

## Модели циркулярной экономики в ресурсообеспечении индустриального развития регионов

Матвеева Людмила Григорьевна

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: matveeva\_lg@mail.ru

Косолапова Наталья Алексеевна

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: nakosolapova@sfnedu.ru

Каплюк Екатерина Валерьевна

Южный федеральный университет, Таганрог, Россия, e-mail: ekapluk@gmail.com

Лихацкая Екатерина Александровна

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: lihatskaya.ea@gmail.com

**Цитирование:** Матвеева Л.Г., Косолапова Н.А., Каплюк Е.В., Лихацкая Е.А. (2022). Модели циркулярной экономики в ресурсообеспечении индустриального развития регионов. *Terra Economicus* 20(3), 116–132. DOI: 10.18522/2073-6606-2022-20-3-116-132

*Ситуация беспрецедентного санкционного шторма в адрес России со стороны коллективного Запада полностью изменила экономическую политику государства в направлении структурного реформирования экономики и масштабного импортозамещения с ключевой ролью промышленности. Связанная с этим проблема дополнительной потребности в ресурсах решается в рамках модели циркулярной экономики, основанной на принципах ресурсосбережения и безотходности. Предмет исследования – технологии рационального ресурсопотребления с учетом естественной ограниченности ресурсов и конкурентной борьбы в ходе их совместного использования экономическими агентами. Цель статьи – определение реперных точек развития российской экономики в условиях системных трансформаций, верификация циркулярных моделей ресурсного обеспечения контркризисных решений. Исследовательская задача решается с учетом различия взглядов ученых на возможности сохранения целостности, суверенитета и устойчивости экономики России. Обосновано, что в число основных вопросов входит выбор адаптивных моделей циркулярной экономики для управления рациональным использованием энерго- и водоресурсного потенциала с целью обеспечения текущих и перспективных потребностей, устранения диспропорций в объемах предоставляемых ресурсов потребителям и достижения баланса их интересов. Мы сочетаем системный и регионально-бассейновый подходы, методы, позволяющие определять параметры ресурсоемкости отраслей с разным уровнем технологичности. На примере водных ресурсов юга России осуществлены прогнозы речного стока, позволяющие определять доступные к распределению водные ресурсы; рассчитаны водохозяйственные балансы; проведена оценка обеспеченности водными ресурсами участников донского водохозяйственного комплекса в контексте достижения коалиционного компромисса. Обосновано, что для регионов юга России эти проблемы имеют особое значение не только ввиду характерной для их индустрии устаревшей производственной базы и преобладания традиционных отраслей, но также в силу необходимости встраивания этих регионов в общероссийские процессы выхода из кризиса на платформе цифровизации и экономики замкнутого цикла.*

**Ключевые слова:** ресурсообеспечение; индустриальный комплекс региона; энергетические, водные ресурсы; циркулярные бизнес-модели; экономика замкнутого цикла; коалиционный компромисс; баланс интересов

**Финансирование:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-00050, <https://rscf.ru/project/22-28-00050/> в Южном федеральном университете.

## Circular economy in the resource supply for regional industrial development

Lyudmila Matveeva

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: matveeva\_lg@mail.ru

Natalia Kosolapova

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: nakosolapova@sfedu.ru

Ekaterina Kaplyuk

Southern Federal University, Taganrog, Russia, e-mail: ekapluk@gmail.com

Ekaterina Likhatskaia

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia, e-mail: lihatskaya.ea@gmail.com

**Citation:** Matveeva L., Kosolapova N., Kaplyuk E., Likhatskaia E. (2022). Circular economy in the resource supply for regional industrial development. *Terra Economicus* 20(3), 116–132 (in Russian). DOI: 10.18522/2073-6606-2022-20-3-116-132

*Unprecedented sanctions against Russia by the collective West has challenged the economic policy of our country, with import substitution and forced industrial development among the key priorities. Supplying resources for regional economies becomes crucial. Circular economy modelling based on the principles of resource conservation and zero waste appears a prominent tool for ensuring rational consumption and striking a suitable balance between the different interests. We adapt a circular economy model to assess the rational use of energy and water resources in Don river basin located in the South of Russia. We argue that Southern Russia represents a case of high relevance due to lack of modern manufacturing machines and up-to-date equipment, as well as the strategic significance of these areas for the whole Russian economy. River flow forecasting revealed available water resources which might be distributed. We also calculated water management balances and assessed the availability of water resources for participants of Don water management complex. Our model takes into account the difference in industries in terms of their technological advancement and therefore allows determining resource intensity parameters in context of possible coalition compromise. This study contributes to existing research since we combine a regional basin approach and a concept of closed-loop economy to deal with statistics on Don river basin.*

**Keywords:** resource supply; regional industries; energy and water resources; circular business models; closed-loop economy; resource intensity; coalition compromise

**Funding:** The research is supported by the Russian Science Foundation № 22-28-00050, <https://rscf.ru/project/22-28-00050/> at the Southern Federal University.

**JEL codes:** O43, R58

## Введение

Сформировавшаяся в России в результате действия глобальных турбулентных факторов новая реальность полностью видоизменяет государственную экономическую политику. Суть данной политики можно охарактеризовать как структурное реформирование отечественной экономики по модели импортозамещения с ключевой ролью промышленности – особой экосистемы, обеспечивающей трансформацию и выживание всех остальных отраслей и сфер деятельности. Но одновременно новая реальность – это возможность выявлять и активно задействовать неиспользуемые резервы развития экономики, проводить свою суверенную денежно-кредитную политику. А уход иностранных компаний дает российскому бизнесу возможности для развития импортозамещения.

Эти глобальные изменения естественным образом активизировали научное сообщество как в оценке текущей ситуации, так и в попытках прогнозирования возможных изменений. В данном контексте следует отметить наличие неоднозначного толкования и оценки того, как изменились ключевые показатели экономики России, а также разного, порой диаметрально противоположного, предвидения ее будущего не только в долгосрочной, но даже в средне- и краткосрочной перспективе. Несмотря на неоднозначность мнений ученых<sup>1</sup> относительно будущего российской экономики, перечня первостепенных мер и роли в структурных трансформациях модели экономики замкнутого цикла, в научном дискурсе утвердилось мнение о целесообразности использования данной технологии. Обосновывается, что она является механизмом достижения рациональности распределения ресурсов, снижения потребления материалов и/или их повторного использования, переработки и восстановления в процессе производства и потребления. А следовательно, ресурсоэффективности, инновационности, экологичности и устойчивости экономической системы. Отечественные аналитики сходятся во мнении, что самое главное и самое трудное – поддерживать уровень жизни населения, учитывая возможные негативные последствия текущего кризиса (безработица, инфляция). Но прежде чем действовать, нужно понять, какие потери понесет наша экономика, каковы возможности контрциклической политики.

Представляется, что для постепенного выхода из текущего кризиса важнейшее значение имеет, прежде всего, достаточное и одновременно рациональное ресурсообеспечение (особенно базовыми – энергетическими, в том числе водными ресурсами) промышленности и ее отраслевых подсистем. Исторически сформировавшийся «двойственный характер водохозяйственных систем (ВХС) – как важнейших инфраструктурных элементов по обеспечению водными ресурсами всех сфер экономики и одновременно как производственных систем, эксплуатирующих природу ресурсных отраслей, – предполагает использование специального инструментария принятия решений в целях создания условий для устойчивого развития водоемких отраслей экономики, удовлетворения потребностей населения в воде и экологически приемлемой среды обитания»<sup>2</sup>.

Теоретическая основа исследования представлена конвергенцией теорий управления сложными экономическими системами (в частности ВХС), отраслевых рынков, рационального водопользования, экономики замкнутого цикла, а также стратегического управления и принятия решений тактического, оперативного и долгосрочного характера. Эффективное функционирование индустриального комплекса обеспечивается взаимосвязью механизмов и стратегий их развития на разных иерархических уровнях. Важной составляющей этих механизмов является

<sup>1</sup> Аганбегян А.Г. Мы выйдем из кризиса с 35 миллионами бедных и удвоенной безработицей. *Вольная экономика* 9 мая 2022. <http://freconomy.ru/mneniya/abel-aganbegyan-v-2020-godu-nuzhno-napravit-na-podderzhku-ekonomiki-10-trillionov-rublej.html> (дата обращения: 18.08.2022); Видеоматериалы VII Санкт-Петербургского экономического конгресса (СПЭК-2022): «Новое индустриальное общество второго поколения (НИО.2): проблемы, факторы и перспективы развития в современной геоэкономической реальности», 31 марта – 1 апреля 2022 г., Институт нового индустриального развития имени С.Ю. Витте при поддержке Вольного экономического общества России. <https://ini.ru/video-spec-2022/> (Афонцев С.А. Между коронавирусом и геополитикой: тернистый путь мировой экономики; Бахтизин А.Р. Количественные оценки последствий санкционного давления; Глазьев С.Ю. Новое индустриальное общество; Широков А.А. Оценка последствий санкционного давления для экономики России)

<sup>2</sup> Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 01.05.2022). Консультант Плюс. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_60683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/) (дата обращения: 18.08.2022)

информационно-цифровой и модельно-аналитический инструментарий рационального распределения и безотходного использования ограниченных водных ресурсов между промышленными субъектами региона. Приоритетом является достижение баланса интересов этих субъектов, что возможно в рамках модели экономики замкнутого цикла.

В соответствии с данной идеей совершенствование управления эффективным ресурсным (в том числе водным) обеспечением промышленности предполагает не только создание инструментария, основанного на концепции экономики замкнутого цикла, но и развитие системы мониторинга ресурсообеспечения индустриального комплекса региона и его структурных компонент (Kosolárova et al., 2021). Методология и инструментальный базис создания системы мониторинга энергетических и водных ресурсов предполагает включение в нее показателей, учитывающих объемы ресурсопотребления экономических агентов в их дифференциации по отраслевой специфике. Важным элементом данной системы является инструментарий оценки энерго- и водопотребления в разрезе отраслей промышленного сектора региона с учетом взаимосвязи изменения ресурсоемкости производства по водным ресурсам и энергоемкости производства. Таким образом, появляется возможность для лиц, принимающих решения, проводить оценку степени соответствия технологического уровня индустриального комплекса региона текущему и перспективному уровням технико-экономического развития региона (страны). И, как следствие, прогнозировать ресурсоемкость промышленного производства региона.

### **Степень изученности проблемы**

В новых условиях успешность реализации структурных реформ в энергетике (в том числе в гидроэнергетике) определяется комплексностью принимаемых управленческих решений, которые бы обеспечивали генерирование значимых позитивных эффектов на всех уровнях управления, с учетом разнонаправленности интересов субъектов энергетического рынка. Сложность и многоаспектность данной задачи предполагает использование в рамках общей стратегии развития энергетике как стимулирующей инфраструктуры широкого набора теоретико-прикладных подходов, адаптированных к ее особенностям. Данный тезис отражается в исследованиях, посвященных изучению и обоснованию внедрения циркулярных моделей (экономики замкнутого цикла) в сектор энергетике, включая водохозяйственные комплексы<sup>3</sup> регионов.

Так, Дж. Мендоза и соавторы (Mendoza et al., 2022) отмечают, что циркулярные бизнес-модели, ориентированные на «замыкание» циклов ресурсов, могут генерировать значительные экономические и социальные выгоды, при этом обеспечивая безопасность ресурсов и улучшение экологических показателей. Несмотря на то что на настоящий момент эффективность жизненного цикла в энергетике базируется на технологических инновациях, важно отметить необходимость системности внедрения циркулярных моделей для получения ресурсоэффективной и устойчивой энергетической инфраструктуры.

Стевович и коллеги (Stevovic et al., 2021) предлагают внедрение оптимизационной циркулярной модели, которая учитывает затраты на производство электроэнергии, включая не только затраты на технологии, но и затраты на охрану окружающей среды и устойчивое развитие. Дж. Мутезо и Дж. Мулопо (Mutezo and Mulopo, 2021) отмечают, что термин «экономика замкнутого цикла» стал более распространенным в последнее десятилетие, особенно в области устойчивого развития, управления ресурсами и производительности. Во всем мире все больше организаций национального, государственного и частного секторов применяют эту концепцию в повседневной деятельности. Одним из вопросов является переход к возобновляемым источникам энергии на основе технологий циркулярного типа. Отдельно следует отметить результаты исследования Су Чанга и Ф. Урбана, которые разработали модели сценариев энергии и выбросов для перехода к чистой энергии на основе экономики замкнутого цикла в городе с населением 140 тыс. человек в Китае. Смоделированные ими сценарии предлагают новые дорожные карты перехода на экологически чистую энергию к устойчивой городской системе посредством реализации стратегий экономики замкнутого цикла. Результаты показывают, что при реализации данного сценария в

<sup>3</sup> Водохозяйственный комплекс – это совокупность различных отраслей народного хозяйства, совместно использующих водные ресурсы одного водного бассейна (ГОСТ 19185).

течение 2020–2040 гг. накопленная экономия составит 7,1 млн т по сравнению с обычным сценарием (Su and Urban, 2021). В исследованиях ряда авторов, в том числе (Newell et al., 2019; Aldy et al., 2021; Vacovis and Borchardt, 2021; Tseng et al., 2021), делается акцент на важности оценки уровня энергоемкости промышленности, потребления энергетических ресурсов, а также на оценке воздействия потребителей на природу с целью дальнейшего управления оптимизацией энергопотребления субъектами индустриального сектора экономики.

Большого внимания с точки зрения системного и комплексного подходов к определению сущности, содержания и специфики экономики замкнутого цикла как своего рода отказа от традиционной «концепции срока службы» товаров в пользу поиска новых способов их использования, а также реализации принципов экологического дизайна при производстве продукции заслуживает исследование Х. Висмета «Системные преобразования для бизнеса в контексте перехода к экономике замкнутого цикла» (Wiesmeth, 2020). Автор не только обосновывает высокую инновационность данной технологии, способность к созданию новых рынков и решению экологических проблем, обусловленность вида модели спецификой экономического, природного и демографического потенциала системы, но также определяет особую иерархию приоритетов в управлении отходами производства (3R: *reduce, reuse, recycle*).

Для дальнейших рассуждений при рассмотрении ВХК как объекта (и субъекта) внедрения модели замкнутого цикла важен учет того, что в любой экономической системе распределение ресурсов (в данном случае водных) и товаров (водных ресурсов, подвергшихся обработке, например, очистке) между потребителями должно учитывать масштабы, специфику и характер их производства. При этом априори важный в процессе принятия управленческих решений «системный подход обеспечивается децентрализацией экономических решений посредством механизмов ценообразования, которое играет координирующую роль, обеспечивая рыночное равновесие, эффективность» (Wiesmeth, 2020: 50) и достижение баланса интересов игроков. В рамках ВХК проблема согласования разнонаправленных интересов является не только важной, но и сложной задачей.

В современных исследованиях оценка эффективности промышленного производства осуществляется в том числе с использованием индикаторов энергоемкости (Ложникова и др., 2016). В зарубежных публикациях также отмечается, что производительность ресурсов и эффективное использование энергии и воды в производственных процессах – один из ключевых факторов развития экономики. При этом измерение ресурсоемкости зарубежными учеными производится на основе анализа материальных потоков и коэффициентов ресурсоемкости (Pieroni et al., 2020). В отдельных публикациях обосновывается, что снижение ресурсоемкости и преодоление ресурсных ограничений напрямую зависит от технологичности производственных процессов, в связи с чем подтверждается особое значение в сфере водопотребления циркулярных бизнес-моделей (Сухарев, Ворончихина, 2020). Примерами методов оценки уровня технологичности обрабатывающих отраслей и его изменения являются регрессионная модель с учетом коэффициента опережающего развития, а также методология поворотных точек, определяющая продолжительность фаз технологической интенсивности (Cappelli et al., 2020; Wang et al., 2016).

К настоящему времени в исследовательском поле уже сформировано понятие модели замкнутой экономики как циклической системы, которая направлена на устранение отходов путем превращения товаров, находящихся в конце своего жизненного цикла, в ресурсы для новых (Ranta et al., 2021), на выстраивание взаимовыгодных симбиотических отношений между участниками различных циклических цепочек создания стоимости (Ferasso et al., 2020). В рамках замкнутой экономики реализуется модель использования меньшего количества ресурсов в производстве, продления срока службы оборудования путем ремонта и восстановления, изменения жизненного цикла продуктов и его завершения путем переработки, а не утилизации для извлечения выгоды из остаточной стоимости продуктов и материалов<sup>4</sup>. При этом развитие такого рода бизнес-моделей в значительной степени основывается на использовании цифровых (в том числе сквозных) технологий (Давиденко и др., 2020) для реализации новых подходов к использованию ресурсов и рациональному природопользованию (Ferasso et al., 2020; Pieroni et al., 2020; Ranta et al., 2021). Цифровые технологии обеспечивают большую стабильность циркулярной экономики, включая

<sup>4</sup> Батова Н., Сачек П., Точицкая И. Циркулярная экономика в действии: формы организации и лучшие практики. Центр экономических исследований *BEROC*. 5 ноября 2008. <https://beroc.org/upload/medialibrary/321/32121ce6e23d0900df821bdc5923fdc.pdf>

дизайн продукта и его оценку, управление цепями поставок, бизнес-моделирование жизненного цикла продукта и др., что увеличивает эффективность процессов.

Ряд исследований являются междисциплинарными и рассматривают наряду с социально-экономическими вопросы географии, гидрологии, экологии, а также межрегионального сравнения стратегий распределения и использования водных ресурсов. Например, в работе А. Руггieri и других авторов рассматривается мета-модель межорганизационного сотрудничества для перехода к экономике замкнутого цикла (Ruggieri et al., 2016), в которой нормативно-правовая база, фискальные и финансовые стимулы и поведение потребителей формируют фон для организационных инноваций. А последние создают возможности сотрудничества посредством межорганизационного симбиоза благодаря потенциальному повторному использованию отходов и ресурсов и сокращению используемых ресурсов. Авторы убеждены, что переход к экономике замкнутого цикла является хорошим предзнаменованием для будущего экологически устойчивого роста и экономического развития.

Целесообразность и потенциальная эффективность использования циркулярного подхода применительно к системе управления водными ресурсами связаны, прежде всего, с возможностью (и необходимостью в контексте объективной ограниченности запасов воды) повторного использования сточных вод, доведенных до нормативных показателей качества. Примеры успешного использования моделей замкнутого цикла в водной отрасли можно увидеть в атомной энергетике, сельском хозяйстве, аквакультуре, ЖКХ. Однако необходимо отметить, что зачастую вопросы циркулярности применительно к водным ресурсам рассматриваются только с точки зрения технологической составляющей водоподготовки, но, учитывая двойственную природу водной отрасли, столь же важными представляются управленческие аспекты, направленные на формирование устойчивой практики использования циркулярного подхода к управлению водными ресурсами. К сожалению, в настоящее время, несмотря на понимание проблем водной отрасли, связанных с изменениями климата и уменьшением объема доступных к использованию водных ресурсов, по-прежнему не реализуются действенные меры по формированию системы стимулирования процессов внедрения инноваций в водопользовании, а также по согласованию политики развития территорий и возможностей ее обеспечения водными ресурсами.

Очевидна важность объективной оценки реального финансового (в том числе инвестиционного) потенциала решения вопросов структурной трансформации водного хозяйства страны и ее регионов, а также модернизации всей системы управления водным потенциалом регионов в рамках концепта циркулярной экономики.

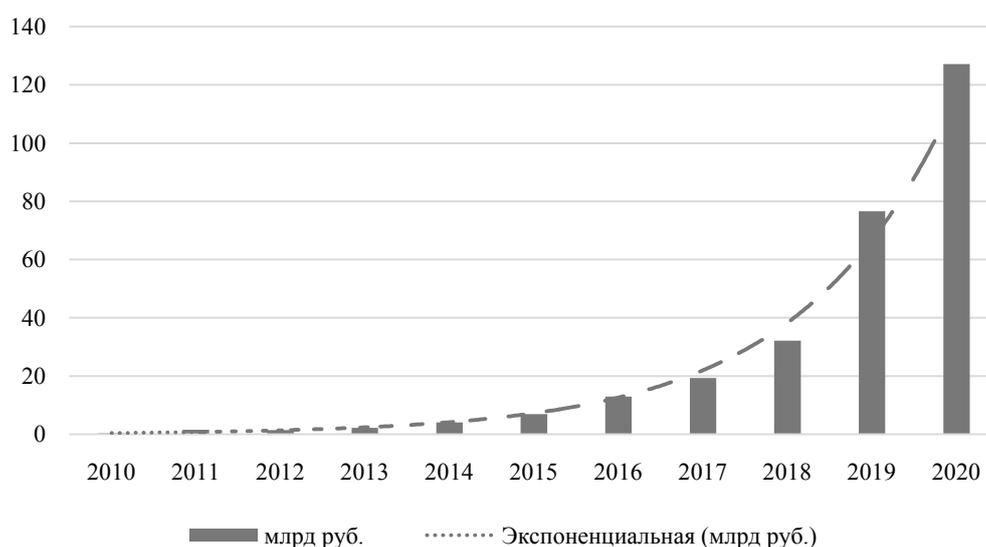
## Эмпирический анализ

Обозначенная авторами траектория исследования позволяет подчеркнуть важность эмпирического анализа ресурсного потенциала структурных преобразований в энергетическом комплексе Российской Федерации.

Преобразования в секторе российской энергетики могут осуществляться как инерционно – на основе обновления основных фондов, что характеризуется динамикой инвестиций в основной капитал, так и интенсивно, за счет цифровизации, внедрения циркулярных технологий и соответствующих бизнес-моделей.

Обоснованная актуальность внедрения циркулярных технологий в энергетический комплекс России подтверждается динамикой инвестиций в основной капитал по виду деятельности, относящемуся к ветро-, гидро- и солнечной энергетике (рис. 1). Динамика инвестиций в основной капитал по виду экономической деятельности «Производство электроэнергии, получаемой из возобновляемых источников энергии» характеризуется ростом с 2010 г., при этом с 2013 г. инвестиции увеличиваются не менее чем в 1,5 раза ежегодно, демонстрируя экспоненциальный тренд.

В совокупности с приведенными данными об инвестициях в основной капитал по этому виду деятельности необходимо оценить структуру возобновляемых источников энергии. В структуре производства электрической энергии преобладают гидроэлектростанции – 98,2% в общем объеме производства электрической энергии от возобновляемых источников; 1,8% приходится на энергию, производимую солнечными электростанциями, ветровыми и геотермальными электростанциями. По последним с 2017 г. наблюдается отрицательная динамика производства электрической энергии (табл. 1).



**Рис. 1.** Инвестиции в основной капитал по виду экономической деятельности

«Производство электроэнергии, получаемой из возобновляемых источников энергии»

Источник: составлено авторами на основе Статистического ежегодника «Цели устойчивого развития в Российской Федерации». <https://rosstat.gov.ru/sdg/report/document/69771>

**Таблица 1**

**Производство электрической энергии от возобновляемых источников энергии, ГВтч**

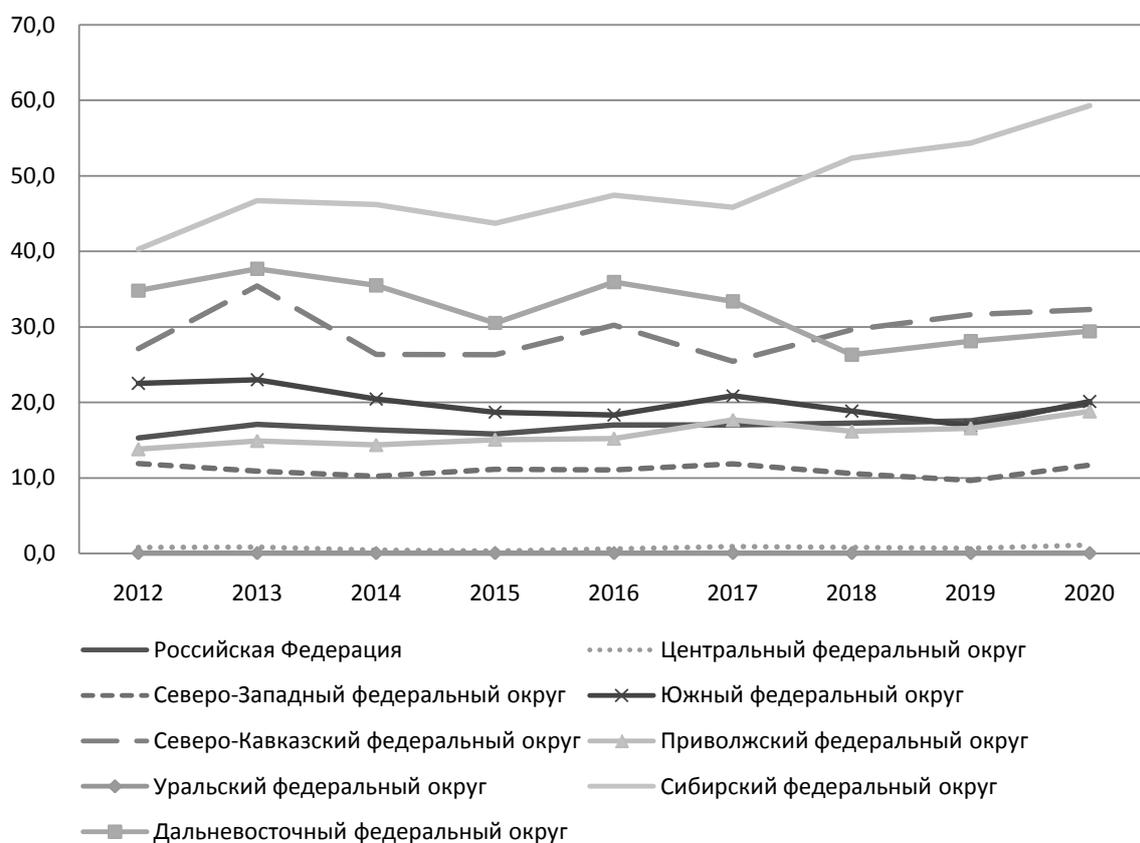
	2017	2018	2019	2020
<b>Всего</b>	<b>186145,70</b>	<b>192519,90</b>	<b>196760,30</b>	<b>216271,00</b>
Гидроэлектростанции	185013,10	191141,80	194717,4	212586,40
Солнечные электростанции	557,50	719,90	1279,40	2022,40
Ветровые электростанции	140,10	231,90	330,80	1240,90
Геотермальные электростанции	435,0	426,30	432,70	421,40

Источник: Статистический ежегодник «Цели устойчивого развития в Российской Федерации». <https://rosstat.gov.ru/sdg/report/document/69771>

В обеспечении российской экономики энергетическими ресурсами преобладает гидроэнергетика, а водохозяйственный комплекс является важнейшим с позиции ресурсообеспечения промышленности. Рост показателя «Доля электрической энергии, производимой с использованием возобновляемых источников энергии, в общем объеме производства электрической энергии» имеет положительную динамику и отражается в поступательном внедрении новых технологий в сектор электроэнергетики в федеральных округах Российской Федерации (рис. 2).

Лидирующие позиции по данному показателю занимают Сибирский федеральный округ (положительная динамика с 2012 г.), Дальневосточный федеральный округ (с возобновлением положительного тренда с 2018 г.) и Северо-Кавказский федеральный округ (положительный тренд на фоне значительного колебания показателей).

Несмотря на относительно схожую по федеральным округам динамику показателей, приведенных на рис. 2, дифференциация форм, методов и технологий управления развитием энергетики и водного хозяйства этих макрорегионов, заложенных в соответствующих программах, приводит к тому, что не обеспечивается скоординированность стратегических преобразований их энергетических комплексов. При этом региональные программы априори являются встроенными в программы федерального уровня и детализируют их показатели с учетом конкретно региональных условий и факторов развития, в том числе ресурсного потенциала территорий. В свою очередь, программы и инвестиционные проекты крупных энергетических компаний и организаций ВХК обеспечивают региональные приоритеты развития.



**Рис. 2.** Доля электрической энергии, производимой с использованием возобновляемых источников энергии, в общем объеме производства электрической энергии, %

Источник: составлено авторами на основе Статистического ежегодника «Цели устойчивого развития в Российской Федерации». <https://rosstat.gov.ru/sdg/report/document/69771>

В данном контексте снижение энерго- и водоемкости производства, т.е. рациональное водопотребление, является одной из актуальных задач как для отдельных регионов, так и экономики в целом, что релевантно принципам экономики замкнутого цикла.

Промышленное производство оказывает значительное влияние на уровень энергопотребления за счет большей энергоемкости по сравнению с другими видами деятельности, однако имеет высокий потенциал энергосбережения, который в том числе зависит от использования циркулярных технологий. Неравномерность отраслевой структуры промышленности, особенно в южнороссийских регионах, повышает значимость этих задач для достижения сбалансированности ресурсного и индустриального развития данных территорий. Это характерно и для водных ресурсов, которые в совокупности с энергетическими определяют возможности социально-экономического развития и сохранение (улучшение) экологии. Как отмечалось, существует взаимосвязь и взаимовлияние индустриальной и водохозяйственной систем, что определяет важность решения проблемы эффективного водоресурсного обеспечения развития промышленности региона с использованием моделей циркулярного типа.

Уже достигнут существенный прогресс в сфере рационального распределения ограниченных водных ресурсов между потребителями и прогнозирования водных запасов. Однако проведенные исследования выявили целый спектр сопряженных проблем, решение которых во многом зависит от результатов анализа как практики управления водными ресурсами в границах водных бассейнов, так и вопросов их использования в различных отраслях и сферах деятельности.

Информационной базой для эффективной реализации модели замкнутого цикла в сфере управления водопользованием выступает автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) – крупнейший агрегатор информации об использовании водных ресурсов в Российской Федерации на основе применения современных web-серверных технологий и отечественного программного обеспечения. Данная система соответствует принципам

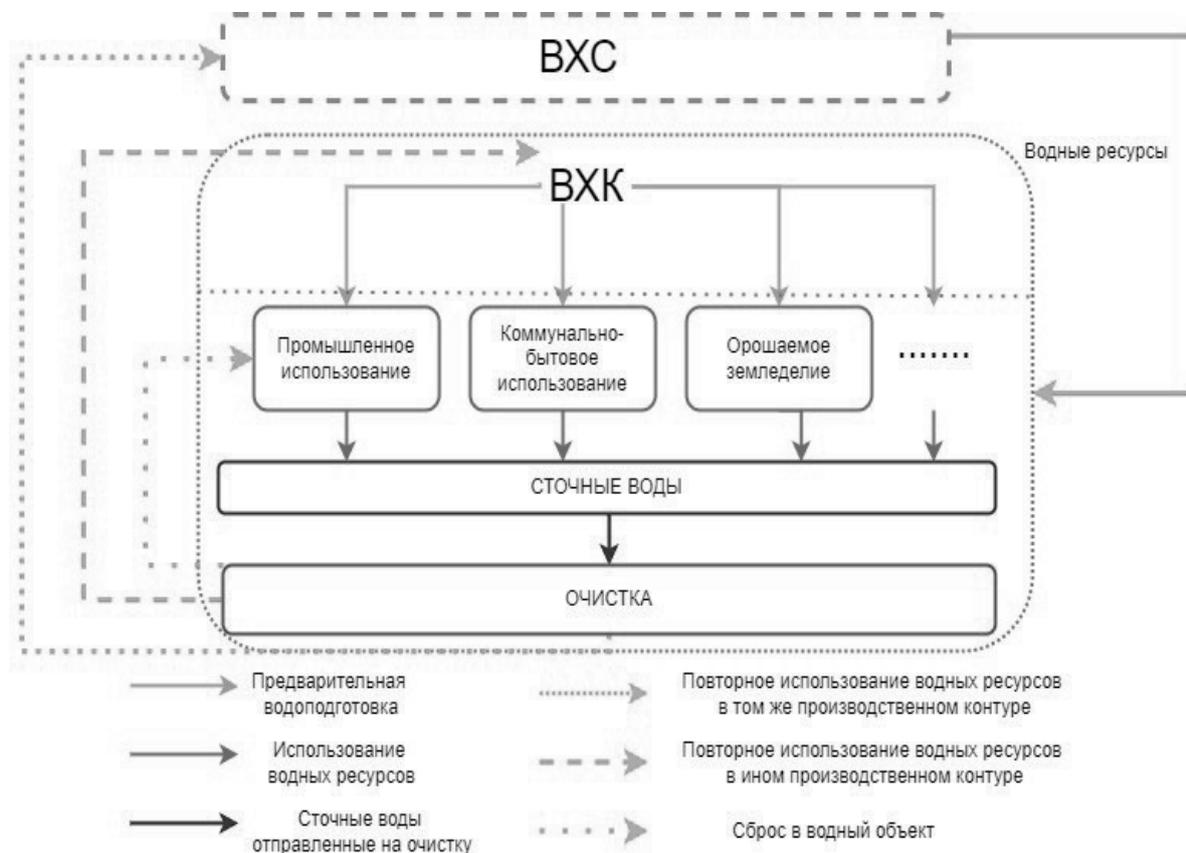
Big Data: разнородность и большие объемы информации, высокая скорость обновления и обработки аудио- и видеоматериалов о водных объектах, которые обеспечивают подготовку и согласование взаимоприемлемых решений для производителей и потребителей водных ресурсов. Учитывая сложность системы водопользования и усиление влияния негативных факторов глобального характера, требуется совершенствование инструментария поддержки принятия решений в данной сфере.

### Моделирование развития ресурсной и индустриальной систем региона

В соответствии с представленной концептуальной платформой формирование механизма взаимосвязанного развития ресурсной и индустриальной систем региона предполагается с использованием методологии глобальных баз данных и технологий поддержки принятия решений при реализации моделей циркулярной экономики. При этом модернизация системы мониторинга водобеспечения предполагает включение в нее показателей, учитывающих экологическую составляющую ресурсопотребления экономических агентов в их дифференциации по отраслевой и региональной специфике.

С учетом сформировавшейся структурно-функциональной специфики и архитектоники водохозяйственных систем (ВХС) и ВХК регионов, которая наглядно демонстрирует непрерывный циклически-круговой характер производства, распределения и потребления водных ресурсов речного бассейна (регионально-бассейновый подход к управлению), очевидна эффективность конструирования для данной системы модели экономики замкнутого цикла.

Авторами разработана и верифицирована на примере ВХК Донского бассейна схема циклической бизнес-модели управления использованием водных ресурсов в соответствии с критериями экономики замкнутого цикла (в том числе безотходности и экологичности), включающей как первичное использование водных ресурсов, так и повторное вовлечение в производственный процесс очищенной воды (рис. 3).

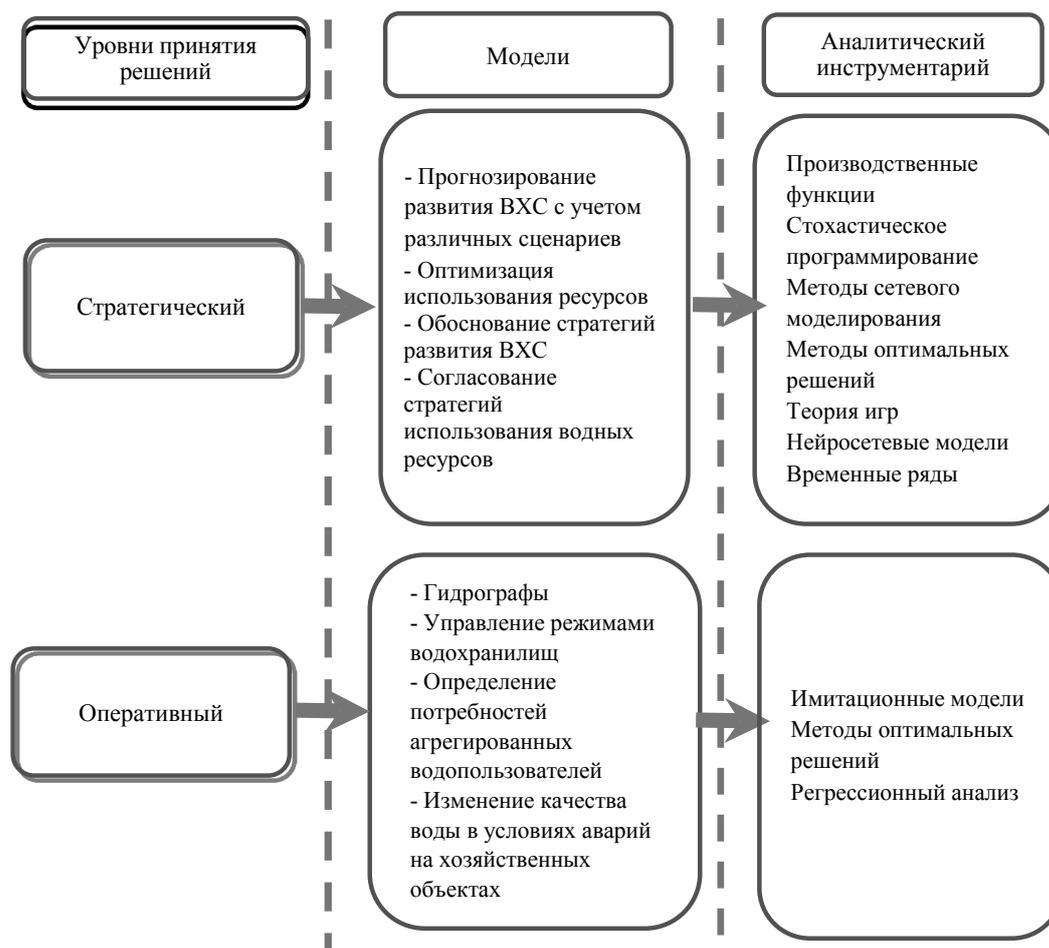


**Рис. 3.** Многоконтурная модель экономики замкнутого цикла водохозяйственного комплекса региона  
 Источник: составлено авторами

Для решения задач, связанных с водопользованием, уже разработан и успешно применяется большой арсенал математического инструментария поддержки принятия решений по управлению ВХС и ВХК бассейнов с учетом разнонаправленных интересов участников. Представленная в данной статье система моделей позволяет оценить возможность достижения баланса интересов водопользователей (производителей и потребителей воды) с учетом объемов доступных к использованию водных ресурсов, заявок водопользователей, нормативных показателей обеспеченности и стратегических приоритетов развития регионов и их ВХС.

Рисунок 3 отражает замкнутый технологический цикл от забора водных ресурсов из конкретного водного бассейна до получения их потребителями. Использование водных ресурсов дифференцировано на три основные группы: промышленное, коммунально-бытовое и орошаемое земледелие. Наиболее значимой особенностью применения модели замкнутого цикла в системе управления ВХК является непрерывное использование как непосредственно сточных вод из источников, так и повторное использование очищенных водных ресурсов, которые попадают в производственный процесс в разных технологических контурах. Процесс завершается очисткой сточных вод для их доведения до нормативов допустимых показателей качества и последующего сброса в водный объект для потребления.

На рис. 4 приведены применимые на практике модели и инструментарий для поддержки принятия решений на каждом из уровней и структурно-функциональных подсистем модели замкнутого цикла, представленной на рис. 3.



**Рис. 4.** Модели и аналитический инструментарий поддержки принятия решений по управлению водными ресурсами при реализации модели замкнутого цикла

Источник: составлено авторами

В данной работе мы умышленно используем классический аналитический инструментарий (балансовый метод, модели временных рядов), применяемый для разработки решений по управлению водными ресурсами и соответствующий подходам, традиционным для водной отрасли. Данный метод закреплен в нормативно-правовых актах, регламентирующих процесс принятия решений по управлению водными ресурсами. В последнее время появились исследования, использующие более современный инструментарий, в частности нейросетевые технологии (Салугин, Балкушкин, 2021), но применение данных методов пока носит исключительно поисковый характер.

Учитывая многообразие и разнонаправленность критериев, лежащих в основе достижения коалиционного компромисса участников ВХК, решение задачи согласования их интересов предлагается осуществлять на основе сочетания кластерной, имитационной и теоретико-игровой моделей (рис. 5).



**Рис. 5.** Модель согласования интересов участников ВХК в условиях цикличности

*Источник:* составлено авторами

На нижнем уровне с использованием имитационной модели водохозяйственного баланса, которая представлена ниже формулой (1), решается задача не только нахождения фактического уровня доступности водных ресурсов для потребителей и соблюдения экологических норм, но также учета возможных потерь воды. То есть задача бережливого производства – важнейшего критерия модели экономики замкнутого цикла.

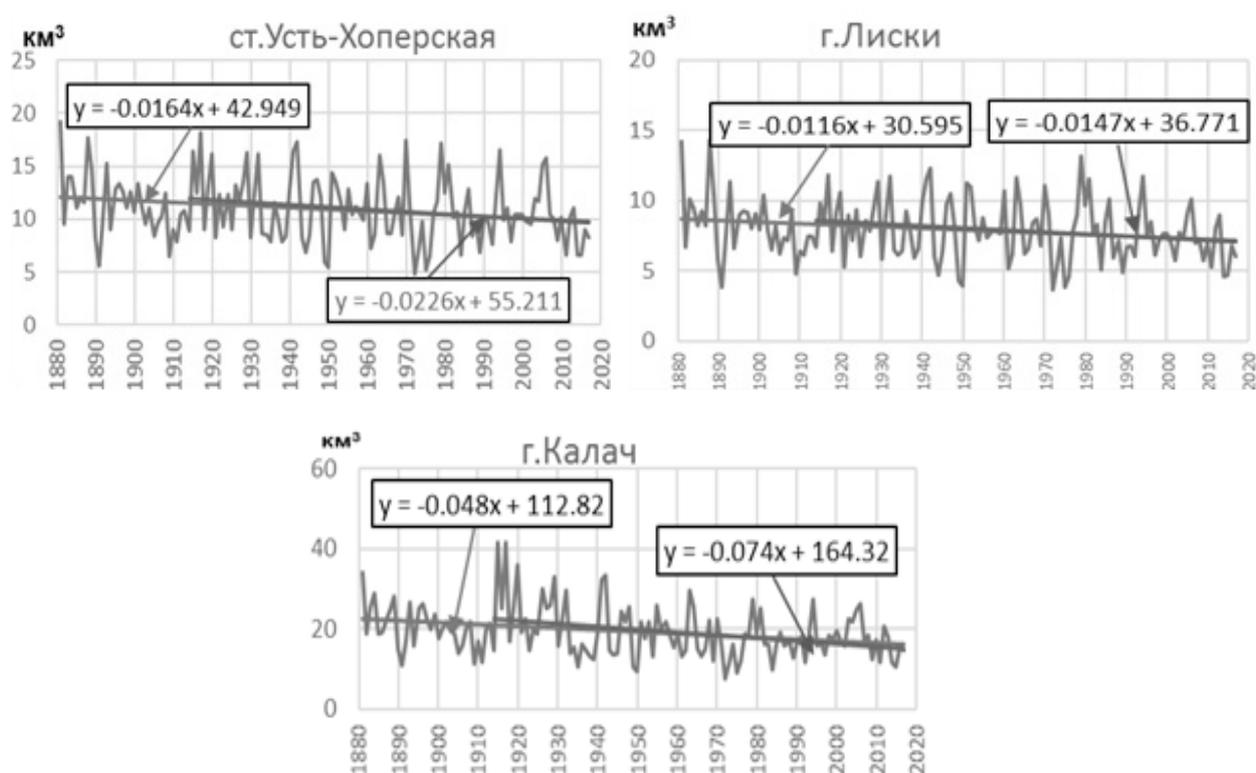
На следующем уровне, где определяются категории экономических агентов, формируются классы регионов по уровню развития систем водопользования, который оценивается набором характеристик. В их числе: объемы водных ресурсов, структура ВХС и ВХК, уровень капиталоемкости, состав и мощность водоемких производств, размещение водохозяйственных объектов, гидравлические условия, режимы потребления воды разными потребителями и др.

На верхнем уровне с использованием теоретико-игровой модели оценки возможностей рационального распределения ограниченных водных ресурсов между регионами решается наиболее сложная задача согласования разнонаправленных и противоречивых интересов производителей и потребителей воды.

К числу моделей, успешно используемых в качестве базы для построения научно обоснованных прогнозов, относятся модели временных рядов, на основе которых построены значимые линейные тренды в хронологических рядах годового стока реки Дон (рис. 6), что позволило определить доступные к распределению водные ресурсы и разработать водохозяйственные балансы.

Анализ годового стока реки Дон показал незначительную тенденцию уменьшения створов, связанную с нарастающей антропогенной нагрузкой на водные ресурсы регионов. Также можно наблюдать, что с течением времени, начиная с 1970 г., тренд становится менее выраженным. Применение моделей разработки таких сценариев с учетом атмосферных осадков и температур воздуха, а также с использованием отобранных и скорректированных данных свидетельствует о том, что они характеризуются значительным разбросом. Поэтому одной из многолетних проблем, стоящих перед научным сообществом при разработке методов оценки вариантов водопользования, остается уменьшение неопределенности сценарных климатических изменений (Георгиади и др., 2020).

Таким образом, комплекс приведенных на рис. 6 моделей позволяет определить возможность достижения коалиционного компромисса на основе разбиения множества экономических агентов на классы по уровню водопользования с учетом территориальных и бассейновых особенностей. В дополнение отметим, что в ряде публикаций (Косолапов, Матвеева, 2018; Косолапова и др., 2019; Ложникова и др., 2016) приведены альтернативные варианты достижения баланса интересов участников ВХК, в том числе с использованием игровых моделей и метода расчета «компромиссных» цен на воду.



**Рис. 6.** Значимые линейные тренды в хронологических рядах годового стока реки Дон в створах г. Лиски, ст. Усть-Хоперской, г. Калача-на-Дону за период 1880–2020 гг.

Источник: составлено авторами

На основе прогнозных данных об объемах стока в соответствии с существующей методикой осуществляется расчет водохозяйственного баланса по следующей формуле (1):

$$B = W_{\text{вх}} + W_{\text{бок}} + W_{\text{пзв}} + W_{\text{вв}} + W_{\text{дот}} \pm \Delta V \pm W_{\text{л}} - W_{\text{исп}} - W_{\text{ф}} - W_{\text{у}} - W_{\text{пер}} - W_{\text{внд}} - W_{\text{кл}}. \quad (1)$$

В уравнение водохозяйственного баланса входят следующие компоненты:

$W_{вх}$  – объем стока, поступающий за расчетный период с вышележащих участков рассматриваемого водного объекта;

$W_{бок}$  – объем стока, формирующийся за расчетный период на расчетном водохозяйственном участке;

$W_{изв}$  – объем водозабора из подземных водных объектов, осуществляемый в порядке, установленном законодательством;

$W_{вв}$  – возвратные воды на водохозяйственном участке;

$W_{лот}$  – объем воды, поступающий на водохозяйственный участок из систем территориального перераспределения стока;

$\pm \Delta V$  – сработка или наполнение прудов и водохранилищ на расчетном водохозяйственном участке;

$\pm W_l$  – потери воды при оседании льда на берега при зимней сработке водохранилища и/или возврат воды в результате таяния льда весной;

$W_{исп}$  – потери на дополнительное испарение с акватории водоемов;

$W_{\phi}$  – фильтрационные потери из прудов, водохранилищ, каналов в пределах расчетного водохозяйственного участка;

$W_y$  – уменьшение речного стока, вызванное водозабором из подземных водных объектов, имеющих гидравлическую связь с рекой;

$W_{пер}$  – переброска части стока за пределы водохозяйственного участка;

$W_{внд}$  – суммарные требования всех водопользователей данного расчетного водохозяйственного участка;

$W_{кп}$  – периодическая (эпизодическая) подача воды из водохранилища для регулирования ее уровня на нижележащем участке водотока или в самом водохранилище;

$B$  – результирующая составляющая (избыток или дефицит водных ресурсов) участка.

На основе данных о водохозяйственном балансе для оценки результатов водохозяйственных расчетов рассчитываются критерии оценки надежности удовлетворения потребностей водопользователей в воде. К числу основных критериев относятся следующие:

1. Расчетная обеспеченность нормальной и сниженных (гарантированных) отдач по числу бесперебойных лет ( $P_{чбл}$ ), %:

$$P_{чбл} = \frac{N - m}{N + 1} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $N$  – длина расчетного ряда, лет;  $m$  – число перебойных лет.

2. Обеспеченность по продолжительности бесперебойных интервалов времени ( $P_{пр}$ ), %:

$$P_{пр} = \frac{M}{N \cdot n} \cdot 100, \quad (3)$$

где  $M$  – суммарная продолжительность бесперебойных периодов времени в расчетном ряду;

$n$  – суммарная продолжительность рассматриваемых периодов в году ( $P_{пр} > P_{чбл}$ ).

3. Многолетняя надежность водоподачи ( $R$ ):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (A - D_i)}{A \cdot N} \cdot 100\% = \left( 1 - \frac{D_{cp}}{A} \right) \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $D_i$  – дефицит водных ресурсов в  $i$ -м году;

$A$  – гарантированное водопотребление;

$D_{cp}$  – среднееголетний дефицит.

Результаты расчетов по регионам юга России, расположенным в бассейне Нижнего Дона, приведены в табл. 2.

**Таблица 2**  
**Оценка обеспеченности водными ресурсами участников донского ВХК по результатам водохозяйственных расчетов (по укрупненным расчетным водохозяйственным участкам I–V)<sup>5</sup>**

	Показатель	Ед. изм.	Расчетный период				
			1880–2020 гг.				
			I	II	III	IV	V
<b>1</b>	<b>Коммунально-бытовое водоснабжение</b>	млн м <sup>3</sup>	<b>43,11</b>	<b>209,21</b>	<b>12,01</b>	<b>8,53</b>	<b>49,15</b>
	среднеуголетная водоподача	млн м <sup>3</sup>	43,11	209,21	12,01	8,53	49,15
	обеспеченность по числу бесперебойных лет ( $P_{убв}$ )	%	> 99,2	> 99,2	> 99,2	> 99,2	> 99,2
	обеспеченность по продолжительности бесперебойных интервалов ( $P_{пр}$ )	%	100	100	100	100	100
	многолетная надежность водоподачи (R)	%	100	100	100	100	100
<b>2</b>	<b>Промышленное водоснабжение (с учетом тепло- и атомной энергетики)</b>	млн м <sup>3</sup>	<b>33,99</b>	<b>254,59</b>	<b>5,07</b>	<b>12,61</b>	<b>26,27</b>
	среднеуголетная водоподача	млн м <sup>3</sup>	33,99	254,59	5,07	12,61	26,27
	обеспеченность по числу бесперебойных лет ( $P_{убв}$ )	%	> 99,2	> 99,2	> 99,2	> 99,2	> 99,2
	обеспеченность по продолжительности бесперебойных интервалов ( $P_{пр}$ )	%	100	100	100	100	100
	многолетная надежность водоподачи (R)	%	100	100	100	100	100
<b>3</b>	<b>Орошаемое земледелие (нерисовые)</b>	млн м <sup>3</sup>	<b>14,37</b>	<b>11,78</b>	<b>2,94</b>	<b>1,82</b>	<b>8,36</b>
	среднеуголетная водоподача	млн м <sup>3</sup>	14,37	11,78	2,94	1,82	8,36
	минимальная водоподача	млн м <sup>3</sup>	8,64	7,08	1,76	1,08	5,03
	обеспеченность по числу бесперебойных лет ( $P_{убв}$ )	%	75,4	75,4	75,4	75,4	75,4
	обеспеченность по продолжительности бесперебойных интервалов ( $P_{пр}$ )	%	75,9	75,9	75,9	75,9	75,9
многолетная надежность водоподачи (R)	%	93,4	93,4	93,4	93,4	93,4	

<sup>5</sup> Оценка обеспеченности водными ресурсами участников донского ВХК осуществлялась по укрупненным расчетным водохозяйственным участкам (I – р. Дон, исток – г. Задонск; II – р. Дон от г. Задонска до г. Лиски; III – р. Дон от г. Лиски до г. Павловска; IV – р. Дон от г. Павловска до устья р. Хопер; V – р. Дон от впадения р. Хопер до г. Калача-на-Дону).

При оценке обеспеченности водными ресурсами водопользователей также используются следующие показатели: наполнение Цимлянского водохранилища до отметок не ниже 32 м БС в зимний период; изменение уровня в водохранилище за период от максимального наполнения в весенний период до конца октября расчетного года.

Результаты проведенного анализа обеспеченности водопользователей в бассейне реки Дон с использованием водохозяйственных балансов по временным рядам условно-естественного стока за периоды с 1881 г. по 2020 г. свидетельствуют о следующем. На Верхнем Дону в целом расчетные показатели обеспеченности водными ресурсами всех пользователей находятся на уровне, который не ниже принятого нормативного значения по числу бесперебойных лет, что является хорошей характеристикой этого ВХК.

Следует специально отметить, что полученные в ходе расчетов по экономико-математической модели водохозяйственного баланса результаты являются справедливыми для конкретных экономических условий рассмотренного периода. С целью получения научно обоснованной информации для текущего кризисного этапа российской экономики (в условиях которого со всей очевидностью также находятся регионы и их водохозяйственные системы) и тем более расчета перспективных сценариев водопотребления необходимо дополнение базы данных актуальной и достоверной информацией. При этом важно учитывать практически не изменяющиеся запасы водных ресурсов бассейнов (за исключением особо засушливых периодов).

Достаточно высоко оценивая потенциал описанных выше моделей, отметим, что они рассматривают преимущественно гидрологическую и экологическую составляющие управления водными ресурсами, однако вопросы управления водой как экономическим ресурсом в них не затрагиваются. Экономическая составляющая управления водными ресурсами, а тем более вопросы согласования интересов различных участников ВХК (что принципиально важно в рамках концепта циркулярности и инклюзивности) рассматриваются в исследованиях крайне редко, что делает актуальной проработку этой задачи.

## Заключение

Мы исследовали возможности совершенствования управления ресурсообеспечением индустриального развития регионов, опираясь на принципы экономики замкнутого цикла и современных интеллектуальных технологий поддержки принятия управленческих решений. Основными активами экономики замкнутого цикла являются децентрализованное принятие решений, осознанное использование доступных знаний и информации для перехода на климатоориентированные технологии, позволяющие безопасно использовать традиционные (водные) ресурсы. Наиболее важную роль для применения данной модели играют определение иерархии приоритетов в управлении отходами (включая рациональное распределение водных ресурсов между потребителями и их безотходное использование, повторное использование очищенной воды, повышение экологичности ВХК и др.), а также технологические инновации.

Новизна нашего подхода состоит в:

- совершенствовании инструментария оценки изменения общего объема водных ресурсов региона, а также разработки коэффициентов взаимосвязи уровня технологичности индустриального комплекса и его ресурсоемкости;
- сочетании отдельных теорий и концепций (в том числе экономики замкнутого цикла), обеспечивающих комплексное представление о параметрах ресурсоемкости отраслей промышленного сектора региональной экономики с разным уровнем технологичности и об основных детерминантах изменения ресурсоемкости промышленного производства в регионе;
- применении адекватного экономико-математического инструментария поддержки принятия решений, направленных на рациональное распределение и эффективное использование природных ресурсов и достижение баланса разнонаправленных интересов производителей и потребителей ресурсов. Возможность нахождения коалиционного компромисса и баланса интересов заложена в концепте циркулярности.

Дальнейшие исследования данной проблематики связаны с поиском новых и совершенствованием существующих механизмов и технологий разработки эффективных экономических решений в системе управления энергетическими и водными ресурсами с учетом согласования интересов энерго- и водопользователей в индустриальной экосистеме региона.

## Литература / References

- Георгиади А.Г., Милюкова И.П., Кашутина Е.А. (2020). Современные и сценарные изменения речного стока в бассейне Дона. *Водные ресурсы* **47**(6), 651–662. [Georgiadi, A., Milyukova, I. and Kashutina, E. (2020). Contemporary and scenario changes in river runoff in the Don Basin. *Water Resources* **47**(6), 651–662 (in Russian)]. DOI: 10.31857/S0321059620060061
- Давиденко Л.М., Беспалый С.В., Бекниязова Д.С. (2020). Ресурсная парадигма построения промышленной экосистемы цифрового формата. *Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права* (1), 58–68. [Davidenko, L., Bospaly, S., Bekniyazova, D. (2020). The resource paradigm of building an industrial ecosystem of digital format. *Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law* (1), 58–68 (in Russian)]. DOI: 10.21295/2223-5639-2020-1-58-68
- Косолапов А.Е., Матвеева Л.Г. (2018). Управление эффективностью водообеспечения региональной системы. *Региональная экономика. Юг России* (4), 170–181. [Kosolapov, A., Matveeva, L. (2018). Water supply efficiency management of the regional system. *Regional Economy. South of Russia* (4), 170–181 (in Russian)]. DOI: 10.15688/re.volsu.2018.4.17
- Косолапова Н.А., Матвеева Л.Г., Чернова О.А. (2019). Конфигурация экспертного метода расчета «компромиссных» цен на воду для согласования интересов субъектов гидроэнергетики. *Естественные и гуманитарные исследования* **24**(2), 39–46. [Kosolapova, N., Matveeva, L., Chernova, O. (2019). Configuration of the expert method for calculating “compromise” water prices for coordinating the interests of hydropower subjects. *Natural and Humanitarian Studies* **24**(2), 39–46 (in Russian)].
- Ложникова А.В., Развадовская Ю.В., Шевченко И.К., Хлопцов Д.М., Чернявский С.В. (2016). Характеристики ресурсоемкости и ресурсоэффективности в сфере российского ТЭК. *Terra Economicus* **14**(3), 112–120. [Lozhnikova, A., Razvadovskaya, Yu., Shevchenko, I., Khloptsov, D. and Chernyavskiy, S. (2016). Characteristics of resource intensity and resource efficiency in the Russian fuel and energy sector. *Terra Economicus* **14**(3), 112–120 (in Russian)]. DOI: 10.18522/2073-6606-2016-14-3-112-130
- Салугин А.Н., Балкушкин Р.Н. (2021). О применении искусственных нейронных сетей для моделирования водопотребления. *Водное хозяйство России* (1), 70–84. [Salugin, A. and Balkushkin, R. (2021). On application of artificial neural networks for modeling of water consumption. *Water Management of Russia* (1), 70–84 (in Russian)]. DOI: 10.35567/1999-4508-2021-1-5
- Сухарев О.С., Ворончихина Е.Н. (2020). Структурная политика роста в России: ресурсы, технологичность, риск и индустриализация. *Journal of New Economy* **21**(1), 29–52. [Sukharev, O., Voronchikhina, E. (2020). Structural growth policy in Russia: Resources, manufacturability, risk and industrialization. *Journal of New Economy* **21**(1), 29–52 (in Russian)]. DOI: 10.29141/2658-5081-2020-21-1-2
- Aldy, J., Kotchen, M., Stavins, R. and Stock, J. (2021). Keep climate policy focused on the social cost of carbon: A proposed shift away from the SCC is ill advised. *Science* **373**(6557), 850–852. DOI: 10.1126/science.abi7813
- Bacovis, M. and Borchardt, M. (2021). Assessing the influence of circular economy practices in companies that orchestrate an ecosystem of a Brazilian industrial cluster. *Industrial Engineering and Operations Management, XXVI IJCIEOM*, Rio de Janeiro, Brazil, February 22–24, pp. 13–31. DOI: 10.1007/978-3-030-78570-3\_2
- Cappelli, R., Montobbio, F. and Morrison, A. (2020). Unemployment resistance across EU regions: The role of technological and human capital. *Journal of Evolutionary Economics* **31**(2). DOI: 10.1007/s00191-020-00693-5

- Ferasso, M., Beliaeva, T., Kraus, S., Clauss, T. and Ribeiro-Soriano, D. (2020). Circular economy business models: The state of research and avenues ahead. *Business Strategy and the Environment* **29**, 3006–3024. DOI: 10.1002/bse.2554
- Kosolapova, N., Matveeva, L., Nikitaeva, A. and Molapisi, L. (2021). The rational use of water resources in the strategy of Industry 4.0. *Water Resources Management* **35**(9), 3023–3041. DOI: 10.1007/s11269-021-02889-1
- Mendoza, J., Gallego-Schmid, A., Velenturf, A., Jensen, P. and Dorleta, I. (2022). Circular economy business models and technology management strategies in the wind industry: Sustainability potential, industrial challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **163**, 112523. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112523.
- Mutezo, G. and Mulopo, J. (2021). A review of Africa's transition from fossil fuels to renewable energy using circular economy principles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **137**, 110609. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110609
- Newell, R., Pizer, W. and Raimi, D. (2019). U.S. federal government subsidies for clean energy: Design choices and implications. *Energy Economics* **80**, 831–841. DOI: 10.1016/j.eneco.2019.02.018
- Pieroni, M., McAloone, T. and Pigosso, D. (2020). From theory to practice: systematising and testing business model archetypes for circular economy. *Resources, Conservation and Recycling* **162**, 105029. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105029
- Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L. and Vaisanen, J.-M. (2021). Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy – Multiple case study. *Resources, Conservation and Recycling* **164**, 10515. DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.105155
- Ruggieri, A., Braccini, A., Poponi, S. and Mosconi, E. (2016). A meta-model of inter-organisational cooperation for the transition to a circular economy. *Sustainability* **8**(11), 1153. DOI: 10.3390/su8111153
- Stevovic, I., Mirjanic, D. and Petrovic, N. (2021). Integration of solar energy by nature-inspired optimization in the context of circular economy. *Energy* **235**(7), 121297. DOI: 10.1016/j.energy.2021.121297
- Su, C. and Urban, F. (2021). Circular economy for clean energy transitions: A new opportunity under the COVID-19 pandemic. *Applied Energy* **289**(7565), 116666. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.116666
- Tseng, M.-L., Negash, Ye., Nagypál, N., Iranmanesh, M. and Tan, R. (2021). A causal eco-industrial park hierarchical transition model with qualitative information: Policy and regulatory framework leads to collaboration among firms. *Journal of Environmental Management* **292**(3), 112735. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112735
- Wang, Z., Xu, X. and Liang, Z. (2016). Industrial upgrade and economic governance in the Pearl River Delta – A case study of Dongguan city. *China Finance and Economic Review* **4**(1), 17. DOI: 10.1186/s40589-016-0043-x
- Wiesmeth, H. (2020). Systemic change: The complexity of business in a circular economy. *Foresight and STI Governance* **14**(4), 47–60. DOI: 10.17323/2500-2597.2020.4.47.60