

УДК 628.1

И. С. Лазарев¹

Ж. Ю. Кочетова¹

В. А. Бударина²

И. И. Косинова²

Н. В. Маслова³

Проблемы нормирования качества поверхностных вод: методики, пример

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

e-mail: lazarev-ilya@list.ru1, zk_vva@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»,
г. Воронеж, Российская Федерация

e-mail: kosinova777@yandex.ru²

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий», г. Воронеж,
Российская Федерация

e-mail: maslovanatv@mail.ru³

Аннотация. На примере тринадцатилетнего мониторинга участка Воронежского водохранилища рассмотрены различные подходы к интегральной оценке качества поверхностных вод. Установлен условно-естественный гидрохимический фон водохранилища по исследуемым параметрам. Относительно предельно допустимых и фоновых значений параметров рассчитаны индекс загрязнения воды, удельный комбинаторный индекс загрязнения воды. Различные индексы загрязнения воды имеют высокую тесноту связи при оценке качества вод относительно фоновых концентраций.

Ключевые слова: Воронежское водохранилище, удельный индекс загрязнения вод, комбинаторный индекс загрязнения вод, нормирование качества воды, гидрохимический фон

Введение

Оценка качества вод различного генезиса является одним из важнейших методологических вопросов экологии. Особую нишу занимают поверхностные воды – многокомпонентные природные объекты с непрерывно изменяющимся и разнообразным химическим составом, зависящим от огромного числа факторов, что затрудняет выработку единого подхода к оценке их качества [1, 2]. За последние 40–50 лет так и не пришли к единому алгоритму расчета интегрального загрязнения поверхностных вод, напротив, разнообразие утвержденных на различных уровнях методик с каждым годом только увеличивается, «методический хаос» нарастает [3–6]. Превалирующее большинство существующих методик базируются на установлении кратности фактических концентраций загрязняющих веществ их предельно допустимым концентрациям (ПДК).

До 2006 г. в системе Росгидромета для оценки суммарного загрязнения поверхностных вод использовали индекс загрязнения воды (ИЗВ) [7]. Основным недостатком этого индекса является учет ограниченного числа исследуемых показателей. Кроме того, не совсем понятно, почему для оценки опасности вод для человека выбираются те показатели, которых больше по валовому содержанию, а не по превышению ПДК [8].

В 2002 г. введен в действие руководящий документ для комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям – комбинаторному индексу загрязненности воды (КИЗВ) и удельному комбинаторному индексу загрязненности воды (УКИЗВ) [9]. Эти индикаторы считаются более точными и надежными, так как алгоритм их расчета включает повторяемость случаев превышения ПДК каждым показателем, число которых не ограничено; среднее значение кратности превышения ПДК.

При переходе от одного индикатора к другим возникли сложности по сопоставимости результатов многолетней интегральной оценки загрязнения вод. Некоторые исследования показывают, что, если принять уровень хозяйственного воздействия на объекты неизменным, то удельный комбинаторный индекс загрязненности воды, более строгий, чем ИЗВ [10].

Главной проблемой при переходе к единообразию оценки качества вод специалисты считают использование одинаковых по всей России ПДК загрязнителей [11, 12]. Существующая система нормирования качества вод относительно установленных ПДК не учитывает региональных особенностей формирования водоемов, типы водопользования, природу и уровень техногенной нагрузки, которые могут существенно отличаться на отдельных участках крупных рек, водохранилищ и других акваторий. Проведенные исследования показали, что в зонах с умеренным климатом река самоочищается на расстоянии 200–300 км от источника загрязнения, в условиях Крайнего Севера это расстояние может возрастать на порядок. Не может быть единых величин ПДК по углеводородам нефтяного происхождения для побережья Сочи и полярного Ямала. В первом случае за счет частичного испарения, коагуляции и осаждения на дно тяжелых углеводородов вода самоочищается за 2 года, в то время как в северных регионах разлив такого же масштаба будет трансформироваться 100 и более лет [13].

Известно также, что токсичность элементов во многом определяется их формой нахождения в воде, содержанием кальция и комбинациями других металлов, уровнем рН и содержанием гумосовых кислот [14]. Действующие нормативы ПДК не могут учесть взаимного влияния всего разнообразия загрязнителей при совместном присутствии в водах, когда их токсичные свойства могут усиливаться, нивелироваться или оставаться неизменными. Так, комбинации цинка, меди и хрома намного токсичнее для рыб, чем каждый металл отдельно. А марганец, напротив, оказывает антагонистическое влияние на медь и алюминий [15]. Спорным вопросом остается и неоправданно жесткие нормативы для некоторых металлов, которые устанавливались в аквариумах и были обусловлены, вероятно, их ионной формой. Однако известно, что содержание меди в ионном виде в природной воде составляет не более 10 % от валового содержания, так как гуминовые кислоты, присутствующие в поверхностных водах, связывают этот металл в недоступную для живых организмов форму [16].

Участники Объединенного Пленума Научного совета Отделения биологических наук РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии по проблеме экологического нормирования и разработки системы оценки состояния водоемов еще в 2011 г. сошлись во мнении, что единые значения ПДК для всех регионов удобны в плане упрощения процедуры мониторинга и расчетов, но их время прошло [3, 12].

В идеале ПДК приоритетных загрязнителей водоема должны иметь региональный характер, учитывать природный гидрохимический фон и антропогенную нагрузку. Уже установлены региональные нормативы для отдельных рек в Приморском крае, Вологодской области, для озера Байкал [12, 17, 18]. Такой подход приводит к отличиям в региональных ПДК на 3–7 порядков.

С 2007 г. в связи с необходимостью расчета нормативов допустимого воздействия на водные объекты и разработкой схем комплексного использования и охраны водных объектов, введены «целевые показатели качества воды, характеризующие состав и концентрацию химических веществ, микроорганизмов и другие показатели качества воды в водных объектах» [19, 20]. Их устанавливают с учетом природных особенностей бассейна, условий целевого использования и современного состояния водного объекта. Эти показатели пока не получили должного распространения ввиду расплывчатости формулировок и необходимости большого количества разнообразных данных для расчетов, которых для многих водных объектов нет в наличии [21, 22]. В этих документах прописана необходимость учета «регионального естественного (условно-естественного) гидрохимического фона», под которым понимается «значение показателей качества воды, сформировавшееся под влиянием природных факторов, характерных для конкретного региона, не являющееся вредными для сложившихся экологических систем». Для расчета регионального фона используют гидрохимические данные по створам, расположенным в местах с подтвержденным экологическим благополучием, и учитывают статистические показатели, требующие длительного ряда наблюдений, проводимых на водном объекте (или его аналоге). Таких хорошо изученных объектов в РФ ничтожно мало, что говорит о необходимости организации проведения систематических наблюдений и сбора банка уже имеющихся разрозненных данных.

Цель работы – исследование динамики различных комплексных гидрохимических показателей относительно ПДК и с учетом регионального фона на примере участка Воронежского водохранилища, подверженного воздействию химически опасного объекта.

Материалы и методы

Объект исследования – загрязнение вод участка Воронежского водохранилища, расположенного в черте г. Воронеж (рисунок 1). Протяженность водохранилища с севера на юг составляет 35 км; площадь поверхности – 70 км²; объем – 204 млн м³; средняя ширина и глубина – 2 км и 2,9 м. Водохранилище относится к проточному типу, имеет сезонное регулирование речного стока, каждую весну вода обновляется [23]. Основной водообмен происходит по динамической оси водохранилища, которая совпадает с руслом р. Воронеж, в пределах которой создано водохранилище. На исследуемом участке (между Чернавским и Вогрэсовским мостами) наблюдается минимальная скорость течения, которая летом составляет в среднем 0,4 м/с (что классифицируется как практически стоячая вода) [24]. Этот участок подвергается негативному экологическому воздействию от химически опасного объекта – испытательного комплекса ракет-носителей АО «Конструкторское бюро химавтоматики» [25].

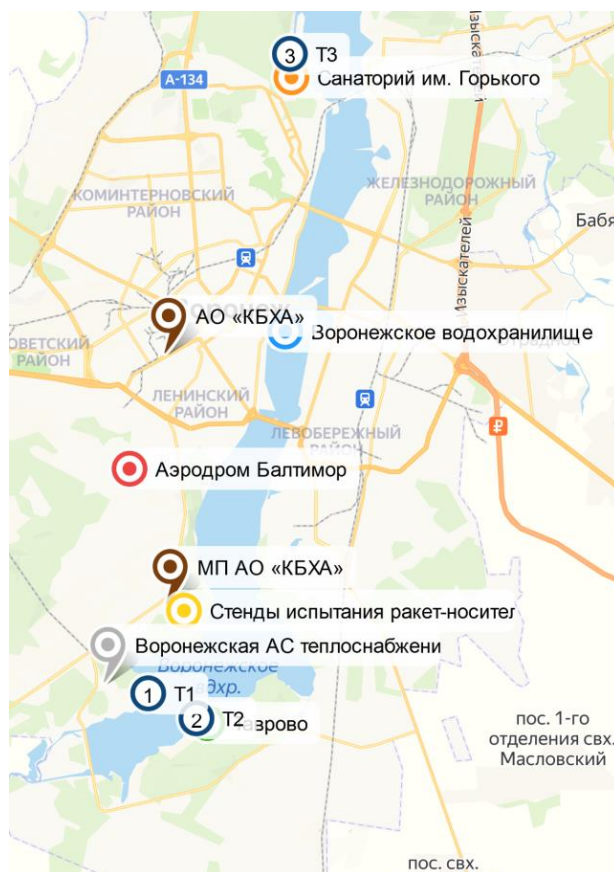


Рис. 1. Карта-схема точек отбора проб поверхностных вод Воронежского водохранилища

Составлено авторами с использованием карты Яндекс

Химический состав воды определяет главным образом поверхностный сток, за счет которого происходит его наполнение. Поверхностный сток снеговых вод составляет 55–65 % годового притока. Гидрохимические показатели Воронежского водохранилища зависят от природных условий водосборного бассейна, антропогенной нагрузки, гидрогеологического режима зоны активного водообмена, метеорологических условий и времени года [26]. Поверхностные воды нижнего течения реки р. Воронеж гидрокарбонатно-кальциевые с невысоким содержанием хлоридов, сульфатов и других солей.

Загрязненность вод Воронежского водохранилища контролировали в трех точках, расположенных ниже по течению от испытательных стендов ракет-носителей: Т1 – на 3,3 км (левый берег, выше сброса сточных вод ООО «ЛОС» на 500 м, причал в пос. Таврово); Т2 – на 2,9 км (правый берег, район недействующей АЭС). Точка сравнения Т3 выбрана с учетом ландшафтных условий и благоприятной экологической обстановки, она расположена в районе санатория им. М. Горького выше по течению от стендов испытания на расстоянии 17,3 км (рисунок 1).

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+}), биологического потребления кислорода (БПК₅), химического потребления кислорода (ХПК) и содержания сухих веществ (ССВ) в воде определяли с 2007 по 2019 гг. 5–8 раз в год в разные сезоны. 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 в установленном порядке оборудовании.

Предельно допустимые значения концентраций исследуемых загрязнителей, используемые для расчета интегральных показателей загрязнения вод, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Предельно допустимые значения исследуемых гидрохимических показателей

Показатель	Гептил	ФА	НП	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe ⁿ⁺
Значение, мг/дм ³	0,00006	0,05	0,1	45	3,0	1,5	350	500	0,3
Показатель	рН			ХПК			СВ		
Значение	6,0–9,0 ед.			15 мг O ₂ /дм ³			1000 мг/дм ³		

Составлено авторами по материалам СанПиН 1.2.3685-21 [27]

Интегральные индексы загрязнения вод также рассчитывали относительно фоновой концентрации. Для этого по результатам мониторинга в экологически благоприятные годы в точке ТЗ рассчитывали условную фоновую концентрацию для всех исследуемых веществ по формуле [19]:

$$C_{\phi i} = C_{срi} + (\sigma_i \cdot t_{st})/\sqrt{n}, \quad (1)$$

где $C_{срi}$ – 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.

Для комплексной геохимической оценки качества исследуемых вод рассчитывали следующие общепринятые показатели:

1. Индекс загрязнения воды [7]:

$$\text{ИЗВ} = \left(\sum_{n=6} \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \right) / 6, \quad \text{ИЗВ}^* = \left(\sum_{n=6} \frac{C_i}{C_{\phi i}} \right) / 6, \quad (2)$$

где C_i и ПДК_i – фактическая и предельно допустимая концентрации i -того вещества в воде; n – количество исследуемых веществ.

Качество вод оценивают по семибалльной шкале [3]: I – очень чистые ($\text{ИЗВ} \leq 0,2$); II – чистые ($0,2 < \text{ИЗВ} \leq 1$); III – умеренно загрязненные ($1 < \text{ИЗВ} \leq 2$); IV – загрязненные ($2 < \text{ИЗВ} \leq 4$); V – грязные ($4 < \text{ИЗВ} \leq 6$); VI – очень грязные ($6 < \text{ИЗВ} \leq 10$); VII – чрезвычайно грязные ($\text{ИЗВ} > 10$).

2. Коэффициент комплексности загрязнения воды K_{fj} (%) [9]:

$$K_{fj} = \frac{N_{fj}^*}{N_{fj}} 100 \%, \quad (3)$$

где N_{fj}^* – количество показателей загрязнения воды, значения которых превышает соответствующую им предельно допустимую норму в f -м результате анализа для j -того створа; N_{fj} – общее количество исследуемых показателей загрязнения воды, определенных в f -м результате анализа для j -того створа.

Увеличение коэффициента комплексности загрязненности свидетельствует о появлении новых загрязняющих веществ в воде анализируемого водного объекта: I – загрязнение по единичным компонентам и показателям ($0 < K_{fj} \leq 5$); II – по нескольким компонентам и показателям ($5 < K_{fj} \leq 40$); III – по комплексу компонентов и показателей ($40 < K_{fj} \leq 100$).

3. Комбинаторный индекс загрязнения воды с учетом ПДК (S_j) и с учетом условно естественного фона воды (S_j^*) рассчитывается как сумма обобщенных оценочных баллов по загрязнителям в створе [9]:

$$S_j = \sum_{i=1}^{N_j} S_{ij}, \quad S_j^* = \sum_{i=1}^{N_j} S_{ij}^*, \quad (4)$$

где N_j – количество исследуемых показателей загрязнения воды; S_{ij} и S_{ij}^* – обобщенные оценочные баллы по каждому загрязнителю, рассчитанные с учетом ПДК $_i$ и C_{phi} соответственно. В расчет входят только те показатели, фактические концентрации которых превышают нормативы или условно естественный фон вод Воронежского водохранилища.

Обобщенный оценочный балл рассчитывается как произведение частных оценочных баллов – условных величин, зависящих от повторяемости случаев загрязненности (S_α) и средней кратности превышения предельно допустимых нормативов (S_β).

Удельный комбинаторный индекс загрязнения воды рассчитывается как отношение КИЗВ к количеству загрязнителей, учитываемых при его оценке. УКИЗВ показывает долю загрязняющего эффекта, вносимую в общую степень загрязненности воды, обусловленную присутствием комплекса веществ. УКИЗВ зависит от числа учитываемых критических показателей, повторяемости случаев загрязнения вод i -тым компонентом (устойчивости загрязнения) и уровня загрязнения вод i -тым компонентом. В соответствии с величиной УКИЗВ поверхностные воды разделяют по качеству на 5 классов с разрядами: I – условно чистые; II – слабо загрязненные; III – загрязненные (разряды А, Б – загрязненные, очень загрязненные); IV – грязные (разряды А, Б – грязные; В, Г – очень грязные); V – экстремально грязные [3, 9].

Для расчетов КИЗВ и УКИЗВ составлена компьютерная программа в оболочке Excel, которая зарегистрирована в ВУНЦ ВВС «ВВА» и апробирована во ФГБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии № 97» ФМБА России (г. Воронеж).

Результаты и обсуждение

В соответствии с последними рекомендациями, рассчитывали условно естественный гидрохимический фон воды Воронежского водохранилища (1). Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

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

Показатель	Среднее значение показателя за исследуемый период, C_{cp}	Среднеквадратичное отклонение, σ	Длина выборки, n	C_{ϕ}
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 $^{n+}$	0,12	0,04	42	0,13
БПК $_5$	2,83	0,44	52	2,95
ХПК	3,64	0,52	59	3,78
Сухие вещества	146	8,0	54	148

*концентрация ниже предела обнаружения метода

Составлено авторами

Ни одна из рассчитанных фоновых концентраций исследуемых показателей в воде не превышает установленные для них нормативы. Значения C_{ϕ} загрязнителей воды на 1–2 порядка меньше существующих на сегодняшний день ПДК.

Результаты расчета индекса загрязнения вод относительно ПДК и C_{ϕ} представлены на рисунке 2. В соответствии с методикой [7], в расчеты помимо ХПК и БПК также входили средние годовые показатели тех загрязнителей, концентрации которых преобладают над концентрациями остальных, независимо от их соотношения с ПДК (C_{ϕ}). В данных исследованиях такими являются ионы NO_3^- , NH_4^+ , Cl $^-$, SO_4^{2-} .

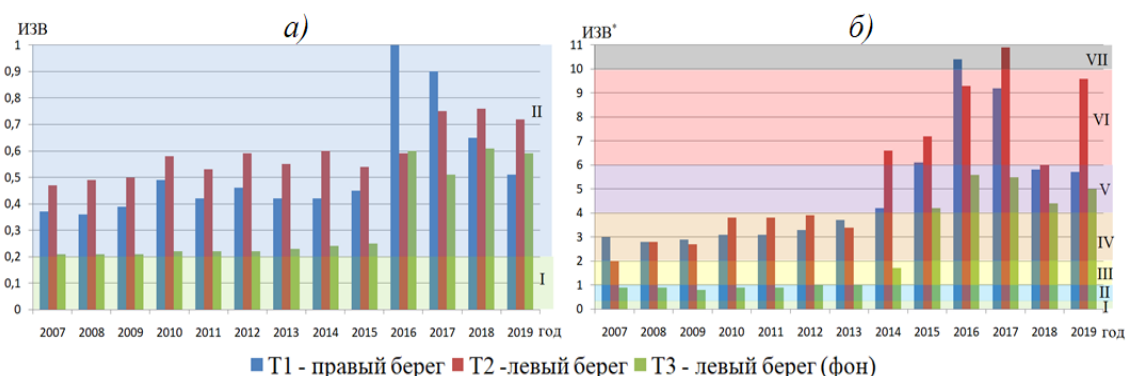


Рис. 2. Динамика среднегодового индекса загрязнения воды, рассчитанного относительно

а) ПДК; б) условно естественного гидрохимического фона

Составлено авторами

Согласно расчетам относительно ПДК, индекс загрязнения вод Воронежского водохранилища для исследуемых точек пробоотбора Т1 и Т2 соответствовал норме (ранг «чистые воды») на протяжении всего периода наблюдений. В 2016 г. ИЗВ в Т1 увеличился в 2,2 раза, но несмотря на это, ранг качества вод не изменился. В точке сравнения Т3 до 2015 г. уровень загрязнения вод соответствовал или незначительно превышал ранг качества вод «очень чистые». С 2015 г. в этой точке ИЗВ увеличился в ~2,7 раза и продолжал оставаться повышенным в последующие годы наблюдений. Ухудшение качества вод в районе санатория им. М. Горького связывают с загрязнением поверхностного стока талых снеговых вод [24]. Это подтверждается повышением содержания в воде отдельных соединений антропогенного происхождения в весенний период времени. К таким соединениям относятся в первую очередь нефтеуглеводороды и нитратный азот. Концентрация нитратного азота (компонента удобрений) в весенний период времени превышала среднегодовую в 2–3 раза, оставаясь в пределах нормы. Основной вклад в величину ИЗВ относительно ПДК дает показатель биохимического потребления кислорода, который превышал установленные нормативы в 2007–2015 г. в среднем в 1,2 раза, а с 2016 г. – в 1,6 раз, что согласуется с ранее полученными данными [24].

Рассчитанный относительно условно-естественного гидрохимического фона ИЗВ* в исследуемых точках до 2013 г. соответствовал IV рангу («загрязненные воды»), а в экологически неблагоприятные (2016 и 2017 гг.) достигал максимального VII ранга («чрезвычайно грязные воды»). В этом случае основной вклад в значение ИЗВ* вносят ХПК и нитраты, концентрации которых в отдельные годы превышали условно-естественные в 15,5 и 72,2 соответственно.

Результаты расчета коэффициента комплексности загрязнения воды относительно ПДК представлены на рисунке 3.

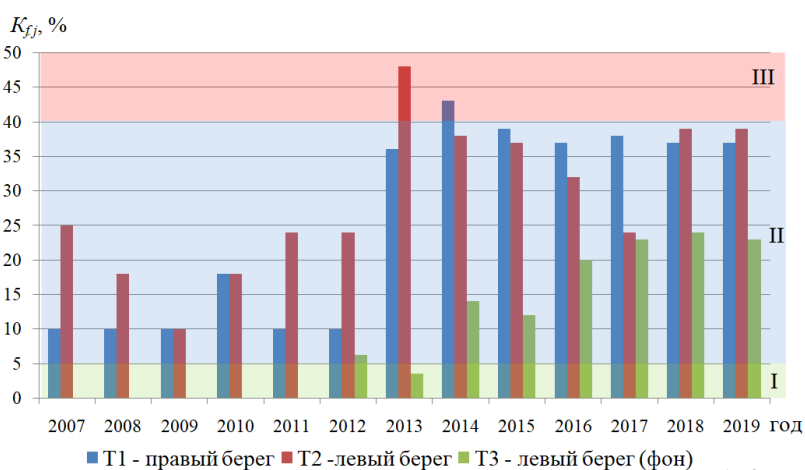


Рис. 3. Динамика среднегодового коэффициента комплексности загрязнения воды, рассчитанного относительно ПДК
Составлено авторами

Вода Воронежского водохранилища в точке сравнения Т3 до 2014 гг. характеризуется низким коэффициентом комплексности (превышения нормативов не было ни по одному из исследуемых показателей или были единичные случаи по 1-2 показателям). Затем качество воды ухудшилось, и по 2019 г. K_{fj} соответствовал II рангу (средняя комплексность загрязнения по 3–5 показателям).

В исследуемых точках Т1 и Т2 на протяжении 13 лет наблюдений K_{ff} варьировался, но в основном его значения не выходили за ранг II. В отдельные годы K_{ff} показывал высокую комплексность загрязнения воды (III ранг загрязнения). К наиболее часто превышающим ПДК компонентам относятся: легкоокисляемые органические вещества БПК₅, ХПК, формальдегид, соединения железа, нефтепродукты. Гептил в подавляющем большинстве случаев находился в исследуемых пробах на уровне ниже обнаружения метода, либо его концентрация не превышала 1/2 ПДК.

Коэффициент комплексности загрязнения воды относительно условно естественных гидрохимических показателей во все годы наблюдений превышал 70 %, а в экологически неблагоприятное время (после 2016 г.) достигал 100 %.

Таким образом, для оценки степени загрязненности вод на исследуемом участке водохранилища целесообразно применять комплексный метод, учитывающий совокупность перечисленных загрязняющих веществ.

Результаты расчета удельного комбинаторного индекса загрязнения вод участка Воронежского водохранилища относительно ПДК и $C_{ф}$ представлены на рисунке 4.

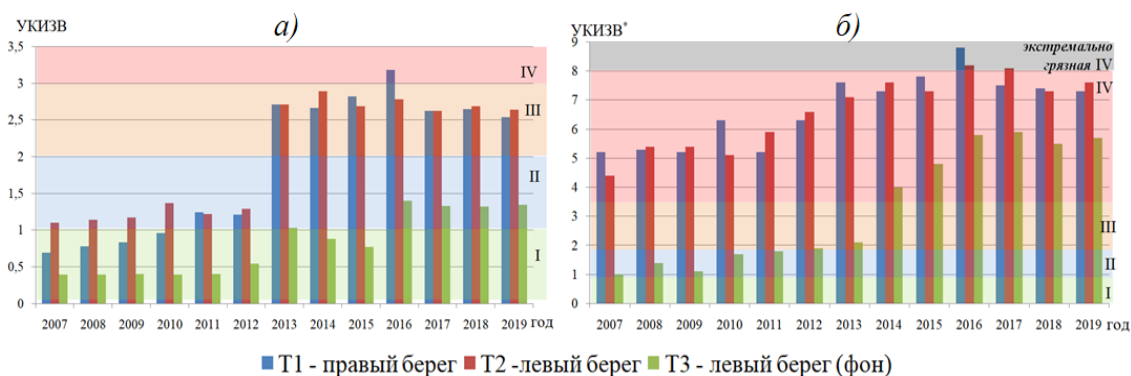


Рис. 4. Динамика среднегодового удельного комбинаторного индекса загрязнения воды, рассчитанного относительно а) ПДК, б) условно-естественного гидрохимического фона
Составлено авторами

Согласно УКИЗВ, в Т3 качество воды классифицируется как «условно чистая» (ранг I) в 2007–2015 гг. Этот период времени и был выбран для расчета условно-естественной фоновой концентрации исследуемых параметров. В другие годы наблюдения качество вод в этой точке пробоотбора не выходило за ранг слабо загрязненные воды. В Т1 и Т2 качество вод значительно ухудшилось с 2013 г. (ранг III – «загрязненная вода»). Усредненный за 2016 г. удельный комбинаторный индекс загрязнения воды, отобранный в районе недействующей станции ВАСТ (правый берег), соответствовал рангу IV – «грязная вода», разряд А. С 2013–2014 гг. для пяти показателей установлена характерная повторяемость превышения ПДК: ХПК, БПК₅, формальдегид, ионы железа и нефтепродукты. Установлен частный оценочный балл по кратности превышения ПДК, соответствующий среднему уровню загрязнения вод по ХПК, БПК₅ и ионам железа. Исключения составляют формальдегид (низкий уровень загрязнения) и нефтепродукты (средний и высокий уровень).

При расчете УКИЗВ* с 2014 г. учитываются практически все показатели, так как их фактические концентрации превышали фоновые ($K_{ij} \rightarrow 100$ %). В этом

случае на всем протяжении наблюдений вода на исследуемом участке водохранилища (Т1 и Т2) по качеству соответствовала рангу IV – «грязная вода» (категории А, Б, В, Г). А в 2016 и 2017 гг. ее можно классифицировать как «экстремально грязную», а частный оценочный балл по значению средней кратности превышения S_{ϕ} соответствовал характерному уровню повторяемости для каждого показателя. При этом высокий и экстремально высокий уровни загрязнения относительно условно-естественного фона часто отмечались для нитритов и нефтепродуктов, иногда для сульфатов и ионов аммония; для формальдегида характерен частный оценочный балл, соответствующий низкому уровню загрязнения.

Резкое ухудшение качества вод на исследуемом участке водохранилища можно связать с интенсификацией деятельности испытательного комплекса ракет-носителей, а также началом проведения масштабной реконструкции аэродрома государственной авиации «Балтимор». При этом отмечается повышенное содержание в воде приоритетных контаминантов авиационно-ракетного кластера – нитратов, нефтепродуктов и формальдегида [28].

Выводы

Сравнительный анализ различных интегральных показателей оценки качества воды относительно ПДК показал, что УКИЗВ является более жестким критерием, чем ИЗВ (рисунки 2 а, 3а). В одни и те же годы наблюдения уровень загрязнения вод отличается на две градации: II – «умеренно чистые» в соответствии с ИЗВ и IV – «грязные» в соответствии с УКИЗВ. Коэффициент корреляции Спирмена между числовыми значениями ИЗВ и УКИЗВ составил 0,57, что соответствует средней тесноте связи. УКИЗВ является более надежным, так как позволяет ранжировать воду по качеству с большим разрешением, учитывает повторяемость и уровень превышения нормативов по отдельным показателям. Особо выделяются своим загрязняющим эффектом (относительно ПДК) из исследуемых параметров: ХПК, БПК₅, формальдегид, ионы железа и нефтепродукты.

Установленные условно-естественные фоновые концентрации исследуемых параметров меньше ПДК на 1-2 порядка, поэтому ранги загрязнения воды водохранилища при расчетах и ИЗВ*, и УКИЗВ* повысились, в отдельные годы они достигали максимальной градации (рисунки 2б, 3б). Перечень показателей с характерной повторяемостью и наиболее высоким уровнем загрязнения при оценке качества вод относительно фона изменился. В данном случае к приоритетным загрязнителям относятся: нитриты, нефтепродукты, сульфаты и ионы аммония.

Надо отметить, что при расчете индексов относительно условно-естественного фона, они имеют большую тесноту связи как по рангам, так и по численным значениям. Коэффициент корреляции Спирмена между среднегодовыми значениями ИЗВ* и УКИЗВ* за весь период наблюдения по трем створам равен 0,89, что соответствует высокой тесноте связи. Это позволяет сделать вывод о том, что при использовании фоновых значений концентраций загрязнителей надежность оценки качества вод по классическому ИЗВ не уступает удельному комбинаторному индексу.

Статья подготовлена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, договор № 20-55-00010 от 30.04.2020г. и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, договор №Х20Р—284 от 04.05.2020г.

Литература

1. Калашников Ю. С., Клепиков О. В., Хорпякова Т. В. Эколого-гигиеническая оценка влияния техногенно измененного притока на качество воды в реке Дон вблизи города Воронежа // Проблемы региональной экологии. 2018. № 3. С. 62-66.
2. Белкина Н. А. Особенности процесса трансформации органического вещества в донных отложениях озер Карелии и его влияние на химический состав природных вод // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2019. Т. 5 (15). Вып. 4. С. 263-276.
3. Тимофеева Л. А., Фруммин Г. Т. Проблемы нормирования качества поверхностных вод // Ученые записки. 2015. № 38. С. 215-229.
4. Гагарина О. В. Комплексная оценка степени загрязнения (качества) воды в нормативных документах РФ // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2009. № 2. С. 3-12.
5. Белогуров В. П., Бакланова В. Ю. Применение коэффициента загрязненности для оценки состояния водных объектов // Технологии пищевой, легкой и химической промышленности. 2015. № 1/4 (21). С. 17-19.
6. Бакаева Е. Н., Никаноров А. М. Биологические подходы к оценке экотоксикологического состояния водных экосистем // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2015. № 1 (185). С. 72-83.
7. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод: утв. приказом Госкомгидромета СССР от 22 сентября 1986 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293742635>.
8. Маслова Н. В., Кочетова Ж. Ю. Комплексный экспресс-анализ загрязнения вод // Региональные геосистемы. 2021. Т. 45. № 3. С. 382-392.
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. Качество водотоков Санкт-Петербурга по данным Государственного учреждения «Санкт-Петербургский Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://old.gov.spb.ru/gov/admin/otrasl/ecology/maps/monit_pov_vod.
11. Фруммин Г. Т., Тимофеева Л. А. Трансграничные водные объекты и водосборы России: проблемы и пути решения // Биосфера. 2014. Т. 6. № 2. С. 118-133.
12. 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. Москва, 30 марта 2011 г. 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.
13. Кочетова Ж. Ю. Экомониторинг нефти и нефтепродуктов в объектах окружающей среды: монография. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. 204 с.
 14. Возняк А. А., Лепихин А. П. Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример // Географический вестник. 2018. № 2 (45). С. 103-115.
 15. Munawar M., Dixon G., Mayfield C.I. Environmental bioassay techniques and their application [Special Issue] // Hydrobiologia. 1989. Vol. 188/189. P. 1-680.
 16. McGeer J. C., Szebedinsky C., McDonald 22. D.G., Wood C.M. Effects of chronic sublethal exposure to water-borne Cu, Cd or Zn in rainbow trout 2: tissue specific metal accumulation // Aquat. Toxicol. 2000. Vol. 50. P. 245-256.
 17. Тимошенко Л. Н. Экологически допустимые уровни содержания химических веществ в водных объектах Вологодской области // Ученые записки РГГМУ. 2013. № 33. С. 135-142.
 18. Нормативы допустимых воздействий на экологическую систему озера Байкал (проект) [Электронный ресурс]. Режим доступа: 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.
 19. 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>.
 20. 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>.
 21. Рогова М. В. Оценка гидрохимических показателей качества воды реки Яхромы // Естественные и технические науки. 2020. № 1 (139). С. 45-55.
 22. Беляев С. Д. Использование целевых показателей качества воды при планировании водохозяйственной деятельности // Водное хозяйство России. 2007. № 3. С. 3-17.
 23. Авакян А. Б. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 325 с.
 24. 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.
 25. Кочетова Ж. Ю., Маслова Н. В., Базарский О. В. Авиационно-ракетные кластеры и окружающая среда. М.: Инфра-М, 2022. 266 с.
 26. Мишон В. М. Гидрологическая и экологическая безопасность Воронежского водохранилища. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. 278 с.
 27. 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 № 2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://umk.nadym.ru/media/sub/962/documents/СанПин_1.2.3685-21_от_28.01.2021_2.pdf.
 28. Кочетова Ж. Ю. Авиационно-ракетный кластер как новый класс объектов геоэкологического мониторинга // Географический вестник. 2019. № 3 (50). С. 79-91.

I. S. Lazarev¹,
Z. Yu. Kochetova¹,
V. A. Budarina²,
I. I. Kosinova²,
N. V. Maslova³

Problems of rationing the quality of surface waters: methods, example

¹ Military Training and Research Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin", Voronezh, Russian Federation

e-mail: lazarev-ilya@list.ru¹, zk_vva@mail.ru

² Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

e-mail: kosinova777@yandex.ru

³ Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation

e-mail: maslovanatv@mail.ru

Abstract. *Using the example of the thirteen-year monitoring of the Voronezh reservoir site, various approaches to the integrated assessment of surface water quality are considered. The conditionally natural hydrochemical background of the reservoir has been established according to the studied parameters. Relative to the maximum permissible and background values of the parameters, the water pollution index and the specific combinatorial index of water pollution are calculated. Various indices of water pollution have a high degree of closeness in assessing water quality relative to background concentrations.*

Keywords: *Voronezh reservoir, specific water pollution index, combinatorial water pollution index, water quality regulation, hydrochemical background.*

References

1. Kalashnikov Yu. S., Klepikov O. V., Horpyakova T. V. Ecological and hygienic assessment of the impact of technogenically altered inflow on water quality in the Don River near the city of Voronezh // Problemy regional'noj ekologii. 2018. No 3. P. 62-66. (in Russian)
2. Belkina N. A. Features of the transformation process of organic matter in the bottom sediments of Karelian lakes and its effect on the chemical composition of natural waters // Geopolitika i ekogeodinamika regionov. 2019. Vol. 5 (15). No 4. P. 263-276. (in Russian)
3. Timofeeva L. A., Frumin G. T. Problems of rationing the quality of surface waters // Uchenye zapiski. 2015. No 38. P. 215-229. (in Russian)
4. Gagarina O. V. Comprehensive assessment of the degree of pollution (quality) of water in the regulatory documents of the Russian Federation // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Biologiya. Nauki o Zemle». 2009. No 2. P. 3-12. (in Russian)
5. Belogurov V. P., Baklanova V. Yu. Application of the pollution coefficient to assess the condition of water bodies // Tekhnologii pishchevoj, legkoj i himicheskoj promyshlennosti. 2015. No 1/4 (21). P. 17-19. (in Russian)
6. Bakaeva E. N., Nikanorov A. M. Biological approaches to the assessment of the toxicological state of aquatic ecosystems // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. 2015. No 1 (185). P. 72-83. (in Russian)

7. Temporary methodological guidelines for a comprehensive assessment of the quality of surface and marine waters: approved by the order of the USSR State Committee for Hydrometeorology of September 22, 1986. URL: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293742635>. (in Russian)
8. Maslova N. V., Kochetova Zh. Yu. Comprehensive express analysis of water pollution // *Regional'nye geosistemy*. 2021. Vol. 45. No 3. P. 382–392. (in Russian)
9. RD 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. The quality of St. Petersburg watercourses according to the data of the State Institution «St. Petersburg Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring with Regional Functions». URL: http://old.gov.spb.ru/gov/admin/otrasl/ecology/maps/monit_pov_vod. (in Russian)
11. Frumin G. T., Timofeeva L. A. Transboundary water bodies and catchments of Russia: problems and solutions // *Biosfera*. 2014. Vol. 6. No 2. P. 118–133. (in Russian)
12. 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 DEA RAS on Hydrobiology and Ichthyology, the Hydrobiological Society at the RAS and the Interdepartmental Ichthyological Commission. Moskva, March 30, 2011. Ed.: Academician of the Russian Academy of Sciences D.S. Pavlov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences G.S. Rozenberg, Doctor of Biological Sciences M.I. SHatunovskij. M.: Tovarishchestvo nauchnyh izdanij KMK, 2011. 196 p. (in Russian)
13. Kochetova Zh. Yu. Ecomonitoring of oil and petroleum products in environmental objects: monograph. Voronezh: VUNC VVS «VVA», 2016. 204 p. (in Russian)
14. Voznyak A. A., Lepihin A. P. Development of regional MPCs: necessity, methodology, example // *Geograficheskij vestnik*. 2018. No 2 (45). P. 103-115. (in Russian)
15. Munawar M., Dixon G., Mayfield C.I. Environmental bioassay techniques and their application [Special Issue] // *Hydrobiologia*. 1989. Vol. 188/189. P. 1-680.
16. McGeer J. C., Szebedinsky C., McDonald D. G., Wood C. M. Effects of chronic sublethal exposure to water-borne Cu, Cd or Zn in rainbow trout 2: tissue specific metal accumulation // *Aquat. Toxicol*. 2000. Vol. 50. P. 245-256.
17. Timoshenko L. N. Environmentally acceptable levels of chemicals in water bodies of the Vologda region // *Uchenye zapiski RGGMU*. 2013. No 33. P. 135-142. (in Russian)
18. Standards of permissible impacts on the ecological system of Lake Baikal (project). URL: 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. (in Russian)
19. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 328 dated 12.12.2007 On Approval of Methodological Guidelines for the Development of Standards for Permissible Impacts on Water Bodies. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902083847>. (in Russian)
20. 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. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902053959>. (in Russian)
21. Rogova M. V. Assessment of hydrochemical indicators of the water quality of the Yakhroma River // *Estestvennyye i tekhnicheskie nauki*. 2020. No 1 (139). P. 45–55. (in Russian)
 22. Belyaev S. D. Use of water quality targets in planning water management activities // *Vodnoe hozyajstvo Rossii*. 2007. No 3. P. 3-17. (in Russian)
 23. Avakyan A. B. *Reservoirs*. M.: Mysl', 1987. 325 p. (in Russian)
 24. Chuvychkin A. L., Yablonskih L. A., Devyatova T. A. The quality of the surface waters of the Voronezh reservoir and its impact on public health // *Vestnik VGU. Seriya: Himiya, biologiya, farmaciya*. 2018. No 2. P. 270-277. (in Russian)
 25. Kochetova Zh. Yu., Maslova N. V., Bazarskij O. V. *Aviation and missile clusters and the environment*. M.: Infra-M, 2022. 266 p. (in Russian)
 26. Mishon V. M. *Hydrological and ecological safety of the Voronezh reservoir*. Voronezh: Izd-vo VGU, 2008. 278 p. (in Russian)
 27. SanPiN 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 No. 2 dated 28.01.2021. URL: http://umka-nadym.ru/media/sub/962/documents/СанПин_1.2.3685-21_от_28.01.2021_2.pdf. (in Russian)
 28. Kochetova Zh. Yu. Aviation and missile cluster as a new class of geo-ecological monitoring objects // *Geograficheskij vestnik*. 2019. No 3 (50). P. 79-91. (in Russian)

Поступила в редакцию 20.04.2022 г.