

Комплексная оценка химического состава питьевых вод, с учётом особенностей природных водоисточников урбоэкосистемы

© 2025. Ю. А. Тунакова¹, д. х. н., профессор, зав. кафедрой,
В. С. Валиев², с. н. с., Р. И. Файзуллин³, к. м. н., доцент,
А. Р. Галимова¹, к. х. н., доцент, Е. В. Байбакова¹, аспирант,

¹Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева,
420111, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 10,

²Институт проблем экологии и недропользования АН РТ,
420089, Россия, г. Казань, ул. Даурская, д. 28,

³Казанский (Приволжский) федеральный университет,
420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 35,
e-mail: juliaprof@mail.ru

Природные воды являются растворами сложного состава с широким перечнем и диапазонами содержания растворённых веществ. Ограничения действующей системы водоподготовки на водозаборах определяет влияние химического состава природных вод на формируемый состав приготавливаемых питьевых вод. Количество растворённых веществ в питьевой воде будет зависеть, с одной стороны, от природно-антропогенных условий формирования химического состава используемых природных вод, а с другой – от методов и эффективности их очистки при приготовлении вод питьевого качества. Устаревшие и недостаточно эффективные системы очистки природных вод на водозаборах формируют тесную связь между химическим составом природных вод и приготавливаемых из них питьевых вод. Однако, оценка качества питьевых вод централизованных систем питьевого водоснабжения проводится с санитарно-гигиенических позиций, без учёта антропогенной нагрузки на природные воды и влияния природно-антропогенных особенностей на их химический состав. Более того, питьевые воды, приготавливаемые из природных вод, являются водным элементом урбоэкосистемы, что требует использования и экологических подходов к оценке их качества. Объективность оценки качества любых объектов напрямую зависит от перечня учитываемых загрязняющих веществ. Так, согласно РД 52.24.643-2002, для комплексной оценки химического состава поверхностных вод при расчёте удельного комбинаторного индекса загрязнения воды (УКИЗВ) должны учитываться 15 обязательных показателей. Для оценки качества питьевых вод применялась методология расчёта УКИЗВ, однако с использованием перечня показателей и их порогов, определяемых в программе социально-гигиенического мониторинга питьевой воды. Предложен новый показатель для оценки химического состава питьевых вод, названный гидрохимический статус, предназначенный для обобщения экологических и санитарно-гигиенических подходов при оценке качества питьевых вод как водного элемента урбоэкосистемы. Приведена апробация расчёта предлагаемого показателя для оценки химического состава питьевых вод на территории г. Казани. Проведена верификация показателя со значениями УКИЗВ и уровнем экологического риска с грациями приемлемости риска и классами качества вод, что позволяет совместно оценивать все указанные показатели.

Ключевые слова: поверхностные воды, питьевые воды, химический состав, удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды, методика расчёта, комплексный показатель, оценка качества питьевых вод.

Comprehensive assessment of water chemical composition, taking into account the peculiarities of natural water sources of urban ecosystems

© 2025. Yu. A. Tunakova¹ ORCID: 0000-0002-8826-8639, V. S. Valiev² ORCID: 0000-0002-8848-5326,
R. I. Fayzulin³ ORCID: 0000-0003-0719-7910, A. R. Galimova¹ ORCID: 0000-0002-7535-1724,
E. V. Baibakova¹ ORCID: 0000-0002-9281-0216

¹Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev,
10, K. Marx St., Kazan, Russia, 420111,

²Institute of Ecology and Subsoil Use of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan,
28, Daur'skaya St., Kazan, Russia, 420089,

³Kazan (Volga region) Federal University,
35, Kremlevskaya St., Kazan, Russia, 420008,
e-mail: juliaprof@mail.ru

Natural waters are solutions of complex composition with a wide list and ranges of dissolved substances content. Limitations of the current water treatment system at water intakes determine the influence of the chemical composition of natural waters on the formed composition of prepared drinking water. The amount of dissolved substances in drinking water will depend, on the one hand, on natural and anthropogenic conditions of formation of chemical composition of used natural waters, and, on the other hand, on methods and efficiency of their treatment during preparation of drinking water. Outdated and insufficiently effective systems of natural water treatment at water intakes form a close relationship between chemical compositions of natural waters and drinking water prepared from them. However, the quality assessment of prepared drinking water of centralized drinking water supply systems is carried out from sanitary-hygienic positions, without taking into account anthropogenic load on natural waters and natural-anthropogenic features of their chemical composition. Moreover, drinking water prepared from natural waters is an aquatic element of the urban ecosystem, which requires the use of ecological approaches to assess their quality. Objectivity of quality assessment of any objects directly depends on the list of accounted pollutants. Thus, according to RD 52.24.643-2002, for a comprehensive assessment of the chemical composition of surface waters, 15 mandatory indicators should be taken into account when calculating the specific combinatorial index of water pollution (SCIWPI). To assess the quality of drinking water, the methodology of SCIWPI calculation was applied, but using the list of indicators and their thresholds determined in the program of socio-hygienic monitoring of drinking water. A new indicator for assessing the chemical composition of drinking water, called hydrochemical status, is proposed to generalize ecological and sanitary-hygienic approaches in assessing the quality of drinking water as an aquatic element of the urban ecosystem. The calculation of the proposed indicator for assessing the chemical composition of drinking water in the territory of Kazan is tested. The verification of the indicator with the SCIWPI values and the level of ecological risk with gradations of risk acceptability and water quality classes is carried out, which allows to assess all these indicators together.

Keywords: surface water, drinking water, chemical composition, specific combinatorial index of water pollution, calculation methodology, complex indicator, drinking water quality assessment.

Оценка качества природных вод по большому числу параметров с учётом разнообразных свойств воды реализуется с помощью комплексных показателей, которые продолжают модернизироваться и разрабатываться [1–7]. Комплексные показатели предназначены для количественной оценки процессов, изменяющихся во времени, характеризующихся различными показателями состава и свойств воды в различных местах пробоотбора. Таким образом, комплексные показатели позволяют устанавливать уровни загрязнённости природных вод в пространственно-временном аспекте и разрабатывать адекватные водоохранные решения [6–10]. Природные воды используются для приготовления вод питьевого качества, но методы водоподготовки на водозаборах на сегодняшний день недостаточно эффективны из-за возрастающего уровня загрязнённости вод. На очистку природных вод с существующим уровнем загрязнённости водозаборы не были рассчитаны конструктивно, более того, растёт процент износа используемого оборудования, что ухудшает качество питьевых вод [11, 12].

В настоящее время качество питьевых вод оценивается только с санитарно-гигиенических позиций. Особенностью действующей системы санитарно-гигиенического нормирования питьевых вод является то, что нормативными документами предусмотрено регламентирование содержания отдельных загрязняющих веществ. Интегральная оценка качества питьевых вод, согласно МР 2.1.4.0032–11, проводится на предмет хими-

ческой безвредности для потребления населением, путём оценки риска для здоровья. Но химический состав питьевых вод напрямую связан с уровнем загрязнённости природных вод, из которых они получены, поэтому разработка подходов для комплексной оценки качества питьевых вод с экологических позиций является актуальнейшей задачей.

Оценка качества питьевых вод также должна быть трёхмерной: время – порог – пространство. Под порогом в данном случае подразумевается тот предел концентраций, который обеспечивает качество. То есть, «качество» – это целевое понятие, оно реализуется лишь при наличии обеспечивающего эталона, порога [13, 14]. Экологические и санитарно-гигиенические пороги могут значительно различаться.

Естественная тесная взаимосвязь таких водных элементов урбоэкосистемы, как природные и питьевые воды, делает целесообразным использование подходов, применяемых для оценки природных вод, и к оценке качества питьевых вод. Но только методические рекомендации, утверждённые Минздравом РФ 30.07.1997 № 2510/5716-97-32, содержат единые подходы к оценке природных поверхностных и питьевых вод, как элементов комплексной оценки эколого-гигиенического состояния окружающей среды. Данные методические рекомендации предназначены для характеристики питьевой воды, состояния водных объектов хозяйственно-питьевого и рекреационного назначения с использованием показателя химического загрязнения

воды (ПХЗ–10) и гидрохимического индекса загрязнения воды (ИЗВ), хотя применение ПХЗ–10 предназначено для зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия [15]. Несмотря на то, что оценка качества природных вод производится для водных объектов хозяйственно-питьевого и рекреационного назначения, при расчётах ИЗВ и ПХЗ–10 берутся самые жёсткие предельно допустимые концентрации (ПДК) – рыбохозяйственные.

Применение ИЗВ как показателя для оценки качества природных поверхностных вод упразднено в 2002 г. введением РД 52.24.643-2002, в котором предложен алгоритм расчёта комбинаторного индекса загрязнённости воды (КИЗВ) и удельного комбинаторного индекса загрязнённости воды (УКИЗВ). Расчёт УКИЗВ, в отличие от ИЗВ, включает кроме определения кратности превышения ПДК ещё и определение повторяемости случаев превышения нормативных значений. Расчёт УКИЗВ не только учитывает вклад отдельных показателей при определении уровней загрязнённости природных поверхностных вод, но и масштабирует веса этих показателей при комплексной оценке. Поэтому использование комплексных показателей КИЗВ и УКИЗВ, как более корректно характеризующих качество природных вод, на сегодняшний день становится приоритетным. Более того, методология УКИЗВ позволяет реализовать оценку описанной выше трёхмерной модели качества, так как обеспечивает возможность комплексной оценки показателей с комбинированием порогов качества.

В этой связи, определена цель работы – с использованием методологии расчёта УКИЗВ разработать подходы и комплексный показатель для оценки химического состава питьевых вод, как водного элемента урбоэкосистемы, который соответствует требованиям к комплексным показателям и объединяет экологические и санитарно-гигиенические подходы.

Материалы и методы исследования

Предложено использовать методологию расчёта УКИЗВ, объединяющую в себе вероятностные и пороговые подходы к оценке химического состава питьевых вод, но не по обязательному перечню показателей, согласно РД 52.24.643-2002, а по показателям, определяемым в программе социально-гигиенического мониторинга питьевых вод. Предложен комплексный показатель, названный нами гидро-

химический статус (ГХ-статус) для оценки качества питьевых вод, приготавливаемых из природных вод. Апробация расчёта данного показателя проведена для питьевых вод, приготавливаемых из природных вод на территории г. Казани.

Водозабор «Волжский» обеспечивает 92% хозяйственно-питьевого водоснабжения и является самым главным производителем воды питьевого качества в г. Казани. Анализ нормативных документов (СП 31.13330.2012, СанПиН 2.1.3684-21, МДС 40-3.2000, Постановление Исполнительного комитета муниципального образования города Казани от 10 декабря 2015 г. № 4345) показал, что работающие очистные сооружения, спроектированные в 60-е гг. XX века, не были рассчитаны на существующий уровень загрязнённости поверхностных вод, что влияет на химический состав приготавливаемых из них вод питьевого качества. Для оценки качества питьевых вод, приготавливаемых из природных вод, пробы отбирали в 22 местах пробоотбора на различных улицах г. Казани, с охватом всей территории города: жилой массив Игумново; ул. Боевая, 147; ул. Татарстан, 7; ул. Тимирязева, 2а; ул. Х.Такташ, 123; ул. Космонавтов, 44; ул. Чистопольская, 3; ул. Чистопольская, 4; ул. Трансформаторная, 16; ул. Волкова, 15; ул. Коновалова, 26; ул. Карбышева, 5; ул. Окраинная, 1; ул. Горсоветская, 17; ул. Оренбургский тракт, 6; ул. Четаева, 18; ул. Горького, 34; ул. Лукина-Прежевальского, 1; ул. Сибирский тракт, 34; ул. Блюхера, 4; ул. Сеченова, 13а; ул. Тэцевская, 16.

В каждом месте пробоотбора в период 2014–2021 гг. анализировались 12 показателей: алюминий, железо, магний, нитраты, нитриты, сульфаты, медь, фториды, хлориды, сухой остаток, хлороформ (мг/дм^3), а также общая жёсткость (в градусах жёсткости).

Места отбора проб питьевых вод были адресно сгруппированы в 11 зон, охватывающих практически всю территорию г. Казани, для оптимизации последующей разработки управленческих решений. Был сформирован кортеж из 216 уникальных образцов, а в качестве порогов вместо ПДК были использованы медианы показателей, полученные в результате анализа рядов наблюдений (табл. 1), на основе которых рассчитывали значения удельных комбинаторных индексов ($S_{\text{уд}}$). Помимо показателей, перечисленных в таблице 1, был принят порог для общей жёсткости (4,17 градусов жёсткости).

В каждом месте пробоотбора были рассчитаны значения $S_{\text{уд}}$ без коррекции по КПЗ

Таблица 1 / Table 1

Пороговые значения показателей, используемых для оценки качества питьевых вод
Threshold values of indicators used to assess the quality of drinking water

Показатель / Indicator	Порог, мг/дм ³ / Threshold, mg/dm ³
Алюминий / Aluminum	0,27
Железо / Iron	0,065
Магний / Magnesium	14,9
Нитраты / Nitrates	4,51
Нитриты / Nitrites	0,0001
Сульфаты / Sulfates	61,3
Медь / Copper	0,006
Фториды / Fluorides	0,128
Хлориды / Chlorides	29,7
Сухой остаток / Dry residue	379,1
Хлороформ / Chloroform	0,061

и оценки классов качества. Использование методологии расчёта УКИЗВ позволило учесть как повторяемость случаев загрязнённости, т. е. частоту обнаружения образцов на конкретном участке исследования с концентрациями химических показателей выше медианных значений, так и среднее значение кратности превышения медиан каждого рассматриваемого показателя по участку, представленному местом пробоотбора. В связи с тем, что в алгоритме расчёта кратность и повторяемость выражаются в баллах от 1 до 4, а обобщённый оценочный балл $S_{уд}$ является их произведением, то итоговое значение масштабировалось приведением к максимально возможному произведению ($4 \cdot 4 = 16$).

В работе использована качественная характеристика уровня экологического риска, предложенная в известных, ставших классическими, работах [16, 17]. Степень приемлемости экологического риска для водных объектов оценивалась сопоставлением значений его индекса качества со значениями диапазонов классов качества УКИЗВ.

Приведение к единой шкале характеристик качества осуществлялось с использованием индекса качества. Индекс качества – это мера качества исследуемого водного объекта, выраженная через индикаторы, и коррелирующая с мерой риска. Индекс качества определялся следующим образом [18]:

$$\chi_j = m_{ij} / n_{ij}, \quad (1)$$

где n_{ij} – число полных признаков, оценивающих качество (в нашем случае 13 показателей i по 215 наблюдениям, разбитым на

11 групп j); m_{ij} – число признаков, не превышающих ПДК.

Экологический риск определялся в виде вероятностной меры уровня экологической опасности и магнитуды ущерба, которая пропорциональна отклонению от качества, при этом диапазоны риска и индекса качества находятся в одном и том же интервале (0–1) и измеряются в сопоставимых линейных шкалах [19]:

$$R_j = 1 - \chi_j \quad (2)$$

Таким образом, в качестве пороговой меры качества питьевой воды нами использовались нормализованные значения УКИЗВ по каждому месту отбора проб воды, рассчитанные по отношению к медианам всего ряда наблюдений и приведённые к долям единицы. Приведение к единой шкале различных характеристик качества осуществляли с использованием индекса качества экологического риска.

Результаты и обсуждение

Установлено, что большая часть показателей проб питьевой воды соответствует нормам СанПиН 1.2.3685-21, были зафиксированы отклонения от действующих нормативов по отдельным показателям (хлороформ, сульфаты).

В результате оценки выделенных групп наблюдений, по каждой зоне были рассчитаны нормализованные значения $S_{уд}$ в диапазоне от 0,194 до 0,394, как показано на рисунке 1.

Точно также, как и при интерпретации результатов с использованием УКИЗВ [20],

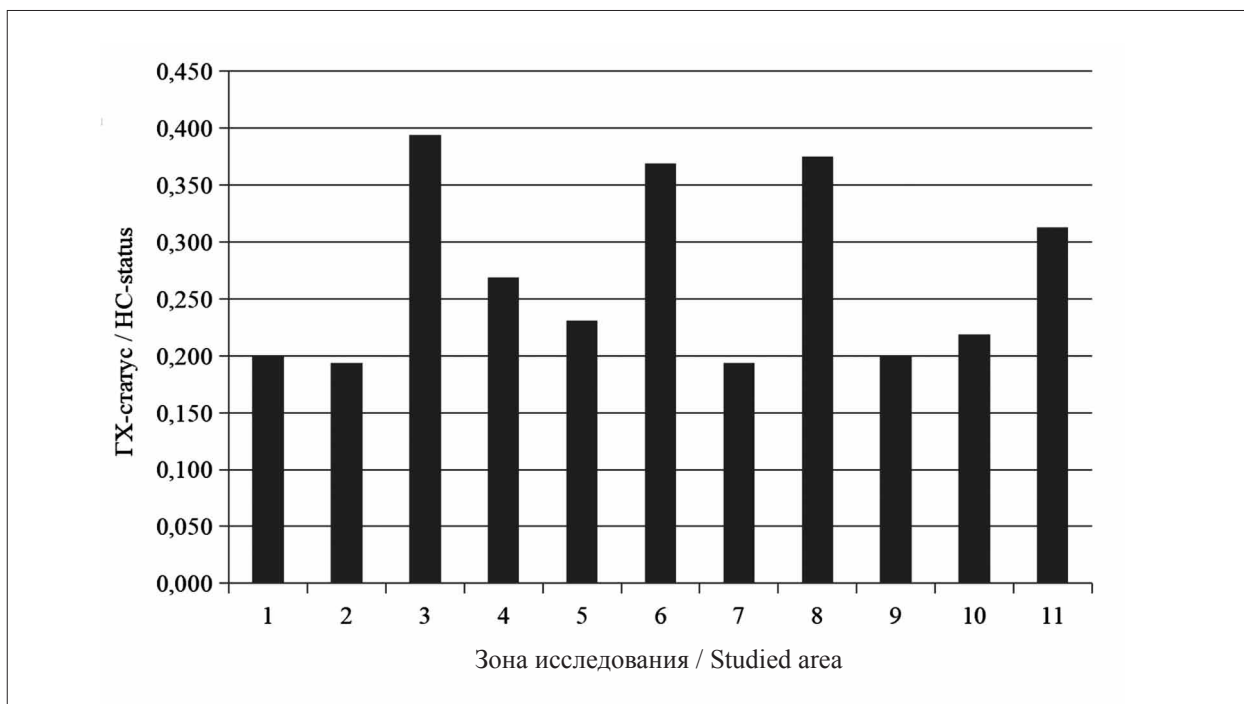


Рис. 1. Значения гидрохимического статуса (ГХ-статуса) для питьевых вод по 11 зонам исследования
Fig. 1. Hydrochemical status (HC-status) values for drinking water in 11 studied areas

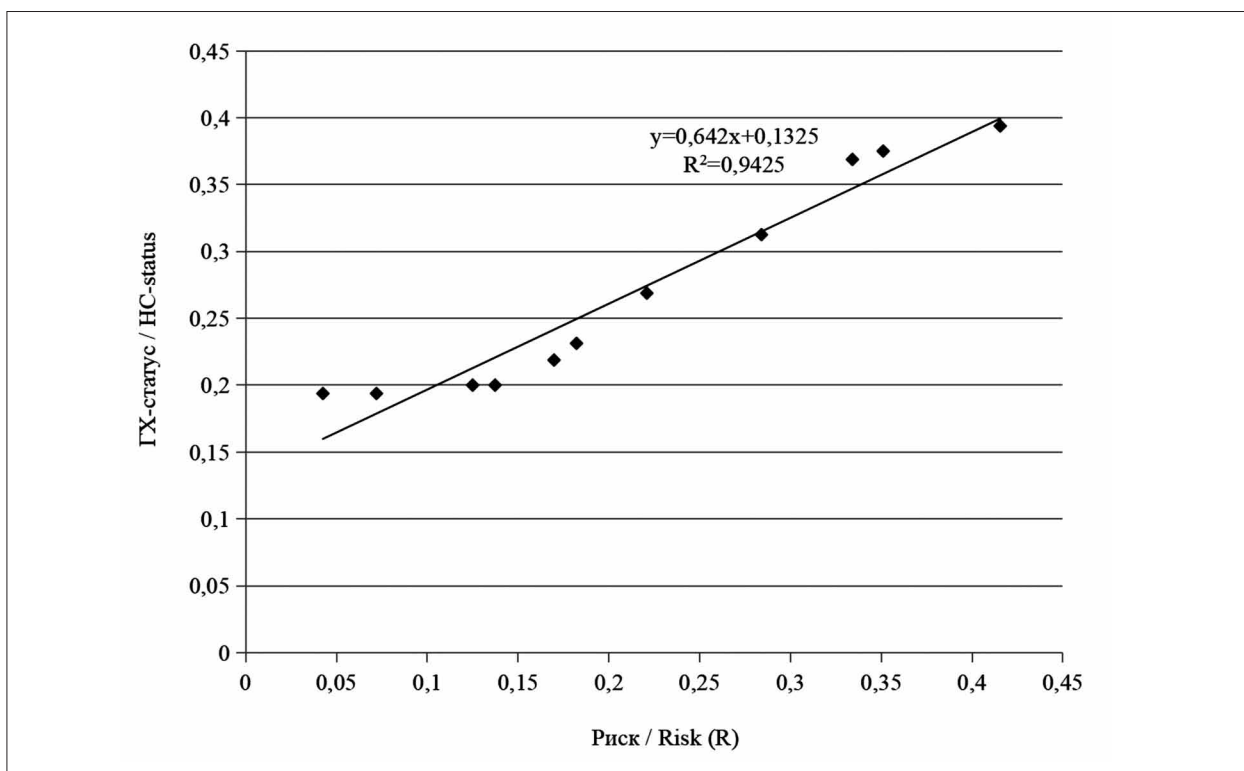


Рис. 2. Взаимосвязь показателей риска и ГХ-статуса, рассчитанных по одним и тем же наборам данных
Fig. 2. Relationship between risk indicators and HC-status calculated from the same data sets

Таблица 2 / Table 2

Значения показателей, их градации и характеристики качества вод
Indicator values, their gradations and water quality characteristics

ГХ-статус HC-status	Риск (R) Risk (R)	УКИЗВ SCIWPI	Характеристика риска Risk characteristics	Класс качества по УКИЗВ / Quality class according to SCIWPI
0,194	0,042	0,48	Фоновая зона Background zone	Условно чистая Conditionally clean
0,194	0,072	0,68		
0,200	0,125	0,62	Вполне удовлетворительный Quite satisfactory	
0,200	0,137	0,63		
0,219	0,169	0,77		
0,231	0,182	0,71		
0,269	0,220	0,80	Удовлетворительный Satisfactory	
0,313	0,284	0,94		
0,369	0,334	1,48	Приемлемый Acceptable	Слабо загрязнённая Lightly polluted
0,375	0,351	1,67		
0,394	0,415	1,64	Допустимый Acceptable	
0,517	0,6	—	Зона риска Risk area	—
0,581	0,7		Опасный риск Dangerous risk	
0,646	0,8	—	Критический риск Critical risk	—

Примечание: УКИЗВ – удельный комбинаторный индекс загрязнения воды. Курсивом выделены значения ГХ-статуса, рассчитанные по регрессионной модели. Прочерк означает, что значения УКИЗВ, попадающие в зону риска, отсутствуют, при расчёте по измеренным значениям гидрохимических показателей.

Note: SCIWPI – specific combinatorial index of water pollution. HC-status values calculated by regression model are italicized. A dash means that there are no SCIWPI values falling within the risk zone when calculated using measured values of hydrochemical indicators.

чем выше эти нормализованные значения, тем ниже качество питьевых вод. То есть, полученные нормализованные значения можно представить в виде особых весовых коэффициентов, отражающих особенности состава питьевых вод, в связи с чем мы используем их в качестве параметра, характеризующего предлагаемый показатель ГХ-статус. Такая характеристика оправдана не только при относительных оценках отдельных участков внутри общей территории, но и при сопоставлении различных проб воды, обеспеченных одним и тем же набором оцениваемых химических показателей.

Для характеристики качества питьевых вод как водного элемента урбоэкосистемы, с использованием предлагаемого показателя ГХ-статус, нами проводилось его сопоставление с качественной характеристикой уровня экологического риска.

Анализ методики расчёта УКИЗВ позволяет определить интервал перехода от приемлемого уровня загрязнённости к уровню, который характеризуется как опасный, что позволяет определить неприемлемые риски

загрязнённости воды на основе химических показателей.

Рассчитав уровни экологического риска для тех же наборов наблюдений, по которым оценивался ГХ-статус, было получено регрессионное отношение этих двух показателей (рис. 2).

В таблице 2 представлены полученные нами значения уровня экологического риска, ГХ-статуса и УКИЗВ, рассчитанного для тех же групп наблюдений, но по ПДК химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, а также соответствующие характеристики риска и классы качества УКИЗВ. Значения ГХ-статуса для показателей риска 0,6–0,8 рассчитаны по регрессионному уравнению, указанному на рисунке 2.

Согласно описанию качественных характеристик уровня экологического риска, представленному в работе [16], допустимые его значения находятся в интервале 0–0,5, что соответствует значениям ГХ-статуса, равным 0,45. При этом следует отметить, что эта гра-

ница практически совпадает с началом класса «загрязнённая» по шкале классов качества УКИЗВ. В целом, градации классов качества УКИЗВ являются сильно растянутыми по диапазону качественных характеристик риска, однако хорошо отражают границы зон приемлемости и неприемлемости риска, что позволяет сопоставлять и совместно оценивать все представленные показатели.

Выводы

Естественная тесная взаимосвязь водных элементов урбоэкосистемы «природные воды – питьевые воды» должна быть отражена в единых подходах к оценке качества вод, что должно способствовать единству системы водопользования. Этот показатель имеет такой же физический смысл, что и УКИЗВ, по сути это приведённые к долям 1 значения удельного комбинаторного индекса ($S_{уд}$), однако рассчитанные по статистическим порогам, в качестве которых используются медианы вариационных рядов оцениваемых показателей. Предложенный комплексный показатель для оценки химического состава питьевых вод имеет перспективы использования для нормирования качества вод поверхностного источника водоснабжения. Использование методологии расчёта УКИЗВ позволяет учесть в предлагаемом показателе ГХ-статус как повторяемость случаев загрязнённости, так и среднее значение кратности превышения порогов, а использование в качестве пороговых значений медиан масштабирует оценки с учётом региональных распределений значений концентраций. Уровни экологического риска и значения предложенного показателя сопоставляются для масштабирования показателей относительно друг друга, с целью построения шкалы предлагаемого показателя, сопоставимой со шкалой экологического риска. Соответственно, ГХ-статус, рассчитываемый по методологии УКИЗВ, но с использованием санитарно-гигиенических нормативов и приведённый к шкале экологического риска, позволяет оценивать качество питьевых вод с учётом региональных особенностей их химического состава.

Таким образом, целесообразность введения показателя ГХ-статус обосновывается тем, что он обеспечивает приведение к единому знаменателю экологических и санитарно-гигиенических подходов при комплексной оценке качества питьевых вод, как водного элемента урбоэкосистемы. Предлагаемые подходы к разработке комплексного показателя,

учитывающего как повторяемость случаев загрязнённости, так и значения кратностей превышения порогов, определяемых статистически, могут быть применены для формирования комплексных показателей и других элементов урбоэкосистемы (почвы, воздуха), с целью получения интегральной оценки загрязнённости урбоэкосистемы в целом.

Научные исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках исполнения обязательств по Соглашению номер № 75–03–2024–067 от 17.01.2024 г. (номер темы FZSU–2023–0005).

Литература

1. Гагарина О.В. Обзор методов комплексной оценки качества поверхностных вод // Вестник Удмурского университета. Серия: Биология, науки о Земле. 2005. № 11. С. 45–58.
2. Беляева Т.А., Буяров В.С., Малинина Т.В. Интегральная оценка качества водной среды // Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды: Труды ЛПИ. 1985. Вып. 8. С. 19–23.
3. Кобзев А.В., Ерофеева М.Р. О комплексных показателях оценки качества природных вод по гидрохимическим показателям // Труды БрГУ. Серия Естественные и инженерные науки. 2019. № 1. С. 224–230.
4. Гелашвили Д.Б., Зинченко Т.Д., Выхристюк Л.А., Карандашова А.А. Интегральная оценка экологического состояния водных объектов по гидрохимическим и гидробиологическим показателям // Известия СамНЦ РАН. 2002. Т. 4. № 2. С. 270–275.
5. Зубарев В.А. Гидрохимические индексы оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. 2014. Т. 17. № 2. С. 71–77.
6. Янин Е.П., Кузьмич В.Н., Иваницкий О.М. Региональная природная неоднородность химического состава поверхностных вод суши и необходимость её учёта при оценках их экологического состояния и интенсивности техногенного загрязнения // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. 2016. № 6. С. 3–72.
7. Моисеенко Т.И. Методология оценки качества вод с позиций экологической парадигмы // Известия РАН. Серия географическая. 2009. № 1. С. 23–35.
8. Черногаева Г.М., Журавлева Л.Р., Малеванов Ю.А. Интегральная оценка качества воды в бассейне Волги по данным мониторинга в XXI в. // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 6. С. 875–884. doi: 10.31857/S2587556623060043
9. Таганов Д.Н. К вопросу об интегральном показателе загрязнённости воды реки // Методы расчёта характеристик загрязнения окружающей среды / Под ред. Д.Н. Таганова, А.Ф. Яковлева. М.: Гидрометеиздат, 1982. С. 32–34.

10. Никаноров А.М., Хоружая Т.А., Миронова Т.В. Анализ влияния мегаполисов на качество воды поверхностных водных объектов по эколого-токсикологическим показателям // Водные ресурсы. 2011. Т. 38. № 5. С. 621–628.

11. Татарникова Н.А., Кочетова О.В., Сидорова К.А., Юрина Т.А., Матвеева А.А. Некоторые вопросы оценки качества воды городского водозабора // Московский экономический журнал. 2022. № 5. С. 280–289. doi: 10.55186/2413046X_2022_7_5_283

12. Сайридин С.Ш., Селезнёв В.А., Селезнёва А.В. Анализ проблемы водоснабжения и водоотведения в Поволжье и обоснование её решения программными методами // Журнал Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. № 4. С. 68–77. doi: 10.17673/Vestnik.2015.04.9

13. Михайличенко К.Ю., Коршунова А.Ю., Курбатова А.И. Интегральная оценка качества питьевой воды централизованных систем водоснабжения // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2014. № 4. С. 99–106.

14. Новикова Ю.А., Тихонова Н.А., Мясников И.О., Овчинникова Е.Л., Колчин А.С., Черкашина М.Н., Винокурова И.Г. Интегральная оценка качества питьевой воды Омской области // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 8. С. 861–865. doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-8-861-865

15. Методика «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия» (утв. Минприроды РФ 30.11.1992) [Электронный ресурс] <https://docs.cntd.ru/document/901797511> (Дата обращения: 01.07.2024).

16. Музалевский А.А., Карлин Л.Н. Оценка и управление качеством трансграничных водных объектов // Учёные записки РГГМУ. 2015. № 41. С. 199–211.

17. Яйли Е.А., Музалевский А.А. Методология и способ оценки качества компонентов природной среды урбанизированных территорий на основе индикаторов, индексов и риска // Экологические системы и приборы. 2006. № 12. С. 23–29.

18. Музалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика. СПб.: РГГМУ, 2011. 448 с.

19. Музалевский А.А. Управление рисками // Безопасность жизнедеятельности. 2012. № S10. С. 2–24.

20. Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Байбакова Е.В., Валиев В.С. Методология определения региональных пороговых концентраций для расчёта нормативов допустимого сброса жидких производственных отходов в поверхностные воды // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 4. С. 28–33. doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-028-033

References

1. Gagarina O.V. The survey of methods of a complex estimation of quality of surface waters // Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 2005. No. 11. P. 45–58 (in Russian).

2. Belyaeva T.A., Buyarov V.S., Malinina T.V. Integral assessment of water environment quality // The survey of methods of a complex estimation of quality of surface waters // Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. P. 19–23 (in Russian).

3. Kobzev A.V., Erofeeva M.R. On integrated indicators of natural water quality assessment by hydrochemical indicators // Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Estestvennye i inzhenernye nauki. 2019. V. 1. P. 224–230 (in Russian).

4. Gelashvili D.B., Zinchenko T.D., Vikhristyuk L.A., Karandashova A.A. The integral assessment of the ecological states of a water objects by hydrochemical and hydrobiological indexes // Izvestia of RAS SamSC. 2002. V. 4. No. 2. P. 270–275 (in Russian).

5. Zubarev V.A. Hydrochemical indices for surface waters quality assessment in the Jewish autonomous region // Regional problems. 2014. V. 17. No. 2. P. 71–77 (in Russian).

6. Yanin E.P., Kuzmich V.N., Ivanitsky O.M. Regional natural heterogeneity of the chemical composition of surface waters on land and the need to take it into account when assessing their ecological state and the intensity of technogenic pollution // Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnkh resursov. 2016. No. 6. P. 3–72 (in Russian).

7. Moiseenko T.I. Methodology for assessing water quality from the perspective of the ecological paradigm // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2009. No. 1. P. 23–35 (in Russian).

8. Chernogaeva G.M., Zhuravleva L.R., Malevanov Yu.A. Integral assessment of water quality in the Volga basin according to monitoring data in the 21st century // Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya. 2023. V. 87. No. 6. P. 875–884 (in Russian). doi: 10.31857/S2587556623060043

9. Taganov D.N. On the issue of the integral indicator of river water pollution // Methods of calculation of environmental pollution characteristics / Eds. D.N. Taganov, A.F. Yakovlev. Moskva: Gidrometeoizdat, 1982. P. 32–34 (in Russian).

10. Nikanorov A.M., Khoruzhaya T.A., Mironova T.V. Analysis of the effect of megapolises on water quality in surface water bodies by ecological-toxicological characteristics // Water resources. 2011. V. 38. No. 5. P. 621–628 (in Russian).

11. Tatarnikova N.A., Kochetova O.V., Sidorova K.A., Yurina T.A., Matveeva A.A. Some issues water quality assessment in urban water intake // Moscow economic journal. 2022. No. 5. P. 280–289 (in Russian). doi: 10.55186/2413046X_2022_7_5_283

12. Sairiddin S.Sh., Seleznev V.A., Selezneva A.V. On the issue of water supply and sewage in the Volga region and software methods for its solution // Vestnik SGASU.

Town Planning and Architecture. 2015. No. 4. P. 68–77 (in Russian). doi: 10.17673/Vestnik.2015.04.9

13. Mikhailichenko K.Yu., Korshunova A.Yu., Kurbatova A.I. Integral assessment of drinking water quality of water supply systems // RUDN journal of ecology and life safety. 2014. No. 4. P. 99–106 (in Russian).

14. Novikova Yu.A., Tikhonova N.A., Myasnikov I.O., Ovchinnikova E.L., Kolchin A.S., Cherkashina M.N., Vinokurova I.G. Integral assessment of the drinking water quality water in the Omsk region // Hygiene and Sanitation. 2022. V. 101. No. 8. P. 861–865 (in Russian). doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-8-861-865

15. Methodology “Criteria for assessing the environmental situation of territories to identify environmental emergency and disaster zones” (approved by the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation on 30.11.1992) [Internet resource] <https://docs.cntd.ru/document/901797511> (Accessed: 01.07.2024).

16. Muzalevsky A.A., Karlin L.N. Assessment and quality management of cross-border water bodies //

Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University. 2015. No. 4. P. 199–211 (in Russian).

17. Yayli E.A., Muzalevsky A.A. The methodology and way of an assessment of quality of main components of natural environment operating the instrument of detecting instruments, indices and risk // Ecological Systems and Devices. 2006. No. 12. P. 23–29 (in Russian).

18. Muzalevsky A.A., Karlin L.N. Environmental risks: theory and practice. Sankt-Peterburg: RGGMU, 2011. 448 p. (in Russian).

19. Muzalevsky A.A. Risk management // Life safety. 2012. No. S10. P. 2–24 (in Russian).

20. Tunakova Yu.A., Novikova S.V., Baibakova E.V., Valiev V.S. Methodology for determining regional thresholds for the calculation of standards for the permissible discharge of liquid industrial waste into surface waters // Theoretical and Applied Ecology. 2021. No. 4. P. 28–33 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2021-4-028-033