

УДК 504.4.054

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПО ПРИОРИТЕТНЫМ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМ

Кочетова Ж. Ю.¹, Лазарев И. С.², Базарский О. В.³, Внукова С. В.⁴

^{1,2,3}Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Российская Федерация

⁴Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, Воронеж, Российская Федерация

E-mail: zk_yva@mail.ru

На примере участка Воронежского водохранилища рассматривается проблема оценки качества поверхностных вод по методике расчета удельного комбинаторного индекса загрязнения с учетом предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ. Предложен индекс загрязнения вод, объединяющий разноразмерные характеристики показателей — кратность, частоту превышения условно-естественных фоновых концентраций загрязнителей, их класс опасности. Для этого использовали переход от численных значений параметров загрязнения вод к векторному пространству. В основу шкалы приоритетности загрязнителей положены научно-обоснованные градации параметров загрязнения вод. Интегральный индекс загрязнения вод предполагает суммирование длин векторов установленных приоритетных загрязнителей, которые оказывают высокое или экстремально высокое влияние на качество вод по совокупности параметров и являются лимитирующими показателями.

Ключевые слова: качество вод, загрязнение вод, поверхностные воды, приоритетные загрязнители, условно-естественный фон, Воронежское водохранилище.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы объективной оценки качества поверхностных вод вызваны главным образом сложностью их состава и постоянно расширяющимся списком потенциальных загрязнителей. Химические компоненты могут характеризоваться высокой реакционной способностью и, в зависимости от разнообразных условий окружающей среды, образовывать те или иные продукты взаимодействия с еще большей опасностью, чем первичные загрязнители [1]. Поэтому расчет интегральных индексов загрязнения с учетом предельно допустимых концентраций (ПДК), которые устанавливали аквариумным методом для каждого индивидуального токсиканта, теряет смысл.

В последних работах доказывается необходимость вместо ПДК использовать фоновые концентрации загрязнителей, отражающие оптимальные соотношения всех ингредиентов, при которых в воде чистого водоема обеспечивается устойчивость исследуемой экосистемы [2, 3]. В методических указаниях [4] приводится формула для расчета условно-естественного гидрохимического фона водоема, которая предполагает наличие большого количества статистических данных. К сожалению, в очень редких случаях экологи располагают данными наблюдений по исследуемым водным объектам за длительный период времени. Установлены фоновые концентрации основных гидрохимических показателей озера Байкал, отдельных рек в Приморском крае, Вологодской и Воронежской областях [5, 6, 7, 8].

Существующие показатели суммарного загрязнения вод в большей степени пока ориентированы на сравнительный анализ фактических с предельно допустимыми

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПО ПРИОРИТЕТНЫМ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМ

концентрациями загрязнителей, входящих в списки обязательно контролируемых и специфических для водоема веществ. Наиболее точным и объективным показателем считается удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ) [2]. Он рассчитывается для всех загрязняющих веществ с учетом повторяемости и кратности превышения ПДК по каждому анализируемому ингредиенту [9]. УКИЗВ пришел на смену индексу загрязнения вод (ИЗВ) сравнительно недавно [10]. Однако ИЗВ продолжают активно использовать во многих работах благодаря простоте его вычислений и интерпретации результатов. ИЗВ рассчитывают для 6 показателей: химическое потребление кислорода (ХПК), биологическое потребление кислорода (БПК) и по тем загрязнителям, валовое содержание которых в водоеме было максимальным, вне зависимости от соотношения их концентраций с ПДК.

Обширный перечень учитываемых при расчетах загрязнителей вод приводит с одной стороны к повышению точности оценки их качества, а с другой — к высоким нагрузкам на аналитические лаборатории и росту стоимости проведения анализа. Поэтому важной научной задачей является установление приоритетных загрязняющих веществ, характерных для исследуемого водного объекта. Эти соединения должны максимально объективно отражать сложившуюся экологическую ситуацию на исследуемом объекте при одновременном сокращении затрат на мониторинг окружающей среды [11]. Таким образом, актуальной остается разработка такого показателя интегрального загрязнения вод, который учитывает класс опасности, повторяемость и кратность превышения условно-естественного фона приоритетных загрязняющих веществ.

Суммарное загрязнение поверхностных вод в промышленных центрах является, как правило, результатом трех основных типов жизнедеятельности: промышленные сточные воды, бытовые и поверхностные стоки. При этом чаще всего одни и те же показатели могут встречаться в нескольких типах загрязнения (нитраты, фосфаты, аммиак, нефтепродукты, хлориды, тяжелые металлы и другие показатели встречаются во всех трех типах загрязнения) [12]. А некоторые из них, являясь специфическими загрязнителями конкретного предприятия, имеют высокую тесноту связи с изменением концентраций в природном объекте (например, керосин, формальдегид, несимметричный диметилгидразин — в авиационно-ракетной отрасли) [13]. Поэтому выбор приоритетных загрязнителей для исследований и расчета суммарного показателя загрязнителей по прогнозируемым сбросам от каждого источника для водоема довольно затруднителен. Необходима объемная выборка данных многолетнего мониторинга загрязнения исследуемого водного объекта.

Цель исследования — разработка методики установления приоритетных загрязнителей для расчета индекса загрязнения поверхностных вод техногенно-нагруженных территорий.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве примера в статье рассматривается створ Воронежского водохранилища, расположенного в центре города между Чернавским и Вогрэсовским мостами, где летом наблюдается минимальная скорость течения, равная в среднем

0,4 м/с (что классифицируется как практически стоячая вода) [8]. Этот участок, помимо промышленных, бытовых сбросов и поверхностных стоков, в последние 10 лет подвергается негативному воздействию от химически опасного объекта (ХОО), работающего с веществами I класса опасности, и крупного аэродрома государственной авиации [13].

Загрязненность вод Воронежского водохранилища контролировали в трех точках, расположенных ниже по течению от ХОО: Т1 — на 3,3 км (левый берег, выше сброса сточных вод ООО «ЛЮС» на 500 м, причал в пос. Таврово); Т2 — на 2,9 км (правый берег, район недействующей АЭС). Точка Т3 для определения условно-естественного гидрохимического фона выбрана с учетом ландшафтных условий и благоприятной экологической обстановки, она расположена в районе санатория им. М. Горького выше по течению от ХОО на 17,3 км.

Концентрации гептила, формальдегида (ФА), нефтепродуктов (НП), нитратов (NO_3^-), нитритов (NO_2^-), ионов аммония (NH_4^+), хлоридов (Cl^-), сульфатов (SO_4^{2-}), ионов железа суммарно (Fe^{n+}), а также биологическое потребление кислорода (БПК₅), химическое потребление кислорода (ХПК) и содержание сухих веществ (ССВ) в воде определяли 5–8 раз ежегодно в разные сезоны с 2007 по 2019 гг. Предельно допустимые концентрации исследуемых загрязнителей и классы их опасности указаны в табл. 1 [14]. Отбор проб и лабораторный анализ образцов воды проводили специалисты сертифицированной лаборатории ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 97» ФМБА России (г. Воронеж), лаборатории Воронежского государственного университета инженерных технологий по стандартным методикам и на поверенном оборудовании.

Таблица 1
Предельно допустимые концентрации и классы опасности загрязнителей вод

Показатель	Гептил	ФА	НП	NO_3^-	NO_2^-	NH_4^+	Cl^-	SO_4^{2-}	Fe^{n+}
Значение ПДК, мг/дм ³	0,00006	0,05	0,1	45	3,0	1,5	350	500	0,3
Класс опасности	I	II	II	III	II	IV	IV	IV	II
Показатель	*БПК ₅			*ХПК			*СВ		
Значение ПДК, мг/дм ³	4,0 при 20 °С			15 мг О ₂ /дм ³			1000		
* класс опасности не установлен									

Источник: составлено авторами на основе СанПиН 1.2.3685-21

Для интегральной оценки загрязнения вод рассчитывали УКИЗВ [15]. На первом этапе по каждому ингредиенту ежегодно определяли повторяемость случаев загрязненности воды α_i (%) и среднее значение кратности превышения предельно допустимой концентрации β_i . По значениям α_i и β_i устанавливали характер загрязнения воды из четырех возможных градаций. Каждому рангу по повторяемости и кратности превышения ПДК соответствуют частные оценочные баллы $S_{\alpha i}$ и $S_{\beta i}$, произведение которых дает обобщенный оценочный балл по каждому загрязнителю $S_{\alpha\beta i}$. На втором этапе рассчитывали сумму обобщенных оценочных баллов исследуемых загрязнителей S , отношение которой к числу загрязнителей и есть удельный комбинаторный индекс загрязнения воды.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПО ПРИОРИТЕТНЫМ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМ

Условно-естественные гидрохимические показатели загрязнения вод $C_{i \text{ фон}}$ рассчитывали по формуле [16]:

$$C_{i \text{ фон}} = C_{i \text{ ср}} + (\sigma_i \cdot t_{st}) / n^{1/2}, \quad (1)$$

где $C_{i \text{ ср}}$ — средняя концентрация i -того вещества в ТЗ, мг/дм³; σ_i — среднее квадратичное отклонение концентрации; t_{st} — коэффициент Стьюдента при $P=0,95$; n — число измерений концентрации i -того вещества.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика среднегодового УКИЗВ исследуемого участка водохранилища, рассчитанного по 12 показателям относительно их ПДК, представлена на рисунке 1.

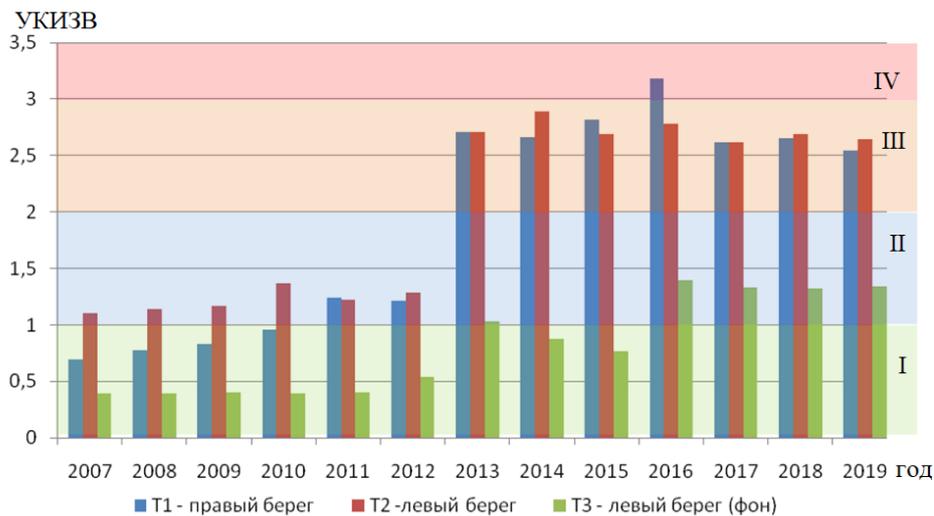


Рис. 1. Изменение качества вод Воронежского водохранилища: I — условно чистые; II — слабо загрязненные; III — загрязненные; IV — грязные.

Источник: составлено авторами.

Качество вод на исследуемом участке водохранилища до 2013 г. соответствует рангам «условно чистые» и «слабо загрязненные» [15]. Экологическая ситуация резко ухудшилась с началом интенсификации испытаний на ХОО и масштабной реконструкцией аэродрома, что соответствует ранее проведенным исследованиям загрязнения почв в этом районе г. Воронеж [17].

Для расчета условно-естественного гидрохимического фона использовали результаты анализа вод в точке пробоотбора ТЗ в период с 2007 по 2015 гг. включительно, когда качество вод соответствовало рангу «условно чистые» (1). Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Условно-естественные фоновые концентрации исследуемых показателей на 1–3 порядка меньше установленных нормативов (табл. 1). Так, $C_{\text{фон}}$ для нитратов в ~265 раз ниже ПДК; сульфатов — в 66 раз; нефтепродуктов — в 3 раза.

Таблица 2.

Условно-естественный гидрохимический фон Воронежского водохранилища
($P=0,95; t_{sr}=2$)

Загрязняющие вещества	Среднее значение концентрации за исследуемый период, C_{cp} мг/дм ³	Среднеквадратичное отклонение, σ	Длина выборки, n	Условно-естественный гидрохимический фон $C_{фон}$, мг/дм ³
Гептил*	–	–	–	–
Формальдегид	0,028	0,0034	56	0,029
Нефтепродукты	0,031	0,010	54	0,034
NO ₃ ⁻	0,15	0,06	50	0,17
NO ₂ ⁻	0,020	0,001	32	0,023
NH ₄ ⁺	0,068	0,022	31	0,076
Cl ⁻	17,7	4,2	48	18,9
SO ₄ ²⁻	7,49	0,50	48	7,63
Fe ^{п+}	0,12	0,04	42	0,13
БПК ₅	2,83	0,44	52	2,95
ХПК	3,64 мг O ₂ /дм ³	0,52	59	3,78 мг O ₂ /дм ³
Сухие вещества	146	8,0	54	148

* концентрация вещества ниже предела обнаружения метода

Источник: составлено авторами.

Отметим, что ПДК не учитывают взаимного влияния всего разнообразия качественного состава и количественного соотношения загрязнителей при совместном присутствии их в водах, поэтому УКИЗВ не отражает совокупное влияние загрязнителей на качество исследуемых вод со сложившимся естественным гидрохимическим фоном (рис. 1).

Значение УКИЗВ, рассчитанного относительно условно-естественного фона, отличается по классификации качества вод от общепринятого УКИЗВ на ранг в худшую сторону (рис. 2). В 2016 г. вода в створе водохранилища характеризовалась как экстремально грязная относительно $C_{фон}$, тогда как относительно ПДК — как грязная. Однако здесь тоже есть недостаток. Интегральная оценка загрязнения вод относительно фоновых значений исследуемых показателей не учитывает их токсичность (класс опасности), а лишь показывает динамику повышения валовых концентраций тех или иных загрязнителей антропогенного происхождения, что делает невозможной оценку санитарно-эпидемиологической обстановки.

Для разрешения этого противоречия необходимо учитывать три параметра: повторяемость α_i , кратность β_i превышения условно-естественных фоновых концентраций загрязняющих веществ (в соответствии со стандартной методикой [15]); параметр γ_i , соответствующий классу опасности загрязнителей (введен в методику авторами в соответствии с [14]). Для интеграции различных по смыслу и размерностям показателей α_i , β_i и γ_i в единый индекс, назовем его приоритетность

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД
ПО ПРИОРИТЕТНЫМ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМ

загрязнителя Z_i , предлагается переход от численных алгебраических значений параметров загрязнителей вод к их векторному измерению.

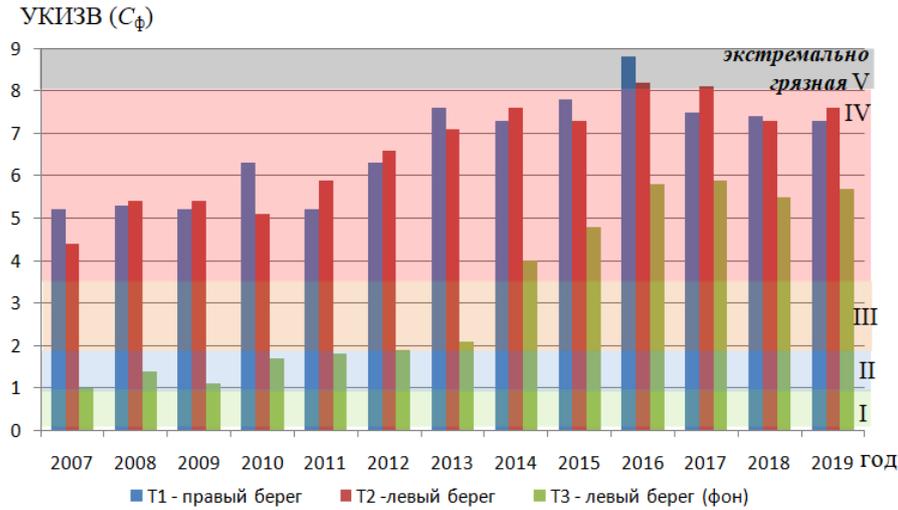


Рис. 2. Изменение качества вод Воронежского водохранилища с учетом условно-естественного гидрохимического фона: I — условно чистые; II — слабо загрязненные; III — загрязненные; IV — грязные; V — экстремально грязные.

Источник: составлено авторами.

На первом этапе необходимо ранжировать каждый параметр, основываясь на известных методиках [14, 15], как показано в таблице 3. Чем выше ранг параметра, тем больший вклад он вносит в индекс приоритетности загрязнителя.

Таблица 3.

Градации параметров загрязнителей поверхностных вод

Ранг	Повторяемость α_i (%)		Кратность β_i		Опасность γ_i
	значение	характеристика	значение	характеристика	характеристика
1	[1–10)	единичная	[1–2)	низкая	умеренная
2	[10–30)	неустойчивая	[2–3)	средняя	средняя
3	[30–50)	устойчивая	[3–5)	высокая	высокая
4	[50–100)	характерная	[5–∞)	экстремальная	чрезвычайная

Источник: составлено авторами на основе СанПиН 1.2.3685-21, РД 52.24.643.

Введем трехмерное пространство параметров $Z_i = f(\alpha_i; \beta_i; \gamma_i)$, где началом отсчета является безопасный первый ранг, равный единице ($\alpha_i=1; \beta_i=1; \gamma_i=1$). Тогда геометрическое расстояние между безопасным рангом и последующими равно:

$$|Z_i| = ((\alpha_i - 1)^2 + (\beta_i - 1)^2 + (\gamma_i - 1)^2)^{1/2}. \quad (2)$$

Этот вектор является интегральным показателем приоритетности загрязняющих веществ. В векторном пространстве длина и направление вектора \mathbf{Z} зависит от комбинации учитываемых параметров загрязнителей α , β и γ (рис. 3).

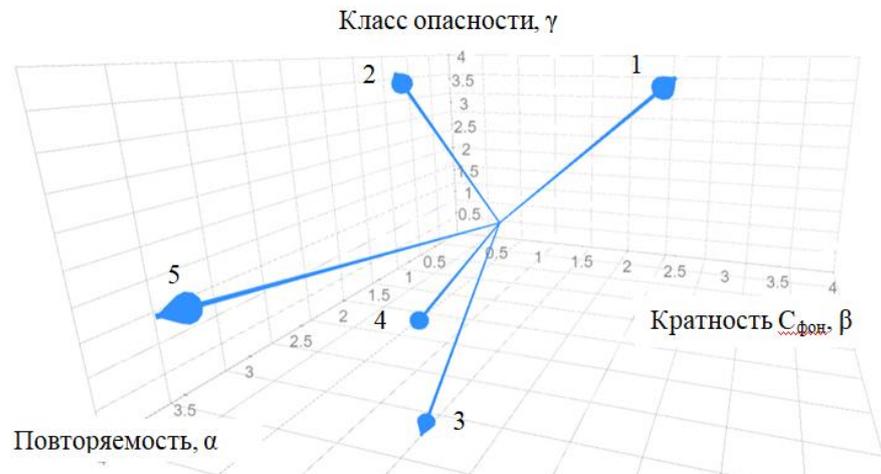


Рис. 3. Трехмерное пространство параметров загрязнителей воды: 1 — нитриты; 2 — ХПК; 3 — ионы аммония; 4 — нефтепродукты; 5 — хлориды (2007 г.).

Источник: составлено авторами.

Максимальная длина вектора $|\mathbf{Z}_i|_{\max}=5,20$ характерна для худшей комбинации параметров загрязнителей, когда все их ранги максимальны ($\alpha_i=4$; $\beta_i=4$; $\gamma_i=4$).

Такой подход позволяет перейти от трех ранжируемых параметров каждого загрязнителя к единой шкале оценки его приоритетности:

I) $|\mathbf{Z}_i|=0$ – исследуемый загрязнитель находится на уровне ниже предела обнаружения метода, его не учитывают при расчетах (возможно определение концентраций загрязнителя на уровне ниже фоновой концентрации для данного водоема, что связано с точностью измерительного прибора);

II) $|\mathbf{Z}_i|\leq 1,73$ – среднее влияние на загрязнение воды;

III) $|\mathbf{Z}_i|=(1,73-3,46)$ – высокое влияние;

IV) $|\mathbf{Z}_i|=[3,46-5,20)$ – чрезвычайно высокое влияние.

Соединения с высоким и чрезвычайно высоким влиянием на загрязнения поверхностных вод относятся к приоритетным загрязнителям водоема.

На втором этапе рассчитывают $|\mathbf{Z}_i|$ для исследуемых загрязнителей водоема по формуле 2. Установлено различное влияние индивидуальных соединений на загрязнение створа водохранилища в различные периоды времени (рис. 4).

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД
ПО ПРИОРИТЕТНЫМ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМ

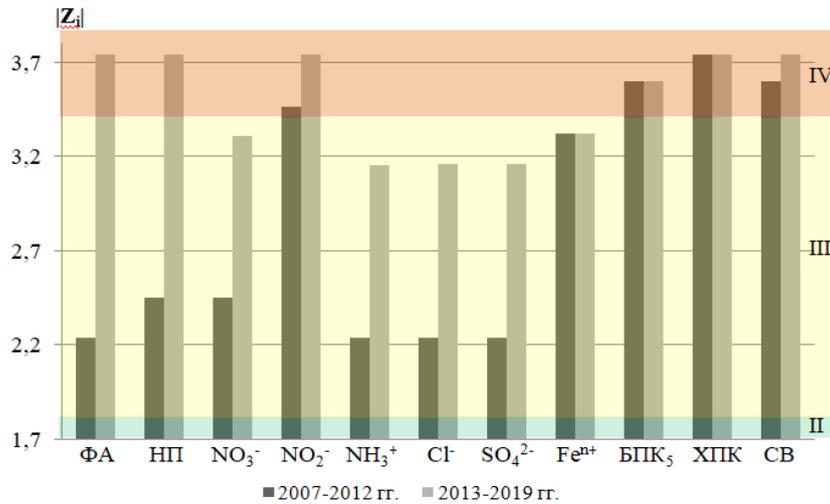


Рис. 4. Шкала приоритетности загрязнителей участка Воронежского водохранилища: I — «ниже предела обнаружения метода»; II — «среднее влияние»; III — «высокое влияние».

Источник: составлено авторами

До 2013 г. высокое влияние на загрязнение воды оказывали четыре загрязнителя: нитриты, ХПК, БПК₅ и сухие вещества. С начала интенсификации деятельности аэродрома и химически опасного объекта к ним присоединились нефтепродукты и формальдегид, которые являются специфическими загрязнителями авиационно-ракетного кластера. Длина вектора $|Z_i|$ для нитратов, сульфатов, ионов аммония, хлора также увеличилась, в основном за счет роста повторяемости превышения условно-естественного гидрохимического фона. Однако ни один из этих исследуемых показателей не превысил ранг «высокое влияние».

Гептил удалось обнаружить в Т1 дважды в следовых концентрациях непосредственно после проведения испытаний. За счет того, что гептил трансформируется в течение нескольких часов в другие более или менее опасные химические соединения, его исключили из списка приоритетных загрязнителей. На сегодняшний день установлено 24 продукта деструкции гептила в объектах окружающей среды. Их влияние на загрязнение поверхностных вод до конца не изучено [13].

Удельный суммарный индекс загрязнения поверхностных вод рассчитывается как сумма длин векторов, отражающих вклад n числа приоритетных загрязнителей с учетом класса их опасности, повторяемости и кратности превышения условно-естественного гидрохимического фона:

$$Z = (|Z_1| + |Z_2| + \dots + |Z_n|) / n. \quad (3)$$

В стандартных методиках расчета ИЗВ и УКИЗВ проводят усреднение суммы коэффициентов концентрации всех исследуемых загрязнителей, что приводит к

заниженным значениям суммарных индексов из-за эффекта «разбавления» опасных загрязнителей менее опасными. Такой подход не учитывает совокупного влияния загрязнителей на качество вод и, по сути, противоречит самой цели установления качества их безопасности. Поэтому имеет смысл проводить интегральную оценку качества вод только по приоритетным загрязнителям, длины векторов которых являются главными (лимитирующими) в суммарном воздействии всех показателей.

В данном случае имеет смысл находить среднее значение длин векторов, отражающих влияние n числа только приоритетных (равноопасных) загрязнителей вод. Сверху суммарный индекс загрязнения вод Z ограничен значением 5,20, что соответствует наихудшей комбинации параметров всех исследуемых приоритетных загрязнителей (4; 4; 4). Снизу суммарный индекс загрязнения вод ограничен значением 1,73. Значения $Z=(1,73-3,46]$ соответствуют высокому уровню загрязнения вод. При $Z>3,46$ загрязнение вод ранжируется как чрезвычайно высокое. Если ни один исследуемый показатель не относится к приоритетным загрязнителям по совокупности параметров $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$, то поверхностные воды можно считать условно чистыми или умеренно загрязненными.

В соответствии с предложенной методикой, с 2007 г. качество вод исследуемого участка Воронежского водохранилища ранжируется по 4 приоритетным загрязнителям как высоко загрязненные ($Z=3,2$). С 2013 г. индекс Z рассчитывали по шести приоритетным загрязнителям, при этом для всех годов он был больше значения 3,65, что соответствует чрезвычайно высокому загрязнению вод. Предложенный индекс загрязнения в большей степени коррелирует с оценкой качества вод по УКИЗВ, рассчитанному относительно $C_{фон}$ для 11 исследуемых загрязнителей (рис. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована динамика загрязнения поверхностных вод техногенно нагруженного участка Воронежского водохранилища в соответствии со стандартной методикой расчета удельного комбинаторного индекса загрязнения вод, которая учитывает повторяемость и кратность превышения предельно допустимых концентраций исследуемых показателей, а также их число. К недостаткам такого подхода следует отнести расчет интегрального загрязнения вод без учета естественного гидрохимического фона водоема, что не отражает совокупного влияния загрязнителей на экологическую ситуацию. С другой стороны, расчет УКИЗВ относительно фоновых концентраций не отражает санитарно-эпидемиологическую ситуацию на исследуемом объекте. Кроме того, усреднение различных по влиянию на загрязнение вод показателей приводит к заниженным значениям суммарного загрязнения вод из-за «разбавления» более опасных загрязнителей менее опасными.

Для более точной оценки качества поверхностных вод установлен условно-естественный гидрохимический фон для 11 исследуемых показателей. Переход от численных значений характеристик загрязнения вод по каждому показателю к векторному пространству позволил разработать единый индекс, сочетающий в себе разноразмерные характеристики загрязнителей вод — кратность, частоту

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПО ПРИОРИТЕТНЫМ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯМ

превышения условно-естественного гидрохимического фона и их класс опасности. В основу были взяты научно-обоснованные ранги загрязнения вод, представленные в стандартных методиках.

Разработанная единая шкала приоритетности загрязнителей для исследуемого водоема позволила установить наиболее опасные показатели, вносящие максимальный вклад в загрязнение поверхностных вод в различные годы исследования. Длины векторов, соответствующие высокому влиянию показателей на загрязнение вод, характерны для нитритов, ХПК, БПК₅ и сухих веществ. В последние годы этот список был дополнен формальдегидом и нефтепродуктами — приоритетными загрязнителями авиационно-ракетной отрасли, что отражает интенсификацию ее деятельности [13].

Интегральный индекс загрязнения вод предполагает суммирование длин векторов, соответствующих только приоритетным загрязнителям. Он не учитывает те загрязнители, вклад которых в загрязнение вод незначителен по совокупности параметров (кратность превышения фона, повторяемость, класс опасности). Индекс ограничен снизу значением 3,46, которое соответствует загрязнению вод одним показателем с высоким влиянием на загрязнение вод по совокупности перечисленных характеристик. Сверху индекс не ограничен и зависит от числа приоритетных загрязнителей. Такой подход отражает экологическую ситуацию, сложившуюся на исследуемом водном объекте относительно условно-естественного фона, позволяет оценивать загрязнение вод с учетом токсичности приоритетных загрязнителей и эффекта их суммации, выявлять возможные источники загрязнения вод в отдельные годы исследований.

Список литературы

1. Маслова Н. В., Кочетова Ж. Ю. Комплексный экспресс-анализ загрязнения вод // Региональные геосистемы. 2021. Т. 45. № 3. С. 382–392.
2. Возняк А. А., Лепихин А. П. Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример // Географический вестник. 2018. № 2 (45). С. 103–115.
3. Спирин Ю. А., Зотов С. И., Таран В. С., Королева Ю. В. Оценка геоэкологического состояния поверхностных водотоков Славянского района Калининградской области // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2021. Т. 7 (73). № 1. С. 183–202.
4. Приказ Министерства природных ресурсов РФ № 169 от 04.07.2007 «Об утверждении Методических указаний по разработке схем комплексного использования и охраны водных объектов» // [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902053959> (дата обращения 17.03.2022).
5. Нормативы допустимых воздействий на экологическую систему озера Байкал (проект) / [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:htqj_xel89MJ:lake.baikal.ru/ru/baikalnorm/docs/p_norms_v.rtf+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=ru (дата обращения 17.03.2022).
6. Вопросы экологического нормирования и разработка системы оценки состояния водоемов. Материалы Объединенного Пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии / Отв. ред.: академик РАН Д. С. Павлов, член-корреспондент РАН Г. С. Розенберг, д.б.н. М. И. Шатуновский. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 196 с.
7. Тимошенко Л. Н. Экологически допустимые уровни содержания химических веществ в водных объектах Вологодской области // Ученые записки РГТМУ. 2013. № 33. С. 135–142.

8. Чувычкин А. Л., Яблонских Л. А., Девятова Т. А. Качество поверхностных вод Воронежского водохранилища и его влияние на здоровье населения // Вестник ВГУ. Серия: Химия, биология, фармация. 2018. № 2. С. 270–277.
9. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов н/Д.: ГХИ, Росгидромет, 2002. 52 с.
10. Белякова А.М., Зуева Н.В. Оценка качества воды городской реки по гидрохимическим показателям (река Охта, Санкт-Петербург) // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2021. № 9. С. 72–84.
11. Кочетова Ж. Ю., Базарский О. В., Кучменко Т. А., Маслова Н. В. Экологические проблемы авиационно-ракетного кластера и оптимизация геомониторинга с применением пьезосенсорного датчика // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 8. С. 32–38.
12. Adamu M., Ado A. Application of Principal Component Analysis & Multiple Regression Models in Surface Water Quality Assessment // Journal of Environment and Earth Science. 2012. Vol. 2. No 2. P. 16–24.
13. Кочетова Ж. Ю., Маслова Н. В., Базарский О. В. Авиационно-ракетные кластеры и окружающая среда. М.: ИНФРА-М. Сер. Научная мысль, 2022. 266 с.
14. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Постановление главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2. 635 с.
15. РД 52.24.643. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов н/Д.: Росгидромет, 2002. 55 с.
16. Приказ Министерства природных ресурсов РФ № 328 от 12.12.2007 Об утверждении Методических указаний по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902083847> (Дата обращения 17.03.2022).
17. Кочетова Ж. Ю., Базарский О. В., Маслова Н. В. Мониторинг содержания нефтепродуктов и азота в грунтах экологически опасного объекта и прилегающих к нему территорий // Успехи современного естествознания. 2017. № 10. С. 83–89.

ASSESSMENT OF SURFACE WATER QUALITY

SELECTION OF PRIORITY POLLUTANTS

Kochetova Zh. Yu¹, Lazarev I. S.², Bazarsky O. V.³, Vnukova S. V.⁴

^{1,2,3}Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russian Federation

⁴Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh, Russian Federation

E-mail: zk_yva@mail.ru

The dynamics of surface water pollution of the Voronezh reservoir section is studied in accordance with the standard methodology for calculating the specific combinatorial index of water pollution, which takes into account the repeatability and multiplicity of exceeding the maximum permissible concentrations of the studied indicators, as well as their number. The disadvantages of this approach include the calculation of integral water pollution without taking into account the natural hydrochemical background of the reservoir, which does not reflect the cumulative effect of pollutants on the environmental situation. On the other hand, the calculation of the UKIZV relative to background concentrations does not reflect the sanitary and epidemiological situation at the object under study. The averaging of indicators of various effects on water pollution leads to underestimated values of total water pollution due to the "dilution" of more dangerous pollutants by less dangerous ones. For a more accurate assessment of the quality of surface waters at the Voronezh reservoir site, a conditionally natural hydrochemical background was established for 11 studied

indicators. The transition from numerical values of water pollution characteristics for each indicator to a vector space made it possible to develop a single index combining different-dimensional characteristics of water pollution — multiplicity, frequency of excess of the conditionally natural hydrochemical background and the hazard class of the compounds studied. The basis was based on scientifically-based ranks of water pollution presented in standard methods.

The developed unified scale of priority of pollutants for the studied reservoir made it possible to establish the most dangerous indicators that make the maximum contribution to surface water pollution in various years of the study. Vector lengths corresponding to the high influence of indicators on water pollution are characteristic of nitrites, COD, BPK5 and dry substances. In recent years, this list has been supplemented with formaldehyde and petroleum products – priority pollutants of the aviation and missile cluster, which reflects the intensification of its activities.

The developed integral index of water pollution assumes the summation of the lengths of vectors corresponding only to priority pollutants. It does not take into account those pollutants whose contribution to water pollution is insignificant in terms of a set of parameters (multiplicity of background excess, repeatability, hazard class). The index is limited from below by the value corresponding to water pollution by one indicator with a high impact on water pollution by the totality of the listed characteristics. From above, the index is not limited and depends on the number of priority pollutants. This approach reflects the real ecological situation that has developed on the studied water body relative to the conditionally natural background, allows assessing water pollution taking into account the toxicity of priority pollutants and the effect of their summation, identifying possible sources of water pollution in individual years of research.

Keywords: water quality, water pollution, surface waters, priority pollutants, conditionally natural background, Voronezh reservoir.

References

1. Maslova N. V., Kochetova Zh. Yu. Kompleksnyj ekspress-analiz zagryazneniya vod (Complex express analysis of water pollution). *Regional'nye geosistemy*, 2021, Vol. 45, no. 3, pp. 382–392 (in Russian).
2. Voznyak A. A., Lepihin A. P. Razrabotka regional'nyh PDK: neobhodimost', metodika, primer (Development of regional MPCs: necessity, methodology, example). *Geograficheskij vestnik*, 2018, no. 2 (45), pp. 103–115 (in Russian).
3. Spirin Yu. A., Zotov S. I., Taran V. S., Koroleva Yu. V. Ocenka geoekologicheskogo sostoyaniya poverhnostnyh vodotokov Slavyanskogo rajona Kaliningradskoj oblasti (Assessment of the geoecological state of surface watercourses of the Slavyansky district of the Kaliningrad region). *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*, 2021, Vol. 7 (73), no. 1, pp. 183–202 (in Russian).
4. Prikaz Ministerstva prirodnyh resursov RF № 169 ot 04.07.2007 «Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazaniy po razrabotke skhem kompleksnogo ispol'zovaniya i ohrany vodnyh ob"ektov» (Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 169 dated 04.07.2007 "On approval of Methodological guidelines for the development of schemes for the integrated use and protection of water bodies"). [Internet resource] <https://docs.cntd.ru/document/902053959> (Accessed 17.03.2022) (in Russian).
5. Normativy dopustimyh vozdeystvij na ekologicheskuyu sistemu ozera Bajkal (proekt) (Standards of permissible impacts on the ecological system of Lake Baikal (project)). [Internet resource] http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:htqq_xel89MJ:lake.baikal.ru/ru/baikalnorm/docs/p_norms_v.rtf+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=ru (Accessed 17.03.2022) (in Russian).

6. Voprosy ekologicheskogo normirovaniya i razrabotka sistemy ocenki sostoyaniya vodoemov. Materialy Ob"edinennogo Plenuma Nauchnogo soveta OBN RAN po gidrobiologii i ihtiologii, Hidrobiologicheskogo obshchestva pri RAN i Mezhhvedomstvennoj ihtiologicheskoy komissii (Issues of environmental regulation and development of a system for assessing the condition of reservoirs. Materials of the Joint Plenum of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on Hydrobiology and Ichthyology, the Hydrobiological Society at the Russian Academy of Sciences and the Interdepartmental Ichthyological Commission). Otv. red.: akademik RAN D.S. Pavlov, chlen-korrespondent RAN G.S. Rozenberg, d.b.n. M.I. SHatunovskij. M.: Tovarishchestvo nauchnyh izdanij KMK, 2011. 196 p. (in Russian).
7. Timoshenko L. N. Ekologicheski dopustimye urovni sodержaniya himicheskikh veshchestv v vodnyh ob"ektah Vologodskoj oblasti (Ecologically acceptable levels of chemical substances in the water bodies of the Vologda region). Uchenye zapiski RGGMU, 2013, no. 33, pp. 135–142 (in Russian).
8. Chuvychkin A. L., Yablonskih L. A., Devyatova T. A. Kachestvo poverhnostnyh vod Voronezhskogo vodohranilishcha i ego vliyanie na zdorov'e naseleniya (The quality of surface waters of the Voronezh reservoir and its impact on public health). Vestnik VGU. Seriya: Himiya, biologiya, farmaciya, 2018, no. 2, pp. 270–277 (in Russian).
9. RD 52.24.643-2002. Metodicheskie ukazaniya. Metod kompleksnoj ocenki stepeni zagryaznennosti poverhnostnyh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam (Guidance document 52.24.643-2002. Methodical instructions. A method of complex assessment of the degree of contamination of surface waters by hydrochemical indicators). Rostov n/D.: GHI, Rosgidromet, 2002, 52 p. (in Russian).
10. Belyakova A. M., Zueva N. V. Ocenka kachestva vody gorodskoj reki po gidrohimicheskim pokazatelyam (reka Ohta, Sankt-Peterburg) (Assessment of the water quality of the city river by hydrochemical indicators (Okhta River, St. Petersburg)). Trudy Karel'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk, 2021, no. 9, pp. 72–84 (in Russian).
11. Kochetova Zh. Yu., Bazarskij O. V., Kuchmenko T. A., Maslova N. V. Ekologicheskie problemy aviacionno-raketnogo klastera i optimizaciya geomonitoringa s primeneniem p'ezosensornogo datchika (Environmental problems of the aviation-rocket cluster and optimization of geomonitoring using a piezosensor sensor). Ekologiya i promyshlennost' Rossii, 2018, Vol. 22, no. 8, pp. 32–38 (in Russian).
12. Adamu M., Ado A. Application of Principal Component Analysis & Multiple Regression Models in Surface Water Quality Assessment. Journal of Environment and Earth Science, 2012, Vol. 2, no. 2. pp. 16–24.
13. Kochetova Zh. Yu., Maslova N. V., Bazarskij O. V. Aviacionno-raketnye klasteri i okruzhayushchaya sreda (Aviation and missile clusters and the environment). Moskva: INFRA-M. Ser. Nauchnaya mysl', 2022, 266 p. (in Russian).
14. SanPiN 1.2.3685-21. Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov srede obitaniya. Postanovlenie glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha RF (Sanitary rules and regulations 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation), 2021, no. 2, 635 p. (in Russian).
15. RD 52.24.643. Metod kompleksnoj ocenki stepeni zagryaznennosti poverhnostnyh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam (Guidance document 52.24.643. Method of comprehensive assessment of the degree of contamination of surface waters by hydrochemical indicators). Rostov n/D.: Rosgidromet, 2002, 55 p. (in Russian).
16. Prikaz Ministerstva prirodnyh resursov RF № 328 ot 12.12.2007 Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazaniy po razrabotke normativov dopustimogo vozdejstviya na vodnye ob"ekty (Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 328 of 12.12.2007 On the Approval of Methodological Guidelines for the Development of Standards of permissible impact on Water Bodies) [Internet resource]. <https://docs.cntd.ru/document/902083847> (Accessed 17.03.2022) (in Russian).
17. Kochetova Zh. Yu., Bazarskij O. V., Maslova N.V. Monitoring sodержaniya nefteproduktov i azota v gruntah ekologicheski opasnogo ob"ekta i prilgayushchih k nemu territorij (Monitoring of the content of petroleum products and nitrogen in the soils of an environmentally hazardous object and adjacent territories). Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya, 2017, no. 10, pp. 83–89 (in Russian).

Поступила в редакцию 06.05.2022 г.