

6 Саморегуляция как тренд Большой истории

А. Л. Гринин

В настоящей статье рассматривается понятие саморегуляции как универсальной способности систем к самосохранению и изменениям в меняющихся внешних условиях. Саморегуляция комбинирует в себе многие существующие понятия, присущие сложным системам и описанные в различных областях науки. Изучение саморегуляции дает возможность глубже понять многие эволюционные процессы на протяжении всей Большой истории, в том числе в изучении социума и новых технологических укладов, а также использовать это понятие для прогнозов развития технологий и социальной жизни. Саморегуляция может быть прослежена на различных уровнях эволюции и на разных этапах Мегаястории, при этом мы видим усиление и рост ее значимости на более высоких этапах, а также ее трансформацию в управляемый процесс. Сначала мы показываем важные элементы саморегуляции в неживой природе, в частности на примере функционирования звезд; далее рассматриваем саморегуляцию на более высоком уровне, уже как важнейший процесс существования объектов на уровне жизни. Мы рассматриваем процессы саморегуляции на уровне клетки и организма, показываем, что в отличие от неживых систем происходит усложнение процессов саморегуляции, так как теперь в системах появляются специализированные органы чувств и управления, с помощью которых оказывается возможным тонкое реагирование на изменяющуюся среду. Уже в биологической эволюции на уровне высокоорганизованных организмов мы можем говорить о переходе саморегуляции в фазу самоуправления. Тем более о таком переходе можно говорить для социальных систем, которые по мере разворачивания социальной эволюции становились способными к сознательному изменению собственной структуры и образа жизни (что является одним из показателей самоуправления). Однако в последней части статьи главный упор сделан не на социальных механизмах самоуправления, а на исследовании этапа развития технологий, в котором они постепенно обретают признаки саморегуляции и самоуправления. Исходя из анализа особенностей развития технологий, мы прогнозируем, что в ближайшие десятилетия про-

изойдет прорыв в создании саморегулируемых и даже самоуправляемых систем.

На протяжении всей статьи мы также показываем тесную связь саморегуляции с такими важными универсальными процессами эволюции, как самоорганизация, самосохранение и управление. В статье понятие саморегуляции исследуется в аспекте как кибернетики, так и синергетики, автор стремился найти объединяющие моменты в этих аспектах.

Ключевые слова: *Большая история, саморегуляция, самоуправление, управление, эволюция, медицина, МАНБРИК-технологии, самоорганизация, самосохранение, синергетика, кибернетика*

Введение. Универсальные процессы и факторы эволюции

В исследовании эволюции и особенно мегаэволюции важную роль играют концепции, позволяющие рассматривать ее в крупном масштабе. Одной из таких концепций стала Большая, или Универсальная, история (Christian, McNeill 2011). Для подобного изучения важно опираться на фундаментальные и крупномасштабные процессы и закономерности, сквозные тренды, системные характеристики и универсальные факторы. Среди таковых, например, можно выделить усложнение структур и систем, рост энергетической эффективности, энтропию, самоорганизацию и др. Одной из важных универсальных и базовых характеристик, на наш взгляд, также является саморегуляция систем. Саморегуляция наблюдается на различных уровнях природы – от наноразмерности (Makino *et al.* 1992) до популяций животных (Wynne-Edwards 1965), от кристаллов до обществ и Мир-Системы (Bandura 1999; Cummings 1978; Grinin *et al.* 2012; Pearce 1987; Гринин, Коротаев 2009; 2014); в системах и отдельных трендах развития (Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015). При этом ее значение в эволюции сложных систем возрастает и становится исключительно важным. Настоящая статья посвящена анализу саморегуляции систем, роль которой, по нашему мнению, в эволюционных исследованиях недооценена.

Как мы покажем далее, на высших стадиях эволюции саморегуляция переходит в самоуправление. Исследование таких систем проводилось в кибернетическом аспекте, однако мы полагаем, что важные закономерности развития самоуправляемых систем в неживом и живом мире, обществе и технологиях могут быть обнаружены и с помощью междисциплинарных эволюционных парадигм, а также концепций синергетики и других обобщающих областей знания.

I. САМОРЕГУЛЯЦИЯ И КИБЕРНЕТИКА

Понятия саморегуляции

Саморегуляция в нашем понимании есть способность систем к сохранению устойчивости и базовых параметров в изменяющихся условиях. В литературе нет отдельных исследований, посвященных ее изучению. Простые системы изучаются с точки зрения самоорганизации, самонастройки и др. Понятие самоорганизации ключевое для простых открытых систем, оно использовалось еще основоположниками кибернетики, например У. Эшби (Ashby 1962), и синергетики – Г. Хакеном. По Хакену, «самоорганизация – это процесс упорядочения в открытой системе, за счет согласованного взаимодействия множества элементов ее составляющих» (Хакен 1985). Сложные системы изучаются с точки зрения управления. Однако необходимо сказать, что кибернетика – наука об управлении в сложных управляемых системах, начиная с достаточно высокоорганизованных биологических организмов (не всех биологических организмов, а тех, у которых есть центральная нервная система и мозг), а также технических и социальных систем (Бир 1963; Глушков 1986; Розанова 2009). Соответственно, если мы пытаемся (как предпринято в настоящей статье) распространить некоторые идеи и принципы на неживые природные системы, мы должны использовать и соответствующую терминологию либо особо интерпретировать содержание уже имеющихся терминов. В этом плане особенно важными становятся понятия регуляции и саморегуляции, которые могут охватить большое количество систем и случаев.

Информация и выбор стратегии поведения

Кибернетика (наука об общих закономерностях получения, хранения, передачи и преобразования информации в сложных управляющих системах) рассматривает процессы саморегуляции в сложных системах с точки зрения преобразования информации. Напомним, что кибернетика рассматривает деятельность сложных систем. Каждый действующий объект способен поглощать информацию из внешней среды и использовать ее для выбора правильного поведения. Информация при этом трансформируется и преобразуется, а также искажается помехами, «шумом», на пути к объекту и внутри него и теряется в противостоянии с энтропией, то есть с борьбой с шумом, искажающим информацию. Для решения задач выделения и фильтрации полезного сигнала из его смеси с шумом было выведено уравнение Винера – Хопфа:

$$\beta\varphi(x) = \lambda \int_0^{\infty} K(\chi - s)\varphi(s)ds + f(x),$$

где $\varphi(x)$ – искомая функция; $f(x)$, $K(\chi - s)$ – известные функции; λ , β – параметры.

Уравнение также применяется при решении задачи радиационного равновесия внутри звезд.

Некоторые относительно простые системы без элемента управления способны к хранению, иными словами, к «запоминанию» информации, в связи с чем могут более эффективно поддерживать свое состояние в изменяющихся условиях. Регуляция 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 новых более удачных, экономичных моделей, что открывает путь для эволюции.

Управление и саморегуляция

Если же поведение кибернетических систем изменяется в результате контролируемых действий системы, то есть направленно, можно говорить о наличии управления. Функции управления разнообразны, но в значительной, а то и основной мере их целью является поддержание постоянства значений тех или иных параметров, то есть управление переводит функции саморегуляции на более высокий уровень. Для более сложных систем в качестве целей возникают задачи приспособления к меняющейся среде и даже «познания» законов таких изменений.

Управление в кибернетической системе схематически можно представить в виде двух компонентов – объекта управления и управляющей системы (см. Рис. 1).



Рис. 1. Схематичное изображение процесса управления

Управляющая система по каналам прямой связи обычно через множество посредников (эффекторов) передает воздействия на объект управления. Информация о состоянии объекта управления воспринимается с помощью

рецепторов и анализаторов и передается по каналам обратной связи в управляющую систему. Система с управлением обычно имеет каналы связи не только с объектом управления, но и с окружающей средой. Среда может выступать как источник различных помех и искажений в системе. В этом случае в задачу управляющей системы входит фильтрация помех.

Одним из простейших видов управления является так называемое программное управление – это управление режимом работы объекта по заранее заданной программе. Оно может осуществляться как с использованием обратной связи, так и без нее, что называется автоматическим управлением. Системы с программным управлением с замкнутой цепью воздействия могут функционировать с оптимизацией и без оптимизации режима работы управляемого объекта.

Весьма простым видом управления является также классическое авторегулирование, цель которого состоит в поддержании постоянного значения того или иного параметра (или нескольких независимых параметров) (БСЭ 1978). Примером может служить система автоматического регулирования температуры воздуха в помещении, когда специальный термометр-датчик измеряет температуру воздуха, а управляющая система сравнивает эту температуру с заданной величиной t_0 и формирует управляющее воздействие $-k(t - t_0)$ на задвижку, регулирующую приток тепловой воды в батареи центрального отопления. Знак «минус» при коэффициенте k означает, что регулирование происходит по закону отрицательной обратной связи. Отрицательная обратная связь необходима для обеспечения устойчивости процесса регулирования. Устойчивость системы означает, что при отклонении от положения равновесия (когда $t = t_0$) как в одну, так и в другую сторону система стремится автоматически восстановить это равновесие. Возможны системы, в которых принцип программного управления комбинируется с задачей регулирования в смысле поддержания устойчивого значения той или иной величины. Так, например, в описанный регулятор комнатной температуры может быть встроено программное устройство, меняющее значение регулируемого параметра. Задачей такого устройства может быть, скажем, поддержание температуры $+20\text{ }^\circ\text{C}$ в дневное время и снижение ее до $+16\text{ }^\circ\text{C}$ в ночные часы. Функция простого регулирования перерастает здесь в функцию слежения за значением программно изменяемого параметра. В более сложных следящих системах задача состоит в поддержании (возможно, более точном) некоторой фиксированной функциональной зависимости между множеством самопроизвольно меняющихся параметров и заданным множеством регулируемых параметров. Примером может служить система, непрерывно сопровождающая лучом прожектора маневрирующий произвольным образом самолет. В так называемых системах оптимального управления ос-

новой целью является поддержание максимального (или минимального) значения некоторой функции от двух групп параметров, называемой критерием оптимального управления. Параметры первой группы (внешние условия) меняются независимо от системы, параметры второй группы являются регулируемыми, то есть их значения могут меняться под воздействием управляющих сигналов системы.

Простейший пример оптимального управления снова дает задача регулирования температуры комнатного воздуха при дополнительном учете изменений его влажности. Величина температуры воздуха, дающая ощущение наибольшего комфорта, зависит от его влажности. Если влажность все время меняется, а система может управлять лишь изменением температуры, то естественно в качестве цели управления поставить задачу поддержания температуры, которая давала бы ощущение наибольшего комфорта. Это и будет задача оптимального управления. В случае, когда нерегулируемые параметры в системе оптимального управления на том или ином отрезке времени меняются, функция системы сводится к поддержанию таких постоянных значений регулируемых параметров, которые обеспечивают максимизацию (или минимизацию) соответствующего критерия оптимального управления. Здесь, как и в случае обычного регулирования, возникает задача устойчивости управления. При проектировании относительно несложных систем подобная устойчивость достигается за счет соответствующего выбора параметров проектируемой системы. В более сложных случаях, когда количество возмущающих воздействий и размерность системы очень велики, иногда оказывается удобным для достижения устойчивости прибегать к самонастройке и самоорганизации систем¹.

При этом некоторая часть параметров, определяющая характер существующих в системе связей, не фиксируется заранее и может изменяться системой в процессе ее функционирования. Система имеет специальный блок, регистрирующий характер переходных процессов в системе при выведении ее из равновесия. При обнаружении неустойчивости переходного процесса система меняет значения параметров связей, пока не достигнет устойчивости. Системы такого рода принято называть ультраустойчивыми. При большом количестве изменяемых параметров связей

¹ В самонастраивающихся системах накопление опыта выражается в изменении значений отдельных параметров, а в самоорганизующихся системах – в изменении самой структуры системы либо в собственно создании новой структуры из неорганизованного состояния или даже из хаоса (так называемый порядок из хаоса). Как известно, такими пограничными состояниями, когда происходит самоорганизация, либо, наоборот, распад порядка, либо переход к новому важному аттрактору (в том числе и к так называемому странному аттрактору), занимается синергетика.

случайный поиск устойчивых режимов может занимать слишком много времени. В таком случае применяются те или иные способы ограничения случайного перебора, например разбиение параметров связей на группы и осуществление перебора лишь внутри одной группы (определяемой по тем или иным признакам). Такого рода системы называют обычно мультиустойчивыми. Большое разнообразие ультраустойчивых и мультиустойчивых систем дает биология. Примером может служить система регулирования температуры крови у человека и теплокровных животных.

Некоторые ультраустойчивые и мультиустойчивые системы за счет способности поддержания равновесия под воздействием множества различных неустойчивых условий приобретают способность к самоуправлению.

II. САМОРЕГУЛЯЦИЯ И САМОУПРАВЛЕНИЕ

В кибернетике есть понятие *самоуправление*, 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, ее наиболее развитой формой.

Ниже мы опишем, как саморегуляция проявлялась и проявляется в развитии Вселенной, как появление самоуправляемых систем влияет на эволюцию и можно ли ожидать развития таких высокоорганизованных систем в жизни человека.

Саморегуляция и энтропия

Перед тем как приступить к анализу развития саморегуляции в Большой истории, следует остановиться на роли саморегуляции в существовании систем в аспекте противоположности между законом термодинамики и убыванием энтропии.

Согласно первому закону термодинамики энергия, полученная системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение работы против внешних сил.

Согласно второму закону термодинамики энтропия не убывает в замкнутых системах. В 1870-е гг. Л. Больцман сформулировал правило, согласно которому энтропия замкнутой системы не убывает, она всегда увеличивается или в предельном случае остается постоянной.

Правило получило название *H*-теоремы и описывается формулой:

$$H \stackrel{\text{def}}{=} \int P(\ln P) d^3v = \langle \ln P \rangle,$$

где $P(v)$ – вероятность.

Используя уравнение Больцмана, можно показать, что *H* не может возрастать.

Однако это правило работает не всегда. По словам 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).

Откуда же возникают «местные и временные островки уменьшающейся энтропии», о которых говорил Винер?

Саморегуляция и самоорганизация

Эволюция в определенном (энергетическом) аспекте могла быть определена как совершенствование способов живого и социального противостоять энтропии, нарастающему хаосу и беспорядку. Единственный способ преодолеть хаос – самоорганизация. Самоорганизация – это процесс упорядочения элементов одного уровня в системе за счет внутренних факторов, без внешнего специфического воздействия (Beer 1994; Foerster, von Zopf 1962). Самоорганизация – одна из начальных форм саморегуляции. Но, с другой стороны, самоорганизация и саморегуляция могут рассматриваться как разные фазы жизни системы.

В любой открытой системе, в которой в течение времени происходит обмен веществ и энергии с окружающей средой, с мощностью потока рассеиваемой свободной энергии, осуществляется трансформация этой энергии на поток, затрачиваемый на внутреннюю полезную работу, и поток бесполезно рассеиваемой энергии (некомпенсированной теплоты необратимого процесса, по Клаузиусу).

В результате за счет свободной энергии обменного процесса, стремящегося к равновесию энтропийного процесса, совершается процесс, стремящийся к неравновесию, – антиэнтропийный, который и приводит к самоорганизации системы, то есть к ее неравновесному упорядочению (Руденко 1955).

Процессы организации и самоорганизации происходят самопроизвольно и обусловлены имманентными свойствами системы; при этом долгое время считалось, что нарушения второго закона возможны лишь при сознательном вмешательстве человека. Для обозначения естественных антиэнтропийных процессов упорядочения, имеющих иную природу, чем

процесс равновесной организации (например, кристаллизации), стал применяться термин *самоорганизация*.

При этом самоорганизация способствует развитию и усложнению систем. Обычно такие развивающиеся системы немногочисленны (если сравнивать их с масштабом окружающей среды) и, по сравнению Чейсона (см. его работу в настоящем ежегоднике; см. также: Чейсон 2012), составляют лишь «островки растущей сложности». Такие открытые неравновесные системы, например галактики, звезды, планеты и формы жизни, в числовом отношении более чем уравновешены океаном беспорядка, увеличивающимся повсеместно в окружающей эти системы среде.

В статье Чейсона в настоящем ежегоднике на Рис. 2 «Значения плотности энергии, Φ_m , для некоторых сложных систем в Большой истории согласно полулогарифмической шкале в соответствии со временем своего появления» (см. с. 120) показано, каким образом физический, биологический и культурный типы эволюций за 14 млрд лет превратили простейшую первичную материю в прогрессивные сложные и изощренные структуры. В графике указаны значения величины, характерные для общей категории, к которой относится та или иная система. График демонстрирует многолинейность и вариативность эволюции, которая обеспечивается в том числе разнообразием саморегуляции и большой амплитудой ее настройки. Это позволяет саморегулируемым системам занимать максимальное количество ниш в эволюционных процессах и переходить на новые уровни эволюции.

Саморегуляция в звездах

Как мы уже говорили, развитие саморегуляции систем представляется нам одним из наиболее важных трендов эволюции в целом. В значительной мере таковыми выступают уже звезды, способные после истощения определенных видов «горючего» переходить на другие его виды (за счет новых реакций) и соответственно поддерживать свои размеры и форму.

Образование звезд также считается саморегулируемым процессом.

Один из вариантов первичного звездообразования, описанный И. С. Шкловским (1984), который с современных позиций, правда, выглядит уже устаревшим, свидетельствует о том, что в ранний период вместе с массивными звездами образовалось и много мелких звезд (нынешние субкарлики, почти лишенные тяжелых элементов). Массивные звезды, «прожив» недолго, взрывались, частота их взрывов была в десятки раз больше, чем сейчас, соответственно процесс обогащения межзвездной среды тяжелыми элементами закончился сравнительно быстро, за несколько сот миллионов лет самой ранней истории Вселенной. Вероятность того, что частота смерти «жителей» первой генерации будет гораздо выше, чем «населения» последующих генераций, в целом не противоречит логике

эволюции. И такие процессы можно увидеть на верхних ее «этажах». Так, первые поколения политий (так называемых вождеств и ранних государств) были довольно неустойчивы, в то время как последующие поколения, обогатившись историческим опытом, могли существовать дольше. Поскольку за счет саморегуляции (с использованием тяжелых элементов) в настоящее время образуются в основном звезды умеренных размеров, а потому более устойчивые, можно сделать вывод о том, что способность к саморегуляции систем даже в неживой природе растет, а размеры объектов оптимизируются. В этой связи напрашивается и пример из истории биологии, в которой мы видим, как размеры животных меняются в связи с изменениями условий жизни, но в целом в последние эпохи общий вектор ведет к тому, что размер животных оптимизируется (Гринин 2013).

Галактика также является сложной и в значительной мере саморегулирующейся системой, которую описывают различными моделями (Норкин *et al.* 2011; Kim *et al.* 2011; Trujillo-Gomez *et al.* 2014).

Существуют точки зрения, которые не являются общепринятыми, но тем не менее достаточно интересно описывают возможности такой саморегуляции. Согласно одной из них, центры галактик являются своеобразным «молохом», перемалывающим звезды в газ и пыль. Причем не только перемалывающим, но и созидающим вместо них новые поколения звезд. Выбрасывая их вместе с газопылевой материей в межгалактическое пространство, галактики тем самым «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. Скопления галактик в среднем состоят из 500–1000 галактик. Скопления имеют достаточно упорядоченную структуру, включая, вероятно, массивное ядро в центре. Сверхскопления галактик представляют собой образования, состоящие из скоплений (от двух до двадцати) и групп галактик, а также изолированных галактик. Всего известно более двадцати сверхскоплений, включая нашу Местную группу (Горбунов, Рубаков 2006; Гринин 2013). Хотя в галактиках объединены очень разные звезды, расположение старых и молодых звезд имеет особенности, что, возможно, связано с саморегуляцией в рамках галактических систем, особенностями звездообразования, которое происходит большими группами, или с другими причинами. Так, в рамках нашей галактики более молодые звезды, например Солнце (возрастом несколько миллиардов лет), в целом более крупные, горячие и яркие, располагаются в плоскости диска и особенно внутри рукавов, а на периферии (в гало) – старые, возрастом превышающие 12 млрд лет (что в целом и определяет возраст нашей галактики; по последним данным, возраст внутреннего гало составляет 11,4 млрд лет плюс-минус 700 млн лет). Но естественно, что

старые и молодые звезды могут находиться рядом. Так, близко к центру (балджу) также находится много старых звезд, хотя встречаются и молодые, образовавшиеся за счет вещества, появившегося из распавшихся старых звезд. Наибольшая плотность звезд – в центре галактики, где она достигает нескольких звезд на один кубический парсек (Гринин 2013).

Как мы уже сказали, самоорганизация и саморегуляция тесно связаны, по сути представляя собой разные фазы одного процесса. В этом плане в космической эволюции огромную роль играет гравитация, позволяющая звездам образовываться из газопылевых облаков, которые при уплотнении разогреваются и запускают термические реакции (Там же). Соответственно почти сразу же возникают и процессы саморегуляции в формирующейся системе; разумеется, в таких молодых системах они существенно отличаются от аналогичных процессов в уже сформированных системах. То же можно сказать и о процессе формирования планет.

Таким образом, на самых первых фазах Большой истории преобладали процессы самоорганизации, а затем важную роль стали играть процессы саморегуляции, позволяющие системам самосохраняться. При этом постепенно способность к самосохранению за счет более эффективных механизмов саморегуляции возрастала. Так, хотя мы об этом и не говорили в настоящей статье, важно отметить, что 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 2013). 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).

Различные варианты и механизмы саморегуляции на уровне систем без органов управления можно увидеть и в химической эволюции. Важнейший переход к новому качеству в саморегуляции демонстрирует появление жизни.

Саморегуляция в живых системах

Саморегулируемые системы очень распространены в живом мире. Клетка, орган, организм – все это примеры таких систем.

Как мы уже говорили, в сложных самоуправляемых системах, подобных биологическим, выделяется специальная управляющая подсистема и периферийные подсистемы разного назначения. Мозг и нервная система – яркий пример развития таких подсистем в сложной самоуправляемой системе организма животных.

Появление жизни связано с формированием саморегулируемых систем. Одна из основных особенностей живого заключается в том, что вся

информация о строении и функционировании организма закодирована в специальной молекуле. По основной версии первой такой молекулой стала РНК. Хотя стоит отметить, что РНК возникла не сразу. Считается, что первоначально кодирующей молекулой мог быть белок, однако он проиграл по вариативным возможностям (Григорович 2004).

Большая вариативность и наличие обратной связи в системе привели к возможности саморепликации органических молекул. Саморепликация – яркий пример саморегуляции. Активность первых самореплицирующихся молекул хорошо демонстрирует эксперимент с РНК Шпигельмана (или монстром Шпигельмана, названным так за невероятную скорость самовоспроизведения). 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. Этот процесс повторялся много раз. Все более короткие цепочки РНК были способны реплицироваться и делали это быстрее. После 74 поколений оригинальная РНК вируса длиной в 4500 нуклеотидных оснований была уменьшена до 218. Эта короткая РНК была способна реплицироваться очень быстро. Позже Манфред Сампер и Рюдигер Льюс в лаборатории Эйгена продемонстрировали, что в смеси, вообще не содержащей РНК, а содержащей только нуклеотиды и Q β -репликазу, может при определенных условиях спонтанно возникнуть самореплицирующаяся РНК, которая эволюционирует в нечто подобное монстру Шпигельмана (Samper, Luce 1975).

Саморегуляция, особенно при наличии управления, со временем порождает новые возможности, а значит, увеличивает вариативность. Чем сложнее система и чем больше вариативность, тем сложнее становится управление. При большой вариативности идет отбор систем, которые способны к обучению и избегают одних и тех же ошибок. Как мы уже говорили, наиболее развитые – самоуправляемые системы. Они способны к постоянному обучению и гибкому изменению программы управления. Такое управление сложными вариативными системами оказывается наиболее оптимальным. И как мы увидим далее, к нему приходят системы совершенно разной природы: от живых до социальных и технологических. Вариативность или изменчивость – обязательное условие эволюции, особенно при росте ее темпов. Но они же тесно связаны с саморегуляцией.

Например, в ДНК живых существ нет четких директив. Сложно даже представить, какой длины должна быть цепочка ДНК, чтобы она уместила все алгоритмы, накопившиеся за миллиарды лет. Вместо этого ДНК содержит только основные правила. В этом проявляется так называемое правило модульности, или эволюционной «блочной сборки». Когда система достигает определенного уровня совершенства и зрелости, она

начинает использоваться в эволюции целиком (единым узлом, блоком). В процессе адаптации и специализации этот блок подвергается своего рода подгонке для соответствующего организма (общества) (см.: Гринин и др. 2008)² на молекулярно-генетическом уровне (происхождение новых генов и генных сетей путем перекombинирования уже имеющихся, «апробированных» естественным отбором фрагментов ДНК).

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.

В настоящее время о принципе блочности биологической эволюции (о социальной в этом плане практически не упоминают) говорит целый ряд ученых. «По-видимому, эволюция использует технологический прием сборки готовых блоков», – отмечает В. А. Красилов (1984). «Принцип самоорганизации белков и РНК отражает этапы формирования блочных субструктур» (Ратнер и др. 1985). «Новое почти всегда создается комбинированием прежних блоков; новые единицы комбинирования появляются очень редко» (Чайковский 2003).

Блочный принцип формирования новых подсистем, систем и групп имеет всеобщий характер. Он проявляется не только при формировании новых видов или обществ, но и при трансформации уже существующих. Как биологические, так и социальные системы способны перенимать друг у друга отдельные «изобретения» и новые структурные элементы.

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.

Горизонтальный обмен генами делает многие полезные генетические «изобретения» в буквальном смысле общим достоянием в микробных сообществах. Именно так, например, обстоит дело в сообществах морских планктонных микробов с генами протеородопсинов – белков, позволяющих частично утилизировать энергию солнечного света. В отличие от белков, участвующих в осуществлении настоящего фотосинтеза, протеородопсином для эффективной работы не требуется «помощь» множества других специализированных белков, поэтому для приобретения полезной функции микроорганизмам достаточно заимствовать единичный ген.

Особым вариантом проявления правила эволюционной «блочной сборки» можно считать комплексные заимствования целых генных систем. Хотя они происходят значительно реже, однако и последствия таких

² При подготовке настоящего раздела использованы материалы этой книги.

событий могут быть гораздо более значительными. Своеобразный и очень распространенный вариант «заимствования» или «перенимания нового элемента» – это образование симбиотических систем, что порой приводит фактически к образованию нового единого организма из нескольких разных организмов. Роль таких систем часто недооценивается, но в действительности все функционирование современной биосферы основано именно на них. В качестве примеров можно привести наземные растения (которые не смогли бы достичь эволюционного успеха без симбиоза с азотфиксирующими бактериями и микоризными грибами и без кооперации с насекомыми-опылителями), растительноядных животных – как насекомых, так и позвоночных, которые не в состоянии переваривать наиболее массовые виды растительной пищи без симбиоза со специализированными микроорганизмами.

Симбиозы могут быть не только между отдельными элементами системы. Возможно также и комплексное объединение элементов в новую систему, как это произошло с химическими элементами, которые объединились в так называемую коацерватную каплю. Коацерватные капли – это сгустки, подобные водным растворам желатина. Таким образом, в силу своих химических свойств они способны объединяться во многие молекулы. Коацерватные капли возникают также при простом смешивании разнообразных полимеров. Установлено, что они способны образовываться в концентрированных растворах белков и нуклеиновых кислот. Коацерваты имеют важное значение в ряде гипотез о происхождении жизни на Земле, согласно которым они представляют собой предка живой клетки. При этом полимерные молекулы «собираются» во многомoleкулярные фазово-обособленные образования. 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).

В период химической эволюции химические вещества создавали конгломераты и постоянно усложнялись. Такие системы оказались способными к простой самоорганизации, как, например, липиды способны изменять форму при взаимодействии с водой, сохраняя при этом свою химическую структуру. Возможности самоорганизации обрели качественно новый уровень при появлении самореплицирующейся молекулы, которой считают молекулу РНК. Судя по всему, предковая РНК обладала невероятной по сегодняшним меркам способностью к самокопированию. Такое

явление прослеживается на самых разных этапах эволюции в Большой истории. При обретении определенными формами некоторых эволюционных преимуществ возникает их экспансия в занятия тех или иных ниш.

Но это касается далеко не всех переходных форм. Напротив, за счет накопленных потенций они обладают большой вариативностью своих проявлений. Это происходит потому, что они не обрели еще завершенных системных свойств и в то же время за счет высоких потенций обладают очень большими возможностями к трансформациям. Это также предполагает дополнительные потенции к самоорганизации и эволюционности, но одновременно может быть связано и с пониженной потенцией к саморегуляции (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 преходящи и часто не оставляют следов. Так, первые звезды существовали меньше, чем современные, так как сгорали быстрее. 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.

Образование сложных систем, таких как ДНК, белки, ферменты и др., 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 (изоляционные) оболочки и т. п., 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. Появление нервной системы, особенно головного мозга, стало началом формирования саморегулируемых систем. Развились органы чувств, организмы стали способны 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.

III. САМОРЕГУЛЯЦИЯ В ОБЩЕСТВЕ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕВОЛЮЦИИ

Рост способности к управлению и самоуправлению в истории

В человеческом обществе существует большое количество примеров самых разных саморегулируемых и самоуправляемых систем. Объединение людей в саморегулируемые группы давало больше возможностей в решении общих задач. Можно проследить, как росли 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, 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 со значительными культурно-языковыми различиями, 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 государственности см.: Гринин 2010).

Переход на каждый новый этап сложности был связан с ростом сложности управления и уровней управления. Так, например, простое вождество имеет три уровня управления: вождь – руководители отдельных поселений или кварталов – домохозяйства. 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 в настоящей статье мы хотели бы остановиться на другом аспекте. Мы предполагаем, что саморегуляция в своей высшей форме самоуправления особенно проявится в ближайшие десятилетия в научно-техническом прогрессе и приведет человечество к новому этапу развития, когда человек с помощью технологий сможет влиять на свою биологическую сущность. Для понимания этого следует обратиться к истории наиболее значительных технологических преобразований.

Производственные революции и рост сложности технических систем. Согласно нашей концепции (Гринин 2006; Grinin 2007; 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 (см. Рис. 3). 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.

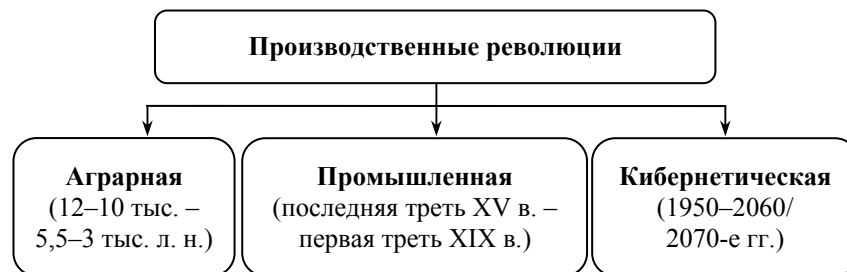


Рис. 3. Производственные революции в истории

Цикл каждой производственной революции выглядит следующим образом: *начальная инновационная фаза* (появление нового революционизирующего производственного сектора) – *модернизационная фаза* (распространение, синтез и улучшение новых технологий) – *завершающая инновационная фаза* (доведение возможностей новых технологий до развитых характеристик) (см. Рис. 4).

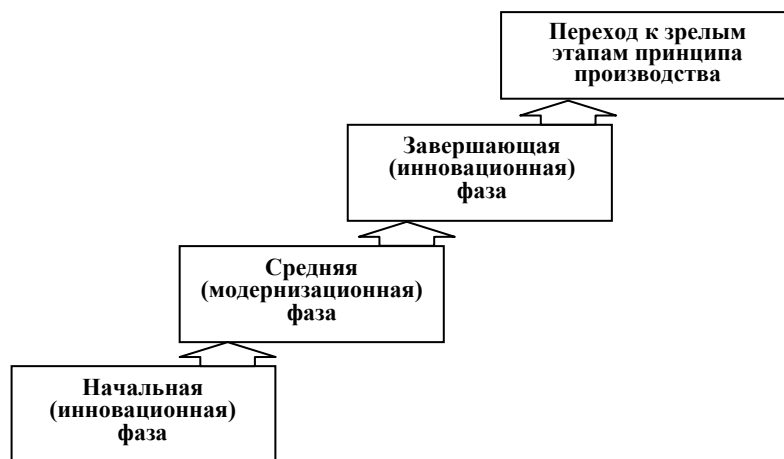


Рис. 4. Структура производственных революций (фазы и их типы)

Кибернетическая революция. Характеристики

Кибернетическая революция так же, как и предыдущие, совершается в три фазы.

Начальная (научно-информационная) фаза датируется 1950–1990-ми гг.

Происходит прорыв в автоматизации, энергетике, в области синтетических материалов, космических технологий, в освоении космоса и морской акватории, сельском хозяйстве, но особенно – в создании электронных средств управления, связи и информации.

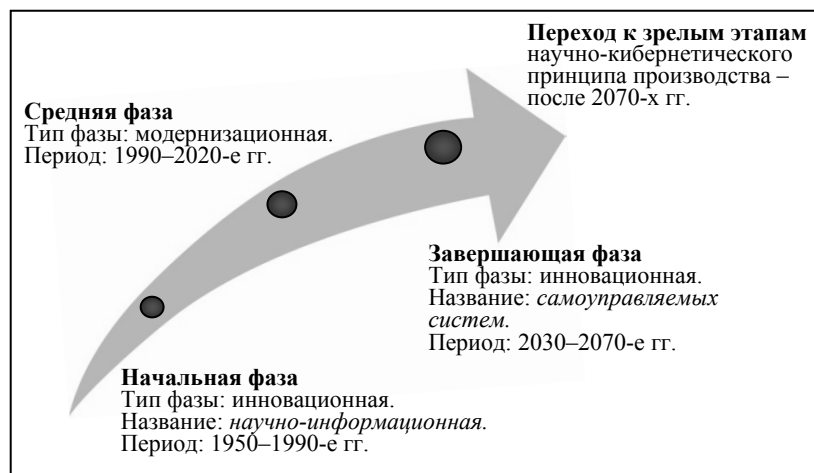
В середине 1990-х гг. началась **средняя (модернизационная) фаза**, которая, по нашим предположениям, продлится до 2030 г. или начала 2040-х гг. Она характеризуется мощным улучшением и распространением инноваций, сделанных на начальной фазе, в частности широким распространением удобных в обращении компьютеров, средств связи, 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. В период ближайших 15 или более лет мы не предполагаем радикальных технологических прорывов, напротив, считаем, что так называемая «технологическая» пауза затянется (см.: Гринин 2013; Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015: прил. 2).

Завершающая инновационная фаза начнется в 2030–2040-х гг. и продлится до 2060–2070-х гг. На завершающей фазе кибернетической революции произойдет переход к широкому использованию самоуправляемых систем (*то есть систем, которые могут регулировать свою дея-*

тельность самостоятельно, при минимальном вмешательстве человека или полном его отсутствии).

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 2013; 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 широком создании и распространении самоуправляемых автономных систем, способных активно ориентироваться и адаптироваться на основе полученной информации (подробнее см.: Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015). Таким образом, основные изменения кибернетической революции будут связаны с резким возрастанием возможностей управления различными процессами и создания самоуправляемых автономных систем, а развитие управляемости систем можно характеризовать как главный вектор кибернетической революции. Соответственно анализ управляемых и самоуправляемых систем может опираться на идеи **кибернетики** как науки об управлении различными сложными управляемыми системами (биологическими, социальными и техническими) благодаря приему, трансформации и передаче информации³.



³ См.: Винер 1983; Бир 1963; Эшби 1966; Foerster, Zopf 1962; Umpleby, Dent 1999; Теслер 2004; Глушков 1986; Beer 1994; Розанова 2009. В плане кибернетики небезынтересна и книга Станислава Лема «Сумма технологии» (1968; см. также: Могилевский 1999; Плотинский 2001; Истон 1997). Кибернетика также часто определяется как наука об информации, но сама информация при этом уже в работах Н. Винера, то есть с конца 1940-х гг., рассматривалась прежде всего как некие сигналы, с помощью которых осуществляется процесс управления. Например, кибернетика может определяться как наука об общих законах получения, хранения, передачи информации в сложных управляющих системах (Энциклопедия... 1975: 12).

Рис. 5. Фазы кибернетической революции**Самоуправление в кибернетической революции**

Как мы уже говорили, самоуправление – наиболее развитая форма саморегуляции. 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 значит, 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 и определять критические ситуации для жизни человека. Имеются также специальные программы, которые 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 становятся все более самоуправляемыми, является распространение «умных» технологий и вещей, которые достаточно гибким образом реагируют на внешние воздействия. Эта тенденция будет возрастать в процессе кибернетической революции. Простым, но наглядным примером может быть подушка, которая «запоминает» форму головы пользователя. 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. Другим примером системы подобного рода можно считать самоуправляемые автомобили, которые уже начали развиваться в наше время.

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 будет все более организована через такие саморегулируемые си-

стемы (например, путем мониторинга здоровья, режима, регулирования или рекомендации нагрузки, контроля над состоянием больных, предотвращения противоправных действий и т. п.).

Однако общий вектор прорыва можно обозначить как стремительный рост *возможностей коррекции или даже модификации биологической природы самого человека*.

Разумеется, от первых шагов в этом направлении (в 2030–2040-х гг.) до повсеместного широкого применения пройдет не менее двух-трех десятилетий.

Ведущими технологическими направлениями в фазе управляемых систем станут медицина, аддитивные (3D-принтеры), нано- и биотехнологии, робототехника, информационные и когнитивные технологии. Вместе они сформируют сложную систему саморегулируемого производства. Мы обозначаем этот комплекс как МАНБРИК, по первым буквам перечисленных технологий. При этом мы рассматриваем медицину как центральное звено данного комплекса нового уклада⁴.



Рис. 6. МАНБРИК-комплекс

Источник: Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015.

Говоря о медицине в кибернетической революции, мы понимаем ее в широком смысле слова, поскольку она будет включать (и уже активно включа-

⁴ Среди исследователей технологических укладов довольно распространена аббревиатура NBIC-технологии (или конвергенция), то есть нано-, био-, информационные и когнитивные (см.: Lynch 2004; Dator 2006; Акаев 2012), предполагающиеся как основа шестого технологического уклада. Есть также исследователи (Jotterand 2008), которые считают ведущим в будущем иной набор технологических направлений – GRAIN (геномика, робототехника, искусственный интеллект, нанотехнологии). Мы считаем, что этот комплекс будет существенно шире (см.: Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015).

ет) целый ряд других направлений (например, использование роботов в хирургии и уходе за больными, информационные технологии для удаленной медицины, нейроинтерфейсы для восстановления утраченных способностей; генную терапию и инженеррию, нанотехнологии для создания искусственного иммунитета и биочипов, которые мониторят организм; новые материалы для выращивания искусственных органов и многое другое).

Медицина в совокупности с другими МАНБРИК-технологиями изменит качество нашей жизни за счет расширения возможностей воздействия на человеческий организм. Различные приборы будут постоянно следить за нашим здоровьем и активностью. Медицинская помощь таким образом станет постоянной, а нужда во врачах в нынешнем понимании будет исчезать, как исчезла профессия лифтера с появлением автоматки.

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, внедрении самых различных самоуправляемых систем в организм для реабилитации или улучшения функционала человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы считаем, что понятие «саморегуляция», которое описывает способность систем к самосохранению в ситуации меняющихся внешних условиях, является крайне 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 мегаэволюции, особенно в переходах эволюции на новые уровни сложности, так как в процессе адаптации или «подгонки» работы систем к резко меняющимся внешним условиям могут происходить важные качественные изменения и эволюционные «находки», 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 предшествующие саморегуляции. Таким образом, на самых первых фазах Большой истории процессы самоорганизации преобладали, а затем важную роль стали играть процессы саморегуляции, позволяющие системам самосохраняться. 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 органов управления можно увидеть и в химической эволюции, которой мы, к сожалению, не могли уделить достаточно места в данной статье.

Важнейший переход к новому качеству в саморегуляции мы видим с появлением жизни. Биологические системы ярко демонстрируют усложнение саморегуляции в эволюции. От самоорганизации и самонастройки системы переходили к сложному управлению. Развивались анализаторы, периферийные системы, система контроля и управления. Центральная нервная система и мозг образовали сложную саморегулируемую систему, которая особенно развилась у человека.

Важную роль саморегуляция сыграла в социальном развитии, и, на наш взгляд, особенную роль она сыграет в новой технологической революции, которая войдет в свою самую активную фазу в 2030-е гг.

Изучение саморегуляции расширяет наши представления о взаимодействии систем и внешней среды, что также важно для понимания эволюции систем. Саморегуляция к тому же маркирует 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.

В-третьих, саморегуляция применима для изучения человеческого общества, в том числе развития нового технологического уклада. Изучение самоуправления в новой производственной (кибернетической) революции позволяет понять ключевые тренды и строить определенные прогнозы в ее развитии.

В этой связи нам представляется, что изыскания в области саморегуляции и самоуправления являются перспективными и многообещающими, и мы надеемся, что наши исследования вносят в них свой вклад.

Библиография

- Акаев А. А. 2012.** Математические основы инновационно-циклической теории экономического развития Шумпетера – Кондратьева. *Кондратьевские волны: аспекты и перспективы* / Ред. А. А. Акаев, Р. С. Гринберг, Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков, с. 110–135. Волгоград: Учитель.
- Бир С. 1963.** *Кибернетика и управление производством*. М.
- БСЭ** – Большая советская энциклопедия: в 30 т. 1969–1978 / Гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е изд. М.: Сов. энциклопедия.
- Винер Н. 1983.** *Кибернетика, или управление и связь в животном и машине*. М.: Наука.
- Глушков В. М. 1986.** *Кибернетика. Вопросы теории и практики*. М.: Наука.
- Горбунов Д. С., Рубаков В. А. 2006.** *Введение в теорию ранней Вселенной. Теория горячего Большого взрыва*. М.: ЛКИ.
- Григоревич С. 2004.** Вначале была РНК? В поисках молекулы первожизни. *Наука и жизнь* 2.
- Гринин Л. Е. 2006.** Периодизация истории: теоретико-математический анализ. *История и Математика: проблемы периодизации исторических макропроцессов* / Ред. Л. Е. Гринин, А. В. Коротаев, С. Ю. Малков, с. 53–79. 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. 2013.** *Большая история развития мира: космическая эволюция*. Волгоград: Учитель.
- Гринин Л. Е., Гринин А. Л. 2015.** *От рубил до нанороботов. Мир на пути к эпохе самоуправляемых систем*. Волгоград: Учитель.
- Гринин Л. Е., Ильин И. В., Коротаев А. В. 2012.** *Универсальная и глобальная история: Эволюция Вселенной, Земли, жизни и общества*. 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. Малков. Волгоград: Учитель.
- Гринин Л. Е., Марков А. В., Коротаев А. В. 2008.** *Макроэволюция в живой природе и обществе*. М.: УРСС.
- Истон Д. 1997.** Категории системного анализа политики. *Антология мировой политической мысли*: в 5 т. Т. II, с. 630–642. М.

- Красилов В. А. 1984.** Теория эволюции: Необходимость нового синтеза. Эволюционные исследования. *Макроэволюция*: сб. науч. тр., с. 4–12. Владивосток: ДНВЦ АН СССР.
- Лем С. 1968.** *Сумма технологий*. М.: Мир.
- Могилевский В. Д. 1999.** *Методология систем: вербальный подход*. М.
- Опарин А. И. 1941.** *Возникновение жизни на Земле*. 2-е изд., знач. доп. М.; Л.: Изд-во АН СССР.
- Плотинский Ю. М. 2001.** *Модели социальных процессов*. М.: Логос.
- Ратнер В. А., Жарких А. А., Колчанов Н. А., Родин С. Н., Соловьев В. В., Шамин В. В. 1985.** *Проблемы теории молекулярной эволюции*. Новосибирск: Наука.
- Розанова Л. В. 2009.** *Основы кибернетики*. Омск: ОмсГТУ.
- Руденко А. П. 1955.** Самоорганизация и прогрессивная эволюция в природных процессах в аспекте концепции эволюционного катализа. *Российский химический журнал* 39(2): 55–71.
- Серебровская К. Б. 1971.** *Коацерваты и протоплазма*. 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.
- Чайковский Ю. В. 2003.** *Эволюция*. М.: ИИЕТ РАН.
- Чейсон Э. 2012.** Космическая эволюция. *Универсальная и глобальная история (эволюция Вселенной, Земли, жизни и общества)* / Ред. Л. Е. Гринин, И. В. Ильин, А. В. Коротчаев, с. 197–207. Волгоград: Учитель.
- Шкловский И. С. 1984.** *Звезды: их рождение, жизнь и смерть*. 3-е изд. М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры.
- Энциклопедия кибернетики. 1975.** *Энциклопедия кибернетики*. Т. 1. Киев: Гл. ред. Укр. сов. энциклопедии.
- Эшби У. Р. 1959.** *Введение в кибернетику*. М.: Рипол Классик.
- Эшби У. Р. 1966.** Принципы самоорганизации. *Принципы самоорганизации* / Ред. А. Рапопорт и др. М.
- Ashby W. R. 1962.** Principles of the Self-organizing System. *Principles of Self-organization: Transactions of the University of Illinois Symposium* / Ed. by H. Von Foerster, G. W. Zopf, pp. 255–278. London: Pergamon Press.
- 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. Berkeley: University of California Press.
- Cummings T. G. 1978.** Self-regulating Work Groups: A Socio-technical Synthesis. *The Academy of Management Review* 3(3): 625.
- Dator J. 2006.** Alternative Futures for K-Waves. *Kondratieff Waves, Warfare and World Security* / Ed. by T. C. Devezas, pp. 311–317. Amsterdam: IOS Press.
- Foerster H., von Zopf G. 1962.** *Principles of Self-organization*. New York: Pergamon Press.
- Grinin A. L., Grinin L. E. 2015.** Cybernetic Revolution and Forthcoming Technological Transformations (The Development of the Leading Technologies in the Light of the Theory of Production Revolutions). *Evolution: From Big Bang to Nanorobots* / Ed. by L. E. Grinin, A. V. Korotayev, pp. 251–330. Volgograd: 'Uchitel' Publishing House.
- Grinin L. E. 2007.** Production Revolutions and Periodization of History: A Comparative and Theoretic-Mathematical Approach. *Social Evolution & History* 6(2): 11–55.
- Grinin L. E., Grinin A. L. 2013.** Global Technological Transformations. *Globalistics and Globalization Studies: Theories, Research & Teaching*. Yearbook / Ed. by L. E. Grinin, I. V. Ilyin, A. V. Korotayev, pp. 98–128. Volgograd: 'Uchitel' Publishing House.
- Grinin L. E., Ilyin I. V., Korotayev A. V. (Eds.). 2012.** *Globalistics and Globalization Studies*. Volgograd: Uchitel.
- Grinin L., Grinin A. 2015.** Cybernetic Revolution in Global Perspective. *Journal of Globalization Studies* 6(2): 119–142.
- 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.
- Jotterand F. 2008.** *Emerging Conceptual, Ethical and Policy Issues in Bionanotechnology*. Vol. 101. N. p.: Springer Science & Business Media.
- Kim C.-G., Kim W.-T., 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.
- Lynch Z. 2004.** Neurotechnology and Society 2010–2060. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1031: 229–233.
- 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.
- Pearce J. A. 1987.** The Design and Activation of Self-regulating Work Groups. *Human Relations* 40(11): 751–782.
- Sumper M., Luce R. 1975.** Evidence for De Novo Production of Self-replicating and Environmentally Adapted RNA Structures by Bacteriophage Q3 Replicase. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 72(1): 162–166.
- Trujillo-Gomez S., Klypin A. A., Colin P., Ceverino D., Arraki K. S., Primack J. R. 2014.** Low-mass Galaxy Assembly in Simulations: Regulation of Early Star For-

mation by Radiation from Massive Stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 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: An International Journal* 30: 79–103.

Wynne-Edwards V. C. 1965. Self-regulating Systems in Populations of Animals. *Science* 147(3665): 1543–1548.