

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМ И ОСОБЕННОСТЕЙ БЕЗОПАСНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ РЕГИОНАЛЬНОГО УРОВНЯ

Леонид Иванович Соколов^{1,2}, Виктор Алексеевич Силинский³

¹ Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ – РГГРУ); г. Москва, Российская Федерация;

² Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН); г. Москва, Российская Федерация;

³ Вологодский государственный университет (ВоГУ); г. Вологда, Российская Федерация

Изложены проблемы и особенности безопасного функционирования при экологическом воздействии на водные объекты регионального уровня. Предложены управление водными ресурсами по принципу всего водного бассейна (бассейновый принцип), а также финансовая стратегия развития управления водным объектом региона. Представлены источники, наносящие ущерб водным объектам в регионе, проведен расчет и обоснование платежей за пользование водными ресурсами, предложен механизм водопользования, соразмерный рыночным условиям. Рассматривается системно-интегрированный методологический подход к анализу водной безопасности региона для пяти ключевых элементов — критериев безопасности, на примере Вологодской области, начиная от отдельных водохозяйственных объектов, предприятий, жилых комплексов и домохозяйств. Установлен гигиенический показатель для возможности оценки потерь здоровья населения. Установлены индексы водной безопасности для каждого критерия, рассчитана водоемкость валового регионального продукта. Представлен алгоритм обеспечения водной безопасности на региональном уровне.

Ключевые слова: управление водными ресурсами, бассейновый принцип, водная безопасность, региональный уровень, риски, угрозы и уязвимость водной безопасности, критерии водной безопасности, водоемкость валового регионального продукта

Для цитирования: Соколов Л.И., Силинский В.А. Исследование проблем и особенностей безопасного функционирования при экологическом воздействии на водные объекты регионального уровня // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4. С. 12–20. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.12-20

STUDY OF PROBLEMS AND FEATURES OF SAFE OPERATION IN THE ECOLOGICAL IMPACT ON WATER BODY REGIONAL LEVEL

Leonid I. Sokolov^{1,2}, Viktor A. Silinsky³

¹ Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI – RGGRU); Moscow, Russian Federation;

² Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN); Moscow, Russian Federation;

³ Vologda State University (VoSU); Vologda, Russian Federation

The problems and features of safe functioning under environmental impact on water bodies at the regional level are described. Water resources management based on the principle of the entire water basin (basin principle), as well as a financial strategy for the development of water management in the region, are proposed. Sources causing damage to water bodies in the region are presented, payments for the use of water resources are calculated and justified, and a water use mechanism commensurate with market conditions is proposed. The article considers a systemically integrated methodological approach to the analysis of water security in the region for five key elements — safety criteria, using the example of the Vologda Oblast, starting from individual water management facilities, enterprises, residential complexes and households. A hygienic indicator has been established to assess the loss of public health. Water safety indices have been established for each criterion, and the water capacity of the gross regional product has been calculated. An algorithm for ensuring water security at the regional level is presented.

Keywords: water resources management, basin principle, water security, regional level, risks, threats and vulnerability of water security, criteria of water security, water capacity of the gross regional product

For citation: Sokolov L.I., Silinsky V.A. Study of problems and features of safe operation in the ecological impact on water body regional level. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2024; 4:12-20. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.12-20 (rus.).

Введение

Главным методологическим принципом исследования проблем водной безопасности является системно-интегрированный принцип. Водная безопасность измеряется наличием водного запаса в необходимом количестве для обеспечения бесперебойного доступа к питьевой воде надлежащего качества для жителей региона, сохранения экосистем, энергетики и производства, наряду с допустимым уровнем связанных водных рисков для людей, окружающей среды и экономики. Актуальность обеспечения безопасности водной системы региона зависит от реформ в жилищно-коммунальной, экономической и социальной областях. Для решения проблем водной безопасности предложен подход, характеризующий проблему водной опасности как отклонение от определенных норм и нормативов. Примерами таких отклонений могут служить: подача воды потребителю не соответствует требованиям СанПиН 2.1.3684–21¹ или сброс очищенных сточных вод не соответствует условиям выпуска их в водоемы^{2, 3}.

Цель исследования: оценка водной безопасности региона по пяти ключевым элементам (критериям) водной безопасности на примере Вологодской области с целью сохранения качества существующих водных объектов и снижения уровня их загрязнения.

Для решения поставленной цели были сформулированы следующие задачи: выявить и проанализировать источники водной опасности в регионе; представить в виде функции сущность процесса обеспечения экологической безопасности предприятия в целом; провести прогнозирование различного рода рисков, потенциально способных стать реальной угрозой для водной безопасности региона; подобрать соответствующий набор ключевых параметров (критериев) для оценки водной безопасности региона.

¹ СанПиН 2.1.3684–21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (с Изменениями на 15 ноября 2024 года).

² Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов : Постановление Правительства РФ от 15.09.2020 № 1430.

³ Об утверждении Правил отнесения водных объектов к категориям водных объектов для целей установления технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов : Постановление Правительства Российской Федерации от 26 октября 2019 г. № 1379.

Материалы и методы исследования

Основанием для оценки рисков и ущербов от сбросов сточных вод в водоемы являются критерии безопасности (ПДК — предельно-допустимые концентрации, ТН — технологические нормативы, НДС — нормативы допустимых сбросов, ВРС — временно разрешенные сбросы, НООЛР — нормативы образования отходов водоочистки и лимитов на их размещение), которые формируют условия и от которых зависит обеспечение необходимого экологического, технического, технологического состояния водохозяйственных объектов. Отклонения в работе объектов водоочистки по обеспечению допустимого качества сбрасываемой воды не должны нарушать экологическое состояние поверхностных вод, поэтому требуются дополнительные ресурсы для перехода системы очистки сточных вод в соответствие с требованиями.

Главные проблемы обеспечения водной безопасности связаны с конкретной территорией конкретного региона, выполняющего эколого-экономические функции. Водная безопасность региона — это, во-первых, текущее состояние водных объектов, во-вторых, наличие условий и факторов для перманентного доступа населения к требуемому количеству приемлемого качества воды, в-третьих, эффективность использования водных ресурсов на основе принципов ресурсосбережения, природоподобия и ресурсозамещения [1–3].

Источниками загрязнения воды в регионе являются промышленные и сельскохозяйственные предприятия, жилищно-коммунальные объекты, энергетика, транспорт и полигоны ТКО. Предприятия осуществляют сброс загрязняющих веществ в водные объекты на постоянной основе, также возможны аварийные сбросы (локальные и точечные). Существуют требования к канализационным очистным сооружениям населенных пунктов по соответствию качества сбрасываемой очищенной сточной воды (ПДК) вблизи рыбохозяйственных водных объектов.

Обеспечение водной безопасности практически любого предприятия — это ведение и контроль сбрасываемых после очистки стоков. Сущность процесса обеспечения экологической безопасности предприятия в целом можно представить в виде функции следующего вида:

$$f(C, P) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где C — издержки водохозяйственного объекта по соблюдению экологических норм по техноло-

гическим процессам и выпускаемой продукции, плата за ТН, НДС, ВРС, НООЛР;

P — потери от штрафных санкций за нарушение указанных норм, плата за превышение ТН, НДС, ВРС, НООЛР.

Таким образом, необходим интегрированный системный подход к решению вопросов обеспечения водной безопасности на уровне региона, начиная с отдельных водохозяйственных объектов, предприятий, жилых комплексов и домохозяйств. Региональные стратегии водной безопасности должны быть долгосрочными, признавая, что «предвидение и предотвращение» рисков более эффективно с экологической и экономической точек зрения, чем «реагирование и восстановление» при последствии аварийных событий [4].

В достижении экологической безопасности региона центральная роль принадлежит воде, так как пресная вода является наиболее важным ресурсом для региона, охватывающим всю социальную, экономическую и экологическую деятельность. Это условие для жизни в регионе — благоприятный или ограничивающий фактор для любого социального и технологического развития [5–8]. Например, город Вологда — водно-чувствительный город, в настоящее время достиг пределов роста по водному фактору, так как городу требуется в сутки 130 тыс. м³ воды, а источником водоснабжения является река Вологда, имеющая расход в меженный период также 130 тыс. м³ в сутки.

Управление рисками предполагает прогнозирование различных видов рисков, которые могут представлять реальную угрозу водной безопасности региона, и их предотвращение на приемлемом уровне. Например, в городах Великом Устюге и Красавино Вологодской области существуют системы управления рисками наводнений, которые минимизируют потенциальное негативное воздействие на экономику. Однако эта система несовершенна и в 2019 г. жители деревень Коромыслово и Запань Великоустюгского района были изолированы из-за наводнения, когда уровень реки Сухоны достиг критической отметки в 720 см в Великом Устюге. Между тем в Вологодском муниципалитете и Вологодском районе принцип предотвращения наводнений в паводковый период не был применен, в 2021 г. из-за паводка были затоплены район «Прибрежный» (г. Вологда) и поселок Сосновый берег у деревни Новое Вологодского района. Изначально поселок был возведен в зоне затопления, что не исключило загрязнения реки Тошни хозяйственно-бытовыми стоками, а микрорайон «Прибрежный» по проекту был построен в исторической части города (район неолита) без учета гидрологического режима реки Вологды. Управ-

ление рисками водной безопасности уже на стадии проектирования требует учета и контроля всех факторов: от климатических и экологических до экономических и социальных, что не было принято для названных выше объектов.

На предприятиях водохозяйственных объектов также необходим управленческий учет и контроль за работой как отдельных сооружений, так и всего комплекса водоподготовки и очистки сточных вод. Пример: на станции водоподготовки г. Вологды в 2022 г. произошла крупная авария, приведшая к остановке подачи питьевой воды в городские сети водоснабжения на несколько часов. Причиной стал низкий контроль за эксплуатацией фильтров.

Развитие водной безопасности в регионе основывается на следующих принципах: обеспечение населения водой надлежащего качества; снижение риска наводнений и загрязнения окружающей среды; проведение водовосстановительных мероприятий по нормализации состояния речных бассейнов; повторное использование и экономия потребления воды во всех отраслях промышленного и хозяйственного производства.

Для оценки региональной водной безопасности можно выбрать соответствующий набор ключевых параметров, отражающих как решаются ключевые водные проблемы на региональном уровне. Оценка этих ключевых параметров по пятибалльной шкале, например от 1 (неудовлетворительно) до 5 (отлично), может быть абсолютной или относительной и основываться на опубликованных данных или экспертных оценках. Результаты могут быть представлены в виде пентаграммы.

Оценим ключевые элементы (критерии) водной безопасности региона на примере Вологодской области. Критерий 1 «Водная безопасность жилых зданий и домохозяйств» включает четыре составляющие: доступ населения к водопроводным сетям (89,4 % — Вологодская область), степень обеспеченности питьевой водой, отвечающей санитарным требованиям (51,9 % — Вологодская область), доступ к канализации (89,4 % — Вологодская область), оценка уровня гигиены в регионе. Гигиенический показатель предлагается устанавливать по адаптированной методике расчета DALY (Disability-adjusted life year — интегральный показатель состояния здоровья населения) для возможности оценки потерь здоровья населения, не приводящих к смертельному исходу, на примере заболевания диареей на 100 тыс. населения в год [9]. В данной работе при расчете критерия 1 принимался общий показатель заболевания диареей в Вологодской области, он составил в 2023 г. 5508 случаев на 100 000 человек. Рассчитаем этот показатель по формуле:

$$ГП = \frac{N \cdot 100\,000}{\bar{S}}, \quad (2)$$

где ГП — гигиенический показатель;

N — число выявленных случаев заболевания;

\bar{S} — среднегодовая численность населения.

Для Вологодской области гигиенический показатель составил 468,1.

Критерий 1 направлен на обеспечение всеобщего доступа к безопасной питьевой воде, при этом оценивается доля населения, пользующегося улучшенным источником питьевой воды, доступной в необходимом количестве, не содержащей химических загрязнений.

Рассмотрим подробнее ситуацию в Вологодской области (табл. 1).

Системы водоснабжения населенных пунктов Вологодской области состоят из следующих элементов: водозаборные сооружения; объекты водоподготовки; насосные станции; водопроводные сети. Надежное обеспечение всех людей чистой водой и нормальными санитарными условиями должно стать главным приоритетом руководителей регионов [10].

Критерий 2 «Водоотведение и очистка сточных вод. Уровень региона». Критерий оценивает работу

Таблица 1. Доля населения Вологодской области, обеспеченного водоснабжением и канализацией при общей численности 1 176 689 чел.

Показатель	Доля, %
Обеспеченность питьевой водой в соответствии с санитарными требованиями	45,6
То же городского населения	51,9
Обеспеченность централизованным водоснабжением	89,4
То же нецентрализованным водоснабжением	10,6
Обеспеченность централизованной канализацией	15,1
Без центральной канализации	66,5
Без канализации вообще	18,4

Таблица 2. Эффективность очистных сооружений водоотведения в Вологодской области

Показатели качества	Эффективность очистки, %
Очищаются до нормативного качества при сбросе в водоем	23,5
Недостаточно очищенные сточные воды при сбросе в водоем	65,6
Сброс без очистки	10,9

городских водохозяйственных объектов и включает такие действия: водоотведение и очистка сточных вод, включая поверхностный дождевой сток. Критерий 2 отслеживает долю сточных вод, поступающих от жилых комплексов, домашних хозяйств, служб и промышленных предприятий, которые подвергаются безопасной очистке перед сбросом в водоемы.

Задача оценки по критерию 2 направлена на сокращение доли неочищенных сточных вод, сбрасываемых в водоемы региона. Выделим три составляющие критерия 2: очистка стоков до нормативного качества, недостаточно очищенные сточные воды и сточные воды, сбрасываемые в водоем без очистки.

В настоящее время очистке подлежат 210,3 млн м³ сточных вод, образующихся как при использовании воды в хозяйственной деятельности, так и поверхностном стоке с территорий и поступающих на очистные сооружения водоотведения с разной эффективностью очистки (табл. 2). Неудовлетворительная работа сооружений объясняется перегрузкой по гидравлике, несовершенством конструкции, неудовлетворительным техническим состоянием сооружений и вспомогательного оборудования, нарушением правил эксплуатации.

Критерий 3 «Водная безопасность экосистем региона». Показатели водной безопасности экосистем оценивают экологическое здоровье рек и являются мерой прогресса в восстановлении рек и экосистем, способствуя их оздоровлению на региональном уровне. Критерий 3 отслеживает изменения во времени в экосистемах, связанных с водой региона. Результаты наблюдений используются для определения изменений в поверхностных водных объектах, таких как озера, реки, затопленные водно-болотные угодья и водохранилища.

Оценка качества природных вод с экологических позиций основывается на базовых показателях антропогенной нагрузки, рассчитываемых по следующим основным группам параметров, которые информируют о нарушениях качества воды: рН, растворенный кислород, взвешенные вещества, химическая и биологическая потребности в кислороде, азотная группа аммония, нитритов и нитратов, фосфор фосфатов, общего железа и марганца [11]. Исследование использования подземных вод в Вологодской области показало, что общие потери составляют 3,0 % от всего объема используемых подземных вод, а 69,4 % от всего количества извлеченных подземных вод составляет сброс без какого-либо использования.

Теперь оценим экологическое здоровье рек: в Вологодской области в 52,2 % пунктах наблюдений речная вода относится к категории «загрязненная», в 45,6 % — к категории «грязная», в 2,2 % — к кате-

Таблица 3. Шкала значений индекса водной безопасности региона при установлении уровней составляющих критерия 3 для оценки состояния кризисности водных объектов с экологических позиций

Оценочный показатель	Уровни составляющих критерия 3 для оценки качества воды водных объектов с экологических позиций				
	5(98–100 %)	4(80–98 %)	3(70–80 %)	2(55–70 %)	1(0–55 %)
	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная	Чрезвычайно грязная
Состояние кризисности экосистемы	Состояние обратимых изменений на пороге уязвимости		Состояние обратимых и необратимых изменений	Состояние, близкое к необратимым изменениям	
ИВБР	ИВБР = 5 или 5-й уровень	ИВБР = 4 или 4-й уровень	ИВБР = 3 или 3-й уровень	ИВБР = 2 или 2-й уровень	ИВБР = 1 или 1-й уровень

гории «чрезвычайно грязная» (р. Пельшма, р. Кошта и др.). Снижение качества поверхностных вод также связывают с низкой водностью летней межени и дождевыми паводками в осенний период. Качество воды в водных объектах Вологодской области во многом объясняется природным происхождением и фоновым антропогенным характером загрязнений (органикой, железом, нефтепродуктами).

Обозначим индекс водной безопасности региона через аббревиатуру ИВБР. Оценим уровни для составляющих Критерия 3 «Водная безопасность экосистем региона» в части использования подземных вод: 0–20 % — ИВБР = 1 или 1-й уровень; 21–35 % — ИВБР = 2; 36–60 % — ИВБР = 3; 61–90 % — ИВБР = 4; 90–100 % — ИВБР = 5. Уровни для составляющих Критерия 3 в части экологического здоровья рек региона представлены в табл. 3.

Критерий 4 «Защищенность от водной стихии». Типы опасностей, индикаторы угроз и уязвимости (риски): наводнения, затопление прибрежных зон, включая водоохранные. Критерий отражает способность защищаться и восстанавливаться после воздействия связанных с водой бедствий. Подверженность территории Вологодской области указанным воздействиям остается актуальной. Примеры: заторные наводнения и затопление части территории г. Великий Устюг (р. Сухона), затопление прибрежных территорий г. Вологды (р. Вологда) и дважды в год (осенью и весной) территорий вдоль реки Сухоны, которая становится «антирекой» и несет свои воды вспять. В природе существуют реки, которые время от времени текут вспять. Например, р. Волхов на северо-западе Европейской части России, в Новгородской и Ленинградской областях, р. Сухона (Вологодская область), р. Чикаго (США). Естественно, они несут загрязнения обратно к населенным пунктам и городам.

Критерий 5 «Экономическая водная безопасность» включает в себя промышленную, энергетическую, сельскохозяйственную водные безопасности и водную безопасность сектора услуг. Этот

критерий отслеживает добавленную стоимость от количества воды (в кубических метрах), используемой в данной отрасли экономической деятельности. Критерий учитывает водопользование во всех видах экономической деятельности, уделяя особое внимание сельскому хозяйству, энергетике, сфере услуг и промышленности, и оценивает эффективное и рациональное использование водных ресурсов, включая рециркуляцию и повторное использование воды в производстве.

Водоёмкость валового регионального продукта для региона можно рассчитать по формуле:

$$\frac{Q_1 + Q_2 - Q_3 - Q_4 - Q_5 - Q_6 + Q_7}{ВРП}, \text{ м}^3/\text{тыс. руб.}, \quad (3)$$

где Q_1 — годовое потребление свежей воды, м^3 ;
 Q_2 — годовой объём оборотного водоснабжения и повторного использования воды в отраслях экономики региона, м^3 ;
 Q_3 — потери подземных вод из самоизливающихся скважин без использования (на территории Вологодской области сброс без какого-либо использования составляет 69,4 % от всего количества извлеченных подземных вод), м^3 ;
 Q_4 — потери воды из оборотных охлаждающих водосистем на испарение, капле- и брызгоунос (2,5–3 %), м^3 ;
 Q_5 — потери воды с влажными шламами и осадками от очистки воды и водоподготовки (около 5 %), м^3 ;
 Q_6 — потери воды из сетей водоснабжения городов в результате утечек из-за неплотностей оборудования и изношенности трубопроводов (в старых городах региона могут достигать 20 %) м^3 ;
 Q_7 — использование дождевых и талых вод (реализуется в небольшом количестве на ряде предприятий в хозяйственных целях), м^3 ;
 ВРП — валовой региональный продукт, тыс. руб.
 Расчет показал, что водоёмкость ВРП Вологодской области составляет $B = 18,2 \text{ м}^3/\text{тыс. руб.}$

К крупнейшим водопотребляющим предприятиям Вологодской области относятся производства металлургической, химической и целлюлозно-бумажной промышленности, на долю которых приходится 46,1 % отраслевой структуры ВРП по видам экономической деятельности. Коэффициент водосбережения за счет оборотного и повторного использования воды достигает 97,5 % в ОАО «Северсталь» и более 95 % в ОАО «Аммофос» и «Азот» (предприятия ФосАгро). На многих предприятиях Вологды и Сокола коэффициент водосбережения за счет оборотного водоснабжения составляет от 30 до 50 % [12–15].

Результаты исследования

Оценка водной безопасности региона определяется по каждому из пяти ключевых критериев по шкале от 1 до 5. Пентаграмма, построенная на основании средних баллов по каждому критерию водной безопасности (рис.), показывает, что водная безопасность Вологодской области имеет взаимосвязь с другими взаимозависящими друг от друга внутренними элементами. Представим полученные статистические данные по каждому из 5 оценочных критериев водной безопасности. Если индекс водной безопасности региона = 1 (уровень 1), то водная ситуация в регионе небезопасна и существует значительный разрыв между текущей ситуацией и приемлемым уровнем водной безопасности. При уровне ИВБР = 5 регион считается показательным по управлению водными ресурсами и имеет максимально возможный уровень водной безопасности; ИВБР = 4 — уровень водной безопасности эффективный; при ИВБР = 3 — хороший; при ИВБР = 2 — удовлетворительный уровень водной безопасности.

Оценим данные уровни для составляющих Критерия 1 «Водная безопасность жилых зданий и домохозяйств»: доступ населения к водопроводным сетям, степень обеспеченности питьевой водой, отвечающей санитарным требованиям, доступ к канализации (0–60 % — ИВБР = 1; 60–70 % — ИВБР = 2; 70–80 % — ИВБР = 3; 80–90 % — ИВБР = 4; 90–100 % — ИВБР = 5), оценка уровня гигиены в регионе (750–1500 и более — ИВБР = 1; 450–750 — ИВБР = 2; 150–450 — ИВБР = 3; 75–150 — ИВБР = 4; 0–75 — ИВБР = 5).

Результаты расчета для составляющих Критерия 1 по «Водной безопасности жилых домов и домохозяйств в Вологодской области»: доступ населения к централизованному водоснабжению — ИВБР = 4, качество питьевого водоснабжения — ИВБР = 1, доступ к системам водоотведения — ИВБР = 4, уровень гигиены в регионе — ИВБР = 2.

Уровни и соответствующие им проценты для составляющих Критерия 2: очистка стоков до нор-

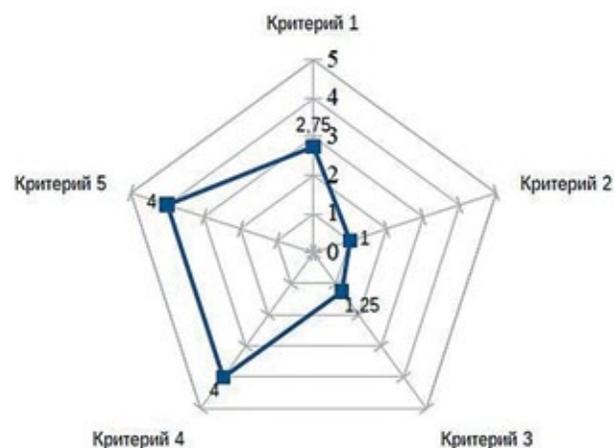
мативного качества — ИВБР = 1, недостаточно очищенные сточные воды и сточные воды — ИВБР = 2 (0–60 % — ИВБР = 1; 60–70 % — ИВБР = 2; 70–80 % — ИВБР = 3; 80–90 % — ИВБР = 4; 90–100 % — ИВБР = 5), сбрасываемые в водоем без очистки — ИВБР = 1 (всегда 1).

Результаты расчета для составляющих Критерия 3 по «Водной безопасности экосистем в Вологодской области»: нагрузка и угрозы речным экосистемам в результате изменения (ухудшения) характеристик водосборной площади — ИВБР = 2 по экспертным оценкам из-за наличия животноводческих комплексов, ферм, пастбищ на водосборных площадях и прибрежных территориях, загрязнение речной экосистемы в зависимости от класса качества: чистая — нет, умеренно загрязненная — нет, загрязненная — ИВБР = 1, грязная — ИВБР = 1, чрезвычайно грязная — ИВБР = 1, эффективность использования подземных вод — ИВБР = 2, устойчивость к изменениям природных стоков в связи со строительством водной инфраструктуры и показателями биологических факторов — ИВБР = 4.

Оценка критерия 4 «Защищенности от водной стихии» основана на данных, представленных опытными региональными экспертами, и составляет: ИВБР = 4.

Оценка критерия 5 «Водная безопасность экономики» базируется на мнении опытных региональных экспертов с учетом водоемкости валового регионального продукта и составляет ИВБР = 4.

При построении пентаграммы учитывали средне-взвешенный показатель (ИВБР) по каждому критерию: для критерия 1 — ИВБР = 2,75 (третий уровень из пяти возможных), для критерия 2 — ИВБР = 1 (по расчету 1,33, но с учетом корректирующего коэффициента 0,75 получим 1), для критерия 3 — ИВБР = 1,25, для критерия 4 — ИВБР = 4, для критерия 5 — ИВБР = 4 (рис.).



Пентаграмма водной безопасности региона (на примере Вологодской области)

Средневзвешенный показатель водной безопасности Вологодской области составил 52 %, т.е. как естественные, так и техногенные опасности носят потенциально скрытый характер.

Низкий индекс безопасности воды в регионе указывает на потенциальный риск — ту меру опасности, которую необходимо контролировать, а также частоту ее возникновения. Риск представляет собой вероятность возможной опасности, нежелательного события. Задача управления рисками заключается в устранении неопределенности, непредсказуемости и частоты опасных событий (если это возможно), т.е. в предотвращении будущих рисков. В данной работе был предложен рискориентированный подход к оценке региональной водной безопасности. Этот подход позволяет выявить «узкие места» в системе обеспечения населения необходимым количеством качественной питьевой воды и принять меры по предотвращению загрязнения водных ресурсов и устранению угроз, которые могут привести к отклонению от местных требований.

Использование подхода, основанного на оценке рисков, обеспечивает:

- выявление угроз, которые могут возникнуть в исследуемой системе водоснабжения или водохозяйственном объекте;
- потенциал возникновения в результате идентифицированных угроз;
- выявление наиболее значимых факторов, способствующих возникновению нежелательных событий (например, сбросов в водные объекты из-за отсутствия очистки или нарушения требований);
- оценку ущерба, нанесенного окружающей природной среде;
- на основе результатов анализа формулирование предлагаемых решений, направленных на минимизацию выявленных угроз.

Для характеристики опасности водной среды предлагается индекс опасности, определяемый по формуле:

$$I_0 = \sum_{i=1}^5 \frac{\text{ИВБР}_i - 5}{5}, \quad (4)$$

где ИВБР_{*i*} — индекс водной безопасности региона по каждому критерию;

5 — наивысший балл при отличных показателях по каждому критерию.

Возможны с точки зрения риска три состояния водной системы:

- 0 — приемлемый риск, водная система на пороге уязвимости;
- от 0 до минус 10 — состояние обратимых и необратимых изменений в водной системе, переходный показатель очевидного риска;
- менее или равно минус 10 — состояние, близкое к необратимым изменениям, неприемлемый риск. Учитывая данные пентаграммы, индекс водной опасности для Вологодской области составляет $I_0 = -2,4$. Это потенциальная опасность и показатель очевидного риска.

Выводы

Разработана методология анализа водной безопасности на уровне региона для пяти ключевых элементов — критериев безопасности. Средневзвешенный показатель водной безопасности Вологодской области составляет 52 %. На основании проведенных исследований установлены индексы водной безопасности по каждому критерию, рассчитана водоемкость валового регионального продукта региона. Предложены рискориентированный подход к оценке водной безопасности региона и формула определения индекса водной опасности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Grey D., Sadoff C.W. Sink or swim? Water security for growth and development // Water Policy. 2007. No. 9 (6). Pp. 545–571. DOI: 10.2166/wp.2007.021
2. Кумзеров В.М. Водная стратегия России и проблемы водохозяйственного комплекса регионов Северо-Западного федерального округа // Экономические и социальные перемены в регионе. 2009. № 4 (8). С. 61–72. EDN JVGRFI.
3. Скитер Н.Н. Экономико-математическая модель регулирования выбросов производственного сектора // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2012. № 1. С. 214–219.
4. Скитер Н.Н., Рогачев А.Ф., Плещенко Т.В. Математическая модель регулирования вредных производственных выбросов для обеспечения эколого-экономической безопасности // Fundamental and applied sciences today. 2013. Vol. 2. С. 253–258.
5. Clasen T. Household water treatment and safe storage to prevent diarrheal disease in developing countries // Current Environmental Health Reports. 2015. No. 2 (1). Pp. 69–74. DOI: 10.1007/s40572-014-0033-9
6. Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum. 2017. 628 p.

7. Collivignarelli M.C., Abbà A., Sorlini I., Torretta V., Benigna I. Overview of the main disinfection processes for wastewater and drinking water treatment plants // *Sustainability*. 2018. Vol. 10 (1). P. 86. DOI: 10.3390/su10010086
8. Montgomery M.A., Elimelech M. Water and Sanitation in Developing Countries: Including Health in the Equation // *Environmental Science & Technology*. 2007. Vol. 41. No. 1. Pp. 17–24. DOI: 10.1021/es072435t
9. Jen-Jeng Chen, Hsuan-Hsien Yeh. The mechanisms of potassium permanganate on algae removal // *Water Research*. 2005. Vol. 39. No. 18. Pp. 4420–4428. DOI: 10.1016/j.watres.2005.08.032
10. Самбурский Г.А. Обеспечение населения безопасной питьевой водой с учетом потребительского поведения // *Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения*. 2020. № 3. С. 40–52. EDN LCTHCV.
11. Bilotta P., Steinmetz R.L.R., Kunz A., Mores R. Swine effluent post-treatment by alkaline control and UV radiation combined for water reuse // *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 140. Pp. 1247–1254. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.033
12. Jin Y., Wang Y., Huang Q., Cui L., Yong C., Zhu L. The performance and applicability study of a fixed photovoltaic-solar water disinfection system // *Energy Conversion and Management*. 2016. Vol. 123. Pp. 549–558. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.06.073
13. Husam Damem Al-Hamaiedeh. Use of the Dead sea brine as electrolyte for electrochemical generation of active chlorine // *Desalination and water treatment*. 2013. Vol. 51. Pp. 3521–3526. DOI: 10.1080/19443994.2012.749576
14. Franco J.C., Lyla Mehta, Gert Jan. The global politics of water grabbing jennifer franco // *Veldwisch Published online*. 2013. Vol. 21. Pp. 1751–1785. DOI: 10.1080/01436597.2013.843852
15. Тюленева Т.А., Кабанов Е.И. Использование риск-ориентированного подхода в управлении профессиональными рисками взрыва метана и пыли на угледобывающем предприятии // *Техника и технология горного дела*. 2021. № 2 (13). С. 13–32. DOI: 10.26730/2618-7434-2021-2-13-32. EDN IFDAOX.

Об авторах: **Леонид Иванович Соколов** — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник; **Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)**; 127238, г. Москва, Локомотивный пр-д, д. 21; профессор кафедры «Строительство систем и сооружений водоснабжения и водоотведения»; **Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ – РГГРУ)**; 117485, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая д. 23; e-mail: sokolovli@mail.ru;

Виктор Алексеевич Силинский — аспирант кафедры теплогазоводоснабжения, инженерно-строительный институт; **Вологодский государственный университет (ВоГУ)**; 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15; e-mail: viktor.silinsky@yandex.ru.

REFERENCES

1. Grey D., Sadoff C.W. Sink or Swim? Water security for growth and development. *Water Policy*. 2007; 9(6):545-571. DOI: 10.2166/wp.2007.021
2. Kumzerov V.M. Water strategy of Russia and problems of water management complex of regions of the Northwestern Federal District. *Economic and social changes in the region*. 2009; 4(8):61-72. EDN JVGRFI. (rus.).
3. Skiter N.N. Economic and mathematical model for regulating emissions from the production sector. *News of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2012; 1:214-219. (rus.).
4. Skiter N.N., Rogachev A.F., Pleshchenko T.V. Mathematical model of regulation of harmful industrial emissions to ensure environmental and economic safety. *Fundamental and applied sciences today*. 2013; 2:253-258. (rus.).
5. Clasen T. Household water treatment and safe storage to prevent diarrheal disease in developing countries. *Current Environmental Health Reports*. 2015; 2(1):69-74. DOI: 10.1007/s40572-014-0033-9
6. *Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum*. 2017; 628.
7. Collivignarelli M.C., Abbà A., Sorlini I., Torretta V., Benigna I. Overview of the main disinfection processes for wastewater and drinking water treatment plants. *Sustainability*. 2018; 10(1):86. DOI: 10.3390/su10010086
8. Montgomery M.A., Elimelech M. Water and Sanitation in Developing Countries: Including Health in the Equation. *Environmental Science & Technology*. 2007; 41(1):17-24. DOI: 10.1021/es072435t
9. Jen-Jeng Chen, Hsuan-Hsien Yeh. The mechanisms of potassium permanganate on algae removal. *Water Research*. 2005; 39(18):4420-4428. DOI: 10.1016/j.watres.2005.08.032
10. Sambursky G.A. Providing the population with safe drinking water taking into account consumer behavior. *Best available technologies for water supply and sanitation*. 2020; 3:40-52. EDN LCTHCV. (rus.).

11. Bilotta P., Steinmetz R.L.R., Kunz A., Mores R. Swine effluent post-treatment by alkaline control and UV radiation combined for water reuse. *Journal of Cleaner Production*. 2017; 140:1247-1254. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.033
12. Jin Y., Wang Y., Huang Q., Cui L., Yong C., Zhu L. The performance and applicability study of a fixed photovoltaic-solar water disinfection system. *Energy Conversion and Management*. 2016; 123:549-558. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.06.073
13. Husam Damem Al-Hamaiedeh. Use of the Dead sea brine as electrolyte for electrochemical generation of active chlorine. *Desalination and water treatment*. 2013; 51:3521-3526. DOI: 10.1080/19443994.2012.749576
14. Franco J.C., Lyla Mehta, Gert Jan. The Global Politics of Water Grabbing Jennifer Franco. *Veldwisch Published online*. 2013; 21:1751-1785. DOI: 10.1080/01436597.2013.843852
15. Tyuleneva T.A., Kabanov E.I. Using a risk-oriented approach in managing professional risks of methane and dust explosion at a coal mining enterprise. *Mining Engineering and Technology*. 2021; 2(13):13-32. DOI: 10.26730/2618-7434-2021-2-13-32. EDN IFDAOX. (rus.).

About the authors: **Leonid I. Sokolov** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher at the Research; **Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN)**; 21 Lokomotivny passage, Moscow, 127238, Russian Federation; Professor of the Department “Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Structures”; **Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (MGRI – RGGRU)**; 23 Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117485, Russian Federation; e-mail: sokolovli@mail.ru;

Viktor A. Silinsky — Postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education; **Vologda State University (VoSU)**; 15 Lenin st., Vologda, 160000, Russian Federation; e-mail: viktor.silinsky@yandex.ru.