

УДК 504.54.062.4

САМООРГАНИЗАЦИЯ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ГЕОСИСТЕМ (ОБЗОР ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВАНИЙ КОНЦЕПЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕНАТУРАЦИИ)

Голеусов П.В.

ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, Россия (308015, Белгород, ул. Победы, 85), e-mail: Goleusov@bsu.edu.ru

В статье рассматриваются теоретические основания для исследований процессов самоорганизации антропогенно нарушенных геосистем. Представлен обзор существующих подходов в рамках системологии и синергетики, используемых в анализе посттехногенной стадии развития нарушенных геосистем. Описана последовательность процессов самоорганизации природных геосистем в разных вариантах антропогенного нарушения. Изложенные теоретические положения составляют основу концепции экологической ренатурации антропогенно нарушенных геосистем. Дано определение понятия «экологическая ренатурация». Экологическая ренатурация рассматривается как вариант самоорганизации геосистем после их антропогенного нарушения, включает совокупность процессов естественного воспроизводства компонентов и функционирования (самоорганизации, автопоэзиса) природной геосистемы, нарушенной (разрушенной) в результате антропогенного воздействия. Определены основные процессы, обеспечивающие протекание экологической ренатурации.

Ключевые слова: системология, синергетика, антропогенно нарушенные геосистемы, антропогенное воздействие, самоорганизация, экологическая ренатурация.

SELF-ORGANIZATION OF ANTHROPOGENICALLY DISTURBED GEOSYSTEMS (REVIEW OF THE THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE CONCEPT OF ECOLOGICAL RENATURATION)

Goleusov P.V.

Belgorod National Research University, Russia (3080015, Belgorod, street Pobedy, 85), e-mail: Goleusov@bsu.edu.ru

The article discusses the theoretical foundation for the study of self-organization in anthropogenic disturbed geosystems. A review of existing approaches within Systemology and Synergetics used in the research stage of development posttechnogenicGeosystems presented. Sequence of processes of self-organization of natural geosystems in different versions anthropogenic disturbances described. The above provisions constitute the basis of the theoretical concept of environmental renaturation. The article defines the concept of "environmentalrenaturation". Environmental renaturation is considered as a variant of self-organization of geosystems after anthropogenic disturbance, including a set of processes of natural reproduction components and functioning (self-organization, autopoiesis) of natural geosystems, broken (destroyed) as a result of anthropogenic impact. The main processes that provide of environmental renaturation course defined.

Keywords: Systemology, Synergetics, anthropogenically disturbed geosystems, anthropogenic influence, self-organization, environmental renaturation.

В современный период антропогенного преобразования биосферы становится очевидным нарастающее запаздывание формирования теоретических обобщений и разработки практических рекомендаций, построенных на результатах исследований процессов самоорганизации и развития природных геосистем, по отношению к необходимости принятия безотлагательных мер по экологической реабилитации антропогенно нарушенной природной среды. Преодолеть этот разрыв можно, используя теоретические основания синергетики, т.к. и при отсутствии и при наличии антропогенного управления, процессы самоорганизации составляют основу развития посттехногенных геосистем.

При рассмотрении последствий антропогенного вмешательства в природные геосистемы в качестве исходного теоретического положения следует принять следующее. Воздействие, оказываемое извне на систему, находящуюся в состоянии динамического равновесия со средой, вызывает совокупность реакций системы, направленных на снижение эффекта этого воздействия – это так называемый принцип Ле-Шателье-Брауна, универсальную значимость которого в рассмотрении всеобщей организации природы отметил в 20-е годы прошлого столетия А.А. Богданов [10]. Совокупность этих реакций (активностей) определяет «сопротивление» системы (комплекса, по А.А. Богданову), и в случае, если внешнее воздействие превосходит сумму «активностей-сопротивлений», происходит разрушение комплекса, его «дезингрессия», сопровождающаяся разрывом связей [10, с. 201]. Именно с этого момента начинается процесс формирования новой системы, как следствие протекания процессов «конъюгации», «ингрессии» раздробленных комплексов и один из элементов (в географическом понимании, очевидно, биота) начинает выполнять структурообразующую функцию, обеспечивая формирование новых «цепных связей» – «эгрессию», которая способствует концентрации взаимодействий элементов. По мнению А.А. Богданова, одним из центров такой «эгрессии» (в противоположность дезорганизующей «борьбе с природой») мог бы стать и «трудовой коллектив» [11, с. 124]. Фактически это соответствует современным представлениям о формировании «культурного ландшафта».

Развитие антропогенно нарушенных геосистем, так же, как и нарушенных вследствие естественных воздействий, направлено на достижение равновесия со средой и является следствием их открытости, что соответствует одному из ключевых положений общей теории систем, разработанной Людвигом фон Бергаланфи [44]. Но более существенным для определения направленности этого развития можно считать принцип эквифинальности, согласно которому различные производные состояния открытых систем (в том числе и антропогенные модификации) сходятся во времени к состоянию, «...которое не зависит от ... исходных условий и определяется исключительно параметрами системы» [9, с. 42]. Этот принцип позже был использован В.Б. Сочавой [33] для описания динамики геосистем: обозначения коренных, условно коренных и квазикоренных фаций. В отношении синэкологии, сам Л. Бергаланфи [9] находил «поразительный пример эквифинальности», выражающийся в представлениях о климаксе сообществ, которого они могут достичь из различных первоначальных состояний.

Главное следствие антропогенного нарушения природных геосистем – это разрушение совокупности информационных взаимодействий («бирегуляторов», по А.А. Богданову [11], обратных связей [12, 43], обеспечивающих устойчивость, сохранение инварианта геосистем. Поддержание относительной устойчивости и способности к самовосстановлению сложных

систем осуществляется благодаря многократному дублированию обратных связей, являющихся основными механизмами саморегулирования (большой частью – отрицательных обратных связей) и саморазвития (положительных обратных связей) [6]. «Отработанные» на протяжении эволюции биосферы, эти механизмы, согласно закону необходимого разнообразия [43], не менее диверсифицированы, в сравнении с возможными сценариями «возмущений». Более того, циклическая регенерационная динамика является не столько нормой, сколько необходимым условием существования биогеоценозов, о чем свидетельствуют многочисленные примеры деградации сообществ в отсутствие нарушений [23]. Если нарушающее воздействие не приводит к полному разрыву связей между базовыми компонентами геосистемы, есть большая вероятность (в случае прекращения воздействия) ее возвращения в состояние, близкое к исходному. Однако степень преобразования человеком биосферы, возможно, превысила порог ее устойчивости, и есть основания считать, что гомеостатические механизмы, в частности, обеспечивающие реализацию принципа Лешателье-Брауна, перестали или могут перестать действовать в обозримом будущем в глобальном масштабе [15, 16]. Этот порог устойчивости связан с необходимым сохранением достаточной площади естественных экосистем (90 % от общей) с высокой степенью замкнутости круговорота углерода. На локальном и региональном уровнях порог устойчивости природных геосистем преодолевается перманентно со времен энеолита. Это приводит к появлению антропогенно модифицированных геосистем, в которых компенсационные механизмы регулярно подавляются, или же к появлению новых – посттехногенных геосистем, что соответствует сценарию самоорганизации, а не саморегуляции.

Результаты и обсуждение

Коренные преобразования природы человеческой деятельностью затрагивают все компоненты геосистем, и их ответная реакция уже в первые годы представляет собой результат когерентного протекания процессов, обеспечивающих формирование нового состояния или (при полном разрушении) новой геосистемы. Ведущая роль в этой интегральной реакции принадлежит биоте, неотъемлемой фундаментальной способностью которой, как было определено У. Матураной и Ф. Варелой в начале 1970-х гг. [22], является способность к самовоспроизводству – автопоэзису. Воссоздавая себя по генетической программе, биота организует и структурирует среду вокруг себя. В настоящее время понятие автопоэзиса распространяют на все самоорганизующиеся системы [20].

Геосистемы, наряду с биотой, включают ряд абиотических компонентов, поэтому комплексное исследование их совместного действия возможно с использованием подходов синергетики, в определении Германа Хакена – науки, исследующей «...совместное действие

различных подсистем ..., в результате которого на макрокопическом уровне возникает структура и соответствующее функционирование» [36, с. 15]. Самоорганизация по Г. Хакену – универсальное явление, характерное для открытых живых и неживых систем, возникающее вследствие пребывания их в неустойчивом состоянии, обусловленном неспецифическим воздействием извне. Самоорганизующиеся системы способны без организующего воздействия формировать пространственные, временные и функциональные структуры [35]. Существующие благодаря потоку энергии извне открытые системы, при изменении внешних условий переходят в неустойчивое состояние, которое характеризуется появлением «параметров порядка» – синергетической информации, что не может быть объяснено в рамках традиционной термодинамики, требуется разработать ее «новую разновидность». Таким образом, именно переход в неустойчивое состояние, по Г. Хакену, обуславливает протекание синергетических процессов в самоорганизующихся системах. Это мы и наблюдаем при антропогенном воздействии на природные геосистемы (рис. 1).

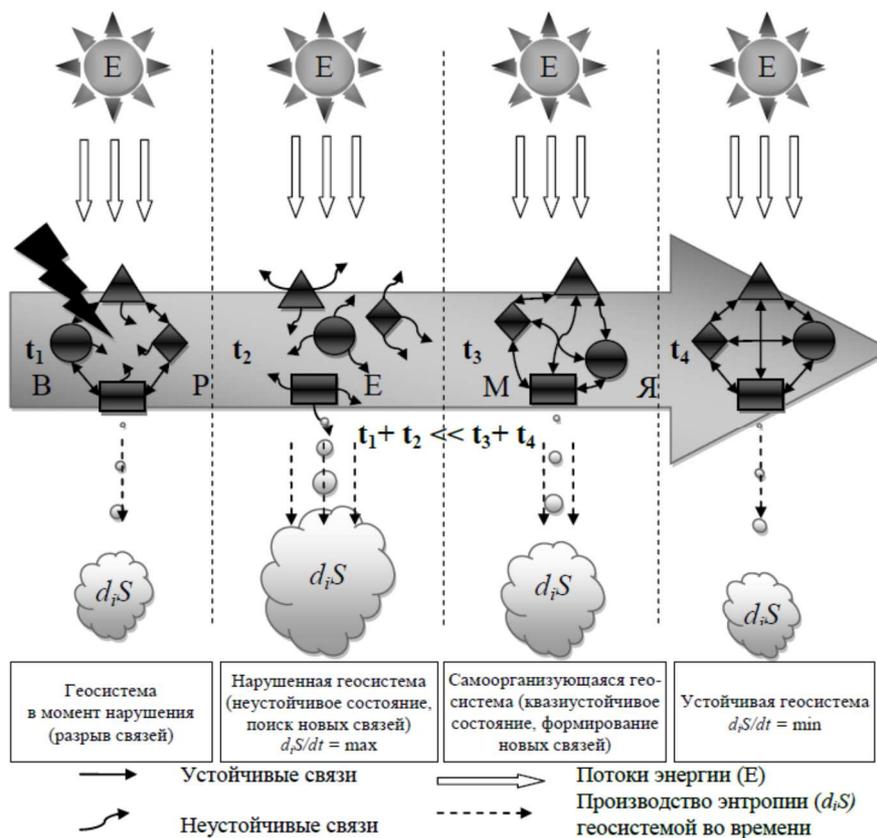


Рис. 1. Нарушение и самоорганизация геосистем

Воздействие может приводить к изменению «управляющих параметров» среды, вводить новые компоненты или удалять их, «перемешивать» существующие – в любом случае это приведет к появлению новых структур [37], если (одно из главных условий самоорганизации) эти воздействия превышают критический уровень [40]. Время пребывания

самоорганизующихся систем в неустойчивом (нарушенном) состоянии существенно короче времени существования устойчивых систем, а переходы в новые состояния (фазовые переходы) имеют скачкообразный характер и могут быть описаны с использованием элементов теории катастроф [7].

Значительный вклад в основания «новой разновидности термодинамики» сделал И.Р. Пригожин, используя представление о диссипативных структурах, для которых нормой является существование в состоянии, далеком от термодинамического равновесия [25]. Потребляя энергию извне, такие системы упорядочиваются, рассеивая (диссипируя) энергию в окружающую среду. Появилась возможность объяснения существования и развития, прежде всего, биологических систем, функционирование которых, на первый взгляд, противоречит второму закону термодинамики. Термодинамические и диссипативные структуры сосуществуют в природных геосистемах [6]. В антропогенно нарушенных геосистемах они часто сменяют друг друга во времени. Например, вновь отсыпанный отвал вскрышных пород развивается сначала как термодинамическая система, а затем, при зарастании его поверхности, на ней возникают диссипативные структуры, в том числе, почвенно-растительный покров.

Принципиальные различия между термодинамическими и диссипативными системами были определены [25,27, 28, 30] для их устойчивых состояний. В состоянии термодинамического равновесия свободная энергия системы ($F = E - TS$) достигает минимума, а энтропия (S) – максимума, в то время как устойчивое состояние диссипативных структур характеризуется минимумом производства энтропии ($d_i S$) системой (см. рис. 1), при отрицательном потоке энтропии ($d_e S$) извне, $d_e S = -d_i S < 0$. Для биологических систем использование отрицательной энтропии для поддержания стационарного состояния было определено Э. Шредингером еще в 1945 г. [39]. Эволюция и устойчивое функционирование всей геозоосферы обеспечивается экспортом энтропии во внешнюю среду – космическое пространство. В этом отношении концептуальную роль играют механизмы, обеспечивающие этот отток энтропии из геозоосферы и всех ее иерархических структур, названные В. Эбелингом «энтропийными насосами» [41]. Главный из них – поток коротковолновой солнечной радиации, для биоценозов, в частности, – фотосинтетически активной радиации (ФАР), необходимой для производства первичной продукции. Биота, в отличие от абиотических компонентов геосистем, имеет не внешние, а «встроенные» энтропийные насосы: процессы дыхания, роста, размножения. Благодаря потоку отрицательной энтропии происходит и самоорганизация биокосных систем – почв, в виде энергетических затрат (определяемых климатическими факторами) на почвообразование [13]. В качестве энтропийных насосов почвенных систем можно рассматривать элементарные процессы

почвообразования (метаморфизм органического вещества, миграционные процессы и др.). В современной геоморфологии значительное внимание уделяется рассмотрению активного потенциала рельефа в протекании процессов самоорганизации геосистем, а именно в модификации энергического баланса территории, диссипации энергии геосистемой, управлении переносом вещества и работе линий тока, как энтропийных насосов земной поверхности [8, 38].

Состояние с минимальным производством энтропии – главный аттрактор развития диссипативных структур. Но это состояние нельзя понимать как единственно возможное, как некую точку, это может быть и периодический режим, характеризующийся сложной, но стационарной динамикой [29]. Современные представления о климаксом состоянии (аттракторе развития) природных сообществ фактически отражают этот принцип поливариантности аттракторов, например, в концепции поликлимакса сообществ [34].

Еще один важный аспект динамики открытых неравновесных систем связан с организующей ролью хаоса в их развитии. Хаос следует считать неременным условием возникновения самоорганизующихся систем, их «выхода» на один из аттракторов, «переключения режимов» развития [19]. Роль случайных флуктуаций среды особенно важна в момент бифуркации – разветвления траекторий развития открытых систем. Они возникают, если возмущения, вызванные изменениями среды, превышают некий порог устойчивости, выходят за границы притяжения одного аттрактора. Но и саморазвитие системы может привести к переструктурированию, в таком случае хаос создается самой системой и способен привести ее к новому аттрактору. Е.Н. Князевой и С.П. Курдюмовым хаос рассматривается как «... сущностный элемент эволюции... или инволюции, прогресса или регресса, усложнения форм, морфогенеза или их деградации, но всегда эволюции» [20, с. 159]. Но «классический» сценарий формирования «порядка из хаоса» [30] вряд ли применим для самоорганизации геосистем, которая характеризуется формированием «порядка из порядка» и представляет собой результат использования, трансформации высокоупорядоченного потока энергии в упорядоченные структуры [5].

Антропогенное воздействие на природные геосистемы приводит к возрастанию хаоса, но именно этот акт запускает в них процессы саморегуляции (самовосстановления с использованием механизма отрицательных обратных связей) или самоорганизации (формирование новой структуры в дезинтегрированной среде путем случайного выбора неслучайных состояний) [6]. Реализация того или иного сценария зависит от параметров нарушающего воздействия (управляющих параметров), среди которых наиболее существенны в отношении вызываемых последствий: количественные (интенсивность, пространственные масштабы воздействия) и временные [1]. В ГОСТ 17.8.1.02-88 определен

еще один важный критерий антропогенных воздействий – их направленность: привнесение вещества и энергии в природу; изъятие вещества и энергии из природы; перераспределение и (или) трансформация вещества и энергии в природе. Последствия антропогенных изменений принято разделять на обратимые и необратимые. Однако любые флуктуации происходят на фоне эволюционного развития геосистем, поэтому полностью обратимых изменений быть не может [31]. Кроме того, необратимость изменений следует считать необходимым условием самоорганизации [27].

Если антропогенные воздействия достаточно интенсивны и/или продолжительны, чтобы преодолеть порог устойчивости природных геосистем, то в них происходит переход от режима саморегулирования к самоорганизации (рис. 2). Этот переход (бифуркация) сопровождается разрушением структуры предшествующей геосистемы и приводит к формированию новой структуры из элементов, оставшихся после разрушения, с участием элементов из фоновых сохранившихся систем, или в результате взаимодействия новых элементов, с образованием геосистемы, эквивалентной старой [6]. По отношению к старой геосистеме этот переход может рассматриваться как кризис, катастрофа [2, 45], отказ геосистемы [17]. Вместе с тем, его вряд ли можно считать фатальным нарушением асимптотической (по отношению к «коридору аттрактора» – ландшафтно-экологической нише) устойчивости геосистем более высокого порядка.

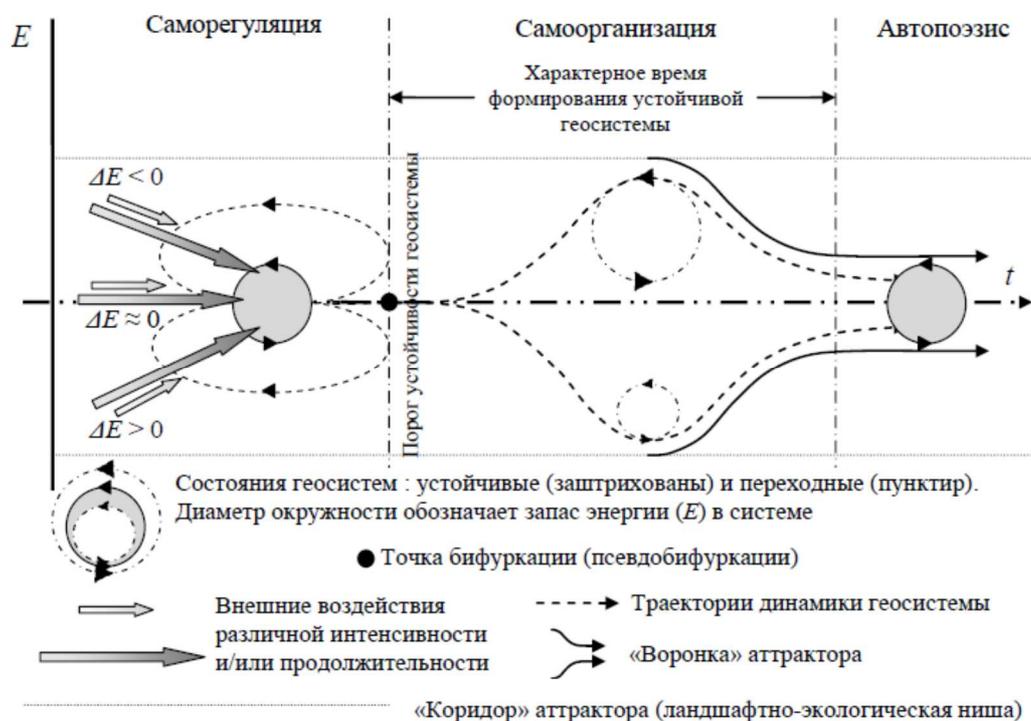


Рис. 2. Динамика нарушенной геосистемы после воздействий, снижающих ($\Delta E < 0$) и повышающих ($\Delta E > 0$) ее энергетический потенциал во времени (t)

Выбор ветви развития после бифуркации в реальных природных геосистемах происходит под контролем управляющих параметров среды (вектора нарушающих воздействий, зональных условий, фоновых геосистем, сохранившихся элементов старых геосистем) и, строго говоря, не может быть бесконечно разнообразным. Поиск новых состояний осуществляется в рамках инвариантов геосистем – эволюционно закрепленных зональных «программ» (ландшафтно-экологических ниш), и в конкретной ситуации выбор не равновероятен. Такой выбор следует считать бифуркацией «с поддержкой» [29] или псевдобифуркацией [24]. Программируемая самоорганизация геосистем при их локальном нарушении является следствием иерархической организации географической среды, и, соответственно, их иерархической устойчивости (в отношении экосистем термин «иерархическая устойчивость» введен Ю.М. Свиричевым в 1974 году [32]). Фактически каждый вышестоящий уровень организации географической среды «обеспечивает» возвращение антропогенно нарушенных геосистем в рамки свойственной ему амплитуды динамической устойчивости. Разнообразие траекторий таких возвращений может быть описано моделями устойчивости по Ляпунову, Лагранжу, Пуассону – в зависимости от интерпретации исходных состояний, согласованности траекторий развития и состава компонентов и степени нарушений геосистем [17].

Антропогенное поступление или изъятие энергии/вещества, их перераспределение, превышающие способность к самовосстановлению природных систем, приводят к разрушению сложившихся естественных структур и связей. Как правило, в неблагоприятных условиях происходит упрощение структуры живых сообществ [18, 26], что характерно и для антропогенных воздействий с отрицательной направленностью ($\Delta E < 0$). Однако это лишь начальный этап эволюции (по существу, являющийся инволюцией) антропогенно нарушенных экосистем, который может многократно повторяться при повторяющемся воздействии. Его можно рассматривать как своеобразную адаптацию экосистем к антропогенным воздействиям, продолжительность которых существенно меньше характерного времени [4] развития зональных биомов. В этой ситуации в экосистеме воспроизводятся наиболее быстрые процессы, например, развитие рудеральных сообществ с быстрой сменой видов, начальное почвообразование с образованием примитивных почв с «прижатым» к поверхности профилем и др. Но достаточно возникнуть лишь непродолжительному (в масштабах характерного времени природных сукцессий) перерыву в воздействии, как «давление жизни» (по В.И. Вернадскому) приводит к возобновлению процессов самоорганизации природных сообществ зонального типа – на начальных этапах фрагментарному (во времени и пространстве), а затем все более континуальному. Если этот промежуток времени между антропогенными воздействиями сопоставим с характерным

временем наиболее длительных процессов самоорганизации геосистем, например, развитием полнопрофильных почв, то при условии стабильности зональных вещественно-энергетических ресурсов неизбежен автопоэзис коренных геосистем.

Заключение

Подводя итог рассмотрению современных системно-синергетических представлений о посттехногенной динамике антропогенно нарушенных геосистем, отметим необходимость теоретического обобщения той ее составляющей, которой уделяется сравнительно меньшее внимание, по сравнению с антропогенизацией природных геосистем. Речь идет о спонтанном возвращении нарушенных геосистем в область притяжения природно-зонального аттрактора, включающем процессы саморегуляции и самоорганизации, восстановления и нового формирования структуры и функционирования – всей совокупности компонентов «обороны» экосистем [42]. К настоящему времени наукой накоплен большой объем экспериментальных свидетельств всеобщности этих процессов. Эти свидетельства касаются исследований текущих состояний многочисленных, «разбросанных» во времени и пространстве ситуаций антропогенного нарушения с последующим природным восстановлением геотопов – от курганных могильников и древних поселений до брошенных в недалеком прошлом населенных пунктов (наиболее ярким примером можно считать город Припять) и техногенных объектов (карьерно-отвалных комплексов и т.п.), которые могут быть как «природоподобного» вида, так и не иметь аналогов в природе.

Природные сценарии «реставрации» заброшенных антропогенно нарушенных геосистем и их техногенных компонентов имеют универсальный характер. В большинстве случаев они обеспечивают наиболее сбалансированный, термодинамически эффективный путь восстановления природного состояния (равновесия) геосистем. Признание данного факта является проявлением экологической этики и соответствует одному из «законов» Барри Коммонера – «природа знает лучше» [21]. Познание механизмов автопоэзиса природных геосистем имеет большое практическое значение, так как позволяет предотвратить многие неэффективные и ошибочные решения и действия, основанные на желании «навязать» природе сценарии, приемлемые для общества «в одностороннем порядке», в отношении которых в природных геосистемах зачастую действуют «эволюционные правила запрета» [20]. В отличие от декларируемого экологическими экстремистами «возвращения к природе», более целесообразно поддерживать возвращение природы – ренатурацию антропогенно нарушенных геосистем [14], которая не подразумевает, но и не исключает участия человека.

Под **экологической ренатурацией** мы понимаем совокупность процессов естественного воспроизводства компонентов и функционирования (самоорганизации,

автопоэзиса) природной геосистемы, нарушенной (разрушенной) в результате антропогенного воздействия, а также природную эволюцию антропогенной (природно-технической) геосистемы, в которой была прекращена хозяйственная деятельность. Процесс ренатурации в вещественно-энергетическом отношении объединяет первичные и восстановительные сукцессии биоты, первичное, рецентное и вторичное почвообразование, стабилизацию рельефа, саморазрушение инженерных сооружений, самоочищение природных сред от поллютантов, а в информационном отношении – процессы образования/восстановления межкомпонентных взаимосвязей. Ренатурацию можно рассматривать на любом – вплоть до глобального – уровне организации геоэкоферы. Ренатурационные процессы (самоорганизация) геосистем начинают протекать с момента первичной стабилизации среды, находящейся в антропогенно-возмущенном (нарушенном, дезинтегрированном) состоянии. До некоторых пор эти процессы могут подавляться повторяющимся антропогенным воздействием, но после его прекращения они сразу же возобновляются.

Определяющими факторами запуска процессов ренатурации следует считать интенсивность и/или продолжительность антропогенного (нарушающего) воздействия, достигающего определенного уровня – порога устойчивости природных геосистем, когда поддержание текущего состояния и структуры за счет процессов гомеостаза (саморегуляции), действия отрицательных обратных связей уже невозможно. Новая структура – антропогенно нарушенная геосистема – может быть рассмотрена как начальная фаза процесса самоорганизации ренатурационной геосистемы.

Исследования выполнены при поддержке гранта Президента РФ МД-6807.2015.5.

Список литературы

1. Акимова, Т.А. Основы экоразвития: учебное пособие / Т.А Акимова, В.В. Хаскин. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 1994. – 312 с.
2. Анатомия кризисов / А.Д. Арманд, Д.И. Люри, В.В. Жерихин и др. – М.: Наука, 1999. – 238 с.
3. Арманд, А.Д. Механизмы устойчивости геосистем / А.Д. Арманд. – М.: Наука, 1992. – 208 с.
4. Арманд, А.Д. Принцип дополнителности и характерное время в географии / А.Д. Арманд, В.О. Таргульян // Системные исследования. – М., 1974. – С. 146-153.
5. Арманд, А.Д. Самоорганизация и геосистемы / А.Д. Арманд // Самоорганизация и динамика геоморфосистем: Материалы XXVII Пленума Геоморфологической комиссии РАН

/ отв. ред. А.В. Поздняков. – Томск: Издательство Института оптики атмосферы СО РАН, 2003. – С. 24-30.

6. Арманд, А.Д. Самоорганизация и саморегулирование географических систем / А.Д. Арманд. – М.: Наука, 1988. – 261 с.

7. Арнольд, В.И. Теория катастроф / В.И. Арнольд. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 128 с.

8. Багров, Н.В. Пространственно-временные отношения в самоорганизации геосистем / Н.В. Багров, В.А. Боков, И.Г. Черванев // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2005. – Вып. 1. – С. 12-20.

9. Берталанфи, Л. Общая теория систем – критический обзор / Л. Берталанфи // Исследования по общей теории систем: Сборник переводов – М.: Прогресс, 1969. – С. 23-82.

10. Богданов, А.А. Тектология: (Всеобщая организационная наука). В 2-х кн. / А.А. Богданов. – М.: Экономика, 1989а. – Кн. 1 – 304 с.

11. Богданов, А.А. Тектология: (Всеобщая организационная наука). В 2-х кн. / А.А. Богданов. – М.: Экономика, 1989б. – Кн. 2 – 351 с.

12. Винер, Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. 1948-1961. / Н. Винер. – М.: Наука; Главная редакция изданий для зарубежных стран, 1983. – 344 с.

13. Волобуев, В.Р. Энергетика почвообразования / В.Р. Волобуев // Известия АН СССР. – Сер. биол. – 1959. – №1. – С. 45-54.

14. Голушов, П.В. Концепция ренатурации антропогенно нарушенных геосистем: методологические и прикладные аспекты / П.В. Голушов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11 (часть 3). – С. 556-564; URL: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10004828

15. Горшков, В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни / В.Г. Горшков. – М.: ВИНТИ, 1995. – 470 с.

16. Горшков, В.Г. Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды / В.Г. Горшков // Итоги науки и техники. – Серия «Теоретические и общие вопросы географии». – Т. 7. – М.: ВИНТИ, 1990. – 238 с.

17. Гродзинский, М.Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень. – К.: Лікей, 1995. – 233 с.

18. Джиллер, П. Структура сообществ и экологическая ниша / П. Джиллер. – М.: Мир, 1988. – 184 с.

19. Князева, Е.Н. Законы эволюции и организации сложных систем / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. – М.: Наука, 1994. – 236 с.

20. Князева, Е.Н. Синергетика: нелинейность времени и ландшафты коэволюции / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. – М.: КомКнига, 2011. – 272 с.
21. Коммонер, Б. Замыкающийся круг / Б. Коммонер. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 280 с.
22. Матурана, У.Р. Дерево познания. Биологические корни человеческого понимания / У.Р. Матурана, Ф.Х. Варела; пер. с англ. Ю.А. Данилова. – М.: Прогресс-Традиция, 2001. – 224 с.
23. Миркин, Б.М. Современная наука о растительности / Б.М. Миркин, Л.Г. Наумова, А.И. Соломещ. – М.: Логос, 2001. – 264 с.
24. Моделирование динамики геоэкосистем регионального уровня / П.М. Хомяков, В.Н. Конищев, С.А. Пегов и др.; под ред. П.М. Хомякова и Д.М. Хомякова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. – 382 с.
25. Николис, Г. Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.
26. Одум, Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М.: Мир, 1975. – 741.
27. Пригожин И. Конец определенности. Время, хаос и новые законы природы / И. Пригожин. – Ижевск.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 208 с.
28. Пригожин, И. Введение в термодинамику необратимых процессов / И. Пригожин. – Ижевск.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 160 с.
29. Пригожин, И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 240 с.
30. Пригожин, И. Порядок из хаоса: новый диалог человека с природой времени / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.
31. Реймерс, Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
32. Свирижев, Ю.М. Устойчивость биологических сообществ / Ю.М. Свирижев, Д.О. Логофет – М.: Наука, 1978. – 352 с.
33. Сочава, В.Б. Введение в учение о геосистемах / В.Б. Сочава. – Новосибирск: Изд-во «Наука», Сибирское отделение, 1978. – 319 с.
34. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 328 с.
35. Хакен, Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен; пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
36. Хакен, Г. Синергетика / Г. Хакен; пер. с англ. В.И. Емельянова; под ред. Ю.Л. Климонтовича, С.М. Осовца. – М.: Мир, 1980. – 405 с.
37. Хакен, Г. Синергетика: иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. – М.: Мир, 1985. – 424 с.

38. Черванев, И.Г. Развитие представлений о саморегулировании и самоорганизации рельефа / И.Г. Черванев, В.А. Боков // Самоорганизация и динамика геоморфосистем: Материалы XXVII Пленума Геоморфологической комиссии РАН / отв. ред. А.В. Поздняков. – Томск: Издательство Института оптики атмосферы СО РАН, 2003. – С. 14-19.
39. Шредингер, Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? / Э. Шредингер. – М.: РИМИС, 2009. – 176 с.
40. Эбелинг, В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур / В. Эбелинг; пер. с нем. А.С. Доброславского; под ред. Ю.Л. Климонтовича. – М.: Мир, 1979. – 279 с.
41. Эбелинг, В. Физика процессов эволюции / В. Эбелинг, А. Энгель, Р. Файстель; пер. с нем. Ю.А. Данилова. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 328 с.
42. Экосистемы в критических состояниях / отв. ред. Ю.Г. Пузаченко. – М.: Наука, 1989. – 155 с.
43. Эшби, У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Издательство иностранной литературы, 1959. – 432 с.
44. Bertalanffy, L. von. General System Theory. Foundations, Development, Applications / L. Von Bertalanffy. – N.Y.: Braziller, 1968. – 289 p.
45. Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J.A. Catastrophic shifts in ecosystems // Nature. – 2001. – Vol. 413. – No. 11. – pp. 591-596.

Рецензенты:

Чендев Ю.Г., д.геогр.н., доцент, заведующий кафедрой природопользования и земельного кадастра, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород;

Корнилов А.Г., д.геогр.н., доцент, заведующий кафедрой географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности, ФГАОУ ВПО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», г. Белгород.