

I. АСПЕКТЫ, РИТМЫ И МЕХАНИЗМЫ ЭВОЛЮЦИИ

1

Саморегуляция как глобальный тренд мегаэволюции

А. Л. Гринин

В статье вводится и описывается понятие «саморегуляция», которое позволяет объединить в единый тренд процессы разной природы и сложности, относящиеся к самосохранению, функционированию, изменениям и усложнениям систем в процессе взаимодействия с изменяющейся средой. При этом изучение саморегуляции может служить интегральным методологическим подходом, объединяя различные области знания, такие как кибернетика, синергетика и эволюционистика. В статье показаны проявления саморегуляции на протяжении Большой истории и ее важная роль в эволюции, особенно в мегаэволюции и при переходах эволюции на новые уровни сложности. Саморегуляция проявляется уже на ранних фазах Большой истории, например в формировании первых звезд. Различные варианты и механизмы саморегуляции на уровне систем без органов управления можно увидеть и в химической эволюции. Появление жизни стало важнейшим переходом к новому качеству в саморегуляции и ее усложнению в эволюции. От самоорганизации и самонастройки системы переходили к простому, а затем и к сложному управлению. Развитая нервная система, особенно головной мозг, стала первой самоуправляемой системой. Позже возникла биосоциальная ветвь самоуправления, в том числе человеческое общество, где в некоторых отношениях самоуправление проявляется еще в большей степени.

Однако в эволюции саморегуляция присуща не только химическим, биологическим и социальным системам. В статье мы показываем, что в ближайшие десятилетия саморегулируемые системы образуются и распространятся уже в новой форме – в виде самоуправляемых технологий, созданных человеком. Произойдет это в результате новой производственной революции, которую мы называем кибернетической. Ее первая фаза уже началась, а наиболее зрелая фаза наступит в 2020–2030-е гг. Эта революция приведет к большим изменениям в экономике и обществе, существенно изменит мир и образ жизни людей.

Ключевые слова: саморегуляция, самоуправление, Большая история, мегаэволюция, эволюция, кибернетическая революция, синергетика, самоорганизация, кибернетика.

История Вселенной (или, как ее часто называют, Большая история [Christian, McNeill 2011]) основана на ряде универсальных принципов и законов эволюции (Гринин 2013б; 2014). В разные периоды и в разной среде они проявляются по-разному, с различной интенсивностью. При этом, несмотря на то что «класс систем чудовищно широк» (Эшби 1969), в целом для эволюции на всех ее уровнях прослеживаются определенные базовые сходства в формировании и поведении систем, то есть характерна определенная паттерность (Гринин, Коротаев 2014).

Настоящая статья посвящена одному из таких малоизученных паттернов – саморегуляции систем, роль которой в эволюционных исследованиях недоучитывается. Мы полагаем, что саморегуляция является одной из универсальных и базовых характеристик сложных систем и играет важную роль в эволюционных процессах. Саморегуляция наблюдается на различных уровнях природы – от атома и молекулы (Makino *et al.* 1992) до популяций животных (Wynne-Edwards 1965), от клетки (Miyake *et al.* 2011) до обществ и Мир-Системы (Гринин, Коротаев 2009; 2014; Bandura 1999; Cummings 1978; Grinin *et al.* 2012; Pearce 1987). При этом в процессе эволюции значение саморегуляции возрастает вместе со сложностью систем.

Понятия саморегуляции

Саморегуляция в нашем понимании есть способность систем к сохранению устойчивости и базовых параметров в изменяющихся условиях.

Из определения видно, что мы рассматриваем саморегуляцию как очень широкое понятие, которое включает в себя различные аспекты сохранения устойчивости системами.

В литературе нет отдельных исследований, посвященных саморегуляции. Некоторые ее формы более всего изучены в аспекте кибернетики и синергетики. Саморегуляция характерна как для сложных, так и для простых систем.

В ряде случаев саморегуляция связана с самоорганизацией. Самоорганизация является без преувеличения одним из ключевых понятий кибернетики и синергетики, введенным еще основоположниками этих наук У. Эшби (Ashby 1962) и Г. Хакеном (Хакен 1985). По Хакену, «самоорганизация – это процесс упорядочения в открытой системе, за счет согласованного взаимодействия множества составляющих ее элементов». И хотя это понятие часто применяют в широком значении, говоря, например, о самоорганизации биосферы или общества (Моисеев 2001), все же самоорганизация – это прежде всего процесс спонтанного возникновения по-

рядка и организации из неупорядоченности (Михайлов и др. 2012), а следовательно, она характерна для систем только в определенных условиях.

Еще один способ относительно простых систем поддерживать свое состояние – это самонастройка. В самонастраивающихся системах происходят изменения значений тех или иных параметров, тогда как в самоорганизации – в структуре системы в целом (Глушков 1986). Самонастройка обычно изменяет небольшое число параметров. Она тоже является простой формой саморегуляции (Гринин 2016).

В более сложных системах саморегуляция осуществляется благодаря другим механизмам, в том числе за счет способности к «накоплению опыта», то есть хранению или «запоминанию» информации. В результате системы могут более эффективно поддерживать свое состояние в изменяющихся условиях. Саморегуляция в таких системах опирается на «выбор» системы. По выражению одного из пионеров в исследовании сложных систем У. Эшби, «в той степени, в какой каждая детерминированная система стремится к равновесию, она совершает и выбор» (Эшби 1959). Другими словами, переходя от любого состояния к состоянию равновесия, система совершает выбор в том объективном смысле, что некоторые состояния ею отвергаются, а сохраняются только те, в которые она переходит. Соответственно такое «запоминание» информации и вариативность выбора могут создавать иногда и принципиально новые ситуации, способствующие возникновению более удачных, экономичных моделей, что открывает путь для эволюции.

В кибернетике сложные системы изучаются с точки зрения управления¹, начиная с достаточно высокоорганизованных биологических организмов (далеко не всех, а только с центральной нервной системой), а также технических и социальных систем (Бир 1963; Глушков 1986; Розанова 2009). На основе понятия саморегуляции (а в сложных системах управление является неотъемлемой частью саморегуляции) мы стремимся распространить некоторые идеи и принципы кибернетики на большие масштабы, включая неживые природные системы.

В очень развитых сложных системах мы особенно подчеркиваем важность компонента управления в саморегуляции. В части подобных систем в результате саморегуляция переходит на более высокий уровень – самоуправление, поэтому такие системы мы называем самоуправляемыми (подробнее об этом будет сказано ниже).

Саморегуляция в аспекте кибернетики и эволюции

Как мы уже говорили, саморегуляция – это способность систем к сохранению устойчивости и базовых параметров в изменяющихся условиях. Такая способность начинает формироваться уже в процессе перехода си-

¹ Кибернетика – наука об общих закономерностях получения, хранения, передачи и преобразования информации в сложных управляющих системах.

стем из состояния хаоса в устойчивое состояние (самоорганизация). В целом саморегуляция совершается за счет поддержания устойчивого состояния в изменяющихся условиях путем создания разнообразных механизмов или защитных приспособлений, нейтрализующих или минимизирующих негативное влияние среды. В процессе взаимодействия со средой, особенно в процессе поиска ответа на резкие изменения среды, может происходить переход к новому устойчивому состоянию с повышением (или понижением) уровня развитости системы. Как мы видим, саморегуляция так или иначе является частью процесса эволюции.

Роль саморегуляции в эволюции продуктивно рассматривать с точки зрения кибернетического подхода о взаимодействии систем с информацией. Каждый действующий объект способен поглощать информацию из внешней среды и использовать ее для выбора правильного поведения путем трансформации и распределения между подсистемами или различными элементами системы. Важно учитывать, что большая часть информации искажается помехами, «шумом», на пути к объекту и внутри него и теряется в противостоянии с энтропией, то есть с шумом, искажающим информацию. Энтропия для любых систем является неизбежным фоном, условием и одновременно побочным продуктом их работы.

Саморегулируемые системы, особенно имеющие в себе компоненты управления, за счет распределения функций и эффективной обработки информации способны уменьшать энтропию системы. По выражению Н. Винера, «в мире, где энтропия в целом стремится к возрастанию, существуют местные и временные островки уменьшающейся энтропии. Механизм их возникновения состоит в естественном отборе устойчивых форм; здесь физика непосредственно переходит в кибернетику» (Винер 1983).

В борьбе с энтропией системы пытаются закрыться от окружающей среды, поскольку чем более открыта система, тем больше вероятность ее перехода в хаос. Однако это вступает в противоречие со вторым началом термодинамики. Еще в 1870-е гг. Л. Больцман сформулировал правило, согласно которому энтропия замкнутой системы не убывает, она всегда увеличивается или в предельном случае остается постоянной (Ландау, Лифшиц 1976). Откуда же возникают «местные и временные островки уменьшающейся энтропии», о которых говорил Винер?

Одно из объяснений заключается в том, что сложные системы способны регулировать степень своей закрытости за счет саморегуляции, избегая возрастания энтропии и погружения всей системы в хаос. Таким образом, по сути, Больцман имел в виду, что успехи систем в борьбе с энтропией имеют лишь временный характер и в конечном счете любая система не может существовать вечно и будет разрушена. Однако этот «временный» интервал успешной борьбы систем с энтропией может быть довольно длительным (например, жизнь звезд исчисляется миллиардами лет), и, во всяком случае, именно он и составляет жизнь систем.

Вторая причина в объяснении противоречия заключается в том, что, уменьшая энтропию локально, системы увеличивают количество энтропии в глобальном масштабе. Например, растения превращают энергию солнечного света в химическую, совершая «локальное» уменьшение энтропии. Это, в свою очередь, затрагивает связи между системами и нарушает общий порядок. Так преобразованная растениями энергия солнца дает источник энергии всему живому, в том числе людям, которые своими действиями разрушают устоявшиеся связи между живыми организмами, создавая неустойчивость, увеличивая тем самым энтропию всей планеты.

Снижение энтропии по большому счету является основой эволюции систем и хорошим примером проявления закона единства и борьбы противоположностей. С одной стороны, системы, избегая перехода к хаосу, пытаются замкнуться, а с другой стороны, это позволяет им изменяться и усложняться. При этом развивающиеся и усложняющиеся системы немногочисленны по отношению к неразвивающимся системам и, по выражению Э. Чейсона, составляют лишь «островки растущей сложности» (Чейсон 2012).

Еще один важный аспект в кибернетике, который позволяет детально рассмотреть роль саморегуляции в эволюции, – это управление. Управление, как мы уже говорили, является важнейшей частью саморегуляции сложных систем и одним из универсальных механизмов сохранения устойчивости. Оно очень важно для понимания механизмов эволюции, поскольку непреднамеренный результат эволюции, согласно дарвиновской концепции, заключается в отборе наиболее эффективных форм.

Говорить о наличии управления в системе можно в случае, когда поведение кибернетических систем изменяется в результате контролируемых действий, то есть направленно. Управление, как и саморегуляция в целом, направлено на поддержание постоянства значений тех или иных параметров, оно характерно для сложных и очень сложных систем, в которых возникают задачи приспособления к меняющейся среде и даже «познания» законов таких изменений.

В кибернетической системе управление схематически можно представить в виде двух компонентов – объекта управления и управляющей системы. Управляющая система взаимодействует с объектом управления по каналам прямой связи, часто через множество посредников, которыми являются периферийные компоненты. Помимо этого, системе управления присуща система получения сигналов из окружающей среды. Последняя, будучи далеко не всегда стабильной или дружелюбной, может выступать источником различных помех и искажений. В этом случае в задачу управляющей системы входит фильтрация помех.

Одним из простейших видов управления является управление режимом работы объекта по заранее заданной программе (программное управление). Так, например, работает светофор. Простые системы управления

(автоматические системы регулирования) могут уже отвечать за постоянное поддержание параметра. Например, современный кондиционер имеет датчик измерения температуры воздуха и управляющую систему, которая сравнивает окружающую температуру с заданной величиной и формирует действие, необходимое для поддержания параметра. Более сложные системы могут уже поддерживать некоторую фиксированную функциональную зависимость между множеством самопроизвольно меняющихся параметров и заданным множеством регулируемых параметров (например, система, сопровождающая лучом прожектора маневрирующий самолет).

Также существуют системы оптимального управления. Они способны поддерживать амплитуду значений некоторой функции от двух групп параметров: внешних условий, которые меняются независимо от системы, и регулируемых параметров, то есть их значения могут меняться под воздействием управляющих сигналов системы. Так, например, оптимальным управлением может обладать датчик регулирования температуры комнатного воздуха при дополнительном условии учета изменений его влажности. В случае если внешние условия меняются, система оптимального управления может поддерживать постоянные значения регулируемых параметров. У относительно несложных систем подобная устойчивость достигается за счет соответствующего выбора параметров проектируемой системы. Более сложные системы способны прибегать к самонастройке. Здесь проявляется важный закон эволюционного усложнения, когда отдельные механизмы взаимодействия системы со средой (как самонастройка), которые могут работать самостоятельно, объединяются в более сложных системах как часть более сложной регуляции (управления).

У более сложных систем часть параметров управления не фиксируется заранее и может изменяться системой в процессе ее функционирования. Для этого система имеет специальный блок, регистрирующий характер переходных процессов в системе при выведении ее из равновесия. В случае возникновения неустойчивости система меняет значения параметров связей, пока не достигнет устойчивости. Такие системы часто называют ультраустойчивыми.

Если количество изменяемых параметров слишком велико, то для управляющей системы случайный поиск устойчивых режимов может занимать слишком много времени. Более сложные системы в таком случае применяют различные способы ограничения случайного перебора, например разбиение параметров связей на группы и осуществление перебора лишь внутри одной группы. Такие системы в кибернетике обычно называют мультиустойчивыми. Большое разнообразие ультра- и мультиустойчивых систем наблюдается в живой природе. Примером мультиустойчивой системы может служить система регулирования температуры крови у человека и теплокровных животных.

В мульти- и ультраустойчивых системах проявляется метод «блочной сборки», который весьма распространен в эволюции. «Блочная сборка» подразумевает, что в системах в ответ на изменения условий применяется блок параметров, который ранее был каким-то образом эффективен в похожих условиях. Это особенно хорошо проявляется в геноме, где все записано на уровне кода и записи разбиваются на логические блоки. Похожим образом развивается в наше время программирование. Объектно-ориентированное программирование вытесняет программирование на основе заданных несменяемых алгоритмов за счет своей мобильности, изменчивости, а главное – экономии в поддержке и развитии.

В сложных системах управление часто обособляется в отдельную подсистему или даже ряд подсистем. Так, у животных нервные клетки, которые сперва были распределены по всему телу, объединились в единую нервную систему – систему управления организмом.

Некоторые ультра- и мультиустойчивые системы за счет способности поддержания равновесия под воздействием множества различных неустойчивых условий приобретают способность к обучению и самостоятельному принятию решений, и даже к модификации своих механизмов взаимодействия со средой, а равно управления собственной системой. Мы называем такие системы самоуправляемыми.

В кибернетике применяется понятие самоуправления (Бир 1963), но оно используется лишь для живых и социальных систем и не используется в отношении технических и иных искусственных систем (биотехнических, программных и пр.).

Мы вводим понятие самоуправляемых систем для такого рода высокосложных и «умных» систем, расширяя возможности использования принципов кибернетики для характеристик многих уже существующих и прогнозируемых технологий, а также комбинаций управления в техносциальных системах.

Самоуправление является частным случаем саморегуляции и ее наиболее развитой формой.

Далее мы опишем, как саморегуляция проявлялась и проявляется в развитии Вселенной, ее роль в эволюции, а также то, как отдельные саморегулируемые системы достигли самоуправления и что можно от этого ожидать.

Саморегуляция в звездах

Сложные процессы поддержания энергетического баланса в звездах изучены уже достаточно хорошо (Hopkins *et al.* 2011; Nishi, Tashiro 2000; Thomas *et al.* 2010). Саморегуляция способствует поддержанию устойчивости звезд на разных этапах их развития (Гринин 2014).

Так, саморегуляция в своей исходной форме самоорганизации способствует формированию звезд при сгущении и сжатии газовых облаков под действием сил гравитации.

Это небыстрый процесс, он длится примерно около 50 млн лет. За это время недра протозвезды сильно разогреваются, температура может достигать 8–10 миллионов градусов, в результате чего становятся возможными термоядерные реакции. Протозвезда превращается в молодую звезду, однако внешний наблюдатель сможет увидеть ее далеко не сразу, а только спустя сотни тысяч или миллионы лет, когда рассеется газопылевая оболочка, окружающая протозвезду.

При этом образование звезд и галактик должно иметь какой-либо спусковой процесс, создающий турбулентность и неоднородность. Эти триггеры (катализаторы) выступают как характерные механизмы эволюции, которые можно обнаружить в очень многих процессах: химических, геологических, при быстром видообразовании, при возникновении государств. Спусковыми механизмами начала звездообразования в облаке могут служить ударные волны от взрыва сверхновых, расширяющиеся оболочки формирующихся звезд, столкновения облака со спиральными рукавами Галактики (Суркова 2005).

В наиболее длительной фазе жизни (так называемая главная последовательность) звезда способна поддерживать свои первоначальные размеры и форму. Эта фаза связана с расходом водорода и поддержанием баланса за счет расхода и производства энергии.

Новая фаза звезды, называемая «красный гигант», связана с исчерпанием запасов водорода. Давление газа, которое при наличии топлива поддерживало звезду в равновесии, ослабевает, и центральная часть звезды сжимается. Это приводит к новому повышению температуры. Начинают выгорать более тяжелые элементы. Саморегуляция на этом этапе проявляется в том, что после истощения определенных видов «горючего» (в частности, водорода) звезды способны переходить на другие его виды. Структура звезды при этом значительно меняется. В целом звезда разбухает, расширяясь в радиусе в сотни раз, превращается в красного гиганта и в такой стадии способна поддерживать новую форму сотни миллионов лет.

Дальнейшая стадия – превращение красного гиганта или сверхгиганта в новую форму. Наиболее типичными считаются три исхода, которые зависят от массы. Звезды меньше $1,2-1,4/3$ массы Солнца из красных гигантов превращаются в так называемых белых карликов, то есть ядро звезды после потери оболочек очень сильно сжимается (до размера Земли). Первое время температура белого карлика высока, но затем звезда остывает и превращается в холодный черный карлик, то есть становится мертвым космическим телом. Для звезд с первоначальной массой более $1,2-1,4/3$ массы Солнца, но меньше $2,4-3/7-10$ массы Солнца медленная и постепенная «старость» заменяется «инфарктом», то есть быстрой катастрофой. После выгорания водорода и ослабления внутреннего газового давления звезды сильно, в десятки тысяч раз сжимаются буквально за несколько секунд. Почти одновременно с этим наружные слои звезды в ре-

зультате взрыва выбрасываются с огромной скоростью. Эта катастрофа будет выглядеть как вспышка сверхновой, которая короткое время светит как миллионы обычных звезд. В результате этого взрыва в космос попадает звездное вещество. В процессе взрыва также образуется относительно много тяжелых (тяжелее железа) элементов, которые затем концентрируются в различных небесных телах. Оставшееся сверхплотное ядро превращается в нейтронную звезду. Площадь этой звезды будет в 5 млрд раз меньше Солнца, но она станет светить в 1000 раз сильнее его благодаря тому, что ее температура в 1000–1500 раз выше солнечной (Липунов 2008).

Если же масса ядра звезды превосходит порог $3/7$ –10 массы Солнца, то она также после выгорания водорода начнет коллапсировать и взорвется (иногда может сколлапсировать и без взрыва), но в этом случае сила сжатия будет неограниченной, так как вследствие большой массы гравитация становится чудовищной и уже не может быть остановлена внутренними силами. Ничем не компенсируемая сила гравитации ведет к тому, что звезда, по теоретическим расчетам, превратится в черную дыру, из которой уже ни вещество, ни даже свет не могут выйти из-за чудовищной гравитации.

Смерть звезд хорошо показывает, что возможности систем к саморегуляции и поддержанию равновесия со средой не бесконечны (и в этом плане мы уже рассматривали идею Больцмана). Но смерть систем – это, во-первых, возможность обновления, а во-вторых, развития более крупных систем, в результате чего происходит и изменение систем меньшего порядка (см. ниже). Жизнь сильнее организмов, справедливо считал П. Тейяр де Шарден (1987). А эволюция, добавим, сильнее отдельных систем. Закон обновления и закон круговорота веществ (когда новое появляется из распавшегося старого) – очень важные законы эволюции, а саморегуляция – это своего рода сила между действиями данных законов.

Еще один из вариантов первичного звездообразования (который с сегодняшних позиций, правда, выглядит уже устаревшим), описанный И. С. Шкловским (1984), свидетельствует о том, что в ранний период вместе с массивными звездами образовалось и много мелких звезд, ставших нынешними субкарликами практически без тяжелых элементов. Массивные звезды, «прожив» недолго, взрывались, при этом частота их взрывов была в десятки раз больше, чем сейчас. Это обогащало межзвездную среду тяжелыми элементами и закончилось сравнительно быстро, за несколько сот миллионов лет самой ранней истории Вселенной (частое явление в эволюции, когда частота смертей первой генерации, переходных форм, гораздо выше, чем последующих, более устойчивых). На этом примере видно, что звезды, которые сами по себе способны к саморегуляции, в массе формируют систему, которая тоже способна к саморегуляции. Последняя здесь выступает и в качестве одной из движущих сил эволюции, поскольку способствует отбору наиболее устойчивых форм. Такая

саморегуляция является наиболее простой и распространенной во Вселенной. Ее правила работают до сих пор в самых разных масштабах. Например, современные галактики тоже формируют саморегулируемые системы, которые описываются различными моделями (Hopkins *et al.* 2011; Kim *et al.* 2011; Trujillo-Gomez *et al.* 2014). По одной из точек зрения (которая не является общепринятой, но тем не менее достаточно интересно описывает возможности саморегуляции), центры галактик являются своеобразным «молохом», перемалывающим звезды в газ и пыль. Причем не только перемалывающим, но и создающим вместо них новые поколения звезд. Выбрасывая их вместе с газопылевой материей в межгалактическое пространство, галактики «омолаживают» Вселенную, поддерживая в ней постоянный круговорот вещества. Таким образом, круговорот веществ в природе, в результате чего происходят процессы обновления и перемешивания вещества, идет на всех уровнях – как пространственных, так и эволюционных.

Для развития саморегуляции и эволюции в целом важно, чтобы внешние условия содержали стабильные параметры достаточно длительное время. Чем более стабилен параметр, тем большую роль он играет в эволюции². Так, в эволюции жизни очень многое основано на воде, кислороде, солнечном свете, которые миллиарды лет остаются без существенных изменений. В саморегуляции звезд таким параметром выступает, например, гравитация. Она играет огромную роль в космической эволюции, позволяя звездам образовываться из газопылевых облаков, объединяя галактики в скопления и т. д.

Можно сказать, что на первых фазах Большой истории преобладали простые виды саморегуляции. Они же в целом преобладают и сегодня во Вселенной. При этом постепенно способность к самосохранению за счет более эффективных механизмов саморегуляции возрастала. Так, первые звезды, не имеющие в своем составе тяжелых элементов и состоящие в большем процентном отношении из водорода и гелия, были по размерам крупнее современных и менее устойчивы, длительность их жизни была короче (см. подробнее: Гринин 2013a). По мере накопления во Вселенной других химических элементов способность звезд к саморегуляции увеличивалась, а вместе с появлением новой генерации звезд выросла и продолжительность существования этих систем (Там же).

Саморегуляция в химической революции

Уже почти с самого начала развития Вселенной, как только температуры достигли уровня в сотни градусов Кельвина, параллельно физической и астрофизической начинается и химическая эволюция.

² Хотя, с другой стороны, часто именно резкие изменения ранее стабильных условий становятся ведущим фактором эволюции. В этом еще раз проявляется закон диалектики единства и борьбы противоположностей.

Конечно, химическая эволюция происходила и в звездах по мере выработки в них все более тяжелых элементов. Химические реакции, в результате которых новые вещества образовывались из разных элементов, происходили в основном в газопылевых облаках. Сперва количественно преобладали молекулы водорода, однако образовывались также молекулы воды и других веществ. Химическая эволюция происходила и на планетах (где она сочеталась с геологической, точнее планетарной, эволюцией), а также на малых небесных телах (метеоритах, астероидах и пр.). При этом на планетах, где за счет вулканизма, давления и других геологических процессов температуры могли быть достаточно высокими, химизм был существенно иным, нежели в холодных облаках.

Представители диалектического материализма вслед за Ф. Энгельсом (в его «Диалектике природы») учили, что химическая форма организации материи эволюционно выше физической. Однако в отличие от биологической или социальной, которые с самого появления знаменовали собой принципиально более высокую форму организации материи, химическая форма, возникнув в довольно скором времени после физической, очень долго не была эволюционно более высокой. То же можно сказать и о геологической, возникшей на планетах очень давно, но ставшей более высокой только после создания в результате нее условий, подходящих для жизни. Нельзя сказать, что химическая эволюция была малозначимой в рамках общей космической эволюции, однако по крайней мере до формирования Земли физическую и химическую формы организации материи нужно рассматривать как равнозначные, переходящие друг в друга (Добротин 1983). Химическая форма во многом выступала как преадаптация для новых уровней эволюции. Напомним, что преадаптации (в биологии) обозначают ситуацию, при которой данные достижения не играют важной роли в целом (не принимая во внимание конкретный организм) в той обстановке, в которой они возникли. Но без них в определенный момент оказывается невозможным совершить рывок. В итоге на определенном эволюционном повороте формы, имеющие эти преадаптации, оказываются в колоссальном выигрыше и становятся эволюционно более высокими или ведущими. Они могут дать импульс для образования новых таксонов и заполнения новых экологических ниш.

В еще большей мере преадаптацией можно считать возникновение органических молекул. Процессы формирования молекул, в том числе органических веществ (в частности, в среде газопылевых облаков), уже достигли определенного уровня сложности. В космосе обнаружено более ста молекул органических веществ (в том числе 9–13 атомных), среди которых есть даже такое вещество, как этиловый спирт (Сурдин, Ламзин 1992; Шкловский 1984). В этом проявляется многолинейность эволюции, классические химические реакции на нашей планете имеют свои аналоги во Вселенной. В итоге многолинейность эволюции далее реализуется в син-

тезе достижений разных ее линий (химической и геологической), как это произошло на Земле, что дало возможность перейти на новый эволюционный уровень.

Особенный прорыв в развитии химических веществ произошел в результате пребиотической (то есть предшествовавшей появлению жизни) эволюции (Rauchfuss 2008). Химические вещества имеют очень высокий потенциал к самоорганизации. Вещества могут кристаллизоваться, переходя из неупорядоченной структуры в упорядоченную. При этом кристаллические поверхности сами могут служить матрицей для роста макромолекул (Чернов 1990). Так, в водном растворе, содержащем один из минералов глин, возможен синтез белков. Минералы глин в водных растворах способны притягивать и удерживать различные заряженные органические молекулы, а ионы металлов – катализировать реакции макромолекул и включаться в их состав.

Как мы уже говорили, для эволюции важно, чтобы базовые параметры оставались значимое время неизменными. В пребиотической эволюции есть различные взгляды на то, что стало таким базовым параметром.

По одной из версий, интенсивный пребиотический синтез органических молекул мог протекать на поверхности минералов сульфида железа (Saghatelian 2001). Логика в том, что такие геологические условия на молодой Земле должны были встречаться часто. Например, это могли быть так называемые «черные курильщики» – предполагаемые «оазисы» для зарождения жизни на дне океанов, с высоким давлением, высокой температурой, без кислорода и с избытком различных соединений, которые могли послужить строительным материалом для «кирпичиков жизни» или катализатором в цепочке химических реакций (Люсьен 1990).

Саморегуляция в живых системах

Как мы уже говорили, саморегулируемые системы очень распространены в живом мире. Клетка, орган, организм – все это примеры таких систем.

В эволюции жизни самоорганизующиеся химические молекулы стали усложняться. Появились сложные взаимосвязи и новые параметры, например пространственная структура, изомеризация и гомологизация. Химические вещества приобрели способность образовывать циклы, цепочки, менять связи и форму, включать в свой состав катализаторы и др. Появились реакции с обратной связью³.

Однако для выхода на новый эволюционный уровень химическим веществам нужны были важные элементы управления, в том числе наличие кодовой информации, определяющей порядок и особенности реакций для репродукции и саморегуляции.

³ Современные органические вещества способны к очень сложному поведению. Молекула хлорофилла, например, настолько сложна, что ученые до сих пор даже близко не подошли к воссозданию ее функционирования (Rau *et al.* 2001).

По основной версии, первой такой молекулой стала РНК. Есть также мнение, что первоначально кодирующей молекулой мог быть белок, однако, видимо, он проиграл по вариативным возможностям (Григорович 2004). Особенность РНК в том, что она содержит достаточно простую, но очень вариативную систему нуклеотидного кода, имеет обратную связь через специальные ферменты и, самое главное, способна к самовоспроизведению – репликации. При этом процесс самовоспроизведения происходит очень активно. Следует отметить, что древние РНК были существенно короче современных (Smith *et al.* 2014). И есть основания полагать, что чем короче РНК, тем более она активна. Об этом можно судить из эксперимента Шпигельмана (с так называемым монстром Шпигельмана). В эксперименте извлеченная РНК вместе с особым ферментом – РНК-репликазой – была помещена в смесь свободных нуклеотидов. В таком окружении РНК начала реплицироваться. Через некоторое время она была извлечена и помещена в новую свежую смесь. Процесс повторялся много раз. Все более короткие цепочки РНК самовоспроизводились все быстрее. После 74 поколений оригинальная РНК вируса длиной в 4500 нуклеотидных оснований была уменьшена до 218. Эта короткая РНК, монстр Шпигельмана, была способна реплицироваться с невероятной скоростью. Позже Манфред Сампер и Рюдигер Льюс продемонстрировали, что в смеси, вообще не содержащей РНК, а содержащей только нуклеотиды и фермент, может при определенных условиях спонтанно возникнуть самореплицирующаяся РНК, которая эволюционирует в нечто подобное монстру Шпигельмана (Sumper, Luce 1975).

Самовоспроизведение стало огромным шагом в саморегуляции веществ и большим шагом к самоуправлению. На основе молекулы РНК образовалась ДНК – основной центр хранения информации (в простейших формах живых организмов так и осталась РНК). ДНК – не просто алгоритм всех возможных действий. Сложно даже представить, какой длины должна быть цепочка ДНК, чтобы она вместила все алгоритмы, накопившиеся за миллиарды лет. Вместо этого в ней содержатся только основные правила. В этом особенно проявляется правило модульности, или эволюционной «блочной сборки», о котором мы уже говорили⁴. Оно дало возможность накапливать «жизненный опыт» и передавать его из поколения в поколение. Первые организмы в отсутствие управляющей системы искали ответ на изменения условий перебором комбинаций. Кодовая система позволила отказаться от этого, стало достаточным обратиться к имеющемуся опыту. В эволюции к такому методу управления пришли системы совершенно разной природы: от живых до социальных и технологи-

⁴ Интересно, что одним из первых авторов идеи блочного принципа самосборки живых систем (а заодно и идеи естественного отбора) был Эмпедокл (490–430 гг. до н. э.), полагавший, что живые существа «собирались» случайным образом из готовых частей (ног, голов и т. д.), причем удачные комбинации выживали, а неудачные – погибали.

ческих. Блочный принцип формирования новых подсистем, систем и групп характерен для самых разных систем. При этом передача опыта может идти не только внутри одной системы, но и между ними. Отдельные «изобретения» способны перенимать друг у друга как биологические, так и социальные системы. Например, у прокариот широко распространена способность к «естественной трансформации» – усвоению ДНК из внешней среды и встраиванию ее в свой геном, что ведет к немедленному преобразованию (трансформации) фенотипа.

Особым вариантом проявления правила эволюционной «блочной сборки» можно считать комплексные заимствования целых генных систем. Особым случаем в таком варианте выступают симбиозы. Симбиозы очень распространены в животном мире. Например, наземные растения создают симбиоз с азотфиксирующими бактериями и микоризными грибами и с насекомыми-опылителями, все животные имеют симбиоз со специализированными микроорганизмами, например, такими, которые помогают переваривать пищу (Гринин и др. 2012).

Симбиоз – не новое изобретение, есть основания полагать, что такая форма кооперации была и у преджизни, и у начальных форм живого. При этом мог произойти даже некий комплексный симбиоз, совместное объединение элементов в новую систему, как это предположительно произошло с химическими элементами, которые объединились в так называемую коацерватную каплю. Коацерватные капли – это сгустки, подобные водным растворам желатина. В силу своих химических свойств они способны объединяться, образуя водоотталкивающие полые сферы. В этих сферах могут концентрироваться различные химические вещества. Согласно распространенным гипотезам о происхождении жизни на Земле, коацерваты стали предками живой клетки. Автором этой теории является советский биохимик академик А. И. Опарин (1924 г.). Позже Опарина и независимо от него к аналогичным выводам пришел английский ученый Дж. Холдейн. Опарин полагал, что переход от химической эволюции к биологической требовал возникновения индивидуальных фазово-обособленных систем, способных взаимодействовать с окружающей средой (Опарин 1941). Таким образом, за счет создания изолированной саморегулируемой системы химические вещества образовали биологическую систему (Серебровская 1971; Трошин 1956)⁵.

Первые живые системы, очевидно, были очень неустойчивыми. Но это частое явление в эволюции среди переходных форм. Переходные формы еще не обрели завершенных системных свойств и в то же время за счет высоких потенциалов обладают очень большими возможностями к

⁵ В данной статье автор не ставит целью анализировать недостатки теории Опарина, эта теория интересна как возможная иллюстрация проявлений саморегуляции. Сегодня достаточно популярны теории внеземного происхождения жизни. Но и их можно рассмотреть с точки зрения саморегуляции.

трансформациям. Это также дает дополнительные потенции к саморегуляции и эволюционности, но одновременно может быть связано и с пониженной потенцией к саморегуляции, так как способность эволюционировать и устойчивость в целом противоположные качества, хотя в отдельных случаях происходит их синтез, и тогда может случиться эволюционный рывок. Именно поэтому переходные формы часто не оставляют следов (см. также: Тейяр де Шарден 1987). Так, первые звезды «жили» меньше, чем современные. Во время революций формы законодательных и административных организаций, конституции часто меняются, как в калейдоскопе: это связано с процессом поиска наиболее оптимальных и устойчивых форм, то есть форм, обладающих высоким уровнем саморегуляции.

В целом можно сказать, что на заре эволюции жизни образование в течение химической эволюции макромолекул, таких как РНК, ДНК, белки, ферменты и др., привело к огромным вариациям и потребовало создания систем управления. Чем сложнее становилась система, тем больше усложнялось ее управление. При этом для преодоления энтропии системы пытались создать механизмы, изолирующие их от прямых неупорядоченных контактов с окружающей средой, формируя защитные (изоляцияционные) оболочки, так чтобы можно было регулировать контакты внутренних частей системы со средой. Так образовались первые коацерваты, затем клетки. Клетка стала основной саморегулируемой системой живого, с помощью которой в процессе эволюции методом «блочной сборки» формировались организмы.

Постепенно жизнь развивалась. Управляющая система живого усложнялась. Она начала обособляться в отдельную нервную систему. Стали развиваться периферийная система и анализаторы для обеспечения обратной связи. Развитие центральной нервной системы, особенно головного мозга, стало началом формирования самоуправляемых систем. Организмы обрели способность принимать сложные решения, анализировать свое поведение и окружающую среду, учиться и передавать накопленный опыт. Особенно это получило развитие у человека, мозг которого можно без преувеличения назвать самой сложной из известных систем самоуправления.

Жизнь также сформировала самоуправляемые системы в виде биосоциальных систем. Группы индивидов самых разных ветвей эволюции смогли создать сообщества, которые в целом функционируют как единая сложная самоуправляемая система. Улей пчел, муравейник, человеческое государство имеют много схожих черт в самоуправлении. Они имеют центр управления и периферийные системы, способны самостоятельно принимать решения, гибко реагировать на изменения среды, способны к обучению. В этом хорошо проявляется многолинейность эволюции. Самоуправление как очень эффективная форма самоорганизации

сформировалась на самых разных уровнях эволюции от подсистемы организма (в виде нервной системы) до надорганизменного уровня. Самоуправление проявится даже в небιологических системах, о чем будет сказано далее.

САМОРЕГУЛЯЦИЯ В ОБЩЕСТВЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕВОЛЮЦИИ

Рост способности к управлению и самоуправлению в истории

Как уже было сказано, человеческое общество является сложной самоуправляемой системой. Можно проследить, как возрастали величина и сложность общественных форм от простых (вроде общинных, локальных, родственных или иных небольших групп) до среднесложных (поселений во главе с бигменами, небольших племен, простых вожеств или их аналогов), а затем до сложных обществ (крупных иерархических вожеств, городских общин и полисов, конфедераций племен или общин и т. д.), включая и ранние государства (Гринин 2011; Гринин, Коротаев 2009). Можно также проследить, как в течение тысячелетий ранние государства становились более сложными и устойчивыми, как они переходили на эволюционную стадию развитых государств, то есть централизованных, еще более устойчивых и имеющих более тесное соответствие между социальным и политическим устройством общества. Наконец, можно понять, как вместе с переходом к индустриальному производству развитые государства стали формироваться в зрелые, объединяющие уже не плохо сплоченные народности, состоящие из региональных групп с большими культурно-языковыми особенностями, а культурные и грамотные нации, объединенные общей идеологией и современными коммуникациями. Наконец, можно увидеть, как зрелые классовые государства в XX в., терзаемые внутренними социальными конфликтами, стали трансформироваться в социальные государства, важнейшей задачей которых стала поддержка малоимущих и незащищенных слоев населения (об эволюции государствности см.: Гринин 2010).

Переход к каждому новому этапу сложности был связан с ростом сложности управления и уровней управления. Так, например, простое вожество имеет три уровня управления: вождь – руководители отдельных поселений или кварталов – домохозяйства. А даже самое примитивное государство – четыре-пять уровней управления. Современное государство – не менее семи-восьми. При этом растет и способность отдельных подсистем государства, отдельных его ведомств, корпораций и т. п. как к саморегуляции, так и к самоуправлению, а также к сложной кооперации в рамках большой системы. Все это предмет особого, очень важного и интересного исследования.

Однако мы хотели бы остановиться на другом аспекте развития саморегуляции.

Мы предполагаем, что научно-технический прогресс приблизился к точке, когда саморегуляция технологий переходит в наиболее развитую форму самоуправления. Это особенно проявится в ближайшие десятилетия и приведет человечество к новому этапу развития, когда человек с помощью технологий сможет влиять на свою биологическую природу. Для понимания этого следует обратиться к истории наиболее значимых технологических преобразований.

Производственные революции и рост сложности технических систем. Согласно нашей концепции (Гринин 2006; Grinin 2007; Гринин А. Л., Гринин Л. Е. 2013; Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015), из всех многообразных технологических и производственных изменений, имевших место в истории, наиболее глубокие и всеобъемлющие последствия для общества имели три революции. Они определяются нами как производственные. Это:

1. Аграрная, или сельскохозяйственная, революция. Ее результат – переход к систематическому производству пищи и на этой базе – к сложному общественному разделению труда. Эта революция связана также с использованием новых источников энергии (силы животных) и материалов.

2. Промышленная, или индустриальная, в результате которой основное производство сосредоточилось в промышленности и стало осуществляться при помощи машин и механизмов. Значение этой революции не только в замене ручного труда машинным, а биологической энергии – водной и паровой, но и в том, что она открывает в широком смысле процесс трудосбережения.

3. Кибернетическая, на начальной фазе которой появились мощные информационные технологии, стали использоваться новые материалы и виды энергии, распространилась автоматизация, а на завершающей произойдет переход к широкому использованию самоуправляемых систем.

Кибернетическая революция

Кибернетическая революция – это крупнейший технологический переворот от индустриального принципа производства к производству и услугам, базирующимся на работе саморегулирующихся систем. В целом она станет революцией управляемых систем [см.: Гринин 2006; 2013в; Гринин А. Л., Гринин Л. Е. 2015; Grinin A. L., Grinin L. E. 2015].

Эта революция названа нами кибернетической, потому что основной ее смысл заключается в создании и широком распространении самоуправляемых систем (подробнее см.: Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015). В основе анализа самоуправляемых систем мы опираемся на идеи кибернетики как науки об управлении различными сложными управляемыми системами.

ми (биологическими, социальными и техническими) (см.: Винер 1983; Бир 1963; Эшби 1966; Foerster, Zopf 1962; Umpleby, Dent 1999; Теслер 2004; Глушков 1986; Beer 1994; Розанова 2009; Могилевский 1999; Плотинский 2001; Истон 1997).

Кибернетическая революция началась в 1950-х гг. Достаточно развитые технологии в этот период подверглись автоматизации и стали более эффективными. Произошли большие изменения в энергетике, которые также повысили эффективность технологий. Значительный прорыв наблюдался в области синтетических материалов, космических технологий, в освоении космоса и морской акватории, сельском хозяйстве, но особенно – в создании электронных средств управления, связи и информации. В целом можно сказать, что этот период стал этапом формирования технологий, которые мы наблюдаем сейчас и увидим в будущем. Большинство современных устройств были созданы и опробованы еще в середине прошлого столетия, а часто и намного раньше. Это еще одно проявление преадаптации в эволюции систем.

В середине 1990-х гг. началась средняя (модернизационная) фаза кибернетической революции, которая, по нашим предположениям, продлится до 2030-х гг. Она характеризуется мощным улучшением и распространением инноваций, сделанных на начальной фазе, в частности широким распространением удобных в обращении компьютеров, средств и систем связи, сетевых информационных технологий, а также формированием макросектора услуг, среди которых важнейшее место стали занимать информационные и финансовые услуги. В то же время подготавливаются инновации, необходимые для начала завершающей фазы кибернетической революции.

Завершающая фаза кибернетической революции начнется в 2030–2040-х гг. и продлится до 2060–2070-х гг. На этой фазе произойдет переход к широкому использованию самоуправляемых систем. Самоуправляемыми мы называем системы, которые могут регулировать свою деятельность самостоятельно, при минимальном вмешательстве человека или полном его отсутствии.

Самоуправление в кибернетической революции

Как мы уже говорили, самоуправление – наиболее развитая форма саморегуляции.

Самоуправляемые системы отличаются от прочих саморегулируемых систем по ряду параметров:

1. Самоуправляемые системы более эффективны. Частично их большая эффективность связана с распределением функций. Обособленные центры управления более производительны в анализе информации и имеют больше возможностей для формирования обратных связей.

2. Самоуправляемые системы способны к сложному обучению и принятию решения. Обучаемость – одна из ключевых особенностей развитой нервной системы у животных, которая сыграла важную роль в эволюции. В кибернетической революции способность технологий самостоятельно принимать решения и обучаться потенциально делает их привлекательными для инвестиций и масштабного производства, а также может стать одним из решений в вопросе сокращения рабочей силы в период демографического кризиса грядущих лет.

3. Самоуправляемые системы имеют большую вариативность. Более сложное строение и поведение систем создает большую вариативность и увеличивает способность к их развитию.

Подобно тому как в процессе усложнения и эволюции простые саморегулируемые элементы переходили в сложные самоуправляемые (например, простейшие нервные клетки – в центральную нервную систему), так и технологии переходят от механических к автоматизированным, от автоматизированных к саморегулируемым и затем к самоуправляемым. Это, конечно, не означает, что каждая технология должна пройти такое развитие. Уже сейчас наряду с автоматизированными и саморегулируемыми системами существуют самоуправляемые технологии, особенно в космической отрасли. Жизнеобеспечивающие системы (такие как аппарат искусственного дыхания или искусственное сердце) могут регулировать целый ряд параметров, выбирать наиболее подходящий режим, определять критические для жизни человека ситуации и, по сути, принимать жизненно важные решения. Специальные программы могут определять ценность акций и других ценных бумаг, реагировать на изменение их стоимости, самостоятельно покупать и продавать их, совершать в день тысячи операций и фиксировать прибыль. И это лишь немногие примеры среди уже существующего множества самоуправляемых систем.

Одним из показателей того, что технологии «стремятся» быть самоуправляемыми, является распространение «умных» технологий и вещей, которые достаточно гибким образом реагируют на внешние воздействия. Простым, но наглядным примером может быть подушка, которая «запоминает» форму головы человека. Другой пример – очки-хамелеоны, стекла которых меняют окраску в зависимости от освещения. Спектр сложности «умных» систем весьма велик. Некоторые такие системы можно уверенно назвать самоуправляемыми. Например, «умный дом», в рамках которого система будет следить за всеми важными параметрами внутри жилища и регулировать их в соответствии со вкусами хозяев. Также в качестве примера самоуправляемой системы можно назвать самоуправляемые автомобили, которые уже начали развиваться в наше время.

Самоуправляемой системой будет в том числе искусственный интеллект, о котором много пишут в последние десятилетия (см., например:

Poole *et al.* 1998; Hutter 2005; Luger 2005; Russell, Norvig 2009; Neapolitan, Jiang 2012; Keller, von der Gracht 2014; Hengstler *et al.* 2016).

Однако важно подчеркнуть, что понятие саморегуляции и самоуправления шире понятия «искусственный интеллект». В том числе в кибернетической революции большинство технологий не связано с искусственным интеллектом, например геновая инженерия или биотехнологические системы. Даже среди IT-технологий самоуправление не развивается только в направлении искусственного интеллекта. Искусственный интеллект – это более частный случай. В целом технологии будут «стремиться» повысить свою эффективность. Многие технологии при этом станут «умными» или «интеллектуальными» (см.: Russell, Norvig 2009). Однако даже «интеллектуальные» технологии не обязательно станут искусственным интеллектом, подобно тому как, например, все живые организмы (и даже человекообразные обезьяны) не стремятся эволюционировать в человека с его развитым мозгом.

Если не все технологии эволюционируют в сторону искусственного интеллекта, то в каком направлении будут развиваться кибернетическая революция и самоуправляемые системы?

По нашему мнению, в 2020–2030-х гг. произойдет технологический прорыв в медицинских технологиях, которые объединят вокруг себя ряд других ведущих направлений. В целом они составят единый комплекс МАНБРИК-технологий: медицинских, аддитивных, нано-, био-, робото-, инфо-, когнитивных⁶.

Ведущая роль медицины в кибернетической революции связана прежде всего с глобальным старением, ростом продолжительности жизни и необходимостью социализации и трудоустройства пожилых людей и инвалидов в условиях сокращения рабочей силы. Самые различные технологии будут направлены на поддержание и улучшение здоровья.

Уже сегодня в медицине зреют прорывные инновации, которые станут ощутимыми через два-три десятилетия (а некоторые и ранее) (Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015). Современная медицина неразрывно связана с биотехнологиями, фармацевтикой, геной инженерией, промышленной химией и другими отраслями. При этом расходы на медицину постоянно растут. Так, с 1995 по 2010 г. на каждого жителя Земли расходы на медицину выросли вдвое – с 454 долларов в год до 950 долларов при довольно заметном росте населения (World Bank 2016).

В период кибернетической революции особое распространение могут получить различные самоуправляемые технологии постоянного контроля здоровья организма, в том числе созданные на основе биотехнологий. Нанотехнологии будут вести к постоянной миниатюризации технических

⁶ Мы полагаем, что это будет более широкая система инновационных технологий, чем обычно считают, в частности шире, чем NBIC-конвергенция.

устройств, что позволит уменьшить размеры биочипов и вживлять их непосредственно в организм. Это даст возможность постоянно контролировать важные параметры организма и сообщать о критических отклонениях.

Бионика, трансплантация, нейроинтерфейсы и похожие направления особенно важны в связи со стремительным старением населения. Они наряду с другими технологиями позволят внести вклад в решение проблемы нехватки рабочей силы за счет повышения работоспособности населения старших возрастных групп.

Еще одними из ведущих самоуправляемых технологий станут роботы. Они также способны решить проблему нехватки рабочей силы. В ближайшие десятилетия некоторые должностные обязанности (предположительно телемаркетинговые услуги, работа бухгалтера, аудитора, ритейлера, агента недвижимости, экономиста, пилота негражданской авиации и др.) в развитых странах станут либо полностью, либо в большей части осуществляться роботами (Frey *et al.* 2013).

В целом на завершающей фазе кибернетической революции появится множество самоуправляемых систем, связанных с биологией и бионикой, физиологией и медициной, сельским хозяйством и окружающей средой, нано- и биотехнологиями. Число и сложность таких систем, а равно автономность их работы возрастут на порядки. Кроме того, они смогут существенно экономить потребление энергии и ресурсов. Сама человеческая жизнь все более будет организована через такие саморегулируемые системы (например, путем мониторинга здоровья, режима, регулирования или рекомендации нагрузки, контроля над состоянием больных, предотвращения противоправных действий и т. п.).

Однако следует подчеркнуть, что особенно важной в период кибернетической революции, по нашим прогнозам, станет возросшая возможность изменять и модифицировать саму биологию человеческого организма.

Другими словами, мы на пороге постчеловеческой революции. Возможно, она не будет столь радикальной, как представляют себе трансгуманисты, но в любом случае речь идет о существенном продлении жизни, замене все большего числа органов и элементов биологического организма небиологическими материалами, внедрения самых различных самоуправляемых систем в организм для реабилитации или улучшения функционала человека.

Разумеется, от первых шагов в этом направлении (в 2030–2040-х гг.) до повсеместного широкого применения пройдет не менее двух-трех десятилетий. Таким образом, самоуправляемые системы выведут эволюцию на новый уровень, и предвидеть все последствия этого шага пока не представляется возможным.

Заключение

В описании способности систем к устойчивости в меняющихся условиях, по нашему мнению, не хватает универсализации понятий, характерных как для простых, так и для сложных систем, включая живые, социальные, технологические и др. Для решения этой проблемы мы вводим понятие саморегуляции, которое широко описывает способность систем к самосохранению в ситуации меняющихся внешних условий и является важным по ряду причин.

Во-первых, понятие саморегуляции позволяет объединить в единый тренд (и под единым термином) процессы разной сложности, относящиеся к самосохранению, изменениям, функционированию и усложнению систем в изменяющейся среде. Более того, изучение саморегуляции может быть основой для создания интегральной методологии, объединяющей такие важные междисциплинарные области знания, как кибернетика, синергетика и эволюционистика. В таком аспекте синтеза этих важных направлений исследования, насколько мы знаем, не проводилось.

Во-вторых, наше исследование показывает, что саморегуляция играет значительную роль в эволюции, особенно в мегаэволюции и при переходах эволюции на новые уровни сложности, так как в процессе адаптации или «подгонки» систем к резко меняющимся внешним условиям могут происходить важные качественные изменения, способные в дальнейшем широко или даже универсально распространяться.

Саморегуляция проявляется уже на ранних фазах Большой истории, по сути, с появлением первых систем, например первых звезд. Мы показываем, что процессы самоорганизации в известной мере можно рассматривать как одну из начальных форм саморегуляции и в то же время самую распространенную во Вселенной. При этом постепенно способность к самосохранению за счет более эффективных механизмов саморегуляции возрастала. По мере накопления во Вселенной других химических элементов способность звезд к саморегуляции росла, а вместе с появлением новой генерации звезд увеличилась и продолжительность существования этих систем.

Различные варианты и механизмы саморегуляции на уровне систем без управления можно увидеть и в химической эволюции. Данный этап эволюции привел к гигантскому химическому разнообразию и стал важнейшим переходом к новому качеству в саморегуляции, которую мы видим с появлением жизни. Исключительно важным этапом стало появление самореплицирующихся молекул, которые позволили накапливать опыт и передавать его из поколения в поколение. Это обеспечило «блочность» эволюции и значительно ее ускорило. Биологические системы ярко демонстрируют усложнение саморегуляции в эволюции. От самоорганизации и самонастройки системы переходили к простому, а затем и к сложному управлению. Развивалась способность приема и анализа ин-

формации: усложнялись анализаторы, периферийные системы, система контроля и управления. Центральная нервная система стала ключевым звеном в управлении и получила колоссальное развитие в эволюции. Развита нервная система, особенно головной мозг, стала первой самоуправляемой системой.

Некоторые виды организмов, в том числе человек, образовали сложные биосоциальные самоуправляемые системы.

Социум, особенно в результате появления государств и цивилизаций, стал реальной самоуправляемой системой, способной сознательно изменяться и перестраиваться. Общество развивалось в том числе в результате технологических революций. Технологии, порождение человеческого разума, постоянно усложнялись. Современная технологическая революция, которая будет идти еще полвека и которую мы называем «кибернетической», станет эпохой развития и распространения самоуправляемых технологий. Завершающая и наиболее зрелая фаза кибернетической революции начнется в 2030-е гг.

В целом изучение саморегуляции расширяет наши представления о взаимодействии систем и внешней среды, что также важно для понимания эволюции систем. В процессе развития саморегуляции в эволюции наблюдался важный переход от неуправляемых систем к управляемым и от управляемых – к самоуправляемым. Такие переходы важны для понимания эволюционных процессов, поскольку показывают некоторые механизмы качественного перехода к сложным системам. Изучение саморегуляции и самоуправления в новой производственной (кибернетической) революции позволяет понять ключевые тренды и сделать определенные прогнозы в ее развитии.

В этой связи нам представляется, что исследование саморегуляции и самоуправления является перспективным и многообещающим, и мы надеемся, что наши работы вносят свой вклад в данное исследование.

Библиография

- Бир С. 1963.** *Кибернетика и управление производством.* М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры.
- Винер Н. 1983.** *Кибернетика, или управление и связь в животном и машине.* М.: Наука.
- Глушков В. М. 1986.** *Кибернетика. Вопросы теории и практики.* Наука. Мирозрение. Жизнь. М.: Наука.
- Григорович С. 2004.** Вначале была РНК? В поисках молекулы первожизни. *Наука и жизнь* 2: 44–55.
- Гринин А. Л. 2016.** Саморегуляция как тренд Большой истории. *История и Математика: мегаисторические аспекты* / Отв. ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, с. 128–154. Волгоград: Учитель.

- Гринин А. Л., Гринин Л. Е. 2013. Кибернетическая революция и грядущие технологические трансформации (развитие ведущих технологий в свете теории производственных революций). *Эволюция Земли, жизни, общества, разума* / Ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, А. В. Марков, с. 167–239. Волгоград: Учитель.
- Гринин А. Л., Гринин Л. Е. 2015. Кибернетическая революция и исторический процесс (технологии будущего в свете теории производственных революций). *Философия и общество* 1: 17–47.
- Гринин Л. Е. 2006. *Производительные силы и исторический процесс*. 3-е изд. М.: КомКнига.
- Гринин Л. Е. 2010. *Государство и исторический процесс: Эволюция государственности: От раннего государства к зрелому*. 2-е изд. М.: ЛИБРОКОМ.
- Гринин Л. Е. 2011. *Государство и исторический процесс. Эпоха формирования государства: Общий контекст социальной эволюции при образовании государства*. 2-е изд. М.: ЛИБРОКОМ.
- Гринин Л. Е. 2013а. *Большая история развития мира: космическая эволюция*. Волгоград: Учитель.
- Гринин Л. Е. 2013б. Звездно-галактическая эра Большой истории в свете универсальных принципов эволюции. *Глобалистика-2013: Материалы III Международного научного конгресса; Москва, МГУ им. М. В. Ломоносова, 23–25 октября 2013 г.: Тезисы докладов*, с. 13–14. М.: МАКС Пресс.
- Гринин Л. Е. 2013в. Технологический аспект социальной эволюции. *Эволюция Земли, жизни, общества, разума* / Ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, А. В. Марков, с. 98–166. Волгоград: Учитель.
- Гринин Л. Е. 2014. Звездно-галактическая эра Большой истории в свете универсальных принципов эволюции. *Эволюция: от протозвезд к сингулярности?* / Ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, А. В. Марков, с. 78–106. Волгоград: Учитель.
- Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015. *От рубил до нанороботов. Мир на пути к эпохе самоуправляемых систем (история технологий и описание их будущего)*. Волгоград: Учитель.
- Гринин Л. Е., Коротаев А. В. 2009. *Социальная макроэволюция: Генезис и трансформации Мир-Системы*. М.: ЛИБРОКОМ.
- Гринин Л. Е., Коротаев А. В. 2014. Введение. Вновь об аспектах, направленности, общих паттернах и принципах эволюционного развития. *Эволюция: от протозвезд к сингулярности?* / Ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, А. В. Марков, с. 5–19. Волгоград: Учитель.
- Гринин Л. Е., Коротаев А. В., Марков А. В. 2012. Биологическая и социальная фазы глобальной истории: сходства и различия эволюционных принципов и механизмов. *Универсальная и глобальная история (эволюция Вселенной, Земли, жизни и общества). Хрестоматия* / Ред. Л. Е. Гринин, И. В. Ильин, А. В. Коротаев, с. 315–347. Волгоград: Учитель.
- Добротин М. Н. 1983. Диалектика и проблемы развития химической формы движения материи. Диалектика природы и естественно-научная картина мира. *Материалистическая диалектика*: в 5 т. Т. 3, с. 73–91. М.; Л.

- Истон Д. 1997.** Категории системного анализа политики. *Антология мировой политической мысли*: в 5 т. Т. II, с. 630–642. М.: Мысль.
- Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. 1976.** *Статистическая физика. Ч. 1. Теоретическая физика. Статистическая физика. Т. 5. 3-е изд., доп.* М.: Наука.
- Липунов В. М. 2008.** *В мире двойных звезд.* М.: ЛИБРОКОМ.
- Люсьен Л. 1990.** *Оазисы на дне океана.* М.: Гидрометеиздат.
- Михайлов Л. А., Беспаятных Т. А., Баенко Ю. К. 2012.** *Концепции современного естествознания. Учебник для вузов.* СПб.: Питер.
- Могилевский В. Д. 1999.** *Методология систем: вербальный подход.* М.: Экономика.
- Монсеев Н. Н. 2001.** *Универсум, Информация, Общество.* М.: Устойчивый мир.
- Опарин А. И. 1941.** *Возникновение жизни на Земле.* 2-е изд., значит. доп. М.; Л.: Изд-во АН СССР.
- Плотинский Ю. М. 2001.** *Модели социальных процессов.* М.: Логос.
- Розанова Л. В. 2009.** *Основы кибернетики.* Омск: ОмсГТУ.
- Серебровская К. Б. 1971.** *Коацерваты и протоплазма.* М.: Наука.
- Сурдин В. Г., Ламзин С. А. 1992.** *Протозвезды. Где, как и из чего формируются звезды.* М.: Наука.
- Суркова Л. П. 2005.** *Звезды и звездные группировки в нашей Галактике.* Чита: ЗабГПУ.
- Тейяр де Шарден П. 1987.** *Феномен человека.* М.: Наука.
- Теслер Г. С. 2004.** *Новая кибернетика.* Киев: Логос.
- Трошин А. С. 1956.** *Проблема клеточной проницаемости.* М.; Л.: АН СССР.
- Хакен Г. 1985.** *Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах.* М.: Мир.
- Чейсон Э. 2012.** *Космическая эволюция. Универсальная и глобальная история: Эволюция вселенной, земли, жизни и общества / Ред. Л. Е. Гринин, И. В. Ильин, А. В. Коротаев, с. 197–207.* Волгоград: Учитель.
- Чернов А. А. 1990.** *Кристаллизация. Физическая энциклопедия / Ред. А. М. Прохоров. Т. 2, с. 456.* М.: Советская энциклопедия.
- Шкловский И. С. 1984.** *Звезды: их рождение, жизнь и смерть.* 3-е изд. М.: Наука, Глав. ред. физ.-мат. лит.-ры.
- Эшби У. Р. 1959.** *Введение в кибернетику.* М.: Изд-во ин. лит.-ры.
- Эшби У. Р. 1966.** *Принципы самоорганизации. Принципы самоорганизации / Ред. А. Рапопорт и др., с. 332–343.* М.
- Эшби У. Р. 1969.** *Общая теория систем как новая научная дисциплина. Исследования по общей теории систем / Ред. Э. Г. Садовский, В. Н. Юдин.* М.: Прогресс.
- Ashby W. R. 1962.** Principles of the Self-Organizing System. *Principles of Self-Organization / Eds. H. von Foerster, G. W. Jr. Zopf, pp. 255–278.* U.S. Office of Naval Research.

- Bandura A. 1999.** Social Cognitive Theory of Self-Regulation. *Handbook of Personality* 50(2): 154–196.
- Beer S. 1994.** *Decision and Control: The Meaning of Operational Research and Management Cybernetics*. London: John Wiley & Sons, Ltd.
- Christian D., McNeill W. H. 2011.** *Maps of Time: an Introduction to Big History, with a New Preface*. Vol. 2. University of California Press.
- Cummings T. G. 1978.** Self-Regulating Work Groups: A Socio-Technical Synthesis. *The Academy of Management Review* 3(3): 625–634.
- Frey C. B., Osborne M. A., Armstrong S., Bostrom N. et al. 2013.** *The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?* Oxford University: Martin School Working Paper.
- Foerster H. von, Zopf G. W. 1962.** Principles of Self-Organization. *Self-Organization* / Eds. M. C. Yovits, S. Cameron, pp. 31–50. New York: Pergamon Press.
- Grinin A. L., Grinin, L. E. 2015.** Cybernetic Revolution and Historical Process. *Social Evolution & History* 14(1): 125–184.
- Grinin L. E. 2007.** Production Revolutions and Periodization of History: A Comparative and Theoretic-Mathematical Approach. *Social Evolution and History* 6(2): 75–120.
- Grinin L. E., Ilyin I. V., Korotayev A. V. 2012.** *Globalistics and Globalization Studies*. Volgograd: Uchitel.
- Hengstler M., Enkel E., Duelli S. 2016.** Applied Artificial Intelligence and Trust – the Case of Autonomous Vehicles and Medical Assistance Devices. *Technological Forecasting and Social Change* 105: 105–120.
- Hopkins P. F., Quataert E., Murray N. 2011.** Self-Regulated Star Formation in Galaxies via Momentum Input from Massive Stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 417(2): 950–973.
- Hutter M. 2005.** *Universal Artificial Intelligence*. Berlin: Springer.
- Keller J., von der Gracht H. 2014.** The Influence of Information and Communication Technology (ICT) on Future Foresight Processes – Results from a Delphi Survey. *Technological Forecasting and Social Change* 85: 81–92.
- Kim Chang-Goo, Kim Woong-Tae, Ostriker E. C. 2011.** Regulation of Star Formation Rates in Multiphase Galactic Disks: Numerical Tests of the Thermal/Dynamical Equilibrium Model. *The Astrophysical Journal* 743(1): 25.
- Luger G. F. 2005.** *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. Harlow: Pearson education.
- Makino K., Mack E. J., Okano T., Kim S. W. 1992.** A Microcapsule Self-Regulating Delivery for Insulin. *Drug Delivery System* 7(3): 191–195.
- Miyake T., Yoshino S., Yamada T. et al. 2011.** Self-Regulating Enzyme – Nanotube Ensemble Films and Their Application as Flexible Electrodes for Biofuel Cells. *Journal of the American Chemical Society* 133(13): 5129–5134.
- Neapolitan R., Jiang X. 2012.** *Contemporary Artificial Intelligence*. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC.

- Nishi R., Tashiro M. 2000.** Self-Regulation of Star Formation in Low Metallicity Clouds. *Astrophys. J.* 537: 50–54.
- Pearce J. A. 1987.** The Design and Activation of Self-Regulating Work Groups. *Human Relations* 40(11): 751–782.
- Poole D., Mackworth A., Goebel R. 1998.** *Computational Intelligence: A Logical Approach*. New York: Oxford University Press.
- Rau H. K., Snigula H., Struck A. et al. 2001.** Design, Synthesis and Properties of Synthetic Chlorophyll Proteins. *European Journal of Biochemistry* 268(11): 3284–3295.
- Rauchfuss H. 2008.** *Chemical Evolution and the Origin of Life*. Springer.
- Russell S. J., Norvig P. 2009.** *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Saghatelian A. et al. 2001.** A Chiroselective Peptide Replicator. *Nature* 409: 797–801.
- Smith O., Clapham A., Rose P., Liu Y. et al. 2014.** A Complete Ancient RNA Genome: Identification, Reconstruction and Evolutionary History of Archaeological Barley Stripe Mosaic Virus. *Scientific Reports* 4: 279–283.
- Sumper M., Luce R. 1975.** Evidence for de Novo Production of Self-replicating and Environmentally Adapted RNA Structures by Bacteriophage Qbeta Replicase. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 72(1): 162–166.
- Thomas D., Maraston C., Schawinski K. et al. 2010.** Environment and Self-Regulation in Galaxy Formation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 404(4): 1775–1789.
- Trujillo-Gomez S., Klypin A. A., Colin P. et al. 2014.** Low-mass Galaxy Assembly in Simulations: Regulation of Early Star Formation by Radiation from Massive Stars. *MNRAS* 446(2): 1140–1162.
- Umpleby S. A., Dent E. B. 1999.** The Origins and Purposes of Several Traditions in Systems Theory and Cybernetics. *Cybernetics and Systems* 30: 79–103.
- World Bank. 2016.** *World Development Indicators Online*. Washington, DC: World Bank.
- Wynne-Edwards V. C. 1965.** Self-Regulating Systems in Populations of Animals. *Science* 147(3665): 1543–1548.