



УДК 631.6
DOI 10.52575/2712-7443-2023-47-1-62-75

Синергетика систем агролесомелиорации

Ивонин В.М.

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета,
Россия, 346428, г. Новочеркасск, Пушкинская, 111
E-mail: Ivoninforest@yandex.ru

Аннотация. Отдельные защитные лесные насаждения, их простые и сложные системы и надсистема региона представляют ранжирование систем агролесомелиорации, образованных сочетанием биотических, биокосных и технических элементов. Единство простых систем обеспечивается энергией, притекающей извне, и энергетикой корпоративного поведения элементов. В основу единства сложных систем заложен переток энергий соседних автономных систем. Надсистема объединяет сложные системы агролесомелиорации посредством природной древовидной гидрографической сети и межсистемных «узлов» лесных массивов, лугов, пастбищ и других природных комплексов, дивергентные потоки вещества, энергии и информации которых перекрывают подчинённые структуры. Это самопроизвольно формирует относительно устойчивую структуру агролесомелиоративной надсистемы региона, аттрактор которой направлен на коренное улучшение сельскохозяйственных земель. Относительная устойчивость этой структуры определяется соотношением в её составе пашни, сенокосов и пастбищ, лесов и открытой водной поверхности. Пашня дестабилизирует устойчивость надсистемы; сенокосы, пастбища, леса и открытая водная поверхность способствуют стабилизации. Синергетика любой агролесомелиоративной системы определяется энергетической напряжённостью полей мелиоративного воздействия (экотонные зоны, «ветровые тени», зоны мелиоративного влияния, геохимические барьеры и др.). Эти эффекты могут снижаться или исчезать при деградации или распаде систем агролесомелиорации, вызванных ошибками антропогенной деятельности или вариациями взаимосвязей хаоса и порядка при климатических стрессах.

Ключевые слова: защитные лесные насаждения, лесная полоса, агролесомелиорация земель, система, синергетика агролесомелиорации, корпоративное поведение элементов

Для цитирования: Ивонин В.М. 2023. Синергетика систем агролесомелиорации. Региональные геосистемы, 47(1): 62–75. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-1-62-75

Synergetics of Agroforestry Systems

Vladimir M. Ivonin

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute –
branch of the Don State Agrarian University,
111 Pushkinskaya St, Novocherkassk 346428, Russia
E-mail: Ivoninforest@yandex.ru

Abstract. Separate protective forest plots, their simple and complex systems and supersystems represent a hierarchy of agroforestry systems formed by a combination of biotic, bioinertic and technical elements. The unity of simple systems is ensured by the energy flowing in from outside and the energy of the corporate behavior of the elements. The unity of complex systems is based on the energy flows of neighboring autonomous systems. The supersystem combines complex systems of agroforestry through a natural tree-like hydrographic network and intersystem "nodes" of forests, meadows, pastures, and other natural complexes, whose divergent flows of matter, energy, and information overlap subordinate structures. Thus,

a relatively stable structure of the agroforestry reclamation supersystem of the region is spontaneously formed, the attractor of which is aimed at the radical improvement of agricultural lands. The stability of this structure is determined by changes in its composition of the ratio of arable land, hayfields and pastures, forests and open water surface. Arable land destabilizes the stability of the supersystem; hayfields, pastures, forests and open water contribute to stabilization. The synergistic effects of any agroforestry system are determined by the energy intensity of the fields of reclamation impact (ecotone zones, "wind shadows", zones of reclamation influence, geochemical barriers, etc.). These effects may decrease or disappear with the degradation or collapse of agroforestry systems caused by anthropogenic errors or variations in the relationship of chaos and order under climatic stresses.

Key words: protective forest plantations, forest belt, agroforest land reclamation, system, synergy of agroforestry, corporate behavior of elements

For citation: Ivonin V.M. 2023. Synergetics of Agroforestry Systems. Regional Geosystems, 47(1): 62–75. DOI: 10.52575/2712-7443-2023-47-1-62-75

Введение

Согласно Федеральному закону¹ агролесомелиорация земель – это использование полезных функций комплекса мелиоративных защитных лесных насаждений для коренного улучшения земель сельскохозяйственного назначения или земель, предназначенных для осуществления производства сельскохозяйственной продукции.

Системы (комплексы) мелиоративных защитных лесных насаждений составляют полезащитные, стокорегулирующие, прибалочные и другие лесные полосы, склоновые, донные и пойменные лесные насаждения гидрографической сети, лесные колки, водораздельные и другие леса. Такие неравновесные системы усложняются технологическими дорогами, земляными валами, валами-канавами (по нижней опушке стокорегулирующих лесных полос), распылителями стока, склоновыми напашными или ступенчатыми террасами, земляными плотинами прудов, донными запрудами и др.

Самоорганизацию сложных и неравновесных систем, состоящих из взаимодействующих между собой элементов и/или подсистем, исследует междисциплинарная наука – синергетика [Хакен, 2003].

Самоорганизация системы – это непрерывный процесс, не замкнутый в себе, но включённый в более сложную структуру. При этом организованное целое всегда эффективнее суммы составляющих его компонентов [Богданов, 1989].

При самоорганизации систем используют такие понятия, как нелинейность, когерентность, открытость [Баранцев, 1999]. Под нелинейностью понимают неустойчивость, необратимость развития системы при её выходе в многомерное пространство. Когерентность – согласованность взаимодействия элементов в пределах всей системы, т. е. кооперация составляющих элементов, вызывающая резонанс нового качества. Открытость системы подразумевает её свободный обмен с окружающей средой веществом, энергией и информацией во времени и пространстве.

В синергетике появляется новый взгляд на общенаучные категории порядка и хаоса, когда спокойные периоды функционирования системы сменяются критическими. В точке бифуркации (кризисная зона между порядком и хаосом) возможности развития системы разветвляются. При этом исходная устойчивость нарушается и хаос обеспечивает возможность системе подключиться к новому аттрактору (пути дальнейшего развития), зависящему от локальных факторов среды [Лисичкина, Голоктионова, 2015].

¹ О мелиорации земель: Федеральный закон (с изменениями на 8 декабря 2020 г.) [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/9015302> (дата обращения: 01.07.2022).



Нелинейность (неустойчивость) является одной из основных характеристик любого растительного сообщества. В ходе развития такая система выбирает оптимальную форму самоорганизации в виде определённого порядка элементов и структуры. Конкретные виды растений могут или не могут совместно обитать с другими видами (растений, животных, грибов и микроорганизмов). Это может обеспечивать относительное равновесие сообщества со средой, но это равновесие постоянно нарушается деятельностью человека, климатическими изменениями, инвазиями разных видов и т. д. Такие состояния равновесности-неравновесности (точки бифуркации) предоставляют системе пути оптимального развития за счёт изменения исходной структуры.

Синергетический подход характеризуется переходом от простого к сложному, от линейного к нелинейному, от закрытого к открытому, от равновесности к неустойчивости – изучению того, что вдали от равновесия. При этом изменения, которые происходят в системе, не исчезают, а накапливаются. Составляющие элементы приходят к кооперативному поведению, приводящему к новому порядку, формирующему новую структуру [Yakimtsov, 2018].

Элементы системы земледелия, взаимодействуя друг с другом, образуют положительные (или отрицательные) синергетические эффекты факторов формирования урожайности. Регулируя эти эффекты можно предупредить антагонизм факторов влияния и оптимизировать технологии земледелия [Тарасов и др., 2018].

В сельскохозяйственном производстве наиболее востребованы технологии, обеспечивающие максимальный синергетический эффект от природно-биологических ресурсов: земли, воды, почвенной биоты, продуктивности растений и животных, и других компонентов агроландшафтов, при сохранении окружающей природной среды [Федоренко, 2019].

Фактором стабильности аграрных природно-антропогенных ландшафтов (полевых, садовых и лугопастбищных) служат лесохозяйственные урочища в виде систем мелиоративных лесных насаждений [Ивонин, 2017].

Такие системы на стыке сельского и лесного хозяйства представляют технологии и подходы к многофункциональному управлению ландшафтами. Синергия между сельским и лесным хозяйствами может перейти от признания компромиссов между ними, через общность реализации, к пространству совместных инноваций [Van Noordwijk et al., 2018].

Применение агролесомелиорации в сельском хозяйстве Эфиопии приводит не только к экономической отдаче, но и синергическому эффекту (совместное производство сельскохозяйственной и побочной продукции лесоводства, приносящей дополнительный доход). При этом повышается устойчивость управления земельными ресурсами [Kassie, 2018].

Агролесомелиорация в Нигерии способствует формированию экологических систем управления природными ресурсами, диверсифицирующих производство продукции с получением социальных, экономических и экологических выгод для землепользователей при интеграции деревьев в сельскохозяйственный ландшафт [Alao, Shuaibu, 2013].

Системы агролесомелиорации обеспечивают убедительную синергию между способностью мелких ферм адаптироваться к климатическим рискам и повышением продуктивности фермерских хозяйств, диверсификацией и увеличением доходов при одновременном улавливании углерода из атмосферного воздуха [Lasco et al., 2014].

Самоорганизация и саморазвитие консолидированных катенно-бассейновых биогео-ландшафтов определяет кластерно-синергетическое влагосберегающее аграрное природопользование степной зоны. Лесофитобиологизированные катенно-бассейновые агроэко-ландшафты являются важнейшим элементом обеспечения биоэкологической защиты, устойчивости и эффективности использования ресурсов (энергетических, материальных и информационных), роста биопродуктивности агроландшафтов и снижения их энтропии [Панов, 2012].

Таким образом, обобщение данных о сложных, нелинейных, когерентных и открытых структурах разных уровней ранжирования может представить систему логико-теоретических взглядов на синергетику региональных структур агролесомелиорации.

Материалы и методы исследования

Исходными материалами послужили данные собственных исследований [Ивонин, 2017; Ивонин, 2020; и др.] и результаты наблюдений различных авторов [Рулев, Пугачёва, 2019; Сучков, 2021; и др.]. При этом методология исследований основывалась на системном и синергетическом подходах, а также визуализации научных данных (рис. 1).

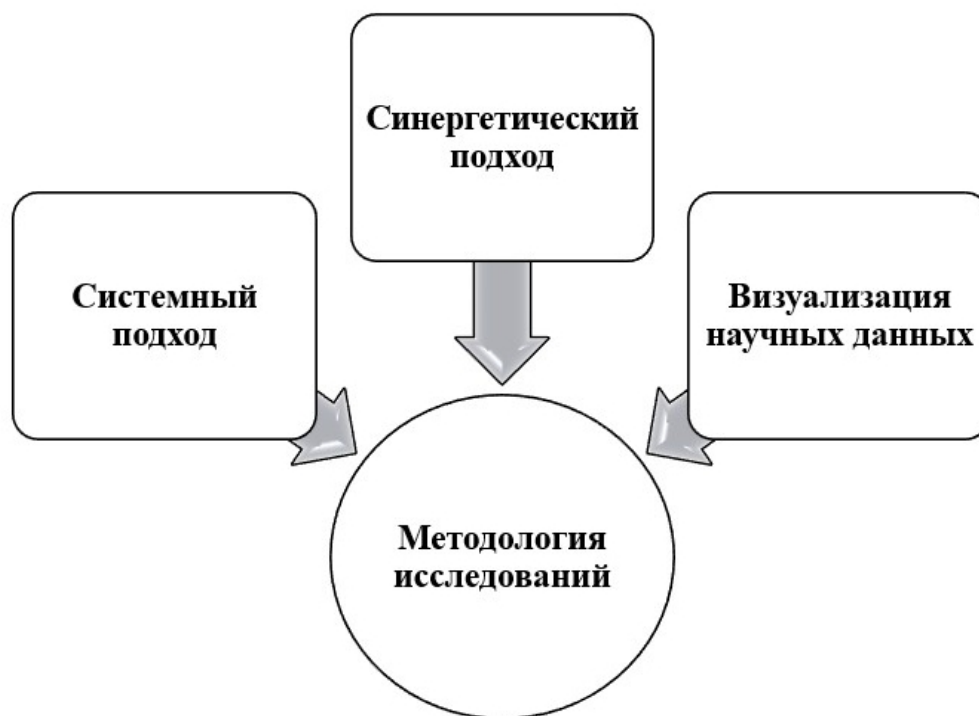


Рис. 1. Методология исследований
Fig. 1. Research methodology

Системный подход исследует различные структуры на основании того, что эмпирические знания имеют смысл и значение только в системе обобщений, способствующей синтезу всех накопленных знаний. При этом понятие «система» неразрывно связано с понятием «структура», образованная составляющими элементами и их связями [Кириллова и др., 2016].

Синергетический подход, дополняя системный, исследует многофакторное воздействие на технологическую систему, вызывающее её самоструктурирование за счёт различных физико-химических эффектов, которые изменяют параметры и характеристики исследуемой системы, её энергетическое состояние [Промотов, 2004].

Синергетический подход применяется в границах самоорганизующихся систем или условий их возникновения в изучаемой отрасли науки, выявлении структурных элементов этих систем, их связей и др. [Мальцева, 2009].

Визуализация научных данных предполагает графическое изображение зависимости определённой функции от нескольких параметров. Методология визуализации многомерных данных при решении задач параметрического анализа технических систем представлена в научном обзоре [Романова, 2016]. Эти подходы были использованы нами для понимания процессов самоорганизации сложных агролесомелиоративных систем.

Результаты и их обсуждение

Ранее нами была исследована иерархичность и сложность мелиоративных систем, которую характеризует их ранжирование: элементы мелиораций – простые мелиоративные системы – сложные системы – большая надсистема мелиораций [Ивонин, 2022].

Это ранжирование по отношению к агролесомелиоративным системам определяется данными, представленными на рис. 2.



Рис. 2. Ранжирование агролесомелиоративных систем региона
Fig. 2. Ranking of agroforestry systems in the region

На первом уровне ранжирования отдельные лесные полосы или куртины деревьев и кустарников создают в соляной или ветровой тени поля фациального мелиоративного воздействия, которые распространяются на ограниченные участки местных агроландшафтов.

На втором (простые системы различных видов лесных полос, колков и других насаждений) уровне ранжирования эффект обеспечивается притоком вещества, энергии и информации извне и дополнительной (внутренней) синергетической энергии, проявленной через корпоративное поведение составляющих элементов. При этом агролесомелиоративное воздействие может распространяться на аграрную местность (группу местных агроландшафтов) или аграрный район.

Третий уровень ранжирования представляют сложные системы мелиоративных лесных насаждений в пределах водосборов балок или рек. Эти сложные системы объединяют известное число подсистем (простых автономных систем полевых защитных и/или стокорегулирующих лесных полос, склоновых и донных насаждений и др.), каждая из которых относительно самостоятельна и способна адаптироваться к факторам окружающей (природной) среды и соседствующим автономиям, обеспечивая между ними функциональную преемственность. Это усиливает синергетические эффекты сложной системы, обогащает землепользование, увеличивает масштабы агролесомелиорации земель.

Сложные системы могут дополнительно включать в свой состав природные комплексы (региональные леса, участки лугов и пастбищ, водные объекты), мало затронутые хозяйственной деятельностью. Эти комплексы организуют согласованность функционирования элементов и автономных подсистем.

Контур большой надсистемы охватывает территорию региона, организуя ландшафтное пространство даже за пределами зон воздействия сложных агролесомелиоративных систем: лесные массивы и полосы лесов, лесостепные или степные леса, луга и пастбища и др. Скрепляет эти территории природная древовидная гидрографическая сеть бассейна главной реки. Она объединяет мелиоративные защитные лесные насаждения первичных, малых, средних и крупных бассейнов с помощью ландшафтно-геохимических катен (микроарен) или систем (мезо-, мега- и макроарен). Такое объединение формирует сложную структуру региональной надсистемы агролесомелиорации.

Эта структура обеспечивает хранение генофонда, поставки и регуляцию содержания в атмосфере кислорода и углерода, миграцию и расселение биоты, формирование дивергентных потоков вещества, энергии и информации, одновременно решая возникающие экологические проблемы при сельскохозяйственном производстве [Ивонин, Воскобойникова, 2021].

На всех уровнях ранжирования относительно устойчивые неравновесные агролесомелиоративные системы формируются набором элементов различных групп (рис. 3).



Рис. 3. Группировка элементов агролесомелиоративных систем
Fig. 3. Grouping of elements of agroforestry systems

К группе технических элементов агролесомелиоративных систем можно отнести земляные плотины прудов, донные запруды из сборного железобетона и каменной кладки, быстротокки, ступенчатые перепады и другие сопрягающие сооружения в вершинах оврагов, буны, подпорные стенки и др. Простейшими земляными сооружениями являются валы и валы-каналы для усиления стокорегулирующей роли лесных полос, террасы, распылители стока и др.

К этой группе отнесём технологические дороги, а также антропогенные образования (свалки и др.) с зонами детерминации природных процессов среди аграрных урочищ и местностей.

В группу биотических элементов относим дубняки и липняки среди степных лугов, колки, ленточные боры, лесные насаждения вдоль рек, каналов и водохранилищ, мелиоративные лесные полосы и гослесополосы, водораздельные, водоохранные, байрачные и пойменные леса, насаждения-илофильтры, аренные и прирусловые леса и лесные полосы, заросли вокруг стариц и истоковые насаждения.

Выполняя многочисленные природоохранные функции, такие насаждения обеспечивают фиксацию углерода, продуцирование кислорода, метаболическую утилизацию антропогенных загрязнителей и равновесные отношения между растениями и почвой.



Мелиоративные лесные полосы занимают особое положение, способствуя не только повышению уровня первичной продуктивности, но и сокращению деградационных процессов за счёт формирования лесных геохимических барьеров и лесоаграрных мезоэкотонов (с контактными, фильтрационно-барьерными, опушечными функциями).

Растения-мелиоранты предназначены для повышения продуктивности пастбищ, закрепления песков, восстановления эродированных почв с повышением их плодородия, а также для производства кормов и лекарственного сырья на вторично засоленных почвах. Мелиоративный эффект естественных лугов и посевов многолетних трав зависит от их состава и продуктивности подземной и надземной биомассы, мощности и профильного распределения корневых систем (с ризосферной микрофлорой), проективного покрытия, способности обогащения почвы азотом, образования гумуса и др.

Фитомелиорантами служат растения комбинированных паров (донник, рапс, горчица, кормовое просо), а также сидераты, обогащающие почву органическим веществом и улучшающие водно-физические свойства.

Однолетние травы, дающие отаву (суданская трава, вика и др.) после скашивания надземной массы, повышают водопрочность почвенных агрегатов. Фитомелиоративным способами восстановления почв являются не только севообороты с многолетними травами, но и залежная сукцессия.

В сравнении с пашней почвы, под естественными травянистыми формациями, отличаются лучшей водопрочностью структуры, водно-физическими и химическими характеристиками, повышенной противозерозионной устойчивостью.

Подразделениями биоремедиации (очистка или восстановление почв и вод с помощью живых организмов) являются ризофилтрации, фитоаккумуляции, фиторемедиации. Ризофилтрации – это удаление с помощью корневых систем растений тяжёлых металлов и радионуклидов из стоков, поверхностных или грунтовых вод. Фитоаккумуляции – это способность растений-гипераккумуляторов тяжёлых металлов и радионуклидов извлекать их из почвы и накапливать в своей наземной фитомассе, что создаёт условия удаления загрязнителей из окружающей среды. Фиторемедиации – технологии очистки сточных вод с помощью растений-макрофитов (полупогружённых – рогозы и тростники, плавающих – ряски, погружённых в воду – рдест) или высших растений. Для фиторемедиации используют биопруды (аэробные, контактные и др.), гидрботанические площадки (природные и созданные), биоплато, поля орошения и филтрации как места естественных процессов самоочищения воды населяющими их организмами.

В группу биокосных элементов объединены донные хворостяные, фашинные или габионные запруды, наносы между которыми являются местами обитания естественных биоценозов, сооружения из природного камня, ветвей и почвогрунта, а также защитные покровы на склонах и откосах из деревянных решёток (заполненных почвогрунтом и природным камнем) или геотекстиля из соломы, стеблей кукурузы и других местных материалов. В эту группу включены элементы культуртехнической подготовки земель к сельскохозяйственному использованию: расчистка земель, выравнивание поверхности (в том числе выполаживания оврагов с последующим облесением), внесение в почву компостов, зелёного удобрения, соломы, микробных препаратов и местных органических удобрений, фосфоритование, гипсование и др. Единение элементов различных групп (см. рис. 3) в одной агролесомелиоративной системе обеспечивает её синергетику (рис. 4).



Рис.4. Синергетика агролесомелиоративной системы
Fig. 4. Synergetics of the agroforestry system

Основным биотическим элементом агролесомелиоративной системы является мелиоративное защитное лесное насаждение. В определённых условиях среды при своём развитии структура мелиоративного лесного насаждения, находясь в неустойчивом состоянии, выбирает свою форму самоорганизации в зависимости от условий среды, количества и состава древесных пород, наличия различных ценотических групп деревьев, отличающихся по диаметру и высоте ствола.

Считают, что чем ярче выражены такие временные показатели, тем в более равновесном состоянии находится система древостоя и можно говорить о более высокой её организованности и эффективности за счёт выполнения каждой группой деревьев своей функции [Василенко, 2008].

Способности роста, развития, самоподдержания и самоуправления мелиоративных защитных лесных насаждений лежат в основе их самоорганизации. В процессе адаптации древесных видов к окружающей среде происходит снижение или повышение годовых приростов по высоте и диаметру, уплотнение или изреживание лесных насаждений, отпад отдельных деревьев или определённых пород (видов), избирательность мелиоративного воздействия на почвы и агроценозы.

Важными показателями относительно равновесного состояния защитных лесных насаждений являются возможности самоуправления (влияние друг на друга главных, сопутствующих пород и кустарников, формирование лесной подстилки, воспроизводство древесины, ягод, грибов, плодов и лекарственного сырья и др.). Эти возможности усиливаются управлением насаждениями извне (подбор породного состава, дополнение лесных культур, санитарные и восстановительные рубки и др.).

Открытость агролесомелиоративной системы характеризует её постоянный обмен веществом, энергией и информацией с окружающей (природной) средой с возможностями образования новых структур и сложных систем (надсистем). Неравновесность системы – это её чувствительность даже к незначительным возмущениям окружающей среды, приводящая к появлению или исчезновению полей мелиоративного воздействия лесных насаждений. Нелинейность системы характеризует её неустойчивость, необратимость развития за счёт окружающей (природной) среды.



Под кооперацией понимают энергию совместного действия элементов агролесомелиоративной системы, вызывающую резонанс нового качества. Совместное действие может проявляться как среди одной группы элементов (соседние лесные полосы), так и между элементами разных групп (технических, биологических, биокосных).

Наиболее ярким проявлением кооперации элементов одной группы являются поля мелиоративного воздействия, возникающие при реакции лесных сообществ на постоянно меняющиеся факторы окружающей среды (биомезоклимат, ветровые потоки, снегораспределение, плодородие почв и др.). При определённых факторах природной среды поля мелиоративного воздействия соседних лесных насаждений расширяются, полностью перекрывая межполосные участки. Если такое перекрытие осуществляется в ответственные фазы вегетации агроценоза, то формируется его резонансная продуктивность.

Кооперация элементов разных групп проявляется, например, при сочетании технологических дорог с лесохозяйственными урочищами, которое способствует ослаблению скоростей ветра, снегозащите и укреплению дорожного полотна, предупреждению выноса на него продуктов водной и ветровой эрозии, прикрытию прилегающих агроценозов от пыли и транспортных выбросов. На склоновых землях усиление лесных полос валами, валами-канавами, щелеванием междурядий и другими способами повышает стокорегулирующие способности такого сочетания.

Эффект повышения работоспособности, при снижении затрат на строительство грунтовых плотин (мелиоративного или рекреационного назначения), вызывает биологическое или биокосное крепление (хворостяные настилы в сочетании с насаждениями ивы и тополя) верховых откосов взамен технического крепления (сборные железобетонные покрытия и др.). На низовых откосах грунтовых плотин обычно укладывают дернину с её креплением деревянными спицами.

Синергетический эффект проявляется при кооперации разных групп элементов: облесение оврагов и балок в сочетании с устройством сопрягающих и донных сооружений, а также склоновыми террасами. Насаждения-илофилтры по тальвегам обычно чередуют с залуженными территориями или/и хворостяными, фашинными, каменными запрудами. Когерентностью можно считать самосогласованность процессов в сложных системах агролесомелиорации при нестабильной внешней среде. Согласованность между простыми системами в сложной системе в основном определяют водораздельные, ценные (степные и лесостепные) леса, ленточные боры, ленты государственных лесополос и другие водораздельные насаждения, служащие начальным структурным звеном территориального агролесомелиоративного каркаса. Эти насаждения являются местами уникального биоразнообразия и генофонда биоты, источниками атмосферного кислорода и хранилищами углерода, каналами расселения биоты и др. [Ивонин, Воскобойникова, 2021].

Согласованности большой надсистемы агролесомелиорации способствуют «узлы» лесных массивов, лугов, пастбищ и других природных комплексов, находящиеся между автономными структурами и связывающими их дивергентными потоками вещества, энергии и информации, которые время от времени перекрывают своим воздействием составляющие структуры. Такие временные перекрытия объединяют простое в сложное, вызывают обменные хаотические процессы, играющие конструктивную роль в выборе путей построения эволюционного целого, когда мелиоративная обстановка охватывает всю площадь агроценозов. При этом развивающаяся структура надсистемы может попадать в состояние бифуркации, когда мелиоративная обстановка исчезает при определённых сочетаниях факторов окружающей среды, а самоорганизация древесных насаждений (биотических элементов) ослабевает.

Состояние бифуркации даёт возможность нескольких продолжений развития сложной структуры, одно из которых может осуществлять выход на высший уровень развития агролесомелиоративной надсистемы. Пик такого восхождения характерен не только благопри-

ятной мелиоративной обстановкой для агроценозов, но и zenитом самоорганизации древесных насаждений. Объединяясь в сложную структуру, составляющие системы, подсистемы и элементы не просто суммируются, а определённым образом трансформируют исходную структуру. Это приводит к чередованию периодов эволюции и инволюции, увеличению интенсивности и затухания процессов самоорганизации, дезинтеграции или частичному распаду структур, что подтверждает известный принцип поведения нелинейных систем. При этом если простые системы преимущественно управляются извне, то надсистема в основном самоорганизуется.

Регуляторами самоорганизации надсистемы агролесомелиорации в земледельческих регионах служит соотношение пашни, сенокосов и пастбищ, лесов и открытой водной поверхности (рис. 5). На это в своё время указывал В.В. Докучаев [Докучаев, 1892].

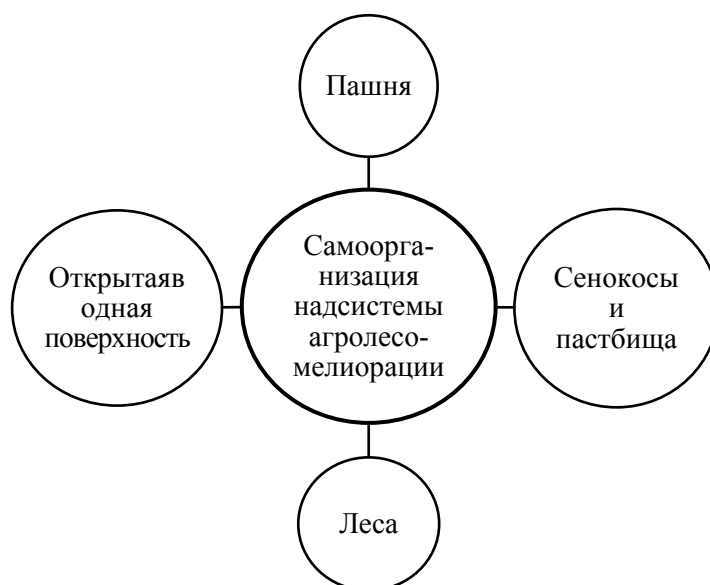


Рис. 5. Регуляторы самоорганизации надсистемы агролесомелиорации
Fig. 5. Regulators of self-organization of the supersystem of agroforestry

Пашня дестабилизирует самоорганизацию мелиоративной надсистемы, а сенокосы, пастбища и леса – стабилизируют. Открытая водная поверхность влияет на самоорганизацию надсистемы за счёт внутреннего влагооборота агроландшафтов, повышения относительной влажности воздуха с изменениями других характеристик микроклимата и динамики запасов грунтовых вод.

Следовательно, возможности самоорганизации большой надсистемы в её тектологические границы реализуются в основном за счёт стабилизирующих природных или природоподобных структур, которые формируют экотоны (с контактными, фильтрационно-барьерными и опушечными функциями), объединяющие биотические, технические или биокосные элементы, простые или сложные системы этих элементов.

Внутреннему единению надсистемы способствуют ландшафтно-геохимические микроарены, мезо-, мега- и макроарены на всех уровнях ранжирования агролесомелиоративных систем (см. рис. 2), что обеспечивает на неопределённое время относительно устойчивое состояние надсистемы в границах водосборов балок или/и речных бассейнов.

Это снижает необходимость антропогенной организации на уровне простых автономных систем и активизирует инициацию природных тенденций самоорганизации большой агролесомелиоративной надсистемы. Относительная устойчивость такой надсистемы в основном поддерживается внутренними взаимосвязями, снижая её зависимость от варьирования факторов окружающей средой.



Продолжительность времени относительно устойчивого состояния надсистемы агролесомелиорации определяется процессами её деградации или распада, вызванными свойствами составляющих элементов и автономных систем, ошибками антропогенного управления или вариациями взаимосвязей хаоса и порядка при климатических стрессах.

В целом большая надсистема (по сравнению с простой или сложной системами) более информативна и менее отзывчива на катастрофические проявления факторов природной среды. Достижение поставленных целей определяется динамикой физико-химических эффектов, которые изменяют энергетическое состояние надсистемы по отдельным периодам функционирования или преобразования её сложной структуры через точки бифуркации. Эффекты, изменяющие энергетическое состояние, возникают при положительном (синергизм) или отрицательном (антагонизм) проявлении влияния друг на друга и окружающую среду составляющих элементов (биотических, биокосных и технических) в рамках целого. При этом происходит биологизация технических или усиление работоспособности биотических и биокосных элементов.

Синергетическое воздействие на агросреду проявляется через поля мелиоративного воздействия (композиции биотических, биокосных и технических элементов) агролесомелиоративной системы, которые воздействуют на плодородие почв и биомезоклимат, снегозадержание, местный сток, эрозионные процессы, продуктивность агроценозов и скота, биологическое разнообразие, пыле- и газопоглощение, санитарное состояние водных объектов и их полноводность, способствуют возникновению экотонных зон, «ветровых теней», зон мелиоративного влияния и геохимических барьеров.

Заключение

Ранжирование агролесомелиоративных систем сельскохозяйственного региона включает: отдельные мелиоративные лесные насаждения, простые и сложные (автономные) системы мелиоративных лесных насаждений, большую надсистему агролесомелиорации. В состав этих систем, кроме биотических, могут включаться биокосные и технические элементы. Совместное применение этих элементов обеспечивает повышение возможностей защитного и ресурсосберегающего земледелия и обогащает землепользование в результате охвата тектологическими границами агролесомелиоративной системы соседних территорий, испытывающих мелиоративное влияние или воздействующих определённым образом на центральную структуру.

В группу биотических элементов включены различные леса, колки и лесные полосы, сообщества растений-мелиорантов, естественные луга и посевы многолетних трав, растения комбинированных паров и сидераты, подразделения биоремедиации.

К группе биокосных элементов относят донные хворостяные, фашинные или габионные запруды, сооружения из природного камня, ветвей и почвогрунта, защитные покровы на склонах и откосах, а также – расчистку земель, выравнивание поверхностей (в том числе выполаживания оврагов), внесение в почву компостов, зелёного удобрения, соломы и местных органических удобрений, фосфоритование, гипсование и др.

В группу технических элементов входят валы и валы-каналы для усиления стокорегулирующей роли лесных полос, террасы, распылители стока и другие простейшие земляные сооружения, а также – плотины балочных прудов, донные запруды из сборного железобетона и каменной кладки, быстротоки, ступенчатые перепады и другие сопрягающие сооружения на оврагах, буны, подпорные стенки и др. В эту группу объединяются также технологические дороги и антропогенные объекты с зонами детерминации природных процессов вблизи или среди аграрных урочищ и местностей.

Единство простых агролесомелиоративных систем обеспечивает приток вещества и энергии извне и дополнительная (внутренняя) синергетическая энергия корпоративного поведения составляющих элементов. Единство сложных агролесомелиоративных систем (объединение известного числа простых автономных систем) поддерживается синергетической соседствующих автономий с обеспечением их функциональной преемственности.

Объединяет простые и сложные системы в большую надсистему агролесомелиорации природная древовидная гидрографическая сеть первичных (элементарных), малых, средних и крупных бассейнов со своими агролесомелиоративными системами разного уровня ранжирования. Синергетике этого целого способствуют «узлы» лесных массивов, лугов, пастбищ и других природных комплексов, связывающих внутренние автономные агролесомелиоративные структуры дивергентными потоками вещества, энергии и информации. Всё это приводит к самопроизвольному возникновению относительно устойчивой, но неравновесной структуры агролесомелиоративной надсистемы, аттрактор которой направлен на коренное улучшение сельскохозяйственных земель региона.

Управление простой агролесомелиоративной системой обеспечивается преимущественно антропогенной организацией. При возрастании порядка ранжирования возрастает роль самоорганизации системы, на которую воздействует соотношение угодий в её составе: пашни, сенокосов и пастбищ, лесов и открытой водной поверхности. Пашня дестабилизирует самоорганизацию сложной системы или надсистемы, а сенокосы, пастбища, леса и открытая водная поверхность стабилизируют.

Синергетические эффекты агролесомелиоративной системы любого уровня ранжирования определяются вещественно-энергетической напряжённостью полей мелиоративного воздействия (экотонные зоны, «ветровые тени», зоны мелиоративного влияния, геохимические барьеры и др.). От динамики этой напряжённости зависят показатели плодородия почв, характеристики биомезоклимата, снегозадержание и снегораспределение, регулирование местного стока, сокращение эрозионных процессов, сохранение биологического разнообразия, пыле- и газопоглощение, повышение продуктивности агроценозов и др.

В конечном итоге это завершается достижением основной цели агролесомелиорации – коренным улучшением земель сельскохозяйственного назначения или земель, предназначенных для производства сельскохозяйственной продукции.

Синергетические эффекты могут снижаться или исчезать при деградации или распаде систем агролесомелиорации (на любом уровне ранжирования), вызванных ошибками антропогенной деятельности или вариациями взаимосвязей хаоса и порядка при климатических стрессах.

Список литературы

- Баранцев Р.Г. 1999. Нелинейность – когерентность – открытость как системная триада синергетики. Мост, 29: 54–55.
- Богданов А.А. 1989. Тектология: (Всеобщая организационная наука). В 2-х кн.: Кн. 1. Редколлегия: Л.И. Абалкин (отв. ред.) и др. М., Экономика, 304 с.
- Василенко Н.А. 2008. Самоорганизация древесных ценозов. Владивосток, Дальнаука, 170 с.
- Докучаев В.В. 1892. Наши степи прежде и теперь. Правительственный вестник, 27: 39–41.
- Ивонин В.М. 2020. Визуальная модель системы лесных мелиораций природно-антропогенных ландшафтов. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 3(39): 68–82. DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-68-82
- Ивонин В.М., Воскобойникова И.В. 2021. Ландшафтная агролесомелиорация. Мелиорация и гидротехника, 11(3): 54–77. DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-54-77
- Ивонин В.М. 2022. Мелиоративные системы: основы общей теории. Мелиорация и гидротехника, 12(1): 119–140. DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-119-140
- Ивонин В.М. 2017. Обоснование системы лесных мелиораций природно-антропогенных ландшафтов. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 3(27): 18–31.
- Кириллова Т.В., Кириллова О.В., Кокель С.В. 2016. Системная методология: теория и практика. Современные проблемы науки и образования, 3: 265.



- Лисичкина Н.В., Голоктионова Ю.Г. 2015. Синергетика как способ решения проблемы прогнозирования динамики развития сложных социально-экономических систем. *Фундаментальные исследования*, 7(2): 413–417.
- Мальцева Н.Н. 2009. Становление и методологические проблемы синергетического подхода. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Философия. Социология. Право*, 2(57): 173–182.
- Панов В.И. 2012. Кластерно-синергетическое влагоберегающее агроприродопользование с лесофитомелиорацией. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*, 2(26): 67–73.
- Промотов М.А. 2004. Синергетический подход к энергосберегающим процессам. *Успехи современного естествознания*, 4: 163–164.
- Романова И.К. 2016. Современные методы визуализации многомерных данных: анализ, классификация, реализация, приложения в технических системах. *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*, 3: 133–167. DOI: 10.7463/0316.0834876
- Рулев А.С., Пугачёва А.М. 2019. Формирование новой агролесомелиоративной парадигмы. *Вестник Российской академии наук*, 89(10): 1044–1051. DOI: 10.31857/S0869-587389101044-1051
- Сучков Д.К. 2021. Эколого-экономическая эффективность защитного лесоразведения в аридной зоне. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 13(3): 119–138. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-119-138
- Тарасов С.А., Пигорев И.Я., Тарасов А.А. 2018. Синергетические эффекты при взаимодействии факторов в практике земледелия. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, 6: 81–87.
- Федоренко В.Ф. 2019. Тенденции биотехнологического развития сельского хозяйства. *Сельскохозяйственные машины и технологии*, 13(4): 8–15. DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-4-8-15
- Хакен Г. 2003. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии. Москва-Ижевск, Институт компьютерных исследований, 320 с.
- Alao J.S., Shuaibu R.B. 2013. Agroforestry Practices and Concepts in Sustainable Land Use Systems in Nigeria. *Journal of Horticulture and Forestry*, 5(10): 156–159. DOI: 10.5897/JHF11.055
- Kassie G.W. 2018. Agroforestry and Farm Income Diversification: Synergy or Trade-off? The Case of Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 6 (8). DOI: 10.1186/s40068-017-0085-6
- Lasco R.D., Delfino R.J.P., Espaldon M.L.O. 2014. Agroforestry Systems: Helping Smallholders Adapt to Climate Risks While Mitigating Climate Change. *WIREs Climate Change*, 5(6): 825–833. DOI: 10.1002/wcc.301
- Van Noordwijk M., Duguma L.A., Dewi S., Leimona B., Catacutan D.C., Lusiana B., Öborn I., Hairiah K., Minang P.A. 2018. SDG Synergy Between Agriculture and Forestry in the Food, Energy, Water and Income Nexus: Reinventing Agroforestry? *Current Opinion in Environmental Sustainability* 34: 33–42. DOI: 10.1016/j.cosust.2018.09.003
- Yakimov V. 2018. Analytic Overlook of the Methodology of Synergetics in Postnonclassical Science. *Baltic Journal of Economic Studies*, 4(2): 254–260. DOI: 10.30525/2256-0742/2018-4-2-254-260

References

- Barancev R.G. 1999. Nelinejnost – kogerentnost – otkrytost kak sistemnaya triada sinergetiki [Nonlinearity – Consensus – Openness as a Systemic Triad of Synergetics]. *Most*, 29: 54–55.
- Bogdanov A.A. 1989. Tektologiya: Vseobschaya organizacionnaya nauka [Tectology: (General Organizational Science)]. In 2 book. In 1. Ed. by L.I. Abalkin. Moscow, Publ. Ekonomika, 304 p.
- Vasilenko N.A. 2008. Samoorganizaciya drevesnih cenozov [Self-Organization of Tree Cenoses]. Vladivostok, Publ. Dalnauka, 171 p.
- Dokuchaev V.V. 1892. Nashi stepi prejde i teper [Our Steppes Before and Now]. *Pravitelstvennyy vestnik*, 27: 39–41.
- Ivonin V.M. 2020. Visual Model of Forest Reclamation System of Natural Anthropogenic Landscapes. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii*, 3(39): 68–82 (in Russian). DOI: 10.31774/2222-1816-2020-3-68-82
- Ivonin V.M., Voskoboynikova I.V. 2021. Landscape Agroforestry Reclamation. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*, 11(3): 54–77 (in Russian). DOI: 10.31774/2712-9357-2021-11-3-54-77
- Ivonin V.M. 2022. Land Reclamation, Recultivation and Land Protection. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*, 12(1): 119–140 (in Russian). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-1-119-140
- Ivonin V.M. 2017. The Substantiation of Forestry Reclamation System of Natural-Anthropogenic Landscapes. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii*, 3(27): 18–31 (in Russian).

- Kirillova T.V., Kirillova O.V., Kokel S.V. 2016. System Methodology: Theory and Practice. Modern Problems of Science and Education, 3: 256 (in Russian).
- Lisichkina N.V., Goloktionova Yu.G. 2015. Synergetics as a Way to Solve the Problem of Forecasting Complex Socio-Economic Systems Development. Fundamental research, 7(2): 413–417 (in Russian).
- Malceva N.N. 2009. The Rise and Methodological Problems of Synergetic Approach. Belgorod State University Scientific Bulletin. Series: Philosophy. Sociology. Law, 2(57): 173–182 (in Russian).
- Panov V.I. 2012. Klasterno-sinergeticheskoe vlagosberegayushchee agroprirodopolzovanie s lesofitomelioraciej [Cluster-Synergetic Moisture-Saving Agro-Environmental Management with Forest Phytomelioration]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie, 2(26): 67–73.
- Promptov M.A. 2004. Sinergeticheskij podhod k energosberegayushchim processam [Synergetic Approach to Energy Saving Processes]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya, 4: 163–164.
- Romanova I.K. 2016. Modern Methods of Multidimensional Data Visualization: Analysis, Classification, Implementation, and Applications in Technical Systems. Science and Education of the Bauman MSTU, 3: 133–167 (in Russian). DOI: 10.7463/0316.0834876
- Rulev A.S., Pugacheva A.M. 2019. Formation of a New Agroforestry Paradigm. Herald of the Russian Academy of Sciences, 89 (5): 495–501 (in Russian). DOI: 10.1134/S1019331619050071
- Suchkov D.K. 2021. Environmental and Economic Efficiency Protective Afforestation in the Arid Zoned. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 13(3): 119–138 (in Russian). DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-3-119-138
- Tarasov S.A., Pigorev I.J., Tarasov A.A. 2018. Synergetic Effects in the Interaction of Factors in Agricultural Practices. Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj selskohozyajstvennoj akademii, 6: 81–87 (in Russian).
- Fedorenko V.F. 2019. Trends in Biotechnological Development of Agriculture. Agricultural Machinery and Technologies, 13(4): 8–15 (in Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2019-13-4-8-15
- Haken H. 2003. Erfolgsgeheimnisse der Natur. Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken. Berlin, Rowohlt, 320 p.
- Alao J.S., Shuaibu R.B. 2013. Agroforestry Practices and Concepts in Sustainable Land Use Systems in Nigeria. Journal of Horticulture and Forestry, 5(10): 156–159. DOI: 10.5897/JHF11.055
- Kassie G.W. 2018. Agroforestry and Farm Income Diversification: Synergy or Trade-off? The Case of Ethiopia. Environmental Systems Research, 6(8). DOI: 10.1186/s40068-017-0085-6
- Lasco R.D., Delfino R.J.P., Espaldon M.L.O. 2014. Agroforestry Systems: Helping Smallholders Adapt to Climate Risks While Mitigating Climate Change. WIREs Climate Change, 5(6): 825–833. DOI: 10.1002/wcc.301
- Van Noordwijk M., Duguma L.A., Dewi S., Leimona B., Catacutan D.C., Lusiana B., Öborn I., Hairiah K., Minang P.A. 2018. SDG Synergy Between Agriculture and Forestry in the Food, Energy, Water and Income Nexus: Reinventing Agroforestry? Current Opinion in Environmental Sustainability, 34: 33–42. DOI: 10.1016/j.cosust.2018.09.003
- Yakimtov V. 2018. Analytic Overlook of the Methodology of Synergetics in Postnonclassical Science. Baltic Journal of Economic Studies, 4(2): 254–260. DOI: 10.30525/2256-0742/2018-4-2-254-260

*Поступила в редакцию 03.08.2022;
поступила после рецензирования 02.09.2022;
принята к публикации 23.09.2022*

*Received August 03, 2022;
Revised September 02, 2022;
Accepted September 23, 2022*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ивонин Владимир Михайлович, профессор кафедры лесоводства и лесных мелиораций Новочеркасского инженерно-мелиоративного института – филиала Донского государственного аграрного университета, г. Новочеркасск, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir M. Ivonin, professor of the Department of Forestry and Forest Reclamation of the Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – a branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russia