло сильно активирует свертывание). Последовательно возникали кольцевые слои твердой фазы.

Ф.И.Атауллаханов считает, что с общебиологической точки зрения образование тромба связано с разделением исходно изотропной среды на две части и формированием между ними резкой границы. Такая задача является типичной при формировании структур многоклеточного организма, при дифференцировке органов в ходе развития. Возможно, механизм, основанный на двух взаимодействующих автоволнах, природа использует при решении задач дифференцировки многоклеточных организмов. Эта заманчивая идея открывает, быть может, новый подход к выяснению механизмов морфогенеза.

Другой пример двухволнового процесса – перистальтика стенок пищевода, желудка, кишечника, мочеточника и других полых органов, обеспечивающая перенос их содержимого в дистальном направлении. Встречная автоволна – антиперистальтика – формируется, например, в толстом кишечнике. Движение волны сокращений в оральном направлении обеспечивает удержание содержимого, а также лучшее всасывание воды и ионов.

Представления об активных средах действительно приводят к неожиданным гипотезам. Так, А.Н.Заикиным было высказано достаточно парадоксальное соображение о том, что в биологических системах возможна морфологически недетерминированная связь посредством информационных взаимодействий в активной среде [5].

### **Поверхность Мирового Океана как активная среда. Фракционирование ионов и хиральных соединений. Происхождение предшественников клеток.**

Морская поверхность является термодинамически неравновесной структурой, поскольку испарение воды и инфракрасное излучение в атмосферу охлаждают поверхностный слой толщиной 100–300 мкм на 0,5–1,0 °С. В возникающем значительном градиенте температуры могут происходить термодиффузионные процессы разделения ионов и органики, могут формироваться регулярные динамические структуры (колебательные и волновые).

В настоящем сообщении мы будем говорить о спонтанных природных физико-химических процессах, которые могли бы привести к возникновению предшественников живых клеток. Именно предшественников, а не самих живых клеток. Нам придется обратиться к идеям 70–30-летней давности относительно процессов еще более далеких, по-видимому, имевших место на Земле более 3 млрд. лет назад. Речь пойдет не столько о “биохимическом предопределении” появления живого, но о более раннем, базовом “физико-химическом, геофизическом предопределении”. Это и составляет предмет нашего исследования [12, 13]. Естественно, мы опираемся на классические исследования и публикации А.И. Опарина [17], Дж.Б.С. Холдейна [18], Дж.Д. Бернала [19], М.Г. Рутгена [20] и их последователей. Обращение к классическим работам Луи Пастера связано с проблемой хиральности (см. [21]).

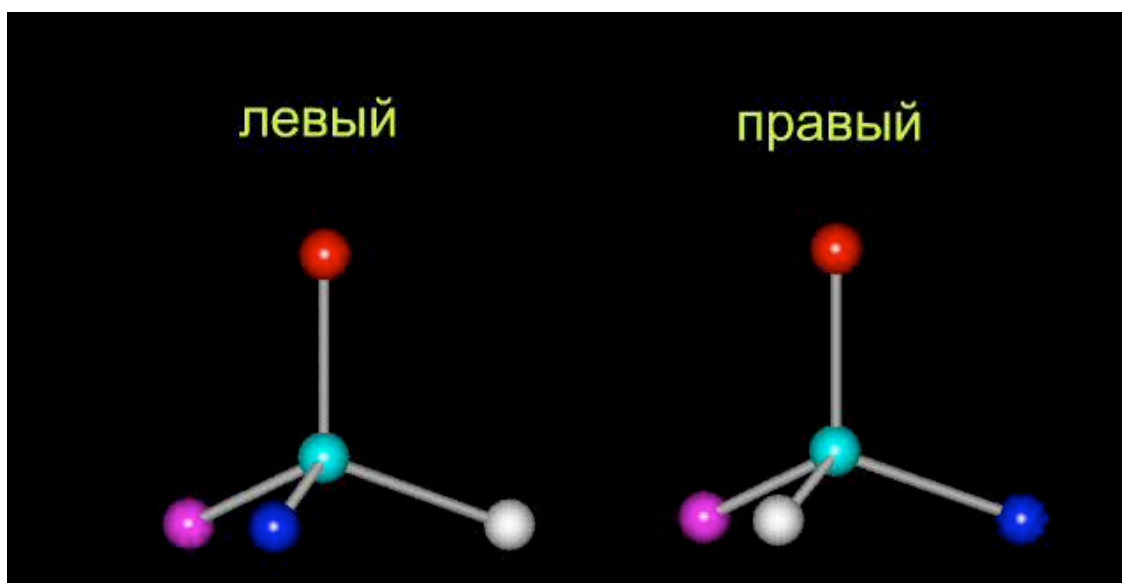
Живая природа использовала все размерности окружающего нас реального физического мира. К точечным компонентам живого, крайне малым по сравнению с

размерами организмов или клеток, можно отнести, например, неорганические ионы и молекулы воды. К одномерным (линейным) компонентам следует отнести неразветвленные полимеры – белки и нуклеиновые кислоты. К двумерным – мембраны, к трехмерным – объемные образования – клетки и органеллы, формируемые компонентами более низких размерностей.

По-видимому, основой термодинамической неравновесности первичных трехмерных добиологических образований стала ионная асимметрия между протоклетками и окружающей средой. Без специализированных механизмов поддержания ионной асимметрии мембранными насосами, приобретенными уже в ходе биологической эволюции, электрохимические градиенты исчезают. Но и неживая природа, оказывается, способна воссоздавать ионную несимметрию.

Еще одной уникальной находкой природы стало использование одномерных цепей, белков и нуклеиновых кислот, в качестве информационно значимых молекул. Необходимое условие для этого – хиральная чистота мономеров, L-аминокислот и D-сахаров. Принципиальный вопрос состоит в том, в какой мере добиологическая или биологическая стадии эволюции предопределили хиральную асимметрию, обеспечившую стереоспецифичность однозначно формируемых биополимеров. Этот выбор – информационный (или антиэнтропийный). Разумеется, и такая система термодинамически неравновесна, поскольку в хирально несимметричных физико-химических системах происходит спонтанная рацемизация. Однако процесс этот сильно заторможен кинетически. Поэтому в интересующих нас масштабах времени (возникновения и сохранения везикул-протоклеток) он существенной роли не играет.

Жизнь на Земле построена на основе углерода (других форм жизни не знаем). Углерод может образовывать четыре равноценные химические связи, направленные *как бы* из центра правильного тетраэдра к его вершинам. К хиральным веществам относятся соединения, включающие асимметричный атом углерода с четырьмя различными заместителями, имеющими с ним ковалентные связи. Они образуют *зеркальные изомеры - энантиомеры*, обладающие оптической активностью – способностью вращать плоскость поляризации света (L – влево, D – вправо). Обычный пример: L-аминокислоты (см. рис. 4) и D-сахара. Молекулярная асимметрия в биосфере однозначно реализуется на генетическом уровне и в биосинтезе. Появилось даже специальное понятие «*хиральная чистота биосферы*».





#### Рис. 4. Зеркальные изомеры L и D аминокислот

Естественный вопрос, зачем нужна гомохиральность живым системам, имеет общий и вполне ясный ответ. Гетерохиральные неразветвленные биополимеры (нуклеиновые кислоты и белки) потеряют свою уникальную стереоспецифичность, если в них случайным образом будут входить мономеры-энантиомеры. Гетерохиральные (по дезоксирибозе) ДНК потеряют необходимое свойство комплементарного взаимодействия в двойной спирали. Белки-ферменты, рецепторы, переносчики также утратят свою уникальную пространственную конфигурацию, необходимую для специфического комплементарного узнавания своих субстратов и лигандов.

Один из ключевых вопросов происхождения Жизни на Земле состоит в том, где и каким образом в неживой природе 3,8 миллиарда лет назад возникла молекулярная хиральная асимметрия (дело в том, что L- и D-изомеры самопроизвольно переходят друг в друга, выравниваясь по концентрациям). На кафедре биофизики Физического факультета было впервые установлено, что на неравновесной из-за испарения воды поверхности мирового Океана может происходить накопление «левых» аминокислот и «правых» сахаров. Там же возникали и заключенные в липидные оболочки предшественники живых клеток, характеризовавшиеся хиральной и ионной (клетки накапливают калий в обмен на натрий морской воды) асимметриями.

Главной идеей настоящего раздела будет утверждение относительно того, что бифуркация, в результате которой появились две неравновесные несимметрии, фундаментальные для живых систем, могли возникнуть и, вероятно, возникли в одно и то же время и в одном и том же месте в ходе общих процессов. Это место – неравновесная граница океан-атмосфера.

Предварительно рассмотрим несколько соображений общего характера. Далее будут изложены экспериментальные данные относительно формирования прототипов клеток в природных условиях.

Основными постулатами гипотезы будем считать следующие:

1. Период “абиогенной молекулярной эволюции” обеспечил необходимыми органическими веществами процесс самоорганизации протоклеток [18–20].

2. Начальные стадии предбиологической эволюции происходили в “первичном бульоне” в эстуариях древнего океана, ионный состав которого с тех пор существенно не изменился [20].

3. Дискретность живых организмов обусловлена требованиями эволюции и естественного отбора. В водной среде обособленность частиц, содержащих водорастворимые ингредиенты, обеспечивается гидрофобными оболочками – мембранами [22].

4. Протоклетка должна обладать определенным запасом свободной энергии для создания систем реагирования и регуляции нарождающегося метаболизма. В морской воде естественными претендентами на роль регуляторов (специфических, осмотических, электрических) являются неорганические ионы [12, 13, 23].

5. Классические схемы возникновения ионной несимметрии основаны на избирательной адсорбции некоторых ионов морской воды (например,  $K^+$  или  $Ca^{2+}$ ), их концентрировании ионообменниками – алюмосиликатами, кварцем или же коацерватами. Они неприемлемы, поскольку перераспределение ионов морской воды в данном случае завершается термодинамическим равновесием – нет запаса свободной энергии. “Предрасположенность” ряда адсорбентов к калию или

кальцию существенна для процессов регуляции. “Игра” природы “на поле катионов” связана с преимущественно полианионной природой биомакромолекул [12–20, 23].

6. Принципиальной характеристикой перераспределения неорганических ионов между первичными клетками и морской водой должно быть *приблизительное осмотическое равенство при отсутствии термодинамического равновесия*. Простейший вариант определен естественными причинами – *протоцелла обогащается ионами, которых мало в морской воде, взамен тех, которых там много*. Концентрации активных осмотических частиц внутри и снаружи примерно равны, но вместе с ионной асимметрией в системе появляется запас свободной энергии [12–13].

7. В условиях неспецифического синтеза органических хиральных соединений образуется их рацемическая смесь, что заведомо не соответствует особенностям живых систем. Должна ли была природа “ждать” биологической эволюции или могла “приступить” к фракционированию рацематов на предбиологической стадии? [12, 13, 21, 24]

Таким образом, вставал вопрос, *существует ли природная система, в которой возможно возникновение обособленных структур – везикул, образованных амфифильными поверхностно-активными веществами. При этом везикулы должны содержать электролит, инвертированный по ионному составу по отношению к морской воде, и смесь абиогенно возникших хиральных соединений, возможно, с выраженным изменением соотношения исходных L- и D-компонентов в их смесях.*

Отчасти на основании доступной литературы, отчасти интуитивно мы обратились к исследованию поверхностной, так называемой, “холодной” пленки морской воды. В основе образования такой пленки лежит испарение воды и инфракрасное излучение мирового океана [25, 26].

В ряде опубликованных нами ранее работ было экспериментально установлено, что возникающая в процессе тепло- и массопереноса между морской поверхностью и атмосферой “холодная поверхностная пленка” обогащается ионами калия и кальция [13, 26, 27]. Коэффициенты фракционирования этих ионов в естественных условиях сильно зависят от температуры воздуха и влажности и, к примеру, могут достигать 1,18 для ионов кальция (Японское море) и 9,8 для ионов калия (Каспийское море). Напомним, что морская вода, как и кровь млекопитающих, содержит примерно на порядок больше натрия, чем калия, тогда как внутри обычной клетки соотношение ионов обратное. Для такой усредненной клетки коэффициент разделения для этих одновалентных катионов равен примерно 100.

Мы исследовали состав поверхностной пленки в Белом, Черном, Каспийском и Японском морях. По понятным причинам, там, где влажность близка к абсолютной, и испарение минимально (это Белое море, университетская биостанция на Полярном круге) “холодная пленка” практически отсутствует и фракционирование ионов незначительно. Противоположная ситуация отмечена на Каспийском море – температура высока, воздух сух, испарение воды значительно, “холодная пленка” – контрастна, фракционирование – максимально.

Инвертированность ионного состава “холодной пленки” наиболее ярко проявляется при образовании “пленочных” микробрызг, возникающих при разрыве пузырей воздуха, поднимающихся на поверхность морской воды (рис. 5). Более тяжелые “реактивные” капли, как правило, падают обратно. Поведение пленочных микробрызг, обогащенных калием и кальцием и имеющих размеры, сравнимые с

клеточными (примерно 100 мкм), более сложно. Частично с их участием формируются облака.

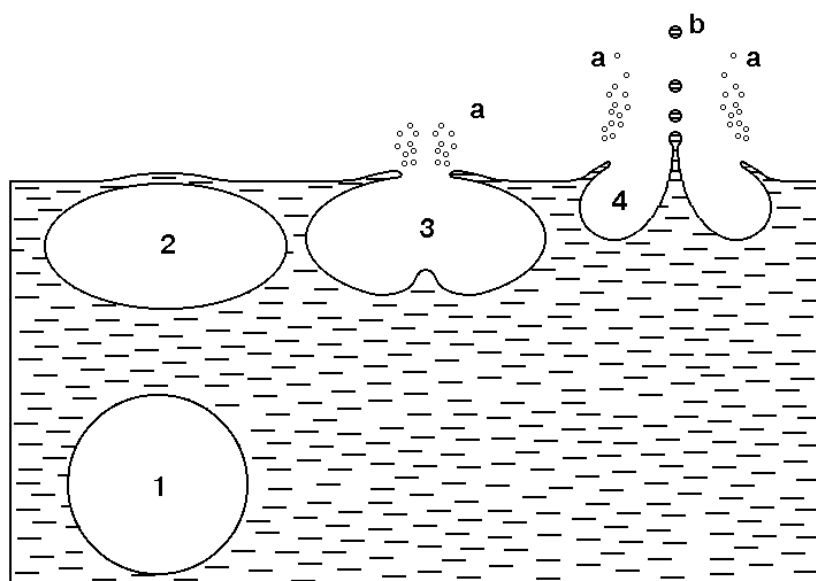


Рис. 5. Механизм образования аэрозоля при барботировании поверхности раствора. Последовательные стадии разрушения пузырька на поверхности отмечены цифрами от 1 до 4; а – пленочные капли, б – реактивные капли.

Нас давно интересует регион Персидского залива и Красного моря. Именно там, как нам представляется, благодаря высокой температуре, сухим ветрам и активному испарению должна образовываться самая холодная “холодная пленка”. При этом важна не ее абсолютная температура, но важны градиенты температуры. В этой ситуации мы ожидаем максимального фракционирования ионов у границы раздела фаз. Заметим, что облака над Синайским полуостровом, образовавшиеся из поверхностных пленочных микробрызг, самые *кальевые* из нам известных (!)

В модельных системах в присутствии рацемических смесей некоторых аминокислот поверхностный слой (50 – 300 мкм) обогащался L-энантиомерами, причем относительное обогащение могло достигать 5 – 10% (например, для валина и лейцина), чего заведомо достаточно для эволюционной реализации преимущества одного из энантиомеров [27].

*В равновесных условиях, когда не происходит испарения воды, “холодная пленка” не формируется, и фракционирования ионов и энантиомеров не происходит.*

Если на поверхности раствора находится разреженный монослой фосфолипидов, то при разрыве на ней пузырьков воздуха образуются липидные везикулы, захватывающие раствор из поверхностного слоя, обогащенный ионами калия и кальция и L-аминокислотами (рис. 6). Подобные образования могут рассматриваться как прототипы клеток, способные служить объектами отбора в процессе биологической эволюции.

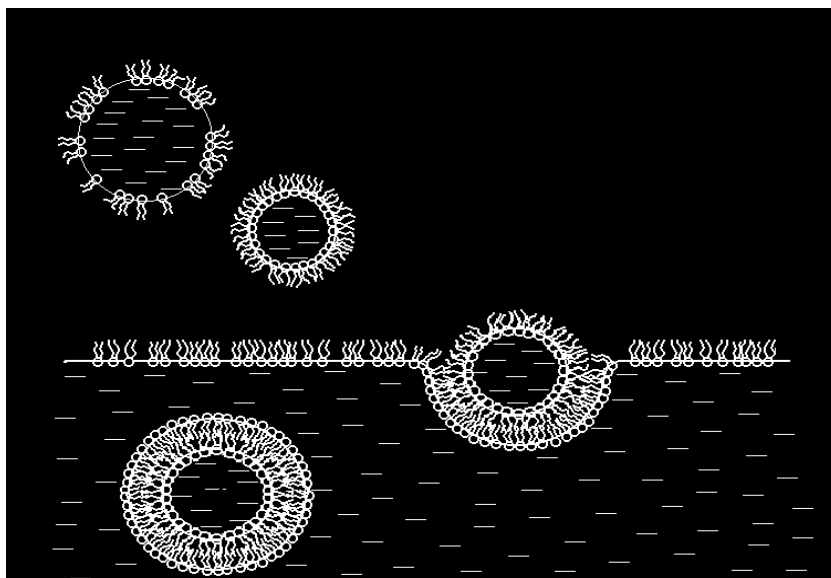


Рис. 6. Стадии образования бислоидной липидной везикулы при падении капли аэрозоля на поверхность океана: 1– капля аэрозоля, покрытая разреженным монослоем амфифила; 2 – конденсация монослоя амфифила при испарении капли; 3 – "одевание" капли вторым монослоем при падении на поверхность океана; 4 – сформировавшаяся везикула.

Обнаруженные эффекты фракционирования не могут быть объяснены только на уровне простых моделей термодиффузии [28]. Хотя известно, что более тяжелые частицы концентрируются в холодной зоне температурного градиента (дегидратированные ионы калия и кальция имеют более высокую атомную массу по сравнению с натрием и магнием), термодиффузионная модель недостаточна для описания высокой степени фракционирования ионов, наблюдаемой в эксперименте. Нами проведено математическое моделирование процессов на границе раздела электролит-воздух с учетом разных типов конвекции при тепломассообмене между фазами [26].

Что касается фракционирования энантиомеров аминокислот, то самые общие соображения о разделении хиральных молекул в комбинированных гравитационных, магнитных, электрических полях в сочетании с конвекцией приведены в работе В.И.Гольданского и В.В.Кузьмина [24]. Надо заметить, что необходимый набор дифференцирующих молекулы факторов на границе океан-атмосфера имеется.

Отметим, что в рамках нашего подхода значимыми для предбиологической эволюции были районы мирового океана с ионной силой, сравнимой с ионной силой биологических жидкостей, например крови. А это примерно соответствует современной морской воде. Поэтому распресненные зоны океана, как и засоленные, по-видимому, не могут рассматриваться в качестве колыбели жизни.

Есть основания полагать, что колебательные и, возможно, автоволновые процессы на неравновесной границе океан – атмосфера участвуют в процессах параметрического фракционирования ионов и хиральных молекул. Краткое обсуждение параметрического насоса приведено в конце следующего раздела.

Теперь – относительно двух широко известных давних гипотезах о происхождении Жизни. В них можно увидеть определенные аналогии с обсуждавшимися нами гипотезами и их взаимодополняемость.

Одна библейская – Бог создал человека из глины. Мы говорили ранее относительно адсорбентов – глино-алюмосиликатов, являющихся ионообменниками с

повышенным сродством к калию. При адсорбционном насыщении система равновесна. По этой причине библейская гипотеза представляется вполне приемлемой, хотя формально ограничивается термодинамически равновесным случаем. Однако, они же, глины, могли быть катализаторами простых органических реакций. На этой стадии предбиологической эволюции могло начаться “привыкание” первичного метаболизма к калиевой среде. Как только мы переходим от равновесной адсорбции к катализу, то в этом аспекте система может рассматриваться только как неравновесная.

Другая гипотеза – эллинская – об Афродите, которая вышла из пены морской. Собственно, этот случай мы и рассматривали, когда говорили о поверхностно-активных веществах, брызгах и везикулах. Поэтому древнегреческая гипотеза представляется вполне адекватной рассматриваемой проблеме и действительно отражает термодинамически неравновесный случай.

Но не только проблема возникновения жизни и биологической значимости хиральной асимметрии волнует ученых-биофизиков. Стало известно, что «стремление» левых и правых молекул уравниваться в концентрациях свойственно не только неживой природе, но и всем организмам. Увы, с возрастом часть наших L-аминокислот переходит в D. Это случается и в ходе многих заболеваний.

Вот так близко вопросы симметрии смыкаются с насущной для нас проблемой нашего здоровья и долголетия.

### **Биоценозы почвы как активная среда. Автоволны в трофических цепях**

В качестве еще одного конкретного примера биологической автоволновой системы будет рассмотрена система почвенных биоценозов на уровне трофических (пищевых) цепей. Распределенная модель почвенной трофической цепи, рассматриваемой в качестве активной среды, впервые была представлена в работах, выполненных совместно с А.Н.Зайкиным и П.С.Ивановым [14, 15].

По сравнению с атмосферой и водами суши почва как часть окружающей среды гораздо более уязвима в отношении антропогенных воздействий, что обусловлено гетерогенностью ее физико-химической структуры и многочисленностью процессов, ответственных за перемещение различных веществ. Это обстоятельство определяет актуальность теоретического изучения почвенных систем и в то же время заметно усложняет задачу моделирования. Основной результат, которого ожидают от моделей почвы, должен представлять собой оценки характерных пространственных и временных масштабов распространения поллютантов и процессов самоочищения для локальной области с заданными физико-химическими свойствами, указания на возможность существования в почве тех или иных типов динамического поведения и, по возможности, содержать определенные рекомендации по восстановлению исходного состояния данного почвенного биогеоценоза.

При построении модели предполагается, что, во-первых, первичное органическое вещество образуется в поверхностном слое малой толщины, от которого берет начало трофическая цепь, уходящая в глубину; во-вторых, распределение органики по глубине немонотонно и варьирует как в пространстве, так и во времени; в-третьих, в деструкционном (катаболическом) процессе имеются как биологические, так и физико-химические стадии, в частности реакции химической дегградации и переноса с гидродинамическими потоками (часто – турбулентной природы).

При моделировании процессов трансформации органики в почве авторы использовали в качестве "функциональных" блоков не почвенные горизонты, как это делалось ранее, а звенья трофической цепи. Органика передается из блока в блок и частично подвергается минерализации. Фактически модель представляет собой модифицированную распределенную схему Лотки [1, 2], адаптированную для описания большого (в пределе – бесконечно большого) ансамбля жертв и хищников.

Сама математическая модель подробно изложена в уже упомянутых работах [14, 15]. Мы же остановимся на принципиальных ее положениях и выводах. Модель эквивалентна рассмотрению почвы как активной среды. В этой связи можно было ожидать, что она будет демонстрировать динамические режимы, которые характерны для других активных сред. Уникальной особенностью данной системы является ее принадлежность к активным средам последовательного типа: энергия, необходимая для возбуждения, передается последовательно от одного звена к другому. Длина трофической цепи в различных модификациях базовой модели составляла от нескольких десятков до нескольких сотен звеньев.

Звено трофической цепи состоит из редуцента и редуцируемой органики (в нужной для редуцента фазе переработки). В процентном отношении масса редуцента существенно меньше массы органики и может составлять менее 1% их общей массы. Очевидно, что подвижность редуцента не должна влиять на общую подвижность органической массы звена. Следовательно, подвижность редуцируемой органики зависит, в основном, от коэффициента диффузии и пористости субстанции, в которой перемещается органика.

Вычислительные эксперименты с модельной системой проводились при следующих ограничениях:

- система однородна, то есть параметры всех звеньев одинаковы;
- все звенья цепи, кроме первого, являются катаболическими. На первое звено возложены анаболические функции: плотность особей в нем можно считать постоянной в течение заданного интервала времени.

Исходное состояние цепи – стационарное значение некоторых "запальных" концентраций в каждом звене. Короткое возмущение в первом звене вызывает появление бегущего импульса, амплитуда которого при достаточной длине цепи плавно уменьшается до нуля.

В случае продолжительного возмущения в первом звене возможны следующие варианты поведения системы:

- 1) система приходит к состоянию гладкого уменьшения плотности органики вдоль цепи;
- 2) происходит возникновение источника импульсов, периодически излучаемых первыми звеньями. Эти импульсы, представляющие собой возбуждения в двух звеньях, постепенно уменьшаясь по амплитуде и скорости, затухают, а распределение плотности переходит в гладкое уменьшение до "запального" уровня;
- 3) в трофической цепи возникает режим прерывистой генерации. При сохраняющихся периодах генерируемых пачек импульсов, внутри этих периодов ситуация существенно меняется от звена к звену.

В двумерной распределенной цепи модель выявляет некоторые особенности стационарного распределения:

- 1) трансформаторы первых звеньев цепи, расположенные в поверхностных слоях почвы перерабатывают органику сами, не допуская погружения ее в нижние слои;

2) так же ведут себя и редуценты последних звеньев, до которых по цепи доходит значимое количество органики;

3) максимум плотности органики, уменьшаясь, смещается одновременно в глубину и вдоль цепи, так что наибольшей глубины достигают значимые количества органики, "принадлежащей" средним звеньям.

Модель позволяет рассмотреть и случаи болезни почвенного организма – выпадение звена. Звено (или звенья) трофической цепи могут выпадать в результате инфекционных заболеваний, механических травм почвенного тела (глубокая вспашка с оборотом пласта), антропогенных загрязнений. В отдельных случаях наблюдается избирательное угнетение или уничтожение отдельных звеньев или групп звеньев поллютантами. В модельной почвенной системе выпадение звена трофической цепи приводит к накоплению органики в предыдущих, поскольку выпавшее звено образует непроницаемую границу. Если вести счет от этой границы к началу цепи, то, как показывают численные эксперименты, нечетные звенья накапливают органику, тогда как в четных увеличивается скорость ее переработки.

В случае неактивного продуцента для восстановления выпавшего звена на сельскохозяйственных угодьях естественным, хотя и весьма дорогостоящим решением может быть засевание соответствующим видом дефектного поля. При наличии активного продуцента засев оказывается достаточно провести на краю поля, поскольку засев всего поля довершит *инокуляционная автоволна*.

При переходе к трехмерной задаче путем добавления еще одной пространственной координаты в плоском слое возникают *кольцевые инокуляционные автоволны*, общий характер которых (распределение плотности органики и т.д.) остаются теми же, что и в одномерном случае.

Дальнейшее развитие модели может состоять в переходе от рассмотрения отдельной трофической цепи к описанию совокупности таких цепей, функционирующих параллельно (модель трофической сети). Привносимые за счет этого дополнительные структурные элементы и связи способны привести к выявлению новых особенностей динамического поведения системы.

Сравнение некоторых результатов, полученных для развиваемой модели, с данными наблюдений реальных почвенных систем, свидетельствуют о том, что рассмотрение почвы в качестве распределенной активной среды позволяет количественно предсказать основные параметры, которые характеризуют распространение токсикантов в почве, а также процессы ее самоочищения. Указанные результаты могут быть применены и для описания миграции неорганических веществ, поскольку многие из них, в том числе тяжелые металлы, оказываются включенными в метаболические пути. (В этой связи достаточно привести только один пример: как показывает фракционный анализ почвенных проб, около 60% свинца и кадмия присутствуют в почвах в связанных формах в составе органических соединений.)

В трофических цепях водных и почвенных биоценозов вполне могут происходить и двухволновые процессы, о которых мы говорили выше.

Есть основания надеяться на то, что адаптация нашей модели к почвенно-климатическим условиям конкретных регионов позволит выявить новые особенности динамического поведения почвенных систем и, кроме того, получить теоретическое объяснение явлений совместного неаддитивного действия токсикантов и их неоднородного пространственно-временного распределения, что, как известно, наблюдается в почвах в течение нескольких лет после загрязнения.

Вернемся к вопросу параметрического разделения жидких смесей в гетерогенных системах [12]. Работа параметрического насоса основана на взаимодействии двух синхронных периодических полей с гетерогенной системой, содержащей твердую и жидкую фазы и смесь веществ, распределенных между ними. Одно периодическое поле (например, температура) является параметром, определяющим периодическое перераспределение компонентов смеси между фазами. Другое, синхронное с ним периодическое поле (например, поле механических сил, поверхностное натяжение, электрическое поле) смещает одну фазу (или ее компоненты) относительно другой в прямом и обратном направлениях. В результате циклической работы параметрического насоса возникают встречные потоки разделяемых компонентов против градиентов их химических или электрохимических потенциалов. В работе [29] приведено описание экспериментального разделения ионов калия и натрия с помощью ионообменной колонки, температура которой периодически изменялась, а раствор синхронно возвратно-поступательно смещался специальной помпой. Сходные результаты были получены на ионообменной мембране при смещении ионов переменным электрическим полем. В той же статье изложена теория фракционирования.

Процессы параметрического разделения компонентов жидких смесей могут иметь место в гетерогенных системах с вынужденными колебаниями, автоколебательных и автоволновых системах. Так, в почвах имеет место перенос воды с растворенными веществами внутрь и наружу при разных температурах. Поэтому возможно концентрирование отдельных веществ или ионов в различных почвенных горизонтах в условиях нормального существования почв и в условиях техногенного прессинга, когда в почву попадают вредные вещества. На границе раздела океан-атмосфера, на литоралиях морского побережья также могут иметь место ситуации, приводящие к параметрическому фракционированию. Представления о параметрическом принципе разделения жидких смесей могут оказаться полезными при разработке метода очистки и регенерации почв с использованием переменного электрического поля.

### **Ноосфера, концепция «устойчивого развития»**

Сравнивая рисунки 1–3, можно отметить поразительное сходство картин самоорганизации в живой и неживой природе. Подобных примеров можно привести множество. В какой-то мере это служит основой для экстраполяции наших подходов и на социоэкологические системы. Рассмотрение связанных общими переменными систем, экологической и экономической, позволит создать макроэкономическую модель, способную прогнозировать и планировать эволюцию государства, взаимодействие хозяйственных сетей и регионов.

Экономика России заметно отличается от экономики наиболее развитых капиталистических стран неоднородностью, спонтанностью и непрогнозируемостью. Во многих случаях создается субъективное впечатление хаоса. Однако нерегулярные, хаотические колебания могут быть проявлением строгих динамических законов развития системы [2–5]. Таким образом, в принципе возможно предсказать пути развития такой системы, в какой-то мере даже управлять ее эволюцией.

С точки зрения биофизика российская экономическая система относится к динамическим распределенным системам. Хозяйственная деятельность на просторах государства формирует активную среду, для которой чрезвычайно критично



соотношение рыночной компоненты и государственного регулирования. Данное соображение основывается на аналогиях с выше рассмотренными системами.

Сразу же можно отметить, что малые по размерам территории, т.н. “развитые страны” Европы с развитой инфраструктурой и даже США, где “перенос” сырья и продуктов производства, энергии, информации и финансов осуществляется относительно быстро по отношению к производственным процессам, должны быть отнесены к сосредоточенным системам. Россия же с ее просторами, слабо или неравномерно развитой инфраструктурой заведомо относится к распределенным системам.

Рассмотренные выше автоволновые системы только в простейших случаях (с малым числом параметров и компонентов) поддаются точному количественному моделированию. Конечно же, это относится и к рассмотрению сложнейшей двумерной иерархической активной среды – хозяйственному механизму государства. Действительно, экономический потенциал отдельных регионов, экономическая активность и демографическая структура населения, природные условия и т.д. делают рассматриваемую систему чрезвычайно гетерогенной, что принципиальным образом затрудняет детальные расчеты. Поэтому не имеет смысла искать какие-либо буквальные пространственные аналогии между относительно регулярными химико-биологическими примерами и географическими привязками.

Если в рамках нашего подхода рассматривать в качестве локальных процессов промышленные и сельскохозяйственные производственные процессы, в качестве процессов переноса – транспортные перевозки сырья и продуктов, в качестве энергии – финансовые ресурсы, требующие возобновления, то подобная распределенная система действительно является активной средой. В ней могут возникать драматические конкурентные взаимодействия между региональными “водителями ритма”, могут возникать не взаимодействующие спиральные волны, т.е. зоны структурно разделенные, могут возникать и полностью хаотические режимы. Известно, что региональные или отраслевые экономические подсистемы могут входить в колебательный режим, и для нас не представляется странным возникновение пространственных автоколебаний. Видимо, имеет смысл воспринимать представление о “водителях ритма” как о центрах экономического роста, регионального или же отраслевого.

Плотность народонаселения, удельная мощность производств на данной территории, зоны экологического риска – все это делает регионы страны неоднородными. Характерное для наших дней состояние стагнации в российской экономике может быть рассмотрено в рамках обсуждаемого подхода: уровень энергообеспечения является в данном случае недостаточным, подпороговым. В данном случае наша распределенная система не может стать классической активной средой, но может проявлять элементы хаотического поведения.

При качественном рассмотрении поведения распределенной экономической модели в рамках данного подхода, в принципе, можно выделить три предельные ситуации.

В первом случае распределенная система насильственно сводится к системе точечной за счет абсолютно жесткой экономической и политической централизации. В предшествующие годы в нашей стране в условиях развитого производства этого не получилось и не могло получиться из-за принципиальной невозможности такого сведения, начиная с определенного уровня развития народного хозяйства.

Во втором случае система на всем пространстве “отпускается” полностью, и какой-то из пространственно–временных режимов возобладает на всей территории, но это приведет к формированию или самого эгоцентрического (с точки зрения поглощения материальных ресурсов и неэффективности затрат труда) режима, или попросту режима хаотического.

Третий случай представляется оптимальным: локальное поведение частей системы может иметь особенности, но взаимодействие подсистем регулируется извне в их же общих интересах. Этот случай реализуется, например, при государственном регулировании рыночных отношений. Упрощенную аналогию этому случаю мы можем увидеть в распределенной реакции Белоусова, когда внешним вмешательством или исходной неоднородностью среды вместо самых простых концентрических волн образуется более сложная пространственная структура. Однако возможен и переход к хаотическому режиму при “зарегулированности” системы.

В начале статьи мы говорили об активных средах, где автоволны могли бы интерферировать. На наш взгляд этот случай соответствует экологическим и экономическим макросистемам. Хотелось бы высказать также соображение о том, что многие направления геоэкономики обрели бы новое звучание в трактовке распределенных активных сред [30]. С точки зрения сосредоточенных и распределенных активных сред в пространстве геоэкономики можно понять болезненность экономической стыковки стран с различными укладами хозяйствования и даже неоднородных по экономическому развитию регионов отдельных государств. Не случайно в самое последнее время в самых экономически развитых странах мира активизируется движение противников глобализации экономики – “глобалистики”.

Из общих условий эволюции сложных систем следует, что устойчивое развитие возможно только при достаточном разнообразии возможных его путей [31, 32]. Какие это пути, т.е. какое разнообразие системе необходимо в каждом конкретном случае – надо выяснять. Существенно, что для значительных “энергетических” изменений в системе достаточно слабых, “информационных”, воздействий.

Предельно упрощая ситуацию, можно сказать, что Жизнь на Земле представляет собой систему, состоящую из двух подсистем – биосферы и человеческой экономики, каждая из которых является иерархически организованной активной средой. Ни одна из подсистем уже не может существовать сама по себе. Поэтому основным условием сохранения жизни на планете является гармоничное взаимодействие, т.е. *коэволюция*, обеих подсистем. Как известно, выбор экономической модели, сосредоточенной или распределенной, в значительной мере связан с общественным строем государства. “Чистые” случаи, по-видимому, экологически наиболее опасны. Известный американский биофизик впервые использовавший метод ЭПР-спектроскопии в биологии и в последние годы пришедший в экологию Барри Коммонер высказался по этому поводу таким образом: “Социализм губит Природу в борьбе за План, а капитализм – в борьбе за Прибыль”. По всей видимости, наибольшую экологическую безопасность может обеспечить смешанная система – система регулируемой государством и международными соглашениями экономика.

Поскольку экономика более энергична и подвижна, именно человечеству следует принять меры для сохранения биосферы.

В настоящее время представляется возможным разработать очень упрощенную динамическую модель активной эколого-экономической среды, поскольку многие

параметры, характеризующие оба “пространства”, являются общими (см., например, модель [14, 15]). Одним из подходов к созданию реальной модели концепции “устойчивого развития” может быть использование самообучающихся “нейронных сетей” [33].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ 05-05-64655-а и 05-05-64974-а.

## Литература

1. Романовский Ю.М., Степанова Н.В., Чернавский Д.С., Математическая биофизика, Наука, М., 1984, 304 с.
2. Murray J.D. Mathematical Biology. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-N.Y., Biomathematics, V. 19, 767 pp.
3. Жаботинский А.М. Концентрационные автоколебания, “Наука”, М., 1974, 178 с.
4. Колебания и бегущие волны в химических системах, Ред. Р.Филд, М.Бургер, “Мир”, М., 1988, 720с.
5. Заикин А.Н., Формирование, распространение и взаимодействие экситонов (автоволн-квазичастиц) в активной среде, Физическая мысль России, 1995, N 1, стр.54 – 63
6. Атауллаханов Ф.И., Волкова Р.И., Гурия Г.Т., Сарбаш В.И., Сафрошкина А.Ю. Автоволновая гипотеза свертывания крови, Физическая мысль России, 1995, N 1, стр. 64 – 73
7. Пригожин И., Стингерс И., Порядок из хаоса, Прогресс, М., 1986, 431 с.
8. Твердислов В.А. Экономика России как активная среда, В сб.: Творческое наследие С.Н.Булгакова и современное социально-экономическое знание. Материалы международной конференции. Ред. Ю.М.Осипов., Изд. Диалог – МГУ – Москва, 1996, с. 178 – 181.
9. В.А.Твердислов Особенности пространственно-временной самоорганизации в социоэкологической системе России, В сб. Россия в в актуальном времени-пространстве, ред. Ю.М.Осипов, Е.С.Зотова, Москва-Волгоград, 2000, сс.256-262
10. В.А.Твердислов, Л.В.Яковенко От биофизических к экологическим и социальным системам: автоволны и самоорганизация, В сб. Экологическая адаптация общества на постсоветском пространстве, Ред. В.В. Аникиев, М., 2000, с.196–201
11. Буравцев В.Н. Периодический фазовый переход в растворе аммиака. Журн. физ. химии, 1983, т. 57, с. 1822–1824 (11а. Твердислов В.А., Яковенко Л.В. Электрические эффекты в интерфейсном осцилляторе Буравцева. В сб.: Нелинейные явления в открытых системах, 59-66. Гос. ИФТП, Москва 1995, ред. акад. Лупичев Л.Н.).
12. Твердислов В.А., Тихонов А.Н., Яковенко Л.В. Физические механизмы функционирования биологических мембран, Изд. МГУ, М., 1987, 189 с.
13. Tverdislov V.A., Yakovenko L.V. Fractionation of ions and chiral molecules at the ocean-atmosphere boundary. Towards the origin of a non-equilibrium predecessor of cells. In: Evolutionary Biochemistry and Related Areas of Physicochemical Biology, (Bach Institute of Biochemistry and ANKO), Moscow, 1995, 115–126
14. Заикин А.Н., Иванов П.С., Твердислов В.А., Твердислова И.Л., Яковенко Л.В. Пространственно-временная структура процессов трансформации, переноса и фракционирования органического вещества почвы, Биофизика, М., 1999, том 44, вып. 5, с.933–939
15. P.Ivanov, V.Tverdislov, A.Zaikin An Active-Medium Model of Organic Substance Transformation in Soil and Its Dynamic Properties, Gen. Physiol. Biophys., (1999), v.18, № 4, pp. 357–370
16. Peter H. Raven, George B. Johnson, Biology, Times Mirror/Mosby College Publishing, St. Louis-Toronto, 1986, 1300 pp.

17. Oparin A.I. The Origin of Life on the Earth, Academic Press, Inc., New York, 1957.  
А.И.Опарин. Жизнь как форма движения материи, Изд. АН СССР, М., 1963, 48 с.
18. Haldane J.B.S., In: S.Fox (Editor), The Origins of Prebiological Systems, Academic Press, N.Y., 1965 (Rationalist Ann., 3, 1929). Д.Кеньон, Г.Стейнман Биохимическое предопределение, "Мир", М., 1972, 336 с.
19. Bernal J.D., The Origin of Life, Weidenfeld and Nicolson, London, 345 pp., 1967
20. Rutten M.G., The Origin of Life (by natural causes), Elsevier publishing company, Amsterdam, London, New York, 1971
21. Гутина В.Н., Кузьмин В.В. Теория молекулярной диссимметрии Л.Пастера, "Наука", М., 1990, 215 с.
22. Шноль С.Э. Физико-химические факторы биологической эволюции, "Наука", М., 1979, 262 с.
23. Маленков А.Г. Ионный гомеостаз и автономное поведение опухоли, "Наука", М., 1976, 171 с.
24. Goldanskii V.I., Kuz'min V.V. Chirality and cold origin of life, Nature, v. 352, 1991, p.114
25. Твердислов В.А., Хунджуа Г.Г., Яковенко Л.В. Неравновесные процессы на границе океан-атмосфера и возникновение жизни. В сб.: Физические проблемы экологии (Физическая экология), Материалы Всероссийской научной конференции (23–27 июня 1997 г., Москва), Т.2, Изд. МГУ, М. 1997, с.79
26. Яковенко Л.В., Кожевников А.А., Твердислов В.А., Салов Д.В. Численное моделирование распределения температуры и концентраций ионов с учетом конвекции в тонком поверхностном слое раствора. В сб.: Нелинейные явления в открытых системах. М. 1997., РАН, Государственный институт физико-технических проблем, с. 109–120.
27. Твердислов В.А., Яковенко Л.В. Фракционирование ионов и хиральных молекул на границе раздела океан-атмосфера. К вопросу о происхождении предшественников клеток. Физическая мысль России, 1995, № 1, 31- 37.
28. Рабинович Г.Д., Гуревич Р.Я., Боброва Г.И. Термодиффузионное разделение жидких смесей, "Наука и техника", Минск, 1971, 244с.
29. Яковенко В.А., Салов Д.В., Твердислов В.А. Принцип параметрического разделения компонентов жидких смесей в периодических полях. В сб.: Нелинейные явления в открытых системах, 59-66. (Гос. ИФТП, Москва 1995, ред. акад. Лупичев Л.Н.).
30. Кочетов Э.Г. Геоэкономика (Освоение мирового экономического пространства), Изд. БЕК, М., 1999, 462 с.
31. Гирусов Э.В., Бобылев С.Н., Новоселов А.Л., Чепурных Н.В. Экология и экономика природопользования, Ред. Э.В.Гирусов, ЮНИТИ, М., 1998, 455 с.
32. Моисеев Н.Н. Человек и ноосфера, Молодая гвардия, М., 1990, 352 с.
33. Пешехонов В.В., Твердислов В.А. О применении "нейронных сетей" в экономике, В сб. Альманах Центра общественных наук №4, Издание Московского университета, М. 1998, с. 61 – 64

И последняя фотография, где мы видим только правые раковины – для размышления читателям.



ВСЕВОЛОД АЛЕКСАНДРОВИЧ ТВЕРДИСЛОВ – доктор физико-математических наук, заслуженный профессор МГУ, действительный член РАЕН, заведующий кафедрой биофизики физического факультета МГУ.