

РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА/REGIONAL AND SECTORAL ECONOMICS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.16>АГРОБИОКЛАСТЕРЫ КАК ЯДРО ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ: ТРАНСФОРМАЦИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В РОССИИ

Научная статья

Мурашева А.А.¹, Чуksин И.В.², Беспалов Н.А.^{3,*}¹ORCID : 0000-0002-8221-8008;²ORCID : 0000-0001-9788-2692;³ORCID : 0009-0007-2971-6183;^{1,2,3} Государственный университет по землеустройству, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (bespalow2219[at]mail.ru)

Аннотация

В статье обосновывается тезис о том, что агробиокластеры являются оптимальной организационно-территориальной формой для реализации принципов циркулярной экономики в сельском хозяйстве. Цель работы — доказать, что кластерный подход позволяет преодолеть «проблему безбилетника» при использовании земель как общественного блага и создать устойчивую самоподдерживающуюся экосистему. На основе анализа теоретических предпосылок и современных вызовов (деградация ресурсов, климатические изменения) авторы разрабатывают многоуровневую модель формирования циркулярной экосистемы, центральное место в которой занимает агробиокластер. Подробно рассматриваются технологические (умное земледелие), экономические (оценка потенциала земли) и управленческие (пространственное зонирование) механизмы, обеспечивающие функционирование кластера в логике замкнутого цикла. Делается вывод, что внедрение кластерной модели способно стать стратегическим инструментом для перехода России к ресурсоэффективному и климатически нейтральному сельскому хозяйству, одновременно решая задачи продовольственной безопасности и сохранения экосистем.

Ключевые слова: агробиокластер, циркулярная экосистема, экономика замкнутого цикла, сельскохозяйственное землепользование, проблема безбилетника, устойчивое сельское хозяйство, замкнутые производственные циклы.

AGROBIOCLUSTERS AS THE CORE OF A CIRCULAR ECOSYSTEM: TRANSFORMING AGRICULTURAL
LAND USE IN RUSSIA

Research article

Murasheva A.A.¹, Chuksin I.V.², Bespalov N.A.^{3,*}¹ORCID : 0000-0002-8221-8008;²ORCID : 0000-0001-9788-2692;³ORCID : 0009-0007-2971-6183;^{1,2,3} State University of Land Use Planning, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (bespalow2219[at]mail.ru)

Abstract

The article substantiates the thesis that agrobioclusters are the optimal organisational and territorial form for implementing the principles of the circular economy in agriculture. The aim of the work is to prove that the cluster approach allows overcoming the 'free rider problem' when using land as a public good and creating a sustainable, self-supporting ecosystem. Based on an analysis of theoretical assumptions and contemporary challenges (resource degradation, climate change), the authors develop a multi-level model for the development of a circular ecosystem, with agrobioclusters at its core. Technological (smart farming), economic (land potential assessment), and managerial (spatial zoning) mechanisms that ensure the functioning of the cluster in a closed-loop logic are reviewed in detail. The conclusion is made that the introduction of the cluster model can become a strategic tool for Russia's transition to resource-efficient and climate-neutral agriculture, while simultaneously addressing the challenges of food security and ecosystem conservation.

Keywords: agrobioclusters, circular ecosystem, closed-loop economy, agricultural land use, free rider problem, sustainable agriculture, closed production cycles.

Введение

Обеспечение долгосрочной продовольственной безопасности в условиях глобальных экологических вызовов представляет собой одну из ключевых стратегических задач для Российской Федерации. Антропогенное давление на агроэкосистемы, проявляющееся в деградации почв, истощении водных ресурсов и потере биоразнообразия, усугубляется рисками, связанными с изменением климата [1], [8]. Эти тенденции свидетельствуют об исчерпании потенциала традиционной линейной модели сельского хозяйства, основанной на экстенсивной эксплуатации природных ресурсов и генерации значительных потоков отходов. В ответ на эти вызовы в национальной политике, начиная с Концепции перехода к устойчивому развитию, закреплён императив перехода к сбалансированной модели, совмещающей экономический рост с сохранением природно-ресурсного потенциала для будущих поколений [2]. Современная «зеленая» экономика актуализирует создание регуляторных и стимулирующих условий для формирования ресурсоэффективного и экологически безопасного агропромышленного комплекса (АПК).

Фундаментальной преградой на пути к устойчивому землепользованию является классическая экономическая проблема коллективного действия, известная как «трагедия общин» или «проблема безбилетника» [3]. Земли сельскохозяйственного назначения, обладая признаками общественного блага, при отсутствии чётких координирующих механизмов становятся объектом рационального эгоистического поведения отдельных пользователей. Стремление к максимизации частной краткосрочной выгоды ведёт к переэксплуатации, деградации почвенного покрова и истощению ресурса, ущерб от которого распределяется на всё общество. Таким образом, преодоление этой проблемы требует не только технологической модернизации, но и институциональных инноваций, создающих такую систему взаимоотношений, при которой индивидуальная экономическая целесообразность согласуется с долгосрочными общественными и экологическими интересами.

В этом контексте центральной исследовательской задачей становится поиск и обоснование такой организационно-территориальной формы хозяйствования, которая бы внутренне была нацелена на реализацию принципов циркулярной экономики. Данные принципы, предполагающие замкнутость материальных и энергетических потоков, минимизацию отходов и максимальное использование вторичных ресурсов [4], выступают теоретическим фундаментом для трансформации АПК. Однако их практическое воплощение на уровне разрозненных сельхозпредприятий затруднительно в силу высоких транзакционных издержек, недостатка кооперации и технологической разобщённости. При этом опыт успешных кластерных структур в агропромышленном секторе, как в мире (например, Food Valley в Нидерландах, кластер органического земледелия в Дании), так и в России (пилотные проекты в Белгородской, Калужской областях), демонстрирует потенциал кооперации для решения подобных комплексных задач.

Целью настоящего исследования является доказательство тезиса о том, что агробιοκластер — как интегрированная структура, объединяющая производителей, переработчиков, научные, образовательные и управленческие институты на определённой территории — выступает оптимальным ядром для формирования устойчивой циркулярной экосистемы использования сельскохозяйственных земель. Кластерный подход рассматривается в качестве ключевого механизма, позволяющего преодолеть проблему «безбилетника» через создание общих правил, синергию участников и организацию замкнутых производственных циклов.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1. Выполнить анализ теоретических предпосылок и современных вызовов, обуславливающих необходимость перехода от линейной к циркулярной модели сельскохозяйственного землепользования в России.
2. Разработать концептуальную многоуровневую модель циркулярной экосистемы, центральным системообразующим элементом которой выступает агробιοκластер.
3. Детально рассмотреть комплекс технологических, экономических и управленческих механизмов, обеспечивающих функционирование кластера в логике замкнутого цикла (агробιοκластера).
4. Обосновать потенциальный мультипликативный эффект от внедрения кластерной модели, включая вклад в обеспечение продовольственной безопасности, снижение экологической нагрузки, повышение конкурентоспособности АПК и устойчивое развитие сельских территорий.

Проведенное исследование базируется на методологии системного анализа и синтеза, что позволяет представить агробιοκластер не как изолированную форму, а как интегральный стратегический инструмент для перехода России к ресурсоэффективному и климатически нейтральному сельскому хозяйству.

Теоретические основы циркулярной экосистемы в сельском хозяйстве

Современный агропромышленный комплекс в глобальном масштабе исторически сформировался как линейная система по принципу «добыть — произвести — использовать — выбросить». Эта модель, ориентированная на краткосрочную максимизацию урожайности, базируется на интенсивном применении синтетических удобрений, пестицидов, истощающих практик земледелия и приводит к генерации значительных потоков органических и технологических отходов [5]. Результатом становится прогрессирующая деградация ключевого актива — почвенного плодородия, что ставит под угрозу долгосрочную устойчивость всего сектора и противоречит принципам сохранения природного капитала для будущих поколений.

Альтернативой выступает парадигма циркулярной экономики, применяемая и в сфере сельского хозяйства. Её сущность заключается в трансформации линейных цепочек создания стоимости в замкнутые циклы, где отходы одной подсистемы становятся ресурсами для другой [4], [6]. В агроκластере это предполагает:

- Минимизацию потерь и отходов на всех этапах — от поля до потребителя.
- Вовлечение побочной продукции и органических отходов (солома, навоз, помёт) обратно в производственный цикл в виде удобрений, биогаза, кормовых добавок или сырья для биоэкономики.
- Восстановление экосистемных услуг, таких как естественное плодородие почвы, биоразнообразие и регулирование водного режима, что снижает зависимость от внешних материально-энергетических ресурсов.

Таким образом, циркулярная экосистема в сельском хозяйстве представляет собой синергетическую триаду (Рисунок 1):

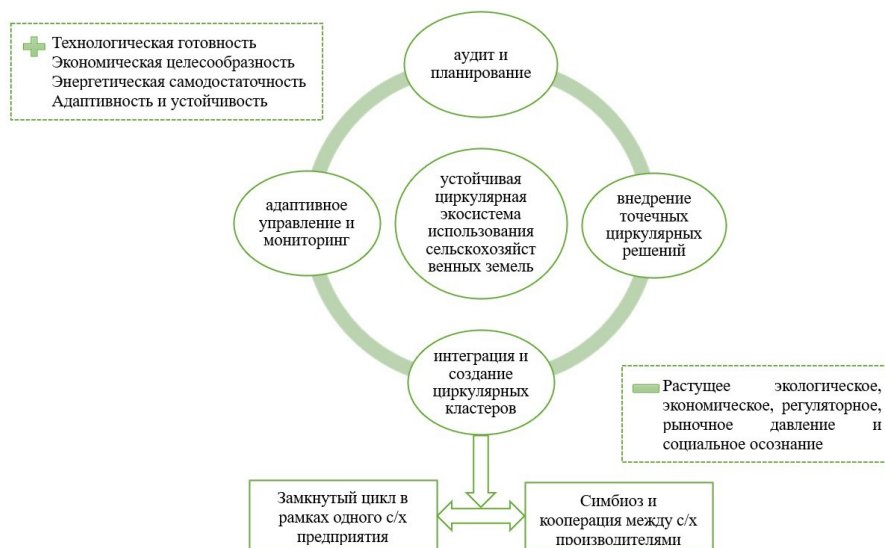


Рисунок 1 - Модель устойчивой циркулярной экосистемы использования земель сельскохозяйственного назначения

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.16.1>

1. Устойчивое землепользование — как возобновляемый природный капитал и источник разнообразной биомассы.
2. Зелёные и цифровые технологии — как двигатель преобразований, обеспечивающий прецизионное управление ресурсами (вода, удобрения), мониторинг состояния экосистем и оптимизацию логистики [9].
3. Экономика замкнутого цикла — как архитектор новых технологических цепочек и бизнес-моделей, создающих экономическую целесообразность для циркуляции ресурсов.

Преодоление «проблемы безбилетника» в использовании земель становится возможным именно в рамках такой экосистемы. Когда участники связаны общим интересом к долгосрочной продуктивности территории и вовлечены во взаимовыгодный обмен ресурсами, индивидуальная рациональность начинает совпадать с коллективной. Эгоистичная эксплуатация теряет смысл, так как деградация общего актива (земли) напрямую подрывает устойчивость всей связанной сети производителей, переработчиков и сервисных компаний. Таким образом, циркулярная модель закладывает не только технологический, но и институциональный фундамент для ответственного землепользования.

Концептуальная модель и механизмы формирования циркулярной экосистемы

На основе теоретических предпосылок нами разработана концептуальная модель устойчивой циркулярной экосистемы, ядром которой выступает агробиокластер — территориально-отраслевое объединение, целенаправленно создающее замкнутые циклы обращения биомассы и сопутствующих ресурсов (Рисунок 2).

Кластер является центром сборки, где происходит интеграция природного капитала (земель), технологических инноваций и экономических механизмов. Его формирование и эффективное функционирование требуют реализации шести взаимосвязанных направлений.

1. Стратегическое пространственное планирование и зонирование. Это основа для рационального размещения элементов кластера таких как:

Биоэкономическое районирование: картирование земель по их агроэкологическому и производственному потенциалу (особо ценные, ценные, малоценные) для целевого использования.

Создание экологических коридоров и буферных зон для сохранения биоразнообразия и защиты водных объектов.

Оптимизация землепользования на региональном уровне с выделением зон под энергетические культуры, глубокую переработку биомассы и регенеративное земледелие.

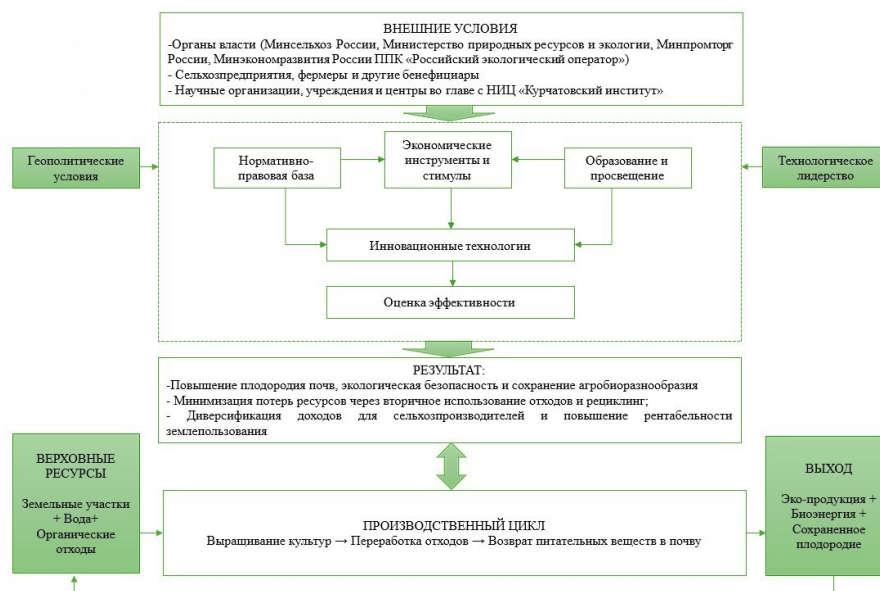


Рисунок 2 - Модель экономического механизма регулирования использования земель сельскохозяйственного назначения с позиции экономики замкнутого цикла

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.164.16.2>

2. Технологическая трансформация на основе цифровых решений (умное земледелие). Цифровизация является критическим элементом, обеспечивающим управляемость сложной циркулярной системы:

Системы точного земледелия: GPS-навигация, спектральные сенсоры для мониторинга состояния посевов, дозированное внесение ресурсов.

Цифровые двойники агроэкосистем и производственных процессов для моделирования сценариев, прогнозирования урожайности и оптимизации потоков.

Трекинг биомассы «от поля до переработки» с использованием технологий IT и блокчейн для обеспечения прослеживаемости и эффективного управления цепочками создания стоимости.

3. Развитие экономических механизмов оценки и учёта. Необходим переход от учёта земли только как площади к оценке её комплексного биоэкономического потенциала. Это включает [10], [11]:

Методики денежной оценки экосистемных услуг, предоставляемых землёй (депонирование углерода, очистка воды, поддержание биоразнообразия).

Учёт «скрытых» затрат на деградацию и «скрытых» выгод от восстановительных практик.

Создание системы «зеленого» финансирования и страхования, привязанной к выполнению экологических стандартов землепользования.

4. Усиление регулирующей и координирующей роли государства. Государство выступает ключевым субъектом в создании «правил игры» и преодолении рыночных провалов:

Адаптация земельного и экологического законодательства под задачи циркулярной экономики.

Создание межведомственных координационных советов по выработке единой земельной и биоэкономической политики.

Стимулирование через механизмы ГЧП: субсидии на внедрение зеленых технологий, льготное кредитование циркулярных проектов, компенсационные выплаты за экосистемные услуги.

5. Экологизация сельскохозяйственных практик. Непосредственные технологические меры на уровне поля:

Внедрение принципов биологизации земледелия: применение органических удобрений (компост, биогумус), использование сидеральных и почвопокровных культур в севооборотах, агролесоводство, что способствует восстановлению почвенного плодородия естественным путём.

Создание замкнутых систем «растениеводство-животноводство» для взаимного обеспечения кормами и органическими удобрениями.

Переработка органических отходов в удобрения (компостирование) и возврат питательных веществ в почву.

6. Формирование новых цепочек добавленной стоимости. Кластер должен стать платформой для развития биоэкономики [12]:

Организация глубокой переработки побочной продукции (соломы, лузги, жмыха) в корма, биоразлагаемые материалы, биопластики, биотопливо.

Промышленный симбиоз между сельхозпредприятиями, перерабатывающими заводами и энергетическими компаниями, где отходы/энергия одного становятся сырьём для другого.

Реализация данных направлений в рамках агробиокластера создаёт синергетический эффект. Управленческие и экономические механизмы (п.1,3,4) формируют институциональную рамку, которая делает технологические и агроэкологические инновации (п.2,5) экономически выгодными и устойчивыми, что, в свою очередь, стимулирует создание новых циркулярных бизнес-моделей (п.6). В результате кластер превращается в самоподдерживающуюся

систему, где экологическая устойчивость становится источником долгосрочной экономической ренты и конкурентоспособности, превращается в агробиокластер.

Агробиокластер как организационная форма реализации циркулярной экосистемы

Концептуальная модель циркулярной экосистемы требует адекватной организационно-экономической «оболочки», способной обеспечить практическую интеграцию природного, технологического и институционального компонентов. Такой оболочкой, на наш взгляд, выступает агробиокластер — добровольное территориально-отраслевое объединение сельхозпроизводителей, перерабатывающих и сервисных предприятий, научно-исследовательских и образовательных организаций, органов власти и институтов развития, сфокусированное на создании замкнутых циклов производства и глубокой переработке биомассы [7].

Вызовы формирования и ресурсного обеспечения агробиокластеров мотивированы комплексом взаимосвязанных факторов:

- Экономические: снижение издержек за счёт синергии и общей инфраструктуры; создание новых источников дохода от переработки отходов и побочной продукции; повышение конкурентоспособности и рыночной стоимости продукции за счёт «зелёного» бренда; снижение ресурсных и регуляторных рисков.

- Экологические: коллективное решение проблемы утилизации отходов, снижение углеродного следа, восстановление плодородия почв и адаптация к климатическим изменениям на территориальном уровне.

- Социальные и институциональные: развитие кооперации и доверия между участниками рынка, закрепление кадров и создание высокотехнологичных рабочих мест на селе, выполнение государственных задач по устойчивому развитию АПК.

Ресурсное обеспечение устойчивого функционирования кластера носит софинансируемый характер и формируется из нескольких источников:

1. Государственные ресурсы (федеральные и региональные): целевое бюджетное финансирование пилотных проектов в рамках ГЧП; льготные кредиты и гарантии от институтов развития (ВЭБ.РФ, Корпорация МСП); налоговые льготы для участников кластера; софинансирование создания критической инфраструктуры (биогазовые станции, логистические центры).

2. Частные инвестиции участников кластера: вклады предприятий в общую инфраструктуру и технологическое перевооружение собственных производств в соответствии с циркулярной стратегией кластера.

3. Привлечённое финансирование: «зелёные» и ESG-облигации, выпускаемые под проекты кластера; средства международных климатических фондов и программ поддержки устойчивого развития; краудфандинг и кооперативное финансирование.

4. Научно-интеллектуальные ресурсы: компетенции научных и образовательных организаций-участников, которые обеспечивают НИР, подготовку кадров и разработку цифровых решений, что является нематериальным, но ключевым ресурсом.

Таким образом, агробиокластер становится точкой консолидации разнородных ресурсов, трансформируя их в синергетический эффект циркулярной экосистемы.

Агробиокластер принципиально отличается от простой агломерации предприятий. Его системообразующими признаками являются:

1. Географическая концентрация и синергия: участники расположены в пределах экономически обоснованного радиуса, что минимизирует логистические издержки на перемещение сырья, побочной продукции и отходов, создавая предпосылки для промышленного симбиоза.

2. Кооперация и сетевые связи: взаимодействие строится не только на рыночных сделках, но и на долгосрочном сотрудничестве, совместных инвестициях в инфраструктуру (например, биогазовые установки или заводы по переработке органики) и обмену знаниями.

3. Общая инфраструктура и сервисы: кластер часто включает или развивает общие объекты: логистические центры, центры компетенций по точному земледелию, лаборатории контроля качества, цифровые платформы для трекинга биомассы.

4. Инновационная и циркулярная ориентация: стратегия развития кластера изначально формулируется вокруг принципов замкнутого цикла и биоэкономики, что направляет инвестиции и НИР в соответствующие технологии.

Именно кластерная форма является прямым институциональным ответом на «проблему безбилетника». В рамках кластера:

- Формируются общие, внутренние «правила игры» (стандарты землепользования, экологические требования, регламенты обмена ресурсами), соблюдение которых становится обязательным условием членства и получения выгод от участия в кооперации.

- Создаются механизмы взаимного контроля и доверия. Близость и постоянное взаимодействие повышают прозрачность и снижают риски поведения, направленные на извлечение личной выгоды. Репутация становится значимым активом.

- Индивидуальная выгода увязывается с коллективным результатом. Благополучие отдельного фермера начинает напрямую зависеть от общего здоровья экосистемы и эффективности всей цепочки создания стоимости. Деградация земель у одного участника негативно сказывается на сырьевой базе для переработчиков внутри кластера, создавая экономические стимулы для совместного контроля за состоянием ресурсов.

Таким образом, кластер трансформирует земли сельскохозяйственного назначения из объекта конкурирующего индивидуального пользования (публичное благо) в объект совместного ответственного управления (коллективное частное благо в рамках коалиции). Механизмы функционирования такого кластера для достижения циркулярности включают:

- Координационный совет или управляющую компанию, отвечающую за стратегию, привлечение инвестиций и разрешение споров.
- Цифровую платформу для управления материальными потоками, позволяющую в реальном времени сопоставлять объёмы образующихся побочных продуктов (например, соломы) с потребностями других участников (производство кормов, подстилки, биотоплива).
- Единую систему экологического мониторинга и отчётности, включая учёт углеродного следа и стока.
- Общие маркетинговые и финансовые инструменты, такие как зеленые облигации кластера или единый бренд «устойчивой продукции», подкрепленный верифицируемыми стандартами.

Внедрение агробιοοκластерной модели позволяет перейти от фрагментарных попыток внедрения циркулярных практик на уровне отдельных хозяйств к системной трансформации целых территорий. Кластер становится живой лабораторией и драйвером перехода к ресурсоэффективному, климатически нейтральному сельскому хозяйству, одновременно выступая точкой роста для сельских территорий за счёт создания новых перерабатывающих производств и высококвалифицированных рабочих мест.

Заключение

Проведённое исследование подтверждает, что переход к циркулярной модели сельскохозяйственного землепользования является не опциональным трендом, а стратегической необходимостью для обеспечения долгосрочной конкурентоспособности и экологической устойчивости агропромышленного комплекса России. Преодоление системных ограничений, порождаемых линейной экономикой и «проблемой безбилетника», требует принципиально новых организационных решений.

Основным выводом работы является доказательство тезиса о том, что агробιοοκластер выступает оптимальной и эффективной организационно-территориальной формой, ядром для формирования устойчивой циркулярной экосистемы. Кластерная модель обеспечивает синергию между участниками, создает внутренние экономические стимулы для бережного использования земель как общего актива и предоставляет критическую массу для внедрения замкнутых технологических циклов. В рамках кластера циркулярность перестаёт быть затратной инициативой отдельных энтузиастов, становясь основой общей бизнес-модели, повышающей ресурсоэффективность и добавляющей стоимость.

Для практической реализации данной модели и перехода от теории к практике необходимы скоординированные действия всех стейкхолдеров. В связи с этим рекомендуется:

Органам государственной власти (федеральный и региональный уровень):

1. Разработать и утвердить концепцию развития агробιοοκластеров циркулярного типа как инструмента реализации государственной политики в области устойчивого развития АПК и биоэкономики.
2. Создать целевую программу государственно-частного партнёрства (ГЧП) с пакетом финансовых и нефинансовых мер поддержки: льготное кредитование, софинансирование инфраструктуры (биогаз, логистические хабы), налоговые льготы для участников кластеров, применяющих утверждённые стандарты циркулярного землепользования.
3. Усовершенствовать нормативно-правовую базу, внедрив понятия «биоэкономический потенциал земель», «циркулярный агроκластер», «экосистемные услуги сельхозземель», и разработать методики их оценки.
4. Инициировать пилотные проекты по созданию агробιοοκластеров в ключевых аграрных регионах, обеспечив их научно-методическое сопровождение.

Бизнес-сообществу и инвесторам:

1. Рассматривать вступление в агробιοοκластеры или их инициацию как стратегическую инвестицию в долгосрочную ресурсную безопасность и снижение экологических рисков.
2. Активно участвовать в создании совместной инфраструктуры (переработка отходов, цифровые платформы), что снижает индивидуальные издержки и создаёт новые источники дохода.
3. Внедрять принципы циркулярности и соответствующие стандарты (органик, регенеративное земледелие) для повышения конкурентоспособности продукции на внутреннем и мировом рынках.

Перспективы дальнейших исследований авторы видят в углублённом изучении:

- Оптимальных моделей управления и финансирования агробιοοκластеров.
- Влияния кластеров на устойчивость сельских поселений и миграционные процессы.
- Разработке отечественных технологических решений для замкнутого цикла, включая цифровые платформы и оборудование для переработки биомассы.
- Адаптации конкретных технологий биологизации и регенеративного земледелия к различным почвенно-климатическим зонам России.

Таким образом, целенаправленное формирование агробιοοκластеров как ядра циркулярной экосистемы представляет собой действенный путь трансформации сельскохозяйственного землепользования России. Этот путь ведёт к созданию инновационной, климатически нейтральной и социально ответственной аграрной экономики, способной гарантировать продовольственную безопасность страны в XXI веке, сохраняя её главное богатство — плодородные земли.

**Конфликт интересов**

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. О Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию: Указ Президента Российской Федерации от 01.04.1996 г. № 440. — URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/9120> (дата обращения: 05.12.2025).
2. МакКоннелл К.Р. Экономика: принципы, проблемы и политика / К.Р. МакКоннелл, С.Л. Брю. — Москва: Республика, 1992. — 399 с.
3. Дробкова О.С. Контроллинг циклической экономики: переход от линейных к замкнутым зеленым цепочкам поставок / О.С. Дробкова, М.Е. Куликова // Экономика, предпринимательство и право. — 2025. — Т. 15. — № 8. — С. 5407–5428. — DOI: 10.18334/epp.15.8.123375
4. Фонтана К.А. Экономика замкнутого цикла – циркулярные образы будущего / К.А. Фонтана, Б.А. Ерзнкян // Экономическая наука современной России. — 2023. — № 3 (102). — С. 32–46. — DOI: 10.33293/1609-1442-2023-3(102)-32-46
5. Tilman D. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture / D. Tilman, C. Balzer, J. Hill et al. // Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2011. — № 108 (50). — P. 20260–20264. — DOI: 10.1073/pnas.1116437108
6. Дорохина Е.Ю. Экономика замкнутых циклов: тенденции и перспективы: монография / Е.Ю. Дорохина, Д.Е. Кучер, С.Г. Харченко; под ред. Е.Ю. Дорохиной. — Москва: МАКС Пресс, 2023. — 128 с.
7. A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy. — European Commission, 2018. — URL: https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf (accessed: 05.12.2025).
8. The future of food and agriculture: Trends and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations / FAO. — 2017. — URL: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf> (accessed: 05.12.2025).
9. Eyzaguirre P.B. The role of biotechnology in sustainable agriculture / P.B. Eyzaguirre, M. Iwanaga // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 2014. — № 67 (45). — P. 12647–12653.
10. Орлова Л.В. Углеродный след продукции растениеводства при использовании технологий почвозащитного ресурсосберегающего земледелия / Л.В. Орлова, Р.И. Сафин, Г.В. Кнурова и др. // Земледелие. — 2024. — № 7. — С. 9–13. — DOI: 10.24412/0044-3913-2024-7-9-13
11. Суховеева О.Э. Проблемы моделирования биогеохимического цикла углерода в агроландшафтах / О.Э. Суховеева // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. — 2020. — Т. 162. — Кн. 3. — С. 473–501. — DOI: 10.26907/2542-064X.2020.3.473-501
12. Agricultural Market Research. The Carbon Footprint of Sorghum // Sorghum Checkoff. — URL: <https://www.sorghumcheckoff.com/wp-content/uploads/2021/10/The-Carbon-Footprint-of-Sorghum.pdf> (accessed: 05.12.2025).

Список литературы на английском языке / References in English

1. O Kontseptsii perekhoda Rossiyskoy Federatsii k ustoychivomu razvitiyu [On the Concept of the Transition of the Russian Federation to Sustainable Development]: Decree of the President of the Russian Federation No. 440 of 01.04.1996. — URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/9120> (accessed: 05.12.2025). [in Russian]
2. MakKonnell K.R. E'konomiks: principy', problemy' i politika [Economics: Principles, Problems, and Policies] / K.R. MakKonnell, S.L. Bryu. — Moscow: Respublika, 1992. — 399 p. [in Russian]
3. Drobkova O.S. Kontrolling tsiklicheskoj ekonomiki: perekhod ot lineinikh k zamknutim zelenim tsepochkam postavok [Circular economy controlling: transition from linear to closed green supply chains] / O.S. Drobkova, M.E. Kulikova // Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo [Journal of Economics, Entrepreneurship and Law]. — 2025. — Vol. 15. — № 8. — P. 5407–5428. — DOI: 10.18334/epp.15.8.123375 [in Russian]
4. Fontana K.A. E'konomika zamknutogo cikla – cirkulyarnye obrazy' budushhego [Circular economy – circular visions of the future] / K.A. Fontana, B.A. Erznkyan // Economics of Contemporary Russia. — 2023. — № 3 (102). — P. 32–46. — DOI: 10.33293/1609-1442-2023-3(102)-32-46 [in Russian]
5. Tilman D. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture / D. Tilman, C. Balzer, J. Hill et al. // Proceedings of the National Academy of Sciences. — 2011. — № 108 (50). — P. 20260–20264. — DOI: 10.1073/pnas.1116437108
6. Dorokhina, E.Yu. (2023). Ekonomika zamknutyh ciklov: tendencii i perspektivy: monografiya [Circular Economy: Trends and Prospects] / E.Yu. Dorokhina. — Moscow: MAKS Press. — 128 p. [In Russian].
7. A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy. — European Commission, 2018. — URL: https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf (accessed: 05.12.2025).



8. The future of food and agriculture: Trends and challenges. Food and Agriculture Organization of the United Nations / FAO. — 2017. — URL: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf> (accessed: 05.12.2025).
9. Eyzaguirre P.B. The role of biotechnology in sustainable agriculture / P.B. Eyzaguirre, M. Iwanaga // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 2014. — № 67 (45). — P. 12647–12653.
10. Orlova L.V. Uglerodny'j sled produkcii rastenievodstva pri ispol'zovanii texnologij pochvozashhitnogo resursosberegayushhego zemledeliya [Carbon footprint of crop production using conservation agriculture technologies] / L.V. Orlova, R.I. Safin, G.V. Knurova et al. // Agriculture. — 2024. — № 7. — P. 9–13. — DOI: 10.24412/0044-3913-2024-7-9-13 [in Russian]
11. Sukhoveeva O.E. Problemi modelirovaniya biogeokhimicheskogo tsikla ugleroda v agrolandschaftakh [Problems of modelling carbon biogeochemical cycle in agri-cultural landscapes] / O.E. Sukhoveeva // Uchen. zap. Kazan. un-ta. Ser. Yestestv. nauki [Scientific Notes of Kazan University. Series: Natural Sciences]. — 2020. — Vol. 162. — Book 3. — P. 473–501. — DOI: 10.26907/2542-064X.2020.3.473-501 [in Russian]
12. Agricultural Market Research. The Carbon Footprint of Sorghum // Sorghum Checkoff. — URL: <https://www.sorghumcheckoff.com/wp-content/uploads/2021/10/The-Carbon-Footprint-of-Sorghum.pdf> (accessed: 05.12.2025).