УДК 332.122 *https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-5-20-45*

Оригинальная статья / Original paper

Водообеспеченность и качество водных ресурсов как детерминанты промышленной безопасности регионов Юга России

Л. Г. Матвеева[1], Н. А. Косолапова[1], М. В. Папушенко[2], М. М. Головачева[3]

lmatveeva@sfedu.ru

[1] *Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону, Россия*
[2] *АНО «Федеральный центр компетенций в сфере производительности труда», Департамент производительности труда и улучшения условий ведения бизнеса, Москва, Россия*
[3] *Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, г. Ростов-на-Дону, Россия*

АННОТАЦИЯ

Актуальность. В числе важнейших условий достижения технологического лидерства России является промышленная и водная безопасность, высокая корреляция и реципрокное влияние которых формируют основу экологической безопасности, а состояние водообеспеченности и качества воды выступают внутренними вызовами устойчивости. Достаточная водоообеспеченность и высокое качество водных ресурсов являются необходимыми условиями стабильного функционирования индустрии. **Методы.** Для разработки теоретико-концептуального базиса и инструментария оценки состояния водных ресурсов логика принятия решений в сфере промышленной безопасности, учитывая комплементарность связей индустриального и водохозяйственного секторов, представлена как последовательное расширение фокуса управления: от рационального принятия решений – к процессному, системному и ресурсно-комплементарному подходам и далее – к цифровой трансформации управления на основе данных, моделей и знаний. **Результаты.** Построена теоретико-концептуальная рамка исследования и проведен поиск путей и механизмов преодоления возможного возникновения ограничивающего эффекта в системе «промышленность – водные ресурсы», осуществлено развитие теории промышленной и экологической безопасности в сопряжении с концепцией рационального водопотребления. Подчеркнуто методологическое разнообразие подходов к оценке водообеспеченности и предложено использование нейросетевого моделирования для определения потерь на дополнительное испарение с водоемов бассейнов рек Дон, Кубань, Самур, Терек. Определено, что полученные значения потерь вкупе с высокой нагрузкой на водные объекты этих территорий становятся одним из основных дестабилизирующих факторов, оказывающих влияние на промышленный сектор макрорегиона через лимитирование гарантированного водозабора, ухудшение качества технической воды, снижение пропускной способности судоходства и рост экологических ограничений для сбросных вод. Анализ качества водных ресурсов Юга России выявил технологические и правовые риски для промышленной безопасности. Предложена концептуальная модель, опирающаяся на три предпосылки: реципрокная связь промышленной

© Косолапова Н. А., Матвеева Л. Г., Папушенко М. В., Головачева М. М., 2026

и экологической безопасности; двусторонность связи водных ресурсов и промышленности; использование уточненных оценок водообеспеченности с учетом дополнительных потерь на испарение с водной поверхности, качества водных ресурсов и специфики региона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: промышленная безопасность, водопотребление, водообеспеченность, качество водных ресурсов, комплементарность связей в системе «промышленность – водные ресурсы», регионы Юга России.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Матвеева Л. Г., Косолапова Н. А., Папушенко М. В., Головачева М. М. Водообеспеченность и качество водных ресурсов как детерминанты промышленной безопасности регионов Юга России // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2026. № 5. С. 20–45; https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-5-20-45; EDN: SSZXXU

Water supply and quality of water resources as determinants of regional industrial safety of the South of Russia

Lyudmila G. Matveyeva[1], Natalya A. Kosolapova[1], Maxim V. Papushenko[2], Maria M. Golovacheva[3]

lmatveeva@sfedu

[1] *Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia*
[2] *ANO "Federal Competence Center in the field of labor productivity", Department of productivity there and improving business conditions, Moscow, Russia*
[3] *Russian Research Institute for Integrated Use and Protection of Water Resources, Rostov-on-Don, Russia*

ABSTRACT

Relevance. Among the most important conditions for achieving technological leadership in Russia are industrial and water safety, the high correlation and reciprocal influence of which form the basis of environmental safety, and the state of water supply and water quality are internal challenges to sustainability. Sufficient water supply and high quality of water resources are the necessary conditions for the stable functioning of the industry. **Methods.** To develop a theoretical/conceptual basis and tools for assessment of the water resources status the logics of decision making in the sphere of industrial safety, bearing in mind complimentary nature of ties between industrial and water sectors, is presented as the consecutive widening of the management "focusing"; from rational taking a decision to the process, system and resource-complimentary approaches, and further to digital transformation of management based on data, models, and knowledge. **Results.** The theoretical and conceptual framework of the study was built and the search for ways and mechanisms to overcome the possible occurrence of a limiting effect in the system "industry-water resources, the development of the theory of industrial and environmental safety in conjunction with the concept of rational water consumption was carried out. The methodological diversity of approaches to assessing water availability was emphasized and the use of neural network modeling to determine losses for additional evaporation from reservoirs of the Don, Kuban, Samur, Terek river basins was proposed. It was determined that the obtained values of losses, coupled with the high load on the water bodies of these territories, become one of the

main destabilizing factors affecting the industrial sector of the macro/region through limiting the guaranteed water intake, deterioration in the quality of technical water, a decrease in shipping capacity and an increase in environmental restrictions for wastewater. Analysis of the quality of water resources in the South of Russia revealed technological and legal risks for industrial safety. A conceptual model based on three prerequisites is proposed: a reciprocal relationship between industrial and environmental safety; bilateralism between water and industry; the use of updated estimates of water availability, taking into account additional losses on evaporation from the water surface, the quality of water resources and the specifics of the region.

KEYWORDS: industrial safety, water consumption, water supply, quality of water resources, complementarity of relations in the system of industry-water resources," regions of the South of Russia.

FOR CITATION: Matveyeva L. G., Kosolapova N. A., Papushenko M. V., Golovacheva M. M. Water supply and quality of water resources as determinants of regional industrial safety of the South of Russia. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2026. No. 5. P. 20–45; https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-5-20-45; EDN: SSZXXU

ВВЕДЕНИЕ

В Стратегии национальной безопасности России, ориентированной на достижение суверенитета и технологического лидерства нашей страны в мировом экономическом пространстве, ведущая роль отводится промышленности – ключевому драйверу развития остальных отраслей и всей российской экономики. Устойчивое высокотехнологичное развитие, стратегическая безопасность промышленности составляют ключевой индикатор конкурентоспособности России. Выход на передовые позиции ее приоритетных отраслей обеспечит дальнейшее укрепление обороноспособности страны, достижение национальных целей развития, создаст условия для повышения международного авторитета Российской Федерации и привлекательности сотрудничества с ней для других государств[1]. Базовые отрасли отечественной индустрии, в том числе гидроэнергетика и ее водохозяйственный комплекс, выполняют системообразующие функции в отечественной системе хозяйствования, обеспечивают экономику необходимыми средствами производства и первичными энергоресурсами, формируют условия для ее стабильного функционирования, а также оказывают существенное влияние на устойчивость бюджетных и инвестиционных потоков.

Роль промышленности и гидроэнергетики выходит далеко за пределы этих отраслей, поскольку они, выполняя отмеченные функции, создают «энергетическую основу» развития всех территорий страны. Это особенно наглядно проявляется в условиях новой глобализации, которая на текущем этапе является не только геополитическим и геоэкономическим продуцентом происходящих трансформаций в мировой экономике, но и продуктом цифровой революции, определяя новые парадигмы развития отечественной индустрии. В их числе –

1 Стратегия национальной безопасности Российской Федерации. Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 г. № 400.

базирующаяся на цифровых технологиях концепция промышленной и энергетической (в том числе экологической) безопасности как важнейшее условие национальной защищенности и стабильности. При этом очевидна высокая корреляция промышленной и экологической безопасности, а также их реципрокное влияние: промышленная безопасность формирует основу экологической безопасности, в рамках которой состояние водообеспеченности и качества водных ресурсов выступают внутренними вызовами экологической устойчивости. С другой стороны, достаточная водообеспеченность и высокое качество водных ресурсов являются необходимым условием стабильного и безопасного функционирования индустриального комплекса страны и ее регионов.

Высокая водообеспеченность более свойственна северным и дальневосточным регионам Российской Федерации, в то время как в регионах Юга России коэффициенты водообеспеченности экономики принимают минимальные значения [1]. С учетом данного положения становится очевидным повышение риска дестабилизации промышленной безопасности. Основная нагрузка на водные ресурсы южных регионов производится в аграрном секторе, поэтому увеличение уровня обеспеченности водными ресурсами южного промышленного узла возможно именно за счет повышения эффективности использования воды в сельском хозяйстве, что отмечается в публикациях не только российских, но и ряда зарубежных ученых [2]. Поскольку промышленность является одним из главных по объему потребителей воды, дефицит водных ресурсов выступает лимитирующим фактором производственных мощностей и причиной снижения технологической надежности объектов, в особенности в маловодные периоды. Как следствие, возникает определенная «уязвимость» объектов промышленности, а обостряющийся в маловодные периоды конфликт интересов субъектов различных секторов экономики становится причиной усугубления данной проблемы.

Осложнение описанной проблемы возникает также за счет ухудшения качественного состава водных ресурсов. Согласно данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по оценке качества поверхностных вод Российской Федерации [3], по состоянию на 2024 г. качество воды регионов Юга России характеризуется выраженной территориальной неоднородностью и разнообразием загрязнителей. Подчеркивается высокая степень загрязненности (5-й класс качества – «экстремально грязная» вода) в Ростовской области, а низкая, с максимальным количеством створов в регионе, 1-го класса качества («условно чистая» вода), характерна для Республики Крым и некоторых водных объектов Краснодарского края, Карачаево-Черкесской Республики и Республики Северная Осетия – Алания. Такая территориальная неоднородность в области качества воды регионов Юга России становится на общем фоне угрозой промышленной безопасности в связи с тем, что для более развитых промышленных регионов характерно низкое

качество воды, которое влечет за собой повышение затрат на водоподготовку с целью достижения нормативов, требуемых технологическими процессами, а также ограничения в выборе современных технологий, напрямую связанных с качеством воды, повышенные риски аварий и простоев, возможных по причине возникновения коррозии оборудования, сложность соблюдения нормативов по составу стока, снижение инвестиционной привлекательности [4]. А для регионов с более высоким классом качества воды, в свою очередь, характерны более сложные условия (климатические, рельефные) для формирования масштабных промышленных комплексов, следствием чего может стать замедление промышленного развития регионов Юга России.

В данном контексте следует отметить, что к числу основных механизмов реализации государственной политики в сфере обеспечения экологической безопасности относится не только соответствующая оценка проектов и программ развития Российской Федерации и ее регионов, но и проведение экспертизы промышленной безопасности[2] и комплексная модернизация производственно-технологической базы отраслей реального сектора экономики с учетом требований промышленной и экологической безопасности[3]. Таким образом, на государственном уровне, во-первых, подчеркивается тесная связь промышленной и экологической безопасности; во-вторых, демонстрируется, что модернизация производственно-технологической базы отраслей реального сектора экономики, которая необходима для их устойчивого роста, реализуется именно с учетом требований промышленной и экологической безопасности.

В соответствии с этим логика принятия решений в сфере промышленной безопасности, учитывая очевидную комплементарность связей индустриального и водохозяйственного секторов экономики, может быть представлена как последовательное расширение так называемого фокуса управления: от рационального и точного принятия решений – к классическим процессному, системному и ресурсно-комплементарному подходам и далее – к цифровой трансформации управления на основе данных, моделей и знаний. При этом именно цифровизация стала новым витком этой эволюции: она перестраивает связи между ранее сформировавшимися подходами, переводя управление от локальной автоматизации к сквозной управляемости процессами на основе данных [5].

В ряде публикаций последнего времени отмечается, что реализация перехода водохозяйственных комплексов к новым индустриальным формам на основе масштабной цифровизации приобретает особое значение в современных реалиях, когда гидроэнергетика, выступая компонентом и динамическим профилем индустриального ландшафта региона [6], выполняет важные функции в структурной модернизации региональных экономик, в наращивании потен-

2 Указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176 «О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года».

3 Указ Президента Российской Федерации от 13.05.2017 г. № 208 «О Стратегии экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года».

циала высокотехнологичности и обеспечении сбалансированности развития за счет использования возможностей циркулярных бизнес-моделей [7]. Следует подчеркнуть, что неотъемлемой частью указанного перехода также выступает состояние водных ресурсов, поскольку их исчерпаемость и неоднородность оказывают прямое влияние на технологические режимы промышленного водопользования, бесперебойность функционирования промышленных комплексов и повышение устойчивости к внешним шокам. В императивах достижения технологического лидерства России и ее регионов роль высокотехнологичных предприятий промышленности концептуализируется преимущественно через призму их особого стратегического значения как ключевых агентов структурной трансформации экономики: именно они формируют основу импортозамещающего контура в промышленности, обеспечивают рост экспортного потенциала и создают мультипликативный эффект для смежных отраслей [8]. Функциональная нагрузка высокотехнологичных предприятий в новой модели экономики не ограничивается производством наукоемкой продукции, а цифровизация промышленности выступает фактором изменения пространственно-отраслевой структуры региона, при этом высокотехнологичные предприятия играют роль точек диффузии технологических инноваций в смежные производства. Для пространственно-отраслевой трансформации состояние водных ресурсов может стать критическим лимитом, обладающим двойственностью воздействия, выступая, с одной стороны, возможным стимулом, а с другой стороны, вероятным ограничителем. Стимулирующий эффект проявляется при внедрении водосберегающих технологий, в том числе в агарном и промышленном секторах, и при переходе к циркулярным моделям водопользования; ограничивающий эффект возникает при дефиците воды с низкой степенью загрязненности и приводит к удорожанию водоподготовки, что снижает или эффективность действующих высокотехнологичных мощностей, или инвестиционную привлекательность создания новых производств.

По мнению авторов статьи, в данном контексте методологический и практический интерес представляет научно обоснованный поиск путей и механизмов преодоления возможного возникновения ограничивающего эффекта, что напрямую связано с пониманием водообеспеченности и качества водных ресурсов как ключевых детерминант промышленной безопасности регионов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представленные выше многогранность и полиаспектность проблематики промышленной безопасности через призму приоритетной роли водных ресурсов региона объясняют междисциплинарный характер исследования, базирующийся на совместном непротиворечивом использовании целого спектра взаимосвязанных теорий и концепций. В их числе: теории пространственно-

го развития и размещения производительных сил, территориального и промышленного развития, ресурсоэффективности, структурной трансформации региональных систем, новая экономическая география, концепция модернизации промышленного производства на основе инноваций и цифровизации, институциональная экономика и др., что предопределено высочайшим приоритетом стратегического развития промышленности и необходимостью ее регионального регулирования как иерархически вложенной системы, определяющей включенность субъектов в промышленную политику страны. При этом, по мнению большого числа ученых (А. Е. Косолапов, Н. А. Косолапова, Л. Г. Матвеева, Е. В. Каплюк и др.), промышленный сектор региона необходимо рассматривать в совокупности с природно-климатическими факторами, в том числе водными ресурсами территории. Современные работы в области взаимоувязанного исследования промышленного и водного секторов региона рассматривают их как взаимозависимую систему, в которой управленческие решения в одном секторе порождают эффекты перелива в сопряженных секторах водного хозяйства, при этом фокус делается на поиске компромиссов между данными секторами. В развитие этого авторы статьи выдвигают и проверяют гипотезу о том, что промышленная безопасность достигается через формирование устойчивой, целеориентированной на эффективное использование ограниченных водных ресурсов конфигурации связей между этими секторами региональной экономики. В рамках данной концепции рассматривается совместное применение системного, ресурсно-целевого, а также ресурсно-комплементарного подхода и концепции резильентности для построения типологии управленческих режимов, обеспечивающих максимальный синергетический эффект, и выявления лимитирующих факторов достижения устойчивости промышленной безопасности региона.

Существующая в методологическом пространстве проблематика рационального использования водных ресурсов региона в концептах промышленной безопасности, а также концептуальная детерминация взаимоувязанного и взаимосопряженного развития промышленной и водной экосистем региона обеспечивается, таким образом, взаимосвязью механизмов и стратегий их развития на разных иерархических уровнях.

Промышленное производство оказывает значительное влияние на уровень водопотребления за счет большей водоемкости по сравнению с другими видами экономической деятельности, но при этом имеет высокий потенциал энергосбережения, который зависит от используемых технологий. Помимо анализа воздействия технологических изменений, стоит вопрос о значимости производительности труда в промышленности и структурных изменений в индустриальной сфере в совокупном влиянии этих факторов на интенсивность и эффективность водопотребления. Исторически сложившаяся неравномерность отраслевой структуры экономики регионов только увеличивает акту-

альность подобных исследований. В данном контексте значимость указанных задач определяется влиянием политики водообеспечения не только на конкурентоспособность отраслей индустрии и промышленную безопасность, но и на сбалансированность водоресурсного, промышленного и социально-экономического развития региона.

Отметим, что взаимосвязь, взаимообусловленность и взаимовлияние промышленной и водной экосистем определяют важность специального исследования проблемы управления эффективным водоресурсным обеспечением промышленного развития региона в стратегических императивах инновативации и цифровизации. Результаты многочисленных исследований позволяют констатировать, что главные причины существующих проблем в системе водоресурсного обеспечения промышленного развития региона состоят в следующем: прежде всего, это несоответствие действующего экономического механизма распределения и использования водных ресурсов в данной сфере, финансовых возможностей водопользователей и в целом системы управления использованием и охраной водных ресурсов их фактическому потенциалу, а также несогласованность стратегий водопользования промышленных систем разных иерархических уровней.

Спектр отраслевой принадлежности предприятий – потребителей воды в масштабах региона является весьма разнообразным и в целом соответствует специализации региона, а также уровню развития в нем производственных и инфраструктурных секторов регионального хозяйства. В зависимости от политики промышленного развития на региональном уровне, может оказаться необходимой приоритетная поддержка определенных производств как базиса эффективного функционирования всей воспроизводственной системы региона.

В текущем аспекте рациональность водопользования выражается в достижении наибольшего соответствия между существующими потребностями и фактическим обеспечением водными ресурсами хозяйствующих субъектов. В стратегическом аспекте важное значение приобретает сложившаяся динамика отраслевой водоемкости в регионе, поскольку определяет ключевые ориентиры для прогнозирования будущих потребностей субъектов региона в водных ресурсах.

Верифицированный в процессе исследования высокий уровень водоемкости промышленного производства, характерный для российских предприятий в современных условиях хозяйствования, детерминирует необходимость повышения рациональности водопользования для укрепления конкурентных позиций региональных экономик. Критический уровень нагрузки на водные ресурсы является сдерживающим фактором социально-экономического развития территории, одновременно создавая угрозу для экологической и промышленной безопасности. В последние годы все большее количество ученых в изучении проблематики рационального распределения и использования водных

ресурсов особый акцент делают на необходимости использования показателя водоемкости ВРП в региональном стратегировании. Это объясняется тем, что данный подход позволяет оценить уровень использования водосберегающих технологий в регионе и возможность интенсификации факторов регионального промышленного производства при сохранении целостности водохозяйственных систем.

Таким образом, учитывая объективно сложившуюся сложность современной системы водопользования и необходимость реализации различных подходов к управлению водными ресурсами, адаптированных к специфике конкретного водного бассейна и промышленной экосистемы региона, требуется совершенствование инструментария поддержки принятия решений в данной сфере.

Авторами статьи предлагается использование классических подходов к количественной оценке вкупе с современными методами нейросетевого моделирования, предоставляющими возможность уточненной и регулярной оценки водообеспеченности регионов Юга России.

Полученные с использованием нейросетевых моделей по определению водной поверхности на космических снимках (сверточная нейронная сеть DeepWaterMap) и площадей водных объектов (трансформерная нейронная сеть EfficientNet – MANet) значения позволяют определять потери на дополнительное испарение с водоемов [9]. Определение площадей водоемов осуществлено с использованием данных дистанционного зондирования Земли с космических аппаратов серии Landsat для бассейнов рек Дон, Кубань, Самур и Терек, относящихся к исследуемому макрорегиону. Выбор данного источника обусловливается регулярностью проведения съемок и высокой площадью покрытия, при этом для полного покрытия бассейнов указанных рек использовались данные за 2018–2024 гг., позволяющие полностью охватить исследуемую территорию. Чтобы оценить максимально возможные потери на дополнительное испарение с водной поверхности, были взяты максимальные площади водоемов при наличии пересечения. Для расчета дополнительных потерь на испарение с поверхности водоемов отобраны данные о среднем многолетнем слое испарения с водной поверхности за теплый период с 5-го по 9-й месяц включительно по испарителю ГГИ-3000 [10], о среднем многолетнем слое скорректированных значений осадков с устранением систематических погрешностей осадкомерных приборов по данным наблюдений за аналогичный период[4]. Выбор данного временного периода обусловливается тем, что объем испарений в холодные месяцы (с ноября по март) либо пренебрежимо мал, либо его учет требует специальных методик (например, для снежного покрова), которые не входят в стандартные расчеты для водоемов.

4 Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). [Электр. ресурс]. URL: http://meteo.ru

С использованием геоинформационных программных средств выполнено интерполирование значений среднего многолетнего слоя испарения с водной поверхности и скорректированных значений осадков с устранением систематических погрешностей осадкомерных приборов по методу обратного взвешенного расстояния. Для водоемов бассейна рек Дон, Кубань, Терек, Самур с учетом средней площади зеркал водоемов, идентифицированных нейронной сетью, определен объем осадков и испарения с водной поверхности. Это реализовано с помощью алгоритма, позволяющего по координатам присваивать каждым выделенным бассейнам рек значения скорректированных осадков и испарений с водной поверхности. Shape-файлы с территориями бассейнов и интерполяционными значениями показателя (скорректированные осадки, испарение с водной поверхности) накладываются по координатам слоями друг на друга. Значение показателя присваивается бассейну при пересечении. В случае, когда бассейн пересекает несколько значений показателя, присваивается его среднее значение. На основе полученных данных рассчитаны потери на дополнительное испарение с водной поверхности по площадям зеркал при их максимальном наполнении и продемонстрировано перспективное влияние выявленных потерь на промышленный сектор регионов Юга России.

Для характеристики качества водных ресурсов регионов Юга России использовались данные ежегодника «Качество поверхностных вод Российской Федерации» [3], на основе которых оценено состояние качества водных ресурсов регионов Юга России и выявлены возможные риски промышленной безопасности.

По результатам эмпирического анализа авторами предложена концептуальная модель взаимосвязи качества водных ресурсов, водообеспеченности и промышленной безопасности регионов Юга России.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В концептах принятого авторами данного исследования ресурсно-комплементарного подхода конкурентоспособность региональной экономики все в меньшей степени определяется доступом к наличным природным ресурсам, в частности к водным, и все в большей – способностью их генерировать и интегрировать с технологическими инновациями, что продуцирует синергетический эффект. Л. В. Глезман обосновывает, что именно технологически сложные производства в логике ресурсной комплементарности с природными ресурсами определяют пространственно-отраслевую специализацию региона и выступают центрами притяжения квалифицированных кадров и инвестиций [11].

Промышленность Юга России – это мощный агропромышленный, энергетический и машиностроительный комплекс. Главные роли в нем играют пищевая индустрия, сельхозмашиностроение, топливно-энергетический сектор, а также металлургия и производство стройматериалов. Совокупная выручка 300 крупнейших промышленных предприятий Юга России с 2022 по 2025 г.

выросла на 10 %, однако их суммарная прибыль сократилась более чем вдвое. Индустрия региона демонстрирует сдержанную динамику и высокую зависимость от агропромышленного комплекса. Перерабатывающая промышленность и сельское хозяйство остаются главными драйверами стабильности для южных регионов, включая Краснодарский край.

Наиболее крупными водопользователями Юга России, представляющими отчетность об использовании воды в форму 2-ТП (водхоз), являются предприятия электроэнергетики, нефтедобычи, химической промышленности и агропромышленного комплекса (табл. 1).

Таблица 1. Объемы использования воды крупными предприятиями-водопользователями[5]
Table 1. The volumes of water use by major enterprises water-users

Название предприятия	Объем воды, млн м³	
	Забранной	Сброшенной
ООО «ЛУКОЙЛ-Экоэнерго» (Белореченская ГЭС)	1768,15	0
Филиал ПАО «ОГК-2» – Ставропольская ГРЭС	1613,22	1612,82
Филиал ПАО «РусГидро» – «Каскад Кубанских ГЭС» (по СК)	966,61	0
ООО «ЛУКОЙЛ-Кубаньэнерго»	162,5	157,49
Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» – «Ростовская атомная станция»	120,26	55,72
АО «КАУСТИК»	58,62	42,97
ООО «АПК АСТРАХАНСКИЙ»	16,67	0,6
Южный филиал ООО «Газпром энерго» (Южный ФГПЭ)	15	3,99
ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть»	15,97	12,94

Например, в Ростовской области – одном из ведущих регионов Юга России (рис. 1), характеризующемся, как было отмечено выше, высоким водопотреблением в силу специфики аграрного производства, – по итогам 2025 года обрабатывающие производства сохраняли ведущие позиции в структуре экономики (табл. 2).

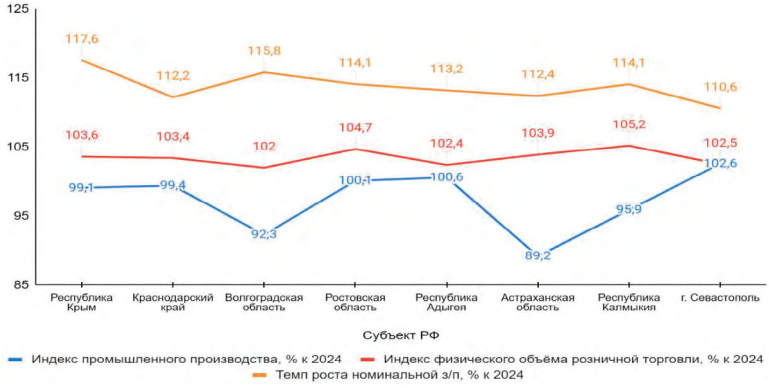


Рис. 1. Сравнительные показатели промышленного развития субъектов ЮФО, январь – декабрь 2025 г.[6]

Fig. 1. Comparative indicators of the South Federal District constituent members' industrial development, January – December, 2025

5 Составлено авторами на основе данных формы 2-ТП (водхоз).
6 Составлено авторами по данным Росстата.

Таблица 2. Индексы производства и объем отгруженной продукции по отдельным высокотехнологичным видам деятельности Ростовской области, январь – декабрь 2025 г.[7]

Table 2. Indices of production and the volume of factory shipments for some high-tech types of activities of Rostov Oblast, January – December, 2025

Вид деятельности	Индекс производства, % к 2024 г.	Объем отгруженной продукции, млн руб.	% к 2024 г.
Обрабатывающие производства, всего	100,7	1 492 320,2	95,9
Производство прочих транспортных средств и оборудования	114,6	160 667,7	113,7
Производство машин и оборудования	106,4	105 572,0	81,5
Производство электрического оборудования	104,8	57 536,2	112,3
Производство компьютеров, электронных и оптических изделий	83,0	45 059,8	94,9

Ростовская область входит в число регионов ЮФО с положительной динамикой промышленного производства (100,1 %) и наибольшим приростом розничного товарооборота (104,7 %), что свидетельствует об относительной устойчивости экономики. Вместе с тем темп роста заработной платы (114,1 %) уступает Республике Крым (117,6 %) и Волгоградской области (115,8 %) и в контексте конкуренции за технологические кадры создает дополнительное давление на высокотехнологичные предприятия региона.

Инновационная составляющая региональной промышленности также демонстрирует положительную динамику: объем производимой инновационной продукции составил 240,0 млрд руб., удельный вес организаций, осуществлявших технологические инновации, – 50,3 %[8].

Вместе с тем анализ данных показателей выявляет ряд структурных ограничений (табл. 3). По сравнительным данным в разрезе субъектов Южного федерального округа Ростовская область в 2025 г. входит в группу регионов с индексом промышленного производства выше 100 % (100,1 %) и опережающим темпом роста заработной платы (113,9 % против среднего по ЮФО 113,4 %)[7].

Таким образом, высокотехнологичное производство формирует значимый вклад в конкурентоспособность экономики Ростовской области и Юга России в целом.

7 Экономические и социальные индикаторы развития Ростовской области в январе – декабре 2025 года / Росстат. Ростов-на-Дону, 2026. [Электр. ресурс]. URL: https://61.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/i2608033.pdf

8 Отчет о реализации государственной программы Ростовской области «Экономическое развитие и инновационная экономика» за 2025 год. [Электр. ресурс]. URL: https://www.donland.ru/result-report/2808/

Таблица 3. Структурные ограничения высокотехнологичного сектора Ростовской области

Table 3. Structural limitations of the high-tech sector of Rostov Oblast

Параметр	Фактическое состояние	Выявленное ограничение
Структура спроса	Производство транспортных средств и оборудования (ОПК) – рост 114,6 %; производство компьютеров и электроники – снижение до 83,0 %	Зависимость от оборонного заказа при слабости гражданского высокотехнологичного сегмента
Экспортный потенциал	Объем несырьевого неэнергетического экспорта – 4800 млн долл. США при плане 8720 млн долл. США	Недовыполнение экспортных показателей на 45% вследствие снижения экспорта продовольствия и слабости промышленного экспорта
Цифровая зрелость отраслей	Показатель 68,2 % достигнут преимущественно за счет госуправления и социальной сферы	Неравномерное распределение цифровой зрелости между отраслями и размерными группами предприятий
Инновационная активность	50,3 % организаций осуществляли технологические инновации	Разрыв между крупными предприятиями ОПК и средним технологическим бизнесом по уровню инновационной активности

Таблица 4. Сопоставление уровня технологической интенсивности и динамики производства по высокотехнологичным видам деятельности Ростовской области, 2025 г.[9]

Table 4. Comparison of the technological intensity levels and production dynamics in terms of high-tech types of activities of Rostov Oblast, 2025

Вид деятельности	Среднемесячная з/п, руб.	Индекс производства, % к 2024	Объем отгрузки, млрд руб.	Динамика объема, % к 2024
Производство компьютеров, электроники и оптики	100 616,8	83,0	45,1	94,9
Производство прочих транспортных средств	96 277,1	114,6	160,7	113,7
Производство машин и оборудования	91 660,4	106,4	105,6	81,5
Производство электрического оборудования	90 728,1	104,8	57,5	112,3
Производство химических веществ	85 392,3	116,8	59,2	109,0
Обрабатывающие производства, всего	84 275,9	100,7	1 492,3	95,9

Анализ табл. 4 позволяет зафиксировать несколько эмпирически значимых закономерностей и перенести выявленные закономерности на отраслевую структуру водопотребления и водоотведения. Во-первых, производства с наиболее высоким уровнем оплаты труда (компьютеры и электроника – 100 616,8 руб.) демонстрируют отрицательную динамику физического объема выпуска (83,0 %), что свидетельствует о циклической, а не структурной природе их производственной активности и ее обусловленности государственным заказом, и, как следствие, минимизации антропогенной нагрузки на водные объекты. Во-вторых, наиболее устойчивый рост показывают сегменты с диверсифицированным спросом: химическое производство (116,8 %) и производство транспортных средств (114,6 %), что сопряжено с увеличением водо-

9 Составлено авторами по данным Росстата.

забора и с повышением рисков сбросов высокотоксичных загрязнителей. Так, секторальный экономический рост в какой-то мере конфликтует с показателями состояния водных ресурсов, превращая его мониторинг в критический фактор устойчивости промышленных кластеров, т. к. исчерпание потенциала ассимиляционного потенциала водных объектов нивелирует позитивные макроэкономические эффекты и формирует долгосрочные техногенные риски.

К оценке водообеспеченности существует ряд подходов, включающих в себя рассмотрение данного показателя через призму территориального деления, т. е. водообеспеченность территорий, и через призму потребительских нужд, т. е. водообеспеченность населения, также выделяется водообеспеченность экономики, под которой понимается «отношение ресурсов речного стока к забору пресных вод» [1]. Зачастую исследователи прибегают к использованию классического математического инструментария, статистического анализа, критериального подхода и картирования, а источниками данных для оценки служат сведения Федеральной службы государственной статистики, Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, научно-исследовательских институтов и бассейновых водных управлений и материалы дистанционного зондирования Земли. При этом анализ отечественных и зарубежных источников позволил выявить многоаспектность методов оценок водообеспеченности.

Так, классическим способом являются расчеты показателей водообеспеченности территорий как отношение количества ресурсов к площади рассматриваемой территории и водообеспеченности населения как интегральной характеристики, определяющейся по количеству водных ресурсов по отношению к численности населения в исследуемом регионе [12]. Первый показатель не способен отразить реальный уровень обеспеченности водными ресурсами регионов Юга России в связи с отсутствием учета географических и климатических характеристик, а также особенностей отраслевого водопотребления. Водообеспеченность территорий может привести к завышенным представлениям о ресурсном благополучии в сфере водного хозяйства на Юге России за счет наличия регионов с горной местностью, в то время как основные индустриальные кластеры локализованы в регионах с равнинной местностью и высокой антропогенной нагрузкой. В связи с этим многие исследователи прибегают к использованию такого удельного показателя, как водообеспеченность населения, который коррелирует с производственным водопотреблением и позволяет ранжировать регионы Юга России по водообеспеченности. Вместе с тем данный показатель не может рассматриваться как универсальный предиктор, т. к., во-первых, не учитывается сезонность, что особенно значимо в оценке водообеспеченности, поскольку присутствуют существенные различия в площадях водоемов в период половодья и межени; во-вторых, в условиях глобального потепления, порождающего повышение потерь на

дополнительное испарение, и высокого значения риска водного стресса как одного из климатических рисков [9] достигаются завышенные представления о доступности водных ресурсов. Показатель водообеспеченности населения также дополняется расчетом эффективности и устойчивости водообеспеченности [13], формируя многоуровневую систему оценок, дающую возможность одновременной оценки по нескольким независимым, но взаимосвязанным параметрам, которая определяет положение регионов Юга России по уровню водообеспеченности.

В научной среде получили особое распространение и такие способы оценки водообеспеченности, как использование геоинформационных технологий и данных дистанционного зондирования Земли [14], позволяющие осуществлять пространственное моделирование элементов водного баланса, включая объемы осадков, испарения и стоков, с высокой пространственной дискретностью. Индикаторы вегетационных индексов (NDVI, NDDI) и метеорологические индексы засушливости (SPI, AI) являются дополнением и позволяют уточнить водообеспеченность в семиаридных регионах Российской Федерации, часть из которых входит в регионы Юга России. Зачастую сегодня используется именно многокритериальный подход, включающий в себя интеграцию гидрологических, климатических, географических и социально-экономических измерений, что особенно актуально для южнороссийского макрорегиона. Объединение данных подходов и внедрение современного инструментария нейросетевого моделирования предоставит возможность уточнения водообеспеченности данных регионов в режиме оперативного мониторинга, что позволит сократить временные затраты, повысить адаптивность принимаемых управленческих решений и, как следствие, снизить риски для промышленной безопасности.

Описываемое методологическое разнообразие может привести к неоднозначной трактовке реального состояния водообеспечения регионов Юга России и вызвать принятие неэффективных управленческих решений, что напрямую отразится на состоянии промышленного сектора. Во многих исследованиях недостаток водных ресурсов связывают с негативным влиянием промышленности, которая как один из крупнейших участников водохозяйственного комплекса потребляет большое количество пресной воды, тем самым усугубляя проблему вододефицита, и способствует ухудшению качества водных ресурсов. Данный аспект невозможно не учитывать, однако стоит заметить, что присутствует другая взаимосвязь: угроза промышленной безопасности порождается вододефицитом и неудовлетворительным качеством воды в регионах Юга России. Это приводит к ухудшению экстенсивных и интенсивных факторов производства. В части экстенсивных факторов происходит сокращение объемов водных ресурсов как сырья, рост капиталовложений, не связанных с улучшением основных технологий, а направленных на поддержание минимального уровня водоснабжения. Воздействие на интенсивные факторы осуществля-

ется через снижение эффективности технологических процессов, в частности их замедление, ухудшение свойств готовой продукции, торможение интенсивного обновления основных фондов по причине повышения физического износа оборудования и увеличение ресурсоемкости производства. В связи с этим можно прийти к выводу о том, что в исследуемом макрорегионе существует угроза формирования деструктивного контура промышленного сектора через водные ресурсы. Количественная недостаточность в виде вододефицита и неудовлетворительные качественные характеристики в виде высокой степени загрязненности становятся не просто операционными издержками, а мощным дестимулятором интенсивного пути развития промышленного сектора.

Неоднородность у регионов Юга России наблюдается и в уровне нагрузки на водные объекты. Так, бассейны рек Дон и Кубань характеризуются очень высоким и критическим уровнем нагрузки на водные объекты, и на данной территории имеет место серьезный дефицит воды [15], а бассейны рек Самур и Терек имеют более дифференцированную нагрузку на водные объекты за счет специфики горного рельефа, но при этом обладают высокой природной уязвимостью [16]. Это, в свою очередь, порождает уязвимость промышленной инфраструктуры, требует повышения мер эффективности водопотребления в бассейнах рек Дон и Кубань, что реализуемо через повышение эффективности водопотребления в аграрном секторе и снижение уровня конкуренции участников водохозяйственных комплексов и приводит к необходимости в особом акценте на сезонности как для бассейнов рек Дон и Кубань, так и в особенности для бассейнов рек Самур и Терек, обусловленном ливневым режимом питания рек и водосборов с низкой буферной способностью. По результатам расчетов изменения площадей в бассейнах рек Дон, Кубань, Самур и Терек с использованием нейронных сетей DeepWaterMap и EfficientNet – MANet [17] на основе данных космических снимков Landast-8 и Landast-9 по состоянию на 2018–2024 гг. наблюдается снижение площадей водоемов (с площадью зеркала > 0,025 км², поскольку данная площадь является незначительной величиной в контексте моделирования водохозяйственных балансов) в меженный период по сравнению с периодом половодья (табл. 5).

Таблица 5. Изменение площадей водоемов в бассейнах рек Дон, Кубань, Самур, Терек
Table 5. Changing of the water bodies' areas in the Don, Kuban, Samur, and Terek rivers' basins

Бассейн реки	Изменение, %
Дон	−14
Кубань	−59,76
Самур	−32,36
Терек	−7,56

На основе полученных площадей водоемов были определены потери на дополнительное испарение с водоемов (табл. 6).

Таблица 6. Потери на дополнительное испарение с водоемов в бассейнах рек Дон, Кубань, Самур и Терек за теплый период (5–9-й месяцы)

Table 6. Losses for additional evaporation from water bodies in the Don, Kuban, Samur, and Terek rivers' basins over the warm period (5th – 9th months)

Бассейн реки	Потери на дополнительное испарение с водоемов, млн м^3
Дон	2800,8
Кубань	666,23
Самур	9,61
Терек	95,8

При этом максимальные объемы потерь на дополнительное испарение приходятся с водной поверхности рек. Данное уточнение позволяет прийти к выводу о том, что появляется риск повышения потерь воды и недостижение ею водозаборных сооружений в бассейнах рек Дон и Кубань, в то время как для Самура и Терека рассчитанные значения оказывают на это минимальное влияние в связи с особенностями ландшафта. В дополнение к упомянутой ранее высокой нагрузке на водные объекты в бассейнах рек Дон и Кубань полученные значения потерь на дополнительное испарение с водоемов становятся одним из основных дестабилизирующих гидрологических факторов, оказывающих системное влияние на промышленный сектор макрорегиона. Это приводит к лимитированию гарантированного водозабора, ухудшению качества технической воды, снижению пропускной способности судоходства и росту экологических ограничений для сбросных вод. Подобное влияние можно охарактеризовать как экологическое и инфраструктурное, способствующее увеличению операционных расходов и снижению надежности водохозяйственного обеспечения промышленного сектора Юга России в теплый сезон.

К еще одной детерминанте промышленности безопасности Юга России относится качество водных ресурсов, отличающееся высокой степенью загрязнения. Наблюдение за качеством водных ресурсов не обладает регулярным характером: данные поступают в закрытый контур сегмента «Государственный мониторинг водных объектов» государственной информационной системы «Цифровая платформа «Водные данные» не в полном объеме и несвоевременно, а наиболее детализированный анализ качества водных ресурсов в региональном разрезе представляется Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с периодичностью один раз в два года. В этой связи возникает проблема оперативной оценки состояния качества водных ресурсов, однако кардинальным изменениям способствуют только внешние негативные техногенные факторы, а в последние годы в исследуемом макрорегионе не наблюдается положительных тенденций. Так, в 2024 году в Азовском гидрографическом районе степень загрязненности воды находилась в диапазоне от 1-го до 5-го класса качества (от «условно чистой» до «экстремально грязной») [3]. При этом следует отметить, что превалируют 3-й и 4-й классы качества (рис. 2).

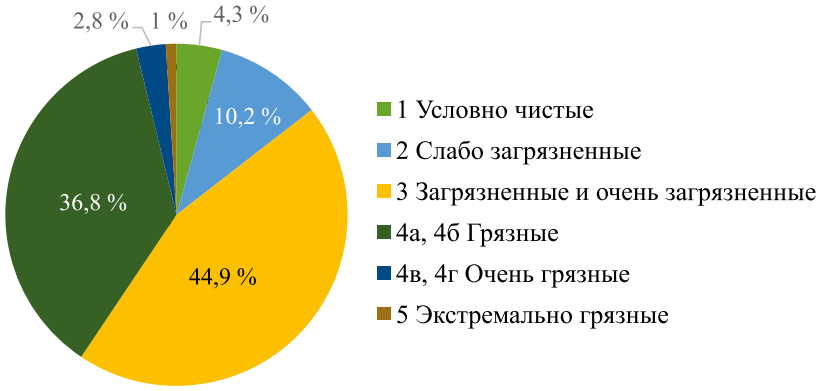


Рис. 2. Степень загрязнения водных объектов Азовского гидрографического района [3]
Fig. 2. The pollution degree of the Azov hydrographic area water bodies [3]

В бассейне реки Терек наблюдается преобладание «загрязненной» и «очень загрязненной» воды в большинстве створов при отсутствии 5-го класса качества («экстремально грязной») воды (рис. 3).

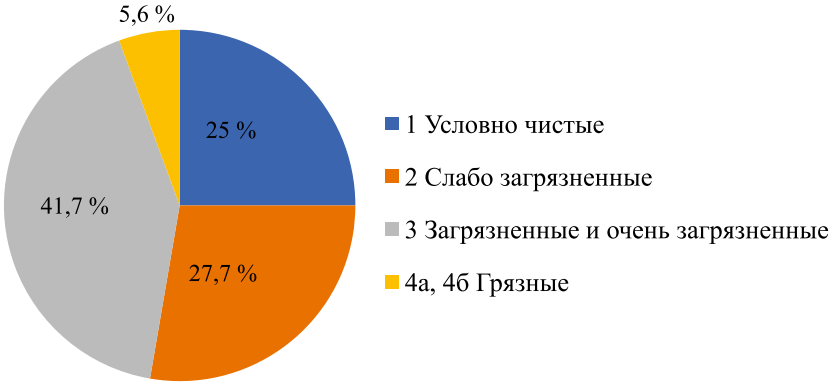


Рис. 3. Степень загрязнения водных объектов бассейна реки Терек [3]
Fig. 3. The pollution degree of the Terek River basin water bodies [3]

В водных объектах Дагестана качество воды варьировалось от 2-го класса («слабо загрязненная») до 3-го класса («загрязненная» и «очень загрязненная»), «очень загрязненная» вода характерна для бассейна реки Самур, а единственное оценивавшееся водохранилище в данном регионе, Чиркейское, имеет 2-й класс качества воды («слабо загрязненная») [3].

Оцененное состояние качества воды в регионах Юга России создает системные ограничения для промышленного водопользования. Антропогенная нагрузка на водные объекты усугубляется природно-климатическими факторами – маловодьем, паводками и геохимическими особенностями региона. Необходимо заметить, что в представленной оценке качества с помощью удель-

ного комбинаторного индекса вод[10] существует проблема отсутствия учета региональных особенностей исследуемых водных объектов – данное положение находит отражение во многих отечественных исследованиях.

Техногенная нагрузка на промышленность макрорегиона связана с наиболее распространенными загрязняющими химическими веществами, характерными для данной области (табл. 7).

Основными источниками загрязнений являются сточные воды предприятий, коммунально-бытовые стоки, животноводческие стоки и свалки в водоохранных зонах, а также на территории Дагестана мелиоративные системы и промышленные объекты, расположенные в водоохранных зонах.

Таблица 7. Наиболее распространенные загрязняющие водные объекты вещества на территории Юга России [3]

Table 7. The most widely spread water bodies' pollutants on the territory of the South of Russia [3]

Загрязняющее вещество	Азовский район	Бассейн Терека	Дагестан
Органика (БПК$_5$/ХПК)	Системный загрязнитель	27 случаев	Характерно для озера
Соединения азота (аммонийный, нитритный)	–	2–11 ПДК	–
Сульфаты	–	161–189 мг/л	до 877 мг/л (озеро)
Соединения меди	Системный загрязнитель	2 ПДК (Новый Терек)	1–2 ПДК
Соединения железа	–	1–2 ПДК	1–2 ПДК
Нефтепродукты	Частота превышений до 34,95 %	Единичные случаи	–

Системный анализ влияния данного уровня качества водных ресурсов на отрасли промышленности макрорегиона свидетельствует о возникновении следующих рисков для промышленной безопасности Юга России.

1. Технологические риски. Для таких водоемких отраслей, как теплоэнергетика, химическая промышленность, металлургия и целлюлозно-бумажное производство, использование воды 3-го («загрязненная» и «очень загрязненная») и 4-го классов качества («грязная» и «очень грязная») повлечет за собой удорожание водоподготовки, поскольку при концентрации органических веществ на высоком уровне потребуется внедрение многоступенчатых систем очистки для обеспечения нормативов качества сточных вод, сбрасываемых в водные объекты[11]. Этому будет сопутствовать повышенный износ оборудования по причине ускорения коррозионных процессов из-за высокой концентрации сульфатов, железа и наличия меди как системного загрязнителя, создающих агрессивную среду для теплообменных аппаратов и трубопроводов.

10 Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2002.

11 Постановление Правительства РФ от 29.07.2013 № 644 (ред. от 28.11.2023) «Об утверждении Правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».

2. Правовые риски. В Водном кодексе Российской Федерации устанавливается обязанность соблюдения нормативов допустимого воздействия на водные объекты[12]. За счет текущего неудовлетворительного качества воды повышается риск нарушения этих нормативов, что может повлечь за собой применение мер административной и гражданско-правовой ответственности, ограничение водопользования в маловодные периоды и необходимость компенсационных выплат за ущерб водным биологическим ресурсам.

Данные риски и сложившаяся обстановка в водном хозяйстве детерминируют в промышленном секторе внедрение систем оборотного водоснабжения с замкнутым циклом для снижения зависимости от качества поверхностных вод и разработку программ повышения эффективности очистных сооружений; для научного сообщества и регуляторов – расширение перечня определяемых веществ при мониторинге водных объектов, разработку целевых показателей качества воды с учетом региональных особенностей и их утверждение на законодательном уровне. Отсутствие подобных мер может привести к дестабилизации промышленной безопасности регионов Юга России и, как следствие, стать барьером для экономического развития региона.

ВЫВОДЫ

На основе указанных выше положений авторами предлагается концептуальная модель, опирающаяся на три предпосылки: реципрокная связь промышленной и экологической безопасности, двусторонность связи водных ресурсов и индустриального сектора, использование уточненных оценок водообеспеченности с учетом дополнительных потерь на испарение с водной поверхности и качества водных ресурсов с учетом региональных особенностей (рис. 4).

Входным контуром модели являются количественный (водообеспеченность) и качественный (класс качества воды) параметры. Воздействие данных факторов на промышленность осуществляется по двум каналам: через экстенсивные факторы производства путем сокращения объемов водных ресурсов как сырья и рост капиталовложений, не связанных с улучшением основных технологий, а направленных только на поддержание минимального уровня водоснабжения; через интенсивные факторы производства посредством снижения эффективности технологических процессов, проявляющегося в их замедлении, ухудшении свойств готовой продукции, торможении обновления основных фондов вследствие повышения физического износа оборудования и роста ресурсоемкости производства. Разделение данных каналов принципиально для модели: воздействие на интенсивные факторы означает, что во-

12 Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 04.08.2026). ВК РФ Статья 35. Разработка и установление нормативов допустимого воздействия на водные объекты и целевых показателей качества воды в водных объектах.

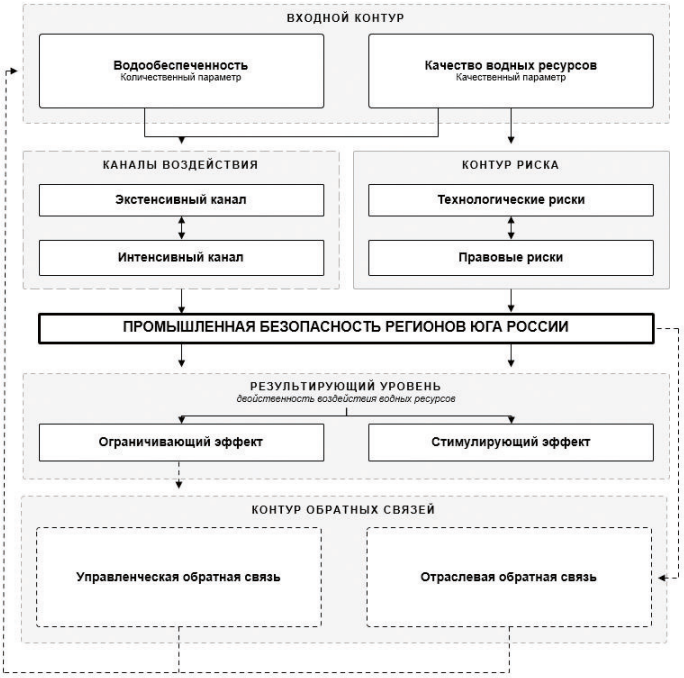


Рис. 4. Концептуальная модель взаимосвязи водообеспеченности, качества водных ресурсов и промышленной безопасности регионов Юга России

Fig. 4. Conceptual model of interconnection of water supply, water resources quality and industrial safety of regions of the South of Russia

дные ресурсы выступают не операционными издержками, а дестимуляторами интенсивного пути развития промышленного сектора. Качественным состоянием водных ресурсов регионов Юга России формируется рисковый контур, в котором выделяется два типа рисков: технологические риски, которые характерны для водоемких отраслей и проявляются в удорожании водоподготовки, необходимости многоступенчатых систем очистки и повышенном износе оборудования; правовые риски, связанные с появлением угрозы в применении мер административной и гражданско-правовой ответственности, ограничениях водопользования в маловодные периоды, компенсационных выплатах за ущерб водным биологическим ресурсам.

Совокупное действие экстенсивного и интенсивного каналов влияния определяет состояние промышленной безопасности регионов Юга России, т. е. технологическую надежность и бесперебойность функционирования промышленных объектов, и формирует результирующий уровень, на котором актуализируется двойственность водных ресурсов, проявляющаяся в ограничивающем эффекте при дефиците воды с низкой степенью загрязненности и в стимулирующем эффекте при внедрении водосберегающих технологий, модернизации инфраструктуры в промышленном и аграрном секторах и переходе к циркулярным моделям.

Модель замыкается двумя обратными связями, первая из которых – отраслевая, отражающая непосредственное воздействие промышленного комплекса на состояние водных ресурсов, вторая – управленческая, формирующаяся реакцией на достигнутый результат и включающая в себя для индустриального сектора внедрение систем оборотного водоснабжения с замкнутым циклом, программы повышения эффективности очистных сооружений, расширение перечня определяемых веществ при мониторинге водных объектов и разработку целевых показателей качества воды с учетом региональных особенностей с их законодательным утверждением. Логика данного контура соответствует последовательному расширению фокуса управления от рационального принятия решений к процессному, системному и ресурсно-комплементарному подходам и далее к цифровой трансформации управления на основе данных, моделей и знаний, обеспечивающих переход от локальной автоматизации к сквозной управляемости процессами.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS
The authors declare no relevant conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третьякова Е. А., Готфрид А. В. Водный рэнкинг регионов России за 2023 год: аналитический обзор / ФГБУН ИЭ УрО РАН; ООО «Кайрос Инжиниринг». Екатеринбург ; Пермь, 2025. С. 17.
2. Khatib A. W. The determinants of export performance in the digital transformation era // International Journal of Emerging Markets. 2024. Vol. 19. No. 10. P. 2597–2622.
3. Качество поверхностных вод Российской Федерации: ежегодник / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Гидрохимический институт» / гл. ред. М. М. Трофимчук. Ростов-на-Дону, 2025. С. 438–441.
4. Siyal A. W., Gerbens-Leenes P. W., Vaca-Jiménez S. D. Freshwater competition among agricultural, industrial, and municipal sectors in a water-scarce country. Lessons of Pakistan's fifty-year development of freshwater consumption for other water-scarce countries // Water Resources and Industry. 2023. Vol. 29. Art. 100206. P. 2–14. https://doi.org/10.1016/j.wri.2023.100206
5. Текслер А. Л. Цифровизация энергетики: от автоматизации процессов к цифровой трансформации отрасли / А. Л. Текслер // Энергетическая политика. 2018. № 5. С. 3–6. EDN: VNTATC
6. Косолапова Н.А., Матвеева Л.Г., Каплюк Е.В. Стратегические фронтиры индустриального ландшафта макрорегиона: кейс водных ресурсов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2025. № 6. С. 5–25. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2025-6-5-25
7. Дейниченко А. С. Влияние цифровых технологий на экспортный потенциал высокотехнологичной промышленности / А. С. Дейниченко // Друкеровский вестник. 2023. № 6 (53). С. 94–102.
8. Доржиева В. В. Цифровая трансформация промышленности и промышленная политика в условиях внешних ограничений // Вопросы инновационной экономики. 2023. Т. 13. № 2. С. 637–648. https://doi.org/10.18334/vinec.13.2.117692

9. Макаров И. А., Чернокульский А. В., Анискина Т. А., Виноградова В. В., Краев Г. Н., Куричев Н. К., Рацеева С. С., Смоловик Е. В., Чистиков М. Н., Шелудков А. В., Юдова О. А. Рейтинг регионов России по необходимости адаптации к изменению климата. Москва: НИУ ВШЭ, 2025. С. 8.
10. Многолетние изменения испарения на Европейской территории России по данным водноиспарительной сети: научно-прикладной справочник / под ред. В. С. Вуглинского. СПб.: ООО «РИАЛ», 2021. С. 61–62.
11. Глезман Л. В. Приоритеты пространственно-отраслевого развития регионов в условиях цифровизации экономики // Вопросы инновационной экономики. 2021. Т. 11. № 2. С. 581–596.
12. Водно-экологические проблемы и использование водных ресурсов / М. Н. Шевцов. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2015. С. 16.
13. Фомина В. Ф. Оценка водопользования регионов России по критериям водообеспеченности, эффективности и устойчивого развития // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика». Т. 18. № 2. С. 219–222. https://doi.org/10.17072/1994- 9960-2023-2-215-240
14. Дунаева Е. А. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 3. С. 173–181. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-3-173-181
15. Косолапова Н. А. Водно-ресурсный потенциал развития регионов в бассейнах рек Дон и Кубань / Н. А. Косолапова // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2016. № 7 (89). С. 18. EDN: WFHBGN
16. Атаев З. В. Динамика геоэкологического состояния ландшафтов бассейнов рек Восточного Кавказа в условиях изменения климата и антропогенной нагрузки / Влияние экологических факторов на здоровье населения и проблемы продовольственной безопасности региона: Мат. Всероссийской научно-практ. конференции. Махачкала, Дагестанский государственный медицинский университет, 2025. С. 135–165.
17. Душенко Н. А., Головачева М. М., Капустин М. В., Суртаева К. С. Применение нейросетевого моделирования для идентификации водоемов в бассейнах рек по данным дистанционного зондирования Земли // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2025. № 3. С. 74–94. https://doi.org/10.35567/19994508-2025-3-74-94
18. Косолапова Н. А. и др. Модели циркулярной экономики в ресурсообеспечении индустриального развития регионов // Terra Economicus. 2022. Т. 20. № 3. С. 116–132.
19. Матвеева Л. Г., Саванович С. А. Высокотехнологичный сектор как цифровой трансформатор обрабатывающей промышленности // Друкеровский вестник. 2026. № 1 (53). С. 267–280.
20. Толстых Т. О., Моргунова М. К. Современные тенденции развития наукоемких предприятий в условиях системных вызовов // Экономика высокотехнологичных производств. 2024. Т. 5, № 2. С. 109–118. https://doi.org/10.18334/evp.5.2.121339
21. Якушев Н. О. Специфика взаимосвязи высокотехнологичного сектора и цифровизации для развития России // Вестник Московского университета им. С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2024. № 4 (51). С. 18–27. https://doi.org/10.21777/2587-554X-2024-4-18-27
22. Bacovis M. M. C., Borchardt M. Assessing the Influence of Circular Economy Practices in Companies that Orchestrate an Ecosystem of a Brazilian Industrial Cluster // Industrial Engineering and Operations Management. Conference paper. 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78570-3_2
23. Hu G. et al. Uncovering the Mechanism of Elevating High-Tech Export Competitiveness // Sustainability. 2025. Vol. 17. No. 8. Art. 3667.
24. Zou Y., Liu J. The impact of digital technological innovation on high-tech industry exports in China // PLOS ONE. 2025. Vol. 20. No. 8. Art. e0330494.
25. The United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and peace. Paris: UNESCO, 2024. P. 50–59. https://doi.org/10.54679/WZDQ6209

REFERENCES

1. Tretyakova E.A., Gottfried A.V. Water ranking of Russian regions for 2023: analytical review / FGBUN IE Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Kairos Engineering LLC. Yekaterinburg ; Perm, 2025. P. 17.
2. Khatib A. W. The determinants of export performance in the digital transformation era. *International Journal of Emerging Markets*. 2024. Vol. 19. No. 10. P. 2597–2622.
3. Surface water quality of the Russian Federation: yearbook / Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Federal State Budgetary Institution "Hydrochemical Institute" / Ch. ed. M. M. Trofimchuk. Rostov-on-Don, 2025. P. 438–441
4. Siyal A. W., Gerbens-Leenes P. W., Vaca-Jiménez S. D. Freshwater competition among agricultural, industrial, and municipal sectors in a water-scarce country. Lessons of Pakistan's fifty-year development of freshwater consumption for other water-scarce countries. *Water Resources and Industry*. 2023. Vol. 29. Art. 100206. P. 2–14. https://doi.org/10.1016/j.wri.2023.100206
5. Texler A. L. Digitalization of energy: from process automation to digital transformation of the industry / A. L. Texler. *Energy policy*. 2018. No. 5. P. 3–6. EDN: VNTATC.
6. Kosolapova N. A., Matveeva L. G., Kaplyuk E. V. Strategic frontiers of the industrial landscape of the macroregion: case of water resources. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management.* 2025. No. 6. P. 5–25. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2025-6-5-25
7. Deinichenko A. S. The influence of digital technologies on the export potential of the high-tech industry. *Drukerovsky Bulletin*. 2023. No. 6 (53). P. 94–102.
8. Dorzhieva V. V. Digital transformation of industry and industrial policy in conditions of external restrictions. *Issues of the innovative economy*. 2023. Vol. 13. No. 2. P. 637–648. https://doi.org/10.18334/vinec.13.2.1176922
9. Makarov I. A., Chernokulsky A. V., Aniskina T. A., Vinogradova V. V., Kraev G. N., Kurichev N. K., Ratseeva S. S., Smolovik E. V., Chistikov M. N., Sheludkov A. V., Yudova O. A. Rating of Regions Russia on the need to adapt to climate change. Moscow: HSE, 2025. P. 8.
10. Long-term changes in evaporation in the European territory of Russia according to the data of the water evaporation network: scientific and applied reference book / edited by V. S. Vuglinsky. St. Petersburg: RIAL LLC, 2021. P. 61–62.
11. Glezman L. V. Priorities of spatial and sectoral development of regions in the context of digitalization of the economy. *Issues of the innovative economy*. 2021. Vol. 11. No. 2. P. 581–596.
12. Water-ecological problems and use of water resources / M. N. Shevtsov. Khabarovsk: Publishing House Pacific. State university, 2015. P. 16.
13. Fomina V. F. Assessment of water use in the regions of Russia according to the criteria of water supply, efficiency and sustainable development. *Bulletin of Perm University*. Ser. "Economics." Vol. 18. No. 2. P. 219–222. https://doi.org/10.17072/1994- 9960-2023-2-215-240
14. Dunaeva E.A. Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2017. Vol. 14. No. 3. P. 173–181. https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-3-173-181
15. Kosolapova N. A. Water resource potential of regional development in the Don and Kuban river basins / N. A. Kosolapova. *Management of economic systems: electronic scientific journal.* 2016. No. 7 (89). P. 18. EDN: WFHBGN.
16. Ataev Z. V. Dynamics of the geoecological state of the landscapes of the East Caucasus river basins in the context of climate change and anthropogenic stress/The impact of environmental factors on public health and food security problems in the region: Mat. All-Russian scientific practice. Conferences. Makhachkala, Dagestan State Medical University, 2025. P. 135–165.
17. Dushenko N. A., Golovacheva M. M., Kapustin M. V., Surtaeva K. S. Application of neural network modeling for the identification of water bodies in river basins according to remote sensing of the Earth.

Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2025. No. 3. P. 74–94. https://doi.org/10.35567/19994508-2025-3-74-94

18. Kosolapova N. A. *et al*. Models of a circular economy in resource supply of industrial development of regions. *Terra Economicus*. 2022. Vol. 20. No. 3. P. 116–132.
19. Matveyeva L. G., Savanovich S. A. High-tech sector as a digital transformer of the manufacturing industry. *Drukerovsky Bulletin*. 2026. No. 1 (53). P. 267–280.
20. Tolstykh T. O., Morgunova M. K. Modern trends in the development of high-tech enterprises in the context of system challenges. *Economics of high-tech industries*. 2024. Vol. 5. No. 2. P. 109–118. https://doi.org/10.18334/evp.5.2.121339
21. Yakushev N. O. Specifics of the relationship between the high-tech sector and digitalization for the development of Russia. *Bulletin of S. Yu. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management.* 2024. No. 4 (51). P. 18–27. https://doi.org/10.21777/2587-554X-2024-4-18-27
22. Bacovis M. M. C., Borchardt M. Assessing the Influence of Circular Economy Practices in Companies that Orchestrate an Ecosystem of a Brazilian Industrial Cluster. *Industrial Engineering and Operations Management*. *Conference paper*. 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78570-3_2
23. Hu G. et al. Uncovering the Mechanism of Elevating High-Tech Export Competitiveness. *Sustainability*. 2025. Vol. 17. No. 8. Art. 3667.
24. Zou Y., Liu J. The impact of digital technological innovation on high-tech industry exports in China. *PLOS ONE*. 2025. Vol. 20. No. 8. Art. e0330494.
25. The United Nations World Water Development Report 2024: Water for prosperity and peace. Paris: UNESCO, 2024. P. 50–59. https://doi.org/10.54679/WZDQ6209

Сведения об авторах:

Матвеева Людмила Григорьевна, д-р экон. наук, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Россия, 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Максима Горького, 88; https://orcid.org/0000-0002-7156-5856; e-mail: lmatveeva@sfedu.ru

Косолапова Наталья Алексеевна, д-р экон. наук, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Россия, 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Максима Горького, 88; https://orcid.org/0000-0001-9099-9062; e-mail: nakosolapova@sfedu.ru

Папушенко Максим Валерьевич, канд. экон. наук, АНО «Федеральный центр компетенций в сфере производительности труда», Департамент производительности труда и улучшения условий ведения бизнеса, Россия, 123022, Москва, ул. Сергея Макеева, 13; https://orcid.org/0000-0001-5768-6486; e-mail: maxrostovdon@mail.ru

Головачева Мария Михайловна, заведующий отделом применения технологий искусственного интеллекта в управлении водными ресурсами, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Россия, 344019, г. Ростов-на-Дону, ул. Ченцова, д. 10а; https://orcid.org/0009-0007-0512-4116; e-mail: mariya_200218@mail.ru

About the authors:

Lyudmila G. Matveyeva, Doctor of Economic Sciences, Southern Federal University, ul. Maksima Gorkogo, 88, Rostov-on-Don, 344002, Russia: https://orcid.org/0000-0002-7156-5856; e-mail: lmatveeva@sfedu.ru

Natalya A. Kosolapova, Doctor of Economic Sciences, Southern Federal University, ul. Maksima Gorkogo, 88, Rostov-on-Don, 344002, Russia, https://orcid.org/0000-0001-9099-9062; e-mail: nakosolapova@sfedu.ru

Maxim V. Papushenko, Candidate of Economic Sciences, ANO "Federal Center of Competence in the Field of Labor Productivity," Department of labor productivity and improving business conditions, ul. Sergeya Makeyeva, Moscow, 123022, Russia; https://orcid.org/0000-0001-5768-6486; e-mail: maxrostovdon@mail.ru

Maria M. Golovacheva, Head of the Department for the Application of Artificial Intelligence in Water Resource Management, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, 10a ul. Chentsova, Rostov-on-Don, 344019, Russia; https://orcid.org/0009-0007-0512-4116; e-mail: mariya_200218@mail.ru

Поступила в редакцию / Received 28.08.2026.
Поступила после рецензирования / Revised 02.09.2026.
Принята к публикации / Accepted 24.09.2026.