

DOI: <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2024.2.14>UDC 338.262
LBC 65.05Submitted: 01.03.2024
Accepted: 10.04.2024

PROSPECTS FOR DEVELOPMENT OF WATER MANAGEMENT IN ROSTOV REGION IN SYSTEM OF RELATIONS “WATER-ENERGY-FOOD”

Olga A. Chernova

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation;
Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. In modern socio-economic and environmental challenges, the sustainable development of regional water management systems must be carried out within the framework of a circular paradigm. However, not all circular approaches are sustainable. Therefore, implementing circular business models should be carried out on the principles of industrial symbiosis. The possibilities of achieving the synergistic effects of the circular economy increase significantly by implementing the water-energy-food relationship. The article substantiates the possibilities and prospects for the development of water management in the Rostov region based on intersectoral interactions between the water, energy, and food sectors of the economy. The prerequisites for the implementation of industrial symbiosis relations in the Rostov region were identified. Possible options for implementing industrial symbiosis relations, which showed good results, are proposed. The characteristics of the main processes implemented by the hydraulic system of the region to achieve sustainable development goals are given. The conclusions about the need for state institutional and infrastructural support for the development of the circular economy are drawn. The novelty of the results is that they go beyond the framework of the circular economy and represent a more holistic vision of the prospects for the development of regional water management. The conclusions can be used in regional management when adopting and developing a strategy for the development of regional water management.

Key words: water management, regional economy, concept of “water-energy-food”, industrial symbiosis, sustainable development.

Citation. Chernova O.A., 2024. Prospects for Development of Water Management in Rostov Region in System of Relations “Water-Energy-Food”. *Regionalnaya ekonomika. Yug Rossii* [Regional Economy. South of Russia], vol. 12, no. 2, pp. 165-174. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2024.2.14>

УДК 338.262
ББК 65.05Дата поступления статьи: 01.03.2024
Дата принятия статьи: 10.04.2024

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ В СИСТЕМЕ ОТНОШЕНИЙ «ВОДА – ЭНЕРГИЯ – ПРОДОВОЛЬСТВИЕ»

Ольга Анатольевна Чернова

Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация;
Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В условиях современных социально-экономических и экологических вызовов устойчивое развитие водохозяйственных комплексов регионов должно осуществляться в рамках циркулярной парадигмы. Однако не все циклические подходы являются устойчивыми. Поэтому реализация циркулярных бизнес-моделей должна осуществляться на принципах промышленного симбиоза. Возможности достижения синергетических эффектов циркулярной экономики значительно повышаются при реализации отношений «вода – энергия – продовольствие». В статье обосновываются возможности и перспективы развития водного хозяйства Ростовской области на основе

© Чернова О.А., 2024

межсекторальных взаимодействий водного, энергетического и продовольственного секторов экономики. На основе обзора научных источников показано, что концепция «вода – энергия – продовольствие» популярна во многих странах и является основой при разработке стратегий регионального развития. Определены предпосылки для реализации отношений промышленного симбиоза в Ростовской области, во многом связанные с агропромышленной специализацией региона. Предложены возможные сценарные варианты реализации отношений промышленного симбиоза, положительно зарекомендовавшие себя в зарубежной практике. Дана характеристика основных циклических процессов, реализуемых гидросистемой региона в рамках построения межсекторальных взаимодействий, с точки зрения достижения целей устойчивого развития. Сделаны выводы о необходимости государственной институциональной и инфраструктурной поддержки процессов развития циркулярной экономики. Новизна полученных результатов состоит в том, что они выходят за рамки циркулярной экономики и представляют собой более целостное видение перспектив развития регионального водного хозяйства. Полученные выводы могут быть использованы в сфере регионального управления при разработке стратегии развития регионального водного хозяйства.

Ключевые слова: водное хозяйство, экономика региона, концепция «вода – энергия – продовольствие», промышленный симбиоз, устойчивое развитие.

Цитирование. Чернова О. А., 2024. Перспективы развития водного хозяйства Ростовской области в системе отношений «вода – энергия – продовольствие» // Региональная экономика. Юг России. Т. 12, № 2. С. 165–174. DOI: <https://doi.org/10.15688/re.volsu.2024.2.14>

Постановка проблемы

В условиях существующих геополитических и социально-экономических вызовов стратегические перспективы устойчивого развития региональных экономик определяются способностью максимально полно и эффективно задействовать имеющийся ресурсный потенциал территории. При этом в контексте задач обеспечения национальной безопасности особое значение приобретает рациональное использование системообразующих ресурсов региона – водных, энергетических и продовольственных. Современные подходы к управлению устойчивым развитием региональных экономик чаще всего признают определяющую роль водных ресурсов в данной триаде [Василенко, 2006; Chipofya, Kainja, Bota, 2009; Mugagga, Nabaasa, 2016]. Однако, как справедливо отмечают Ю. Чжоу, Г. Хуан, Б. Ян, поскольку взаимосвязи в системе отношений «вода – энергия – продовольствие» носят нелинейный характер, отсутствие комплексности в принятии управленческих решений в отношении использования данных ресурсов может создать угрозу устойчивому развитию и экономической безопасности региона [Zhou, Huang, Yang, 2013]. Это определяет важную научную задачу поиска возможностей достижения синергетических эффектов, значимых для повышения устойчивости регионального развития, на основе построения отношений промышленного симбиоза в водном, энергетическом и пищевом секторах экономики.

Концепция «вода – энергия – продовольствие» (Water – Energy – Food Nexus) (далее – WEF) сформировалась в 2011 г. [Global Risks, 2011], однако до настоящего времени она оста-

ется малоизвестной в отечественных научных кругах. Имеющиеся на сегодняшний день научные публикации российских ученых в области исследования перспектив развития регионального водного хозяйства, как правило, направлены на поиск компромиссных решений в водном и остальных секторах экономики [Егорова, 2023; Косолапова, Лихацкая, 2019; Рогачев, Юрченко, 2022; Харитонов, 2014]. При этом практически не обращается внимание на возможность получения симбиотических эффектов при развитии межсекторальных взаимодействий.

В зарубежных исследованиях концепция «вода – энергия – продовольствие» находит большое распространение. Несмотря на это, как отмечают Д. Варгас, К. Ойос, О. Манрике, она пока еще остается преимущественно теоретической конструкцией и требует дальнейшей проработки вопросов построения межсекторальных рыночных стратегий и реализации новых технологий управления [Vargas, Hoyos, Manrique, 2023]. В связи с этим очевидна необходимость решения задач научного обоснования подходов к формированию механизма реализации стратегических взаимодействий в водном, энергетическом и продовольственном секторах экономики и разработки направлений практической реализации симбиотических отношений. Это определило цель данного исследования – обоснование возможностей и перспектив развития водного хозяйства Ростовской области в системе отношений «вода – энергия – продовольствие».

Гипотеза исследования состоит в том, что реализация симбиотических взаимодействий в водном, энергетическом и продовольственном секторах будут способствовать повышению ус-

тойчивости экономики региона на основе возникновения синергетических эффектов.

Концепция

«вода – энергия – продовольствие» в стратегиях регионального развития

Основными предпосылками возникновения концепции «вода – энергия – продовольствие» М. Аль-Сайди, Н. Аль-Аджиб называют: растущий дефицит ресурсов в силу демографических, климатических и других изменений, усиливающий их взаимосвязанность; кризисы последних лет, связанные с ресурсным обеспечением процессов социально-экономического развития территорий; имеющиеся провалы в отраслевых стратегиях управления [Al-Saidi, Elagib, 2017].

Изначально исследования связи «вода – энергия – продовольствие» были ориентированы на осмысление движущих сил, определяющих изменения в данной системе отношений [Bazilian et al., 2011; Ringler, Bhaduri, Lawford, 2013]. Постепенно научный интерес сместился в сторону анализа компромиссов и выявления возможностей синергии на различных уровнях управления [Ozturk, 2015]. В настоящее время в научном сообществе поиск эволюционировал от этапа концептуализации к этапу выработки практических рекомендаций использования концепции WEF в стратегиях регионального развития. При этом, как отмечают Дж. Вэй, Ю. Вэй и др., в общественном сознании произошло изменение представления о ценности водных ресурсов с восприятия их исключительно как источника экономического роста в сторону понимания их доминирующего влияния на все происходящие в глобальном масштабе изменения (социально-экономические, экологические, политические, социокультурные и пр.) [Wei, Wei, Western, 2017].

Несбалансированное развитие региональных экономик многих стран, усилившее риски их устойчивому развитию и создавая угрозы экономической, энергетической и продовольственной безопасности, предопределило интерес ученых к исследованию возможностей управления развитием водохозяйственных комплексов во взаимосвязи с пищевым и энергетическим секторами с разработкой новых решений для эффективного использования водных ресурсов. Концепция WEF отражает интегрированный подход к принятию решений на разных уровнях управления (оперативном, тактическом, стратегическом), методологическая ось которого фокусируется на синергии и

компромиссах между водными, энергетическими и продовольственными ресурсами, рассматриваемыми в экономическом, социальном и экологическом аспектах [Bois, Voix, Montastruc, 2024].

Так, М. Рахмани, С. Джахруми, Х. Дарвиши предложили модель управления ресурсами подземных вод с учетом достижения водно-продовольственной и энергетической безопасности [Rahmani, Jahromi, Darvishi, 2023]. В исследовании М. Ледари, Ю. Сабухи, С. Азамян разработана модель развития экотуризма, в которой реализуются технологии, направленные на восстановление экосистемы региона посредством рационального управления водными и энергетическими ресурсами [Ledari, Saboohi, Azamian, 2023].

Наибольшее распространение концепция «вода – энергия – продовольствие» нашла в управлении развитием сельскохозяйственных регионов. Так, в исследовании Ф. Чжан, Х. Ван, Т. Цинь формируется методологическая основа для понимания пространственных взаимосвязей водных и почвенных ресурсов в целях устойчивого развития сельскохозяйственных территорий [Zhang, Wang, Qin, 2023]. Для определения технологий ведения сельского хозяйства, обеспечивающих минимизацию производственных издержек, Ц. Хэ, Д. Лю, Б. Ван разработали метод «следа» для оценки энергетического, водного и углеродного воздействия на региональное развитие [He et al., 2024]. А. Агравал, Б. Бакши, Х. Кодамана и др. предлагают подход к оптимизации процессов производства продуктов питания, биоэнергии и потребления воды посредством рационального распределения земель под сельскохозяйственные структуры [Agrawal et al., 2024].

В то же время стоит отметить, что не все исследователи однозначно трактуют значение взаимосвязи «вода – энергия – продовольствие» в формировании региональных стратегий. В частности, Н. Вайц, К. Страмбо, Э. Кемп-Бенедикт и др. отмечают, что не ясно, какую ценность может иметь понимание данной связи для государственной политики, поскольку практическая реализация концепции WEF предполагает необходимость трансформации структуры управления в направлении реализации межсекторальной координации [Weitz et al., 2017]. В связи с этим авторы призывают пересмотреть «границы взаимосвязи» отдельных секторов экономики, а также разработать общие принципы проведения переговоров «о компромиссах» для реализации согласованной политики. При этом важной проблемой является различное восприятие ценности

заинтересованных сторон, а также различное измерение существующих барьеров взаимодействия [Bielicki et al., 2019]. Скептически относясь к возможностям практической реализации концептуальной модели WEF, Дж. Тилт, Х. Мондо, Н. Джайлз и др. отмечают, что несмотря на имеющийся у нее потенциал для решения определенных задач повышения устойчивости развития региона, на возможности реального получения ожидаемых синергетических эффектов оказывают влияние разнообразие глобальные силы, в частности торговля сельскохозяйственной продукцией, производство энергии на государственном уровне, а также изменение климатических условий [Tilt et al., 2022].

Тем не менее в целом можно констатировать, что использование концепции WEF в разработке стратегий регионального развития способствует получению синергетических эффектов, значимых для повышения устойчивости развития экономики, предлагая научно обоснованные рекомендации по совместному управлению ресурсами.

**Предпосылки развития
промышленного симбиоза
в рамках отношений
«вода – энергия – продовольствие»
в Ростовской области**

Для понимания предпосылок развития промышленного симбиоза между водным, продовольственным и энергетическим секторами экономики Ростовской области дадим им характеристику.

Водный сектор экономики Ростовской области обеспечивает совокупность снабженческих, регуляционных и культурных услуг, определяя возможности и перспективы социально-экономического развития региона [Чернова, 2022]. Площадь поверхностных вод – 4 % территории, при этом большую часть в ней занимают искусственные водоемы (Цимлянское водохранилище, Манычский каскад водохранилищ, пруды).

Климатические изменения и сильные ветра в последние годы приводят к значительному ухудшению состояния водных ресурсов региона, провоцируя значительное обмеление реки Дон, водохранилищ, что требует постоянного поиска направлений повышения эффективности функционирования водохозяйственного комплекса как за счет оптимизации водораспределения, так и на основе модернизации технологий водопотребления. Так, за последние 20 лет объемы использования свежей воды в регионе не уменьшаются,

находясь в пределах 2,3 млрд м³. Одновременно стоит отметить значительный рост объемов повторного водоснабжения с 2 млрд м³ в 2005 г. к 6,1 млрд м³ к 2018 году. Однако с тех пор его величина практически не изменилась.

Продовольственный сектор Ростовской области играет значительную роль в обеспечении продовольственной безопасности страны, находясь в первой десятке общероссийского рейтинга по производству сельскохозяйственной продукции и занимая первое место по производству зерна и подсолнечника. Около 4 % территории региона (второе место в России) отведено под сельскохозяйственную деятельность, при этом большая часть указанных территорий отдана под пашни, требующие регулярного орошения. На сельскохозяйственные нужды уходит порядка 36 % потребляемой в регионе свежей воды [Доклад Министра ... , 2022], достигая при этом 30–40 % потерь от ее использования [Чернова, Айдаркина, 2019].

Важнейшим звеном продовольственного сектора региона является пищевая промышленность. В Ростовской области производятся все основные виды продуктов питания за исключением соли и сахара. Очищенная вода используется в пищевой промышленности как основной компонент продукции при производстве напитков, при финишной обработке продуктов, а также при эксплуатации оборудования.

Энергетический сектор Ростовской области также отличается достаточно высоким уровнем развития. Регион занимает первое место в ЮФУ среди энергопроизводителей. В структуре энергопотребления сельское хозяйство занимает 3 %. Несмотря на активное развитие в регионе ветровых электростанций, основное производство энергии осуществляется в рамках традиционной энергетики 8 тепловыми, 1 гидро- и 1 атомной электростанциями. Водопотребление, связанное с производством и распределением электроэнергии, газа и воды, составляет порядка 40 % от общего забора воды. При этом в условиях высокого износа мощностей потери эффективности использования водных ресурсов в производстве электроэнергии достигают 70 % [Чернова, Айдаркина, 2019].

В целом водоемкость ВРП по Ростовской области в 2022 г. составила 4,32 м³/тыс. руб. при среднероссийском значении показателя 1,59 м³ тыс. руб. Это говорит о необходимости повышения эффективности функционирования водохозяйственного комплекса региона.

Решение этой задачи с точки зрения обеспечения устойчивого развития многие исследователи видят в реализации бизнес-моделей циркулярной экономики, базирующейся на связи «вода – энергия – продовольствие» [Матвеева и др., 2019; Baleta et al., 2019; Chen et al., 2021]. В простейшем виде данную связь можно описать следующим образом: вода необходима для производства энергии и выращивания продуктов питания; энергия необходима для снабжения экономических агентов водой и производства продуктов питания; продукты питания могут использоваться для выработки энергии.

Основные взаимосвязи водного, энергетического и продовольственного секторов экономики, на которых могут быть построены отношения промышленного симбиоза, отражены на рисунке.

При этом в Ростовской области имеются все основные предпосылки для развития данных взаимосвязей:

- значительные масштабы развития сельского хозяйства, которое является источником биоресурсов;
- высокая водоемкость регионального хозяйства при недостаточно эффективном использовании водных ресурсов;

- относительная географическая близость объектов энергетической, продовольственной и водной сферы;

- высокая степень связанности пищевой промышленности и сельского хозяйства региона;
- негативные количественные и качественные изменения состояния водных ресурсов региона ввиду пагубного климатического и антропологического воздействия.

Влияние межсекторального взаимодействия водного, энергетического и продовольственного секторов на устойчивость региональной экономики

Основная идея, лежащая в основе развития промышленного симбиоза в рамках отношений «вода – энергия – продовольствие», заключается во взаимосвязанном рассмотрении проблем и перспектив использования водных, энергетических и продовольственных ресурсов. Структура этой взаимосвязи выражается поиском компромиссов в производстве и распределении данных ресурсов.

Один из возможных сценарных вариантов реализации отношений промышленного симбиоза в водном секторе экономики представляет собой формирование региональной гидросисте-



Рисунок. Взаимосвязи водного, энергетического и продовольственного секторов экономики

Примечание. Составлено автором.

мы, действующей на основе очистки бытовых сточных вод. Вариант функционирования данной гидросистемы представлен в исследовании К.Э. Ника, В. Василаки, Д. Ренфрю и др. [Nika et al., 2022]. Основные циклические процессы, реализуемые данной гидросистемой с точки зрения достижения целей устойчивого развития, отражены в таблице.

Другой возможный сценарий межсекторального взаимодействия представлен в исследовании С. Килкиш и Б. Килкиш, разработавших модель циркулярного взаимодействия в водном, энергетическом и молочном секторе, в которой основное внимание уделяется системам водоснабжения в условиях реализации биоэнергетического направления развития молочных ферм [Kilkiş Ş., Kilkiş B., 2017]. В рамках данной модели осуществляется преобразование отходов сельскохозяйственного производства в энергию, одновременно решаются вопросы минимизации отходов и сокращения выбросов парниковых газов.

Очевидно, что разрабатываемые сценарии направлены на максимальное использование ценности воды в условиях повышенного спроса на ресурсы. При этом ценность водных ресурсов выражается в следующем: позволяет предоставлять услуги, обеспечивающие поддержку жизнедеятельности и всех видов экономической деятельности; является источником энергии; представляет собой неотъемлемый компонент технологического процесса.

Однако для практической реализации данной ценности и получения желаемых синергетических эффектов необходимы следующие ключевые условия:

предоставление устойчивых услуг водоснабжения всем экономическим агентам; обеспечение качественной очистки воды, в том числе повторно используемой; обеспечение непрерывной регенерации природных систем [Delgado et al., 2024].

Основная сложность выполнения данных условий связана с высокой степенью изношенности фондов водного хозяйства Ростовской области, что затрагивает его способность к устойчивому водоснабжению. Ситуацию усугубляет низкое качество ливневых систем водоотведения, приводящее к снижению способности водных ресурсов к самоочищению.

Наряду с этим для реализации отношений промышленного симбиоза необходима соответствующая институциональная и инфраструктурная среда. Все это обуславливает важность государственной поддержки процессов развития циркулярной экономики.

Заключение и выводы

Появление и активное развитие в последние годы концепции «вода – энергия – продовольствие» отражает переход научной мысли и региональной политики к интегративному решению проблем использования стратегически значимых для обеспечения национальной безопасности ресурсов. Имея критическую важность для поддержания жизнедеятельности и социально-экономической деятельности, водная, энергетическая и продовольственная безопасность регионов все больше подвергается риску в условиях непрек-

Таблица

Эффекты функционирования гидросистемы региона с точки зрения достижения целей устойчивого развития

Реализуемый процесс	Ожидаемые эффекты
Преобразование очищенных сточных вод в воду для фертигации (внесения жидких удобрений)	Сокращение потребности в свежей воде и удобрениях Повышение экономической ценности очищенной воды
Переработка образующегося ила в компост, что переводит его из категории «отходы» в категорию «удобрения»	Снижение объема отходов Снижение потребности в удобрениях
Использование вырабатываемого биогаза для производства энергии	Снижение выброса парниковых газов Сокращение потребности в ископаемых источниках топлива
Восстановление качества заброшенных земель с использованием их в сельском хозяйстве	Увеличение биоразнообразия, улучшение структуры почвы, снижение ее эрозии Увеличение объемов сельскохозяйственного производства

Примечание. Составлено автором.

рашающей череды геополитических, социально-экономических, природно-климатических и других шоков. В связи с этим развитие водохозяйственных комплексов регионов должно осуществляться в рамках парадигмы экономики замкнутого цикла.

Однако реализация бизнес-моделей циркулярной экономики должна учитывать принципы промышленного симбиоза, а также включать показатели и подходы, обеспечивающие повышение социально-экономической и экологической устойчивости региона, поскольку не все циклические подходы являются устойчивыми.

В данной статье получены важные выводы с точки зрения понимания того, на какой методологической основе должна строиться система управления развитием водохозяйственных комплексов регионов. Их новизна состоит в том, что они выходят за рамки циркулярной экономики и представляют собой более целостное видение перспектив развития регионального водного хозяйства. Практическая значимость исследования состоит в том, что полученные выводы могут быть использованы в сфере регионального управления при принятии решений, связанных с разработкой развития водохозяйственных комплексов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Василенко В. А., 2006. Водные ресурсы для устойчивого развития // *Всероссийский экономический журнал ЭКО*. № 2 (380). С. 128–142.
- Доклад Министра сельского хозяйства и продовольствия Ростовской области К.Н. Рачаловского «О рациональном использовании водных ресурсов и сохранении водных биологических ресурсов». 2022 // *Официальный сайт Правительства Ростовской области*. URL: <https://www.donland.ru/report-speech/267/>
- Егорова А. И., 2023. Стратегические приоритеты государственной политики в области управления водными ресурсами // *Инновации и инвестиции*. № 1. С. 281–284.
- Косолапова Н. А., Лихацкая Е. А., 2019. Модельный инструментарий согласования интересов экономических агентов с учетом приоритетов развития бассейновых водохозяйственных систем // *Modern Economy Success*. № 6. С. 124–130.
- Матвеева Л. Г., Косолапова Н. А., Каплюк Е. В., Лихацкая Е. А., 2022. Модели циркулярной экономики в ресурсообеспечении индустриального развития регионов // *Terra Economicus*. Т. 20, № 3. С. 116–132. DOI: <https://doi.org/10.18522/2073-6606-2022-20-3-116-132>
- Рогачев Д. А., Юрченко И. Ф., 2022. Моделирование и оптимизация системного водораспределения в условиях дефицита водных ресурсов // *International Agricultural Journal*. № 5. С. 31. DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2022_6_5_31
- Харитонов Г. Б., 2014. Совершенствование государственного и муниципального управления водопользованием в России // *Государственное и муниципальное управление. Ученые записки*. № 2. С. 103–108.
- Чернова О. А., 2022. Экосистемные услуги водных объектов в обеспечении устойчивого развития региона // *Регионология*. Т. 30, № 3 (120). С. 586–601. DOI: <https://doi.org/10.15507/2413-1407.120.030.202203.586-601>
- Чернова О. А., Айдаркина Е. Е., 2019. Проблемы рационального водопользования в реализации промышленной политики региона (на примере Ростовской области) // *Вестник Академии знаний*. № 3 (32). С. 268–276.
- Al-Saidi M., Elagib N., 2017. Towards Understanding the Integrative Approach of the Water, Energy and Food Nexus // *Science of The Total Environment*. Vol. 574. P. 1131–1139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.046>
- Agrawal A., Bakshi B., Kodamana H., Ramteke M., 2024. Multi-Objective Optimization of Food-Energy-Water Nexus Via Crops Land Allocation // *Computers & Chemical Engineering*. Vol. 183. Art. 108610. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2024.108610>
- Baleta J., Mikulčić H., Klemeš J., Urbanec K., Duić N., 2019. Integration of Energy, Water and Environmental Systems for a Sustainable Development // *Journal of Cleaner Production*. Vol. 215. P. 1424–1436. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.035>
- Bazilian M., Rogner H., Howells M., Hermann S., Arent D., Gielen D., Steduto P., Mueller A., Komor P., Tol R., Yumkella K., 2011. Considering the Energy, Water and Food Nexus: Towards an Integrated Modelling Approach // *Energy Policy*. Vol. 39 (12). P. 7896–7906. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.039>
- Bielicki J., Beetstra M., Kast J., Wang Y., Tang Sh., 2019. Stakeholder Perspectives on Sustainability in the Food-Energy-Water Nexus // *Frontiers in Environmental Science*. Vol. 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00007>
- Bois A., Boix M., Montastruc L., 2024. Multi-Actor Integrated Modeling Approaches in the Context of Water-Energy-Food Nexus Systems: Review // *Computers & Chemical Engineering*. Vol. 182. Art. 108559. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2023.108559>
- Chen Ch. Y., Wang Sh. W., Kim H., Pan Sh. Yu., Fan Ch., Lin Yu., 2021. Non-Conventional Water Reuse in Agriculture: A Circular Water Economy // *Water Research*. Vol. 199. Art. 117193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117193>
- Chipofya V., Kainja S., Bota S., 2009. Policy Harmonisation and Collaboration Amongst Institutions – A Strategy

- Towards Sustainable Development, Management and Utilisation of Water Resources: Case of Malawi // Desalination. Vol. 248 (1–3). P. 678–683. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.119>
- Delgado A., Rodriguez D., Amadei C., Makino M., 2024. Water in Circular Economy and Resilience (WICER) Framework // Utilities Policy. Vol. 87. Art. 101604. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101604>
- Global Risks 2011. Sixth Edition // World Economic Forum. URL: <https://www.weforum.org/publications/global-risks-2011-sixth-edition/>
- He Q., Liu D., Wang B., Wang Z., Cowie A., Simmons A., Xu Zh., Li L., Shi Yu, Liu K., Harrison M. T., Waters C., Huete A., Yu Q., 2024. A Food-Energy-Water-Carbon Nexus Framework Informs Region-Specific Optimal Strategies for Agricultural Sustainability // Resources, Conservation and Recycling. Vol. 203. Art. 107428. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107428>
- Kılıç Ş., Kılıç B., 2017. Integrated Circular Economy and Education Model to Address Aspects of an Energy-Water-Food Nexus in a Dairy Facility and Local Contexts // Journal of Cleaner Production. Vol. 167. P. 1084–1098. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.178>
- Ledari M., Saboohi Y., Azamian S., 2023. Water-Food-Energy-Ecosystem Nexus Model Development: Resource Scarcity and Regional Development // Energy Nexus. Vol. 10. Art. 100207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100207>
- Mugagga F., Nabaasa B., 2016. The Centrality of Water Resources to the Realization of Sustainable Development Goals (SDG). A Review of Potentials and Constraints on the African Continent // International Soil and Water Conservation Research. Vol. 4 (3). P. 215–223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.05.004>
- Nika C. E., Vasilaki V., Renfrew D., Danishvar M., Echchelh A., Katsou E., 2022. Assessing Circularity of Multi-Sectoral Systems Under the Water-Energy-Food-Ecosystems (WEFE) Nexus // Water Research. Vol. 221. Art. 118842. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118842>
- Ozturk I., 2015. Sustainability in the Food-Energy-Water Nexus: Evidence from BRICS (Brazil, the Russian Federation, India, China, and South Africa) Countries // Energy. Vol. 93. P. 999–1010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.104>
- Rahmani M., Jahromi S., Darvishi H., 2023. SD-DSS Model of Sustainable Groundwater Resources Management Using the Water-Food-Energy Security Nexus in Alborz Province // Ain Shams Engineering Journal. Vol. 14 (1). Art. 101812. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101812>
- Ringler C., Bhaduri A., Lawford R., 2013. The Nexus Across Water, Energy, Land and Food (WELF): Potential for Improved Resource Use Efficiency? // Current Opinion in Environmental Sustainability. Vol. 5 (6). P. 617–624. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.002>
- Tilt J., Mondo H., Giles N., Rivera S., Babbar-Sebens M., 2022. Demystifying the Fears and Myths: The Co-Production of a Regional Food, Energy, Water (FEW) Nexus Conceptual Model // Environmental Science & Policy. Vol. 132. P. 69–82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.02.011>
- Vargas D., Hoyos C., Manrique O., 2023. The Water-Energy-Food Nexus in Biodiversity Conservation: A Systematic Review Around Sustainability Transitions of Agricultural Systems // Heliyon. Vol. 9 (7). Art. e17016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17016>
- Wei J., Wei Y., Western A., 2017. Evolution of the Societal Value of Water Resources for Economic Development Versus Environmental Sustainability in Australia from 1843 to 2011 // Global Environmental Change. Vol. 42. P. 82–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.12.005>
- Weitz N., Strambo C., Kemp-Benedict E., Nilsson M., 2017. Closing the Governance Gaps in the Water-Energy-Food Nexus: Insights from Integrative Governance // Global Environmental Change. Vol. 45. P. 165–173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.06.006>
- Zhou Y., Huang G., Yang B., 2013. Water Resources Management Under Multi-Parameter Interactions: A Factorial Multi-Stage Stochastic Programming Approach // Omega. Vol. 41 (3). P. 559–573. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.07.005>
- Zhang F., Wang H., Qin T., Rojas R., Qiu L., Yang Sh., Fang Zh., Xue Sh., 2023. Towards Sustainable Management of Agricultural Resources: A Framework to Assess the Relationship Between Water, Soil, Economic Factors, and Grain Production // Journal of Environmental Management. Vol. 344. Art. 118401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118401>

REFERENCES

- Vasilenko V.A., 2006. Vodnyye resursy dlya ustoychivogo razvitiya [Water Resources for Sustainable Development]. *Vserossiyskiy ekonomicheskii zhurnal EKO* [All-Russian Economic Journal ECO], no. 2 (380), pp. 128-142.
- Doklad Ministra selskogo khozyaystva i prodovolstviya Rostovskoy oblasti K.N. Rachalovskogo «O ratsionalnom ispolzovanii vodnykh resursov i sokhranении vodnykh biologicheskikh resursov» [Report of the Minister of Agriculture and Food of the Rostov Region K.N. Rachalovsky “On the Rational Use of Water Resources and the Conservation of Aquatic Biological Resources”], 2022. *Ofitsialnyy sayt Pravitelstva Rostovskoy oblasti* [Official Website of the Government of the Rostov Region]. URL: <https://www.donland.ru/report-speech/267/>

- Egorova A.I., 2023. Strategicheskiye priorityety gosudarstvennoy politiki v oblasti upravleniya vodnymi resursami [Strategic Priorities of State Policy in the Field of Water Resources Management]. *Innovatsii i investitsii* [Innovations and Investments], no. 1, pp. 281-284.
- Kosolapova N.A., Likhatskaya E.A., 2019. Modelnyy instrumentariy soglasovaniya interesov ekonomicheskikh agentov s uchetom priorityetov razvitiya basseynovykh vodokhozyaystvennykh system [Model Tools for Coordinating the Interests of Economic Agents Taking into Account the Priorities for the Development of Basin Water Management Systems]. *Modern Economy Success*, no. 6, pp. 124-130.
- Matveeva L.G., Kosolapova N.A., Kapluk E.V., Likhatskaya E.A., 2022. Modeli tsirkulyarnoy ekonomiki v resursoobespechenii industrialnogo razvitiya regionov [Models of a Circular Economy in Resource Provision for Industrial Development of Regions]. *Terra Economicus*, vol. 20, no. 3, pp. 116-132. DOI: <https://doi.org/10.18522/2073-6606-2022-20-3-116-132>
- Rogachev D.A., Yurchenko I.F., 2022. Modelirovaniye i optimizatsiya sistemnogo vodoraspredeleniya v usloviyakh defitsita vodnykh resursov [Modeling and Optimization of Systemic Water Distribution in Conditions of Water Resource Shortage]. *International Agricultural Journal*, no. 5, p. 31. DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2022_6_5_31
- Kharitonov G.B., 2014. Sovershenstvovaniye gosudarstvennogo i munitsipalnogo upravleniya vodopolzovaniyem v Rossii [Improving State and Municipal Water Management in Russia]. *Gosudarstvennoye i munitsipalnoye upravleniye. Uchenyye zapiski* [State and Municipal Management. Scientific Notes], no. 2, pp. 103-108.
- Chernova O.A., 2022. Ekosistemnyye uslugi vodnykh obyektov v obespechenii ustoychivogo razvitiya regiona [Ecosystem Services of Water Bodies in Ensuring Sustainable Development of the Region]. *Regionologiya* [Regionology], vol. 30, no. 3 (120), pp. 586-601. DOI: <https://doi.org/10.15507/2413-1407.120.030.202203.586-601>
- Chernova O.A., Aidarkina E.E., 2019. Problemy ratsionalnogo vodopolzovaniya v realizatsii promyshlennoy politiki regiona (na primere Rostovskoy oblasti) [Problems of Rational Water Use in the Implementation of Industrial Policy of the Region (On the Example of the Rostov Region)]. *Vestnik Akademii znaniy* [Bulletin of the Academy of Knowledge], no. 3 (32), pp. 268-276.
- Al-Saidi M., Elagib N., 2017. Towards Understanding the Integrative Approach of the Water, Energy and Food Nexus. *Science of the Total Environment*, vol. 574, pp. 1131-1139. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.046>
- Agrawal A., Bakshi B., Kodamana H., Ramteke M., 2024. Multi-Objective Optimization of Food-Energy-Water Nexus via Crops Land Allocation. *Computers & Chemical Engineering*, vol. 183, art. 108610. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2024.108610>
- Baleta J., Mikulčić H., Klemeš J., Urbanec K., Duić N., 2019. Integration of Energy, Water and Environmental Systems for a Sustainable Development. *Journal of Cleaner Production*, vol. 215, pp. 1424-1436. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.035>
- Bazilian M., Rogner H., Howells M., Hermann S., Arent D., Gielen D., Steduto P., Mueller A., Komor P., Tol R., Yumkella K., 2011. Considering the Energy, Water and Food Nexus: Towards an Integrated Modelling Approach. *Energy Policy*, vol. 39 (12), pp. 7896-7906. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.039>
- Bielicki J., Beetstra M., Kast J., Wang Y., Tang Sh., 2019. Stakeholder Perspectives on Sustainability in the Food-Energy-Water Nexus. *Frontiers in Environmental Science*, vol. 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00007>
- Bois A., Boix M., Montastruc L., 2024. Multi-Actor Integrated Modeling Approaches in the Context of Water-Energy-Food Nexus Systems: Review. *Computers & Chemical Engineering*, vol. 182, art. 108559. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2023.108559>
- Chen Ch. Y., Wang Sh. W., Kim H., Pan Sh. Yu., Fan Ch., Lin Yu., 2021. Non-Conventional Water Reuse in Agriculture: A Circular Water Economy. *Water Research*, vol. 199: 117193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117193>
- Chipofya V., Kainja S., Bota S., 2009. Policy Harmonisation and Collaboration Amongst Institutions – A Strategy Towards Sustainable Development, Management and Utilisation of Water Resources: Case of Malawi. *Desalination*, vol. 248 (1–3), pp. 678-683. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.05.119>
- Delgado A., Rodriguez D., Amadei C., Makino M., 2024. Water in Circular Economy and Resilience (WICER) Framework. *Utilities Policy*, vol. 87, art. 101604. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101604>
- Global Risks 2011. Sixth Edition. *World Economic Forum*. URL: <https://www.weforum.org/publications/global-risks-2011-sixth-edition/>
- He Q., Liu D., Wang B., Wang Z., Cowie A., Simmons A., Xu Zh., Li L., Shi Yu, Liu K., Harrison M. T., Waters C., Huete A., Yu Q., 2024. A Food-Energy-Water-Carbon Nexus Framework Informs Region-Specific Optimal Strategies for Agricultural Sustainability. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 203, art. 107428. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107428>
- Kılıç Ş., Kılıç B., 2017. Integrated Circular Economy and Education Model to Address Aspects of an Energy-Water-Food Nexus in a Dairy Facility and Local Contexts. *Journal of Cleaner Production*, vol. 167, pp. 1084-1098. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.178>
- Ledari M., Saboohi Y., Azamian S., 2023. Water- Food-Energy- Ecosystem Nexus Model Development:

- Resource Scarcity and Regional Development. *Energy Nexus*, vol. 10, art. 100207. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100207>
- Mugagga F., Nabaasa B., 2016. The Centrality of Water Resources to the Realization of Sustainable Development Goals (SDG). A Review of Potentials and Constraints on the African Continent. *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 4 (3), pp. 215-223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.05.004>
- Nika C.E., Vasilaki V., Renfrew D., Danishvar M. et al., 2022. Assessing Circularity of Multi-Sectoral Systems Under the Water-Energy-Food-Ecosystems (WEFE) Nexus. *Water Research*, vol. 221, art. 118842. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118842>
- Ozturk I., 2015. Sustainability in the Food-Energy-Water Nexus: Evidence from BRICS (Brazil, the Russian Federation, India, China, and South Africa) Countries. *Energy*, vol. 93, pp. 999-1010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.104>
- Rahmani M., Jahromi S., Darvishi H., 2023. SD-DSS Model of Sustainable Groundwater Resources Management Using the Water-Food-Energy Security Nexus in Alborz Province. *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14 (1), art. 101812. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101812>
- Ringler C., Bhaduri A., Lawford R., 2013. The Nexus Across Water, Energy, Land and Food (WELF): Potential for Improved Resource Use Efficiency? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 5 (6), pp. 617-624. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.002>
- Tilt J., Mondo H., Giles N., Rivera S., Babbar-Sebens M., 2022. Demystifying the Fears and Myths: The Co-Production of a Regional Food, Energy, Water (FEW) Nexus Conceptual Model. *Environmental Science & Policy*, vol. 132, pp. 69-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.02.011>
- Vargas D., Hoyos C., Manrique O., 2023. The Water-Energy-Food Nexus in Biodiversity Conservation: A Systematic Review Around Sustainability Transitions of Agricultural Systems. *Heliyon*, vol. 9(7), art. e17016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17016>
- Wei J., Wei Y., Western A., 2017. Evolution of the Societal Value of Water Resources for Economic Development Versus Environmental Sustainability in Australia from 1843 to 2011. *Global Environmental Change*, vol. 42, pp. 82-92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.12.005>
- Weitz N., Strambo C., Kemp-Benedict E., Nilsson M., 2017. Closing the Governance Gaps in the Water-Energy-Food Nexus: Insights from Integrative Governance. *Global Environmental Change*, vol. 45, pp. 165-173. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.06.006>
- Zhou Y., Huang G., Yang B., 2013. Water Resources Management Under Multi-Parameter Interactions: A Factorial Multi-Stage Stochastic Programming Approach. *Omega*, vol. 41 (3), pp. 559-573. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2012.07.005>
- Zhang F., Wang H., Qin T., Rojas R., Qiu L., Yang Sh., Fang Zh., Xue Sh., 2023. Towards Sustainable Management of Agricultural Resources: A Framework to Assess the Relationship Between Water, Soil, Economic Factors, and Grain Production. *Journal of Environmental Management*, vol. 344, art. 118401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118401>

Information About the Author

Olga A. Chernova, Doctor of Sciences (Economics), Professor, Southern Federal University, Maksima Gorkogo St, 88, 344007 Rostov-on-Don, Russian Federation; Leading Researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Filimonovskaya St, 174, 344000 Rostov-on-Don, Russian Federation, chernova.olga71@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5072-7070>

Информация об авторе

Ольга Анатольевна Чернова, доктор экономических наук, профессор, Южный федеральный университет, ул. Максима Горького, 88, 344007 г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация; ведущий научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, ул. Филимоновская, 174, 344000 г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, chernova.olga71@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5072-7070>