

УДК 122/129

Зубков Владимир Петрович, доцент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, vladmir_zubkov@mail.ru

СПОНТАННОСТЬ И САМООРГАНИЗАЦИЯ В СЛОЖНООРГАНИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Аннотация. В статье анализируется проблема автопоэзиса, рассматривается влияние стрессовых факторов на поведение живых систем. На основе анализа материала отмечается, что эволюция живых систем обусловлена как влиянием внешней среды, так и спонтанными мутациями, происходящими внутри систем.

Ключевые слова: самоорганизация, сложность, система, стресс, автопоэзис, причинность, мутации.

Zubkov Vladimir P., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, vladmir_zubkov@mail.ru

SPONTANEITY AND SELF-ORGANIZATION OF COMPLEX SYSTEM

Abstract. In this article the problem of autopoiesis and the influence of stressors on living complex systems were analyzed. It was analyzed that complex systems evolve under the influence of inner spontaneous mutations as well as under the influence of environment.

Key words: self-organization; complexity; system; stress; autopoiesis; causality; mutations.

Вопросы происхождения, развития и специфики существования жизни всегда находились в центре внимания, как философии, так и представителей конкретных наук. В конце XX – начале XXI вв. в результате стремительного, экспоненциального развития всех областей научных исследований, открытия большого объема научных фактов, создания фундаментальных теорий и, в связи с этим, возникновения новых проблем и подходов к пониманию как явлений в области микромира, так и космических процессов, происходящих во Вселенной. Вопросы специфики различных уровней существования жизни, лечения болезней, решение

проблемы омоложения, проблемы продолжения жизни или даже достижения бессмертия сегодня являются очень актуальными. Следует отметить, что сегодня без синергетического, системного и междисциплинарного подходов невозможно решение любой сложной проблемы.

С возникновением синергетического метода мышления можно по-новому рассмотреть проблемы автопоэзиса.

Понятие автопоэзис означает само-производство (от греч. *αυτος* – сам, *ποιησις* – производство, созидание, творчество) выражает диалектическую связь между функцией и структурой сложноорганизованной системы. Данный термин ввели чилийские ученые У. Матурана и Ф. Варела в 1973 году. Они указывают, что «Автопоэтическая машина – это машина, организованная (определяемая как единство) как сеть процессов производства (трансформации и деструкции) компонентов, которые 1) через их взаимодействия и трансформации непрерывно регенерируют и реализуют сеть процессов (отношений), которые производят их, и 2) образуют ее (машину) как конкретное единство в пространстве, в котором они (компоненты) существуют, определяя свойства топологической области их реализации как такой сети» [1].

Они старались отыскать основное качество всякой живой системы, которое, по их мнению, заключается не в способности к самовоспроизводству, как это принято, а в способности всякой живой системы поддерживать свою идентичность.

Они разработали экспериментальную компьютерную модель искусственной жизни, варианта клеточного автомата, который имитирует зарождение замкнутых на себя структур из неупорядоченного субстрата, состоящего из набора клеток, к которым добавляли катализирующие элементы. Образовавшиеся структуры обладали способностью

к самоподдержанию и восстановлению связей между клетками в случае разрушающих воздействий извне. Эта модель показала, что структуры обладают способностью каким-то образом «узнавать» о нарушении связей, с тем, чтобы восстановить их. Это «узнавание» и легло в основу определения сущности феномена жизни, а затем и феномена познания. Это был новый, нетривиальный подход к пониманию сущности жизни.

Понятие автопоэзиса фиксирует три важных момента. Первое, это – автономия, то есть живые системы управляемы эндогенно (внутренне), сами себя организуют. Второе, это – производство, действие (поэзис), что легло впоследствии в основу развитого Ф. Варела в когнитивном плане понятия «инактивации». Третье, это – не просто возвращение системы к исходному состоянию, самовосстановление, итерация, повторение пройденного, но и ее самодополнение, самодотраивание, самообновление. Они подчеркивают, что цикл автопоэзиса никогда не является замкнутым, то есть открыт к новому.

Е.Н. Князева подчеркивает, что автопоэтические системы обладают двумя важными свойствами – операциональной замкнутостью и структурной сопряженностью со средой. Самоорганизующаяся система не просто открыта – она операционально замкнута, то есть одновременно и связана с миром, и отделена от него (обменивается с окружающей средой веществом, энергией или информацией), и в своих трансформациях и превращениях поддерживает свою целостность, сохраняет свою идентичность. Процесс взаимодействия системы с окружающей средой называется процессом коэволюции. А результатом указанного процесса является их структурная взаимосвязь (организм и среда обитания) [2].

А.Ю. Антоновский подчеркивает, что классическим примером автопоэзиса служит биологическая клетка, как некоторое целое, состоящее из создаваемых ею самой продуктов: нуклеиновых кислот, белков, из которых она выстраивает свою воспроизводящуюся и взаимосвязанную

структуру: ядро, органеллы, клеточную мембрану и цитоскелет, которые обеспечивают воссоздание компонентов и поддерживают пространственно-замкнутые границы клетки. Рассматривая сложные организмы, необходимо иметь в виду их сложную многоуровневую организацию и пространственно-временную структуру, в рамках целого организма (принцип холизма). Отметим, что процессы, протекающие в организме, имеют причинную и временную обусловленность, тем самым обеспечивают закрытый характер и единство системы, обеспечивают ее устойчивость [3].

В случае сложных живых систем процессы, обеспечивающие производство новых клеток, осуществляются исключительно внутри системы, хотя для воспроизводства организма и задействуются внешние для клеток вещества.

В наше время существует много исследований, посвященных проблеме сложности. Мелани Митчелл (исследовала проблемы нелинейной динамики и сложности) приходит к выводу, что одним из признаков сложности системы является ее адаптивность, т.е. способные изменять свое поведение, увеличивая свои шансы выживания через обучение и эволюционные процессы. Сложная адаптивная система демонстрирует нетривиальное эмерджентное самоорганизующееся поведение.

Петер Эрди (венгерский ученый) подчеркивает, что для сложных систем характерна 1) циклическая причинность, цепи обратной связи, 2) способность малых изменений порождать драматические последствия, 3) эмерджентность и непредсказуемость. Рассматривая существование систем, не следует забывать их взаимное влияние (среды на систему, а системы на среду). Основным свойством сложности систем является специфика отношений между ее элементами. Сложными являются те объекты (системы, образования, организации), описать функции которых на порядок сложнее, чем само строение этих объектов (систем и т.д.).

Академик В.Л. Гинзбург, в своей Нобелевской лекции, выдвигая тридцать наиболее значимых проблем физики и астрофизики XXI века, специально отметил ещё три «великих» проблемы физики «...это: во-первых, вопрос о возрастании энтропии, необратимости и «стреле времени». Во-вторых, – это проблема интерпретации нерелятивистской квантовой механики.... В-третьих – это вопрос редукции живого к не живому, т. е. вопрос о возможности объяснить происхождение жизни и мышления на основе одной физики» [4].

Указанные проблемы невозможно обсуждать не только изолированно, но и без привлечения различных наук (комплексный подход). Указанные В.Л. Гинзбургом проблемы обсуждаются на конференциях в монографиях и научных журналах.

Специфика живого, в частности, обсуждается в статье В.С. Степина с соавт. Авторы подчеркивают, что традиция связывать возникновение в науках о жизни идей процессуальности сложных системных объектов, циклической и вероятностной причинности, несводимости целого к простой сумме составляющих его элементов, главным образом, с появлением эволюционной теории Ч. Дарвина, генетики и представлений о надорганизменных системах живого (популяция, биогеоценоз, биосфера). Авторы подчеркивают, что проведенное ими исследования на основе концепции структуры и динамики научного познания, разработанной одним из авторов этой статьи, позволило обнаружить еще один источник таких идей и представлений. Этим источником стала медицина, в которой была предпринята результативная попытка пересмотра картины исследуемой реальности, методологических принципов и философских оснований в ходе преодоления глубокого внутридисциплинарного кризиса, вызванного накоплением фактов, не укладывавшихся в рамки представлений механической картины мира. [5]

В начале 50-х гг. XIX в. были получены данные, опровергающие представления о немедленном «сжигании» организмами человека и животных всех поступающих с пищей углеводных соединений. К. Бернар установил, что животные сначала преобразуют их в запасное вещество (гликоген) и только затем, по мере необходимости, разлагают его, поддерживая постоянный физиологический уровень сахара в крови. «Я доказал, – писал Бернар, – что питание нельзя считать прямым, как его представляют господствующие химические теории, но что, напротив, оно не прямое и совершается посредством запасов... Словом, организм живет не принимаемыми в известное данное время веществами, но теми, которые он съел прежде и которые были потом видоизменены и некоторым образом созданы ассимиляцией...». В разработанной Бернаром системе представлений «вместо неподвижности во всех анатомических элементах появилось беспрестанное возобновляющее движение», а «существование составных частей организма» стали рассматривать как процесс «постоянной перемежаемости соединения и разъединения, жизни и смерти». «...Кроме того, каждый элемент имеет способность обнаруживать свои особенные свойства, действовать специальным характеристическим образом: мышечное волокно реагирует, сокращаясь, нервное волокно реагирует тем, что проводит возбуждение, сообщенное ему, а клетки железы тем, что вырабатывают и выпускают из себя специальный продукт отделения, мерцательная ресничка тем, что попеременно то наклоняется, то выпрямляется, кровяной шарик тем, что поглощает кислород, хлорофорное зерно тем, что разлагает угольную кислоту. Все эти способности и названы родовым именем функциональной раздражимости. Но все эти частные проявления подчиняются общему условию; они представляют различные виды естественной способности, простой раздражимости». Таким образом, можно констатировать, что Бернар очень близко подошел к представлению об организме человека как о сложной

процессуальной системе, самовоспроизводящейся в результате взаимодействия с окружающей средой благодаря механизмам саморегуляции [5].

Практически одновременно с Бернардом к похожим выводам пришли и другие исследователи. В частности, известный немецкий патолог Ю. Конгейм. Исходя из идеи о саморегуляции жизненных функций как важнейшем условии приспособления организма к окружающей среде, он даже предпринял попытку пересмотра существовавших представлений о болезни. В «Курсе общей физиологии» Бернар предпринял одну из первых попыток обосновать представление о том, что целое больше суммы составляющих его частей и обладает особыми системными свойствами, не сводимыми к свойствам составляющих его частей.

Первым и главным таким свойством Бернар назвал прямую зависимость жизнедеятельности отдельных клеток, образующих человеческое тело, от того места, которое они занимают в целом организме. «Клетка имеет свою автономию, по которой она живет собственной жизнью всегда одинаковой во всех местах, где соединены похожие условия; но, с другой стороны, эти подходящие условия вполне осуществляются только в подходящих специальных местах, и клетка функционирует различно, работает различно и представляет различное развитие, смотря по ее месту в организме. Если их (клетки) переместить, сдвинуть, а тем более, если их извлечь из организма, то этим изменяется их среда и следовательно изменяется их жизнь, или даже становится невозможной» [5]. «Организм есть собрание клеток или элементарных организмов, в котором соблюдаются условия жизни каждого элемента, но в котором функционирование каждого из них подчинено, однако целому... Подчинение частей целому делает из сложного существа связную систему, целое, индивидуум. Им собственно и устанавливается единство в живом существе» [5].

Ответ на вопрос о механизме, определяющем преобразование клеток в экспериментах при их перемещении из одной части организма в другую, был дан Бернардом в самой общей форме: каждая клетка приспосабливается к условиям среды, а поэтому изменение дислокации клетки в теле означает ее включение в новые условия, на которые клетка должна отреагировать своими изменениями.

Проблема, поставленная К. Бернардом в общем виде, обрела актуальность в конце XX в. после открытия генов. Исследования морфогенеза представили проблему в новом свете. Многочисленные эксперименты подтверждали описанную Бернардом ситуацию, что первоначально недифференцированные клетки по-разному дифференцируются в различном клеточном окружении. В экспериментах, проведенных на эмбрионах, клетки из центральной части тела, которые могли бы, допустим, развиваться в кишечник, после пересадки в головной отдел, развивались в глаз. Проблема была переформулирована и конкретизирована. Содержащаяся в клетке информация о возможностях ее последующего развития, реализуется благодаря дополнительной информации, получаемой из клеточного окружения. Была выдвинута гипотеза химического обмена и формирования в межклеточной среде особых химических соединений, которые выступают в роли ингибиторов, воздействующих на генетический код клетки и определяющих характер ее дальнейшей дифференциации. Эта гипотеза получила экспериментальное подтверждение. В процессах размножения были обнаружены активаторы образования головы и щупалец гидры. Как отмечал Г. Хакен, подобного типа процессы кооперативного взаимодействия клеток представляют собой типичные процессы самоорганизации, описываемые синергетикой.

На основе вышеизложенного в конце XX – начале XXI столетия были сделаны новые впечатляющие открытия – существования стволовых клеток, способных преобразовываться в клетки любого органа тела, и

возможности трансформации специализированных клеток в стволовые. Одним из важнейших достижений микробиологии последних лет явилось открытие биологических пленок, которые представляют собой сообщества бактерий, а в некоторых случаях, и грибов, способных поддерживать свой состав и расселяться за счет высвобожденных клеток. Дальнейшее изучение биопленок показало, что практически все бактерии на планете обитают в сообществах, что обеспечивает им защиту и выживаемость в неблагоприятной среде. Микроорганизмы образуют биопленки на любых поверхностях, и с увеличением массы биопленки возрастает ее способность противостоять факторам внешней среды. Изучение характеристик биопленок показало, что внутри сообщества происходит информационный обмен между отдельными клетками, они воспринимают изменения окружающей среды и реагируют на них. В первую очередь, биопленки становятся причиной заболеваний, связанных с использованием имплантируемых устройств (искусственных клапанов сердца, протезов). Исследование методов разрушения сформированной биопленки является объектом изучения микробиологии, а с точки зрения теории систем, биопленки представляют собой сложную самоорганизующуюся систему [6]. Примерами возникновения самоорганизации являются, например, образование гексагональных ячеек на поверхности жидкости, которые впервые обнаружил физик Бенар. При определенных условиях (критическая температура) спонтанно возникало конвективное течение, как бы по команде, участвуя в когерентном или согласованном движении (ячейка Бенара). Возникающая при этом в системе энтропия сопровождается диссипацией или рассеиванием в окружающую среду. При понижении температуры система снова возвращается в хаотическое состояние (равновесное). Переход от беспорядка к порядку и организации представляет собой пример спонтанной пространственной и временной самоорганизации системы. Известны также процессы самоорганизации,

которые происходят при химических реакциях, в частности, реакция Белоусова-Жаботинского (автокатализ – обнаружен в 50-х годах XX века) или «химические часы» [7].

Примером спонтанного возникновения самоорганизации является также самоорганизация, происходящая в процессе лазерного излучения (исследовал Г. Хакен). Подчеркнем, что существенные особенности самоорганизующихся процессов и систем заключаются в том, что взаимодействие между элементами системы носит нелинейный характер, и что хаос выступает в качестве конструктивного фактора. Необходимо исходить из того, что с одной стороны, из хаоса или беспорядка возникает порядок, а с другой – сам хаос представляет собой сложную форму упорядоченности.

Сегодня много работ посвящено изучению факторов, вызывающих стресс у различных биологических объектов: бактерий, микроорганизмов, клеток. Установлено, что влияние этих факторов приводит к увеличению мутаций генов в десятки и сотни раз, что приводит к разнообразию микроорганизмов, их усовершенствованию, устойчивости, новым угрозам человечеству.

Список литературы

1. Матурана, У.Р. Автопоэзис и познание: организация живых существ / У.Р. Матурана, Ф.Д. Варела. – Дордрехт, 1980. – 146 с.
2. Князева, Е.Н. Обсуждаем статьи «Автопоэзис» / Е.Н. Князева // Эпистемология & философия науки. – 2008. – Т. XVII, № 3. – С. 173–181.
3. Антоновский, А.Ю. Обсуждаем статьи «Автопоэзис» / А.Ю. Антоновский // Эпистемология & философия науки. – 2008. – Т. XVII, № 3. – С. 178.
4. Менский, М.Б. Квантовые измерения, феномен жизни и стрела времени: связь между «тремя великими проблемами» (по терминологии

Гинзбурга) / М.Б. Менский // Успехи физических наук. – 2007. –
Т. 177, № 4. – С. 415–425.

5. Степин, В.С. К истории становления неклассического естествознания: революция в медицине конца XIX столетия / В.С. Степин, А.М. Сточик, С.Н. Затравкин // Вопросы философии. – 2015. – № 5. – С. 16–30.

6. Влияние третичных алкиламинов на биопленки, образованные *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* (бактериологическое и электронно-микроскопическое исследование) / Л.В. Диденко, Т.А. Смирнова, Э.Р. Толордава, М.В. Зубашева, Г.Г. Кардаш, Д.А. Куршин, О.В. Емшанов, Г.А. Автандилов // Дезинфекционное дело. – 2014. – № 2. – С. 40–45.

7. Рузавин, Г.И. Синергетика и сложноорганизованные системы / Г.И. Рузавин // Эпистемология & философия науки. – 2008. – Т. XV, № 1. – С. 116.

8. Зубков, В.П. Детерминизм и телеология в современной философии науки / В.П. Зубков // Новое в психолого-педагогических исследованиях. – 2012. – № 4. – С. 39–45.

9. Косолапова, Е.А. Эмоциональная компетенция лидера / Е.А. Косолапова // Менеджмент сегодня. – 2010. – № 3. – С. 150–157.

10. Лобжанидзе, А.А. Экстремальное и иррациональное политическое поведение / А.А. Лобжанидзе // Право и политика. – 2010. – № 1. – С. 82–87.

References

1. Maturana U.R., Varela F.D. *Autopoiesis i poznanie: organizacija zhivyh sushhestv* (Autopoiesis, and cognition: the organization of living beings), Dordrecht, 1980, 146 p.

2. Knjazeva E.N. *Jepistemologija & filosofija nauki*, 2008, vol. XVII, no. 3, pp. 173–181.

3. Antonovskij A.Ju. *Jepistemologija & filosofija nauki*, 2008, vol. XVII, no. 3, p. 178.

4. Menskij M.B. *Uspehi fizicheskikh nauk*, 2007, vol. 177, no. 4, pp. 415–425.
5. Stepin V.S., Stochik A.M., Zatravkin S.N. *Voprosy filosofii*, 2015, no. 5, pp. 16–30.
6. Didenko L.V., Smirnova T.A., Tolordava Je.R., Zubasheva M.V., Kardash G.G., Kurshin D.A., Emshanov O.V., Avtandilov G.A. *Dezinfekcionnoe delo*, 2014, no. 2, pp. 40–45.
7. Ruzavin G.I. *Jepistemologija & filosofija nauki*, 2008, vol. XV, no. 1, p. 116.
8. Zubkov V.P. *Novoe v psihologo-pedagogicheskikh issledovanijah*, 2012, no. 4, pp. 39–45.
9. Kosolapova E.A. *Menedzhment segodnja*, 2010, no. 3, pp. 150–157.
10. Lobzhanidze A.A. *Pravo i politika*, 2010, no. 1, pp. 82–87.