

ГИДРОХИМИЯ И ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

УДК 556.555.8:504.4.054

МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

В. С. Валиев, Д. В. Иванов, Р. Р. Шагидуллин

Институт проблем экологии и недропользования АН Республики Татарстан, Казань, Россия

В системе мониторинга поверхностных вод РФ отсутствуют критерии оценки качества донных отложений, что осложняет выявление и прогнозирование развития процессов, негативно влияющих на качество воды, а также решение целого ряда задач, связанных с обеспечением государственного контроля и надзора за использованием и охраной водных объектов. В результате информация о содержании загрязняющих веществ в донных отложениях представляет собой обширный свод количественных данных, практическое приложение которых для диагностики экологического состояния водного объекта крайне затруднительно. В статье анализируется возможность применения алгоритма расчета удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) для комплексной оценки загрязненности донных отложений на примере тяжелых металлов. Предлагаемая система формализованных показателей использует частотные характеристики рядов данных о содержании валовых и подвижных форм металлов в отложениях, балльную оценку этих характеристик, обобщение балльных оценок и приведение их к соответствующим классам чистоты, аналогично РД 52.24.643–2002, но с учетом закономерностей и особенностей накопления загрязняющих веществ в составе отложений. В качестве комплексных показателей предлагаются «удельный комбинаторный индекс загрязненности» (УКИЗДО), «класс качества» и «степень загрязненности» донных отложений. Оценочная шкала формируется с учетом класса опасности тяжелых металлов, а также реально наблюдаемых диапазонов их концентраций в донных отложениях. Границами шкалы служат осредненные частотные характеристики вариационных рядов содержаний тяжелых металлов в пробах отложений, отнесенные к их медиане. Уровень загрязненности донных отложений оценивается относительной характеристикой, рассчитанной сопоставлением фактических концентраций с региональными фоновыми. Неоднородность гранулометрического состава донных отложений в алгоритме расчета УКИЗДО корректирует расчет интегрального показателя с помощью соответствующих коэффициентов. Шкала качества донных отложений содержит 5 классов и 9 разрядов чистоты донных отложений – от «чистых» 1 класса до «экстремально грязных» 5 класса. Расчет УКИЗДО для озер Республики Татарстан с различным уровнем антропогенной нагрузки показал хорошую сходимостью полученных результатов с аналогичными подходами, оперирующими методами вероятностной статистики. Оптимальный результат при

сопоставлении классов загрязнения воды и донных отложений получен на основании определения в них подвижных форм металлов. Оценка валовых форм металлов в составе отложений характеризует риски и тенденции состояния водного объекта в перспективе при сохранении текущей нагрузки.

Ключевые слова: качество донных отложений; загрязнение; тяжелые металлы; удельный комбинаторный индекс загрязненности.

V. S. Valiev, D. V. Ivanov, R. R. Shagidullin. A METHOD FOR INTEGRATED ASSESSMENT OF SEDIMENT POLLUTION

The system for surface waters monitoring in the Russian Federation lacks criteria for assessing the quality of bottom sediments, which makes it difficult to identify and predict the development of processes affecting water quality, and to handle quite a number of tasks related to state control and surveillance of the use and protection of water bodies. As a result, information on the content of pollutants in sediments appears as a massive body of quantitative data whose practical application for the diagnosis of the ecological state of a water body is extremely difficult. The article analyzes the possibility of applying an algorithm for calculating the specific combinatorial water pollution index (SCWPI) for a comprehensive assessment of sediments pollution, for example, with heavy metals. The proposed system of formalized indicators uses frequency characteristics of data series on the content of total and labile forms of metals in sediments, scoring of these characteristics, synthesis of the scores and their conversion to pollution/cleanliness classes, similarly to the procedure in the guidelines RD 52.24.643–2002, but taking into account sediment-specific patterns and features of pollutant accumulation. The “specific combinatorial sediment pollution index” (SCSPI), the “quality class” and “pollution degree” of sediments are proposed as integral indicators. The scoring scale is formed with regard to the hazard class of heavy metals, as well as the actually observed ranges of their concentrations in sediments. The boundaries of the scale are the averaged frequency characteristics of the variation series of heavy metal content in sediment samples relative to their median. The contamination level of sediments is estimated by a relative characteristic calculated by comparing actual concentrations with the regional background. Corrections by means of special coefficients are introduced to the SCSPI calculation algorithm to account for the heterogeneity of the particle size composition of sediments. The scale for the quality of bottom sediments is divided into 9 classes and orders of pollution/cleanliness, ranging from “unpolluted” (class 1) to “extremely polluted” (class 5). The calculation of SCSPI for lakes of the Republic of Tatarstan with different levels of anthropogenic load showed good convergence of the results with similar approaches based on probabilistic statistics methods. An optimal result when comparing the pollution classes of water and sediments was obtained from determinations of active forms of metals in them. The estimates of gross metal contents in sediments are indicative of the threats and trends in the state of the water body for the future, if the load remains at the current level.

Keywords: sediments quality; pollution; heavy metals; specific combinatorial index of pollution.

Введение

Донные отложения (ДО) являются важнейшим компонентом водных экосистем, во многом обеспечивающим их состояние. Особенностью ДО как объекта мониторинга является то, что их структурный и химический состав интегрирует геохимические особенности водосборных территорий, техногенных сбросов и гидрохимию водных объектов. Кроме того, являясь продуктом седиментации неорганического и органического материала, ДО сами иг-

рают значительную роль в формировании качества поверхностных вод, в связи с чем оценка степени загрязненности водоемов и водотоков предполагает не только определение качества их водной среды, но и обобщенную характеристику ДО.

В рамках государственной системы мониторинга окружающей среды в РФ предусмотрено проведение наблюдений за загрязнением ДО поверхностных водных объектов [РД 52.24.609–2013]. Однако при этом отсутствуют четкие критерии качества ДО, нет алгоритма

оценок, формализующих в единый показатель весь спектр содержащихся в них загрязняющих веществ. Проблема осложняется разнообразием состава и особенностями структуры ДО, которые тем не менее детерминированы двумя главными факторами: гранулометрическим составом и содержанием органического вещества [Forstner, Wittmann, 1983; Muller et al., 2001; Томилина, Комов, 2002]. Эти факторы формируют матрицу, обеспечивающую депонирующие свойства ДО, что крайне важно учитывать при оценке состояния водного объекта в целом.

Важным элементом интегральной оценки качества ДО является выработка алгоритма ее формализации. Подобный алгоритм был реализован для определения качества поверхностных вод в виде расчета удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) [РД 52.24.643–2002]. В основе этой схемы лежит оценка относительной характеристики, рассчитанной по реальным концентрациям совокупности загрязняющих веществ и соответствующим им ПДК. Оценка основана на агрегировании информации о частотах обнаружения концентраций, превышающих ПДК, и кратностях этого превышения. Сочетание уровня загрязненности воды и частоты обнаружения этих случаев позволяет получить комплексную характеристику, обобщающую целый ряд показателей в виде того или иного класса чистоты.

Методология вероятностных характеристик, лежащая в основе расчета УКИЗВ, является универсальной, что позволяет адаптировать этот метод применительно к ДО. Цель данной статьи – апробация алгоритма оценки загрязненности ДО на основе подходов, используемых при комплексной оценке качества поверхностных вод.

Материалы и методы

Метод комплексной оценки загрязненности ДО должен решать задачу интегральной оценки их качества по комплексу приоритетных загрязняющих веществ, в первую очередь тяжелых металлов (ТМ).

Материалом для исследования явились результаты определения содержания ТМ (Cd, Pb, Co, Cu, Ni, Zn, Cr, Mn) и железа в ДО озер Республики Татарстан (РТ) ($n = 525$). Пробы поверхностных ДО отбирались в профундали озер при помощи лота с храпцом и дночерпателя ДЧ-0.025, для отбора кернов отложений использовались трубки ГОИН-1 и ГОИН-1.5.

Оценивалось содержание подвижных (эти формы экстрагировались из образцов ацетат-

но-аммонийным буфером с $\text{pH} = 4,8$) и валовых (общий пул элементов, извлекаемых из образцов ДО 5н HNO_3) форм металлов. При учете гранулометрического состава отложений принималась во внимание доля в них пелитовых фракций ($< 0,01$ мм). В качестве пороговых концентраций использовались данные о региональном фоновом содержании ТМ и Fe в ДО.

Результаты и обсуждение

Предлагаемая нами система формализованных показателей использует частотные характеристики рядов данных о содержании отдельных ТМ в ДО, балльную оценку этих характеристик, обобщение балльных оценок и приведение их к соответствующим классам чистоты, аналогично РД 52.24.643–2002, но с учетом закономерностей и особенностей накопления загрязняющих веществ в ДО. Комплексными показателями качества ДО, в соответствии с предлагаемой методикой, являются удельный комбинаторный индекс загрязненности ДО (УКИЗДО), класс качества ДО и степень загрязненности ДО.

Уровень загрязненности ДО оценивается относительной характеристикой, рассчитанной сопоставлением фактических концентраций и соответствующих им фоновых значений (региональных нормативов), при этом аддитивность действия различных металлов, при их одновременном присутствии, так же как и в расчете УКИЗВ, реализована суммированием отдельных показателей, оценивающих вклад каждого из них. Помимо идентичной системы формализации оцениваемых параметров УКИЗВ и УКИЗДО для совместимости обеих оценок применена аналогичная градация классов чистоты, реализованная в виде пяти основных и трех дополняющих градаций: <1 , $1-10$, $10-30$, $30-50$, >50 с градацией баллов от 0 до 4. При этом вместо линейной интерполяции при балльной оценке использована нелинейная (полиномиальная и логарифмическая), более точно охватывающая разбивку диапазонов S_a и S_b (рис. 1 и 2).

Методика расчета УКИЗВ оставляет возможность опционально задавать градации в зависимости от природы и классов опасности рассматриваемых веществ.

Другим отличием метода расчета УКИЗДО является трансформированная шкала показателя комплексности S_b , оценивающего кратность превышений нормативных значений. Реализованная в методике расчета УКИЗВ шкала балльных оценок S_b при экстраполяции на ДО выглядела бы слишком растянутой. Так, част-

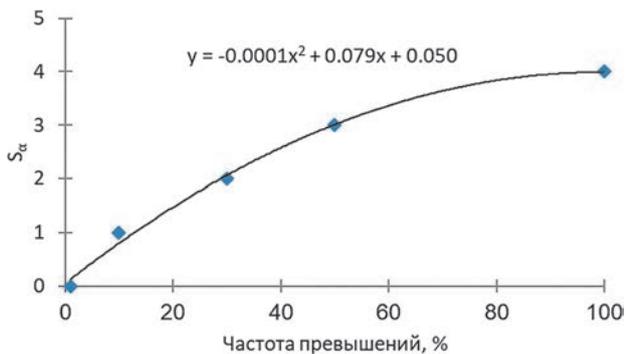


Рис. 1. Полиномиальная зависимость балльной оценки S_a от частоты превышений фонового содержания ТМ в ДО

Fig. 1. Polynomial dependence of the scoring S_a on the frequency of exceeding the background heavy metals content in sediments

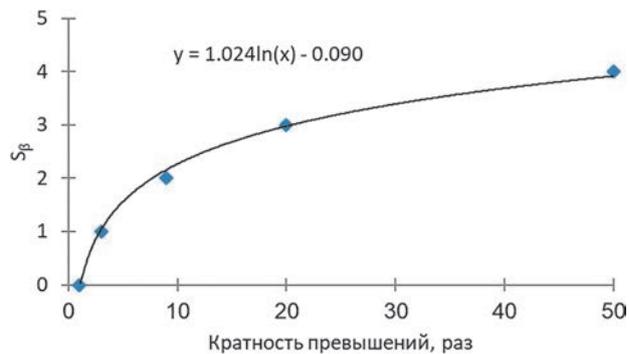


Рис. 2. Логарифмическая зависимость балльной оценки S_b от кратности превышений фонового содержания ТМ в ДО

Fig. 2. The logarithmic dependence of the scoring S_b on the multiplicity of exceeding the background heavy metals content in sediments

ному оценочному баллу $S_b = 3$ при комплексной оценке качества вод соответствует 50-кратное превышение порогового значения (рис. 2). При оценке же содержания загрязняющих веществ в ДО озер указанная величина оценочного балла соответствует 20-кратному превышению норматива.

В связи с тем, что качество ДО оценивается относительно фоновых значений, оценочная шкала была сформирована с учетом и класса опасности ТМ, и реально наблюдаемых диапазонов их концентраций в ДО. Границами шкалы послужили осредненные частотные характеристики вариационных рядов содержаний ТМ во всех рассматриваемых образцах ДО, отнесенных к их медиане. При этом шкала изменяется от 0 баллов (при концентрациях меньше медианы, т. е. при отсутствии превышения) до величины отношений максимальных значений 95%-го доверительного интервала, наблюдаемых по всем вариационным рядам концентраций, к их медианам, которая формирует предельный (самый крайний) диапазон шкалы, начинающийся от 20 (4 балла). Градация частных оценочных баллов (S_b) по величине кратности превышения фактического содержания вещества (металла) в ДО над фоновым выглядит следующим образом: <1 (0 баллов), 1–3 (1 балл), 3–9 (2 балла), 9–20 (3 балла), >20 (4 балла).

Класс опасности корректирует шкалу в виде эмпирического коэффициента, найденного в результате сопоставления кривых, полученных для металлов разного класса опасности:

Кратность ранга шкалы = Кратность ранга \times (0,5 \times Класс опасности).

Текущая (принятая по умолчанию) градация шкалы кратности превышения рассчитана для

веществ 2 класса опасности. Для 1 класса диапазоны ее градаций будут, соответственно, в 2 раза ($\times 0,5$) ниже, а для 3 класса – в 1,5 раза выше. Например, 1 балл для 3 класса опасности будет соответствовать 1,5–4,5-кратному превышению, а не 1–3-кратному, как для 2 класса. Для 1 класса, соответственно, 1–1,5-кратному. Кратности, меньшие или равные 1, не пересчитываются.

Из исследуемых ТМ к 1 классу опасности (высокоопасные) относят Cd, Pb и Zn, к 2 классу (умеренно опасные) – Co, Ni, Cu, Cr, к 3 классу (малоопасные) – Mn. При расчете градаций шкалы кратности превышений Fe условно было отнесено нами к 3 классу.

Как известно, большая часть ТМ в поверхностных водах находится в связанном состоянии с органическими или неорганическими лигандами. ДО депонируют ионы металлов и их комплексные соединения из водной среды в растворенной форме и в составе взвешенного вещества. Особую роль в связывании металлов в хелатные комплексы играют гумусовые вещества различной природы, сорбирующиеся на частицах пелитовой размерности [Мур, Рамамурти, 1987; Моисеенко и др., 2006]. Таким образом, именно тонкодисперсные частицы формируют потенциальную сорбционную емкость ДО. Отложения, относящиеся к типу глинистых илов с содержанием частиц размером < 0,01 мм более 30 %, способны аккумулировать и удерживать металлы в количествах в 2–3 раза выше, чем у песчаных типов отложений с содержанием пелитовой фракции до 30 %.

Следует отметить, что при обобщающих оценках, когда необходимо сопоставить разные вариационные ряды наблюдений, важно

не абсолютное содержание пелитовых частиц в конкретном образце (элементе этого ряда), а доля образцов с высоким содержанием мелкодисперсных частиц в том или ином ряду наблюдений. С этой целью в алгоритм расчетов введен коэффициент, корректирующий фоновый показатель, относительно которого рассчитываются частоты и кратности. Коррекция осуществляется по регрессионной зависимости:

$$K_{\text{пелит}} = 0,48 \times D + 0,52,$$

где D – доля наблюдений (проб) с содержанием частиц < 0,01 мм более 30 %, выраженная в долях единицы.

Указанная зависимость была установлена эмпирически в результате анализа частотных характеристик рядов концентраций ТМ в ДО разного гранулометрического состава. Кроме того, используемые в расчетах фоновые концентрации ТМ также учитывают содержание пелитовой фракции, предлагая для таких ДО более высокие значения фона [Региональные..., 2019].

Учет критических показателей загрязненности (КПЗ) применительно к ДО также был несколько модифицирован: он исходит не от $S_a \geq 9$, т. е. 56,3 % максимально возможного значения (9 из 16), а от $S_a \geq 12$ (75 %), что, с нашей точки зрения, оправданно, если учесть,

Таблица 1. Классификация качества ДО по значению удельного комбинаторного индекса загрязненности (УКИЗДО)

Table 1. Sediments quality classification by the value of the specific combinatorial pollution index (SCSPI)

УКИЗДО SSCPI	Класс и разряд Class and grade	Степень загрязненности ДО Degree of sediments pollution
< 1	1	Чистые Unpolluted
1–3	2	Слабо загрязненные Slightly polluted
3–5	3а	Умеренно загрязненные Moderately polluted
5–6	3б	Умеренно загрязненные Moderately polluted
6–8	4а	Сильно загрязненные Strongly polluted
8–9	4б	Сильно загрязненные Strongly polluted
9–10	4в	Очень сильно загрязненные Very strongly polluted
10–11	4г	Очень сильно загрязненные Very strongly polluted
> 11	5	Экстремально грязные Extremely polluted

что речь в данном случае идет о загрязнении такой достаточно инертной среды, как ДО.

В таблице 1 представлена градация значений УКИЗДО и соответствующие ей классы, разряды чистоты и характеристики загрязненности ДО. В данной градации между классами выдержано два балла, а между разрядами – по одному.

Система расчета УКИЗДО была протестирована на трех группах водоемов РТ, отличающихся показателями антропогенной нагрузки: I) лесные озера, в т. ч. озера Раифского участка Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (n = 103); II) озера агроландшафтов (n = 122); III) водоемы, расположенные в черте г. Казани (n = 310).

В качестве пороговых значений использовали не медианы, а верхние пределы региональных фоновых концентраций ТМ в глинистых ДО озер РТ [Региональные..., 2019] (табл. 2), чтобы максимально приблизить расчеты УКИЗДО и УКИЗВ, так как метод расчета УКИЗВ оперирует не фоновыми значениями, а предельно-допу-

Таблица 2. Фоновые концентрации валовых и подвижных форм ТМ и Fe в ДО озер, использованные при расчете УКИЗДО, мг/кг [Региональные..., 2019]

Table 2. The background concentrations of total and available forms of heavy metals (HM) and Fe in lake sediments, used in the calculation of SCSPI, mg/kg [Regional ..., 2019]

ТМ HM	Фон Background	Верхний предел Background upper limit
Валовые формы Total forms		
Cd	0,34	0,62
Pb	18,0	25,2
Co	9,9	13,8
Cu	27,9	37,4
Ni	35,6	45,7
Zn	77,1	103,2
Cr	30,3	39,8
Mn	613,0	773,5
Fe	19108,3	26746,7
Подвижные формы Mobile forms		
Cd	0,23	0,38
Pb	5,15	7,34
Co	0,58	0,81
Cu	1,46	3,27
Ni	2,02	3,31
Zn	6,49	19,40
Cr	0,68	1,04
Mn	266,3	350,6
Fe	194,7	252,5

Таблица 3. УКИЗДО озер с различной антропогенной нагрузкой

Table 3. SCSPi for lakes with different anthropogenic load

Группы озер* Lakes groups	УКИЗДО SCSPi	К**	Степень и класс загрязненности Degree and class of pollution
Валовые формы Total forms			
I	1,82	12,3	Слабо загрязненные, 2 класс Slightly polluted, 2 class
II	3,37	17,2	Умеренно загрязненные, 3а класс Moderately polluted, 3a class
III	7,79	23,3	Сильно загрязненные, 4а класс Strongly polluted, 4a class
Подвижные формы Mobile forms			
I	0,96	2,5	Чистые, 1 класс Nonpolluted, 1 class
II	3,20	11,3	Умеренно загрязненные, 3а класс Moderately polluted, 3a class
III	7,36	21,0	Сильно загрязненные, 4а класс Strongly polluted, 4a class

Примечание. * См. пояснения в тексте. ** Коэффициент комплексности загрязненности.

Note. * See explanations in the text. ** Pollution factor.

стимыми концентрациями, превышение которых однозначно определяет токсический эффект.

В ранжированном по величине антропогенной нагрузки ряду водоемов комплексные показатели загрязнения ДО ТМ и железом закономерно возрастают: согласно расчетам, наиболее чистыми (1–2 класса) являются отложения фоновых озер (I группа), наиболее грязными (4 класса) – озера на территории г. Казани (III группа). Озера агроландшафтов, по генезису в основном относящиеся к группе карстовых озер, занимают промежуточное положение (табл. 3). По величине УКИЗДО, рассчитанной для валовых и подвижных форм металлов, отложения озер II и III групп оказались практически равными по качеству, а отложения озер I группы характеризовались разными классами чистоты. Анализ полученных данных показал, что большая «загрязненность» ДО фоновых озер, оцениваемая по валовому содержанию ТМ, связана с относительно повышенными концентрациями в них соединений железа и частично марганца. Накопление последних в составе ДО отражает природный геохимический фон, характерный для водосборных территорий лесных озер региона. В основном по этой же причине наблюдается и относительно более высокий коэффициент комплексности загрязненности K_{cp} для валовых форм ТМ по сравнению с подвижными формами.

Оценивая предлагаемый методический подход, следует отметить, что расчеты УКИЗДО по анализируемым группам водоемов показали хорошую сходимость полученных с его помощью результатов с другими разрабатываемы-

ми нами подходами к оценке качества ДО озер РТ, оперирующими методами вероятностной статистики [Валиев и др., 2016].

Для проверки возможности совместного использования показателей УКИЗВ и УКИЗДО с целью комплексной экологической оценки состояния водных объектов были выполнены расчеты обоих индексов для двух крупнейших озер РТ, входящих в региональную систему особо охраняемых природных территорий, – Архирейское и Ковалинское. Их можно отнести к типичным «фоновым» водоемам; по озерам накоплены многолетние ряды гидрохимических наблюдений, а также сведения о геохимическом составе и свойствах их поверхностных и стратифицированных ДО, требуемые для расчета комбинаторных индексов.

По валовым формам сходимость величин УКИЗДО и УКИЗВ не проявилась, в обоих озерах отложения характеризовались как «слабо загрязненные» (табл. 4). В величину класса чистоты здесь также вносят значительный вклад соединения Mn и Fe как типоморфные элементы вод исследуемых ландшафтов. Валовые формы ТМ, что совершенно очевидно, отражают общий и относительно стабильный во времени пул депонированных веществ, при определенных условиях способных перейти в категорию подвижных (растворимых), следовательно, определение УКИЗДО для этих форм позволяет выявлять долгосрочные тенденции и формулировать прогнозы изменения экологической ситуации в водоеме, дополняя количественные и качественные оценки, получаемые по растворенным в воде формам

Таблица 4. Сравнительная оценка удельных комбинаторных индексов качества воды (УКИЗВ) и ДО (УКИЗДО), рассчитанных по содержанию ТМ и железа

Table 4. Comparative assessment of specific combinatorial indices of water (SCWPI) and sediments (SSCPI) quality, calculated on the heavy metals (HM) and iron concentrations

	УКИЗВ, УКИЗДО, степень загрязненности, класс качества SCWPI, SCSPI, pollution degree, quality class	
	оз. Архиерейское Lake Archiereyskoye	оз. Ковалинское Lake Kovalinskoye
Растворенные формы ТМ в воде Dissolved forms of HM in water	0,63 Условно чистая, 1 класс Conditionally clean, 1 class	0,70 Условно чистая, 1 класс Conditionally clean, 1 class
Подвижные формы ТМ в ДО Mobile forms of HM in sediments	0,64 Чистые, 1 класс Unpolluted, 1 class	0,80 Чистые, 1 класс Unpolluted, 1 class
Валовые формы ТМ в ДО Total forms of HM in sediments	2,08 Слабо загрязненные, 2 класс Slightly polluted, 2 class	2,56 Слабо загрязненные, 2 класс Slightly polluted, 2 class

ТМ или по их подвижным формам в ДО, которые более динамичны как во времени, так и в пространстве.

Как УКИЗВ, так и УКИЗДО, рассчитанный по содержанию подвижных форм ТМ, показали одинаковые характеристики чистоты (табл. 4), что отражает парадигму функционирования системы «вода – донные отложения», когда изменение показателей растворимости (подвижности) соединений металлов под влиянием физико-химических факторов среды меняет их миграционное поведение и ведет либо к аккумуляции и иммобилизации в составе ДО, либо к переходу в растворенное состояние и последующему росту концентраций в придонном слое и во всей толще воды, т. е. к вторичному загрязнению.

Заключение

Проведенные исследования показали, что методика комплексной оценки качества поверхностных вод путем расчета величины удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) может быть адаптирована и для оценки качества ДО по приоритетным загрязняющим веществам – ТМ, нефтепродуктам и т. д. Система формализованных показателей расчета удельного комбинаторного индекса загрязненности ДО (УКИЗДО) предполагает использование частотных характеристик рядов данных, балльную оценку этих характеристик, обобщение балльных оценок с приведением их к соответствующим классам чистоты по аналогии с РД 52.24.643–2002. В алгоритме расчета УКИЗДО заложены корректирующие коэффициенты, учитывающие класс опасности загрязняющих веществ, а также особенности накопления поллютантов в зависимости от грануло-

метрического состава отложений. В качестве нормативов, относительно которых проводятся расчеты степени загрязненности ДО, применяются верхние пределы региональных фоновых концентраций ТМ в ДО озер РТ, утвержденные в установленном законом порядке.

Градация показателя УКИЗДО представлена 5 классами качества, разделенными на 9 рядов и соответствующих им степеней загрязненности: от чистых 1 класса (УКИЗДО < 1) до экстремально грязных 5 класса (УКИЗДО > 11).

По результатам апробации методики расчета удельного комбинаторного индекса загрязненности ДО на примере озер РТ установлена высокая сходимость комплексных оценочных показателей загрязненности воды (УКИЗВ) и УКИЗДО, определенных для растворенных в воде форм ТМ и их подвижных форм в составе ДО. Комплексный критерий загрязненности ДО валовыми формами ТМ при этом также содержит важную интегральную информацию, позволяющую прогнозировать и оценивать тенденцию состояния водоема в перспективе, с учетом изменения внешней и внутренней нагрузки на его экосистему.

Литература

- Валиев В. С., Иванов Д. В., Зиганшин И. И., Шамаев Д. Е., Маланин В. В., Марасов А. А. Анализ распределения форм металлов в донных отложениях озер природных и урбанизированных территорий Республики Татарстан // Труды КарНЦ РАН. 2016. № 9. С. 57–67. doi: 10.17076/lim413
- Моисеев Т. И., Кудрявцева Л. П., Гашкина Н. А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши: технофильность, биоаккумуляция и экотоксикология. М.: Наука, 2006. 261 с.
- Мур Д., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1987. 288 с.

РД 52.24.609–2013. Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов / Минво природных ресурсов и экологии РФ, Росгидромет. Ростов-на-Дону, 2013. 39 с.

РД 52.24.643–2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям / Росгидромет. Ростов-на-Дону, 2002. 50 с.

Региональные нормативы «Фоновое содержание тяжелых металлов в донных отложениях поверхностных водных объектов Республики Татарстан» (утв. Приказом Министерства экологии и природных ресурсов РТ от 27.03.2019 г.) // Гарант.ру. Инф.-прав. портал [Электронный ресурс]. URL:

References

Moiseenko T. I., Kudryavtseva L. P., Gashkina N. A. Rasseyannye elementy v poverkhnostnykh vodakh su-shi: tekhnofil'nost', bioakkumulyatsiya i ekotoksikologiya [Dispersed elements in land surface waters: technophilicity, bioaccumulation, and ecotoxicology]. Moscow: Nauka, 2006. 261 p.

Mur D., Ramamurti S. Tyazhelye metally v prirodnykh vodakh [Heavy metals in natural waters]. Moscow: Mir, 1987. 288 p.

RD 52.24.609–2013. Organizatsiya i provedenie nablyudenii za sodержaniem zagryaznyayushchikh veshchestv v donnykh otlozheniyakh vodnykh ob'ektov [Organization and carrying out observation of the content of pollutants in sediments of water objects]. Ministry of Nat. Res. Ecology Russ. Federation, Russ. Federal Service for Hydrometeorology and Environment Monitoring. Rostov-on-Don, 2013. 39 p.

RD 52.24.643–2002. Metod kompleksnoi otsenki stepeni zagryaznennosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam [The method of complex assessment of surface water contamination by hydrochemical indicators]. Russ. Federal Service for Hydrometeorology and Environment Monitoring. Rostov-on-Don, 2002. 50 p.

Regional'nye normativy "Fonovoe sodержanie tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyakh poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov Respubliki Tatarstan" (utv. Prikazom Min-va ekologii i prirodnykh resursov RT ot 27.03.2019 g.) [Regional guidelines Background heavy

<http://www.garant.ru/hotlaw/tatarstan/1270863/> (дата обращения: 10.08.2019).

Томилина И. И., Комов В. Т. Донные отложения как объект токсикологических исследований (обзор) // Биология внутренних вод. 2002. № 2. С. 20–26.

Forstner U., Wittmann G. T. W. Metal pollution in aquatic environment. Berlin-Heidelberg-NY: Springer, 1983. 481 p.

Muller G., Ottenstein R., Yahya A. Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements: <20 µm or <2 µm? // Fresenius J. Anal. Chem. 2001. Vol. 371. P. 637–642.

Поступила в редакцию 19.08.2019

metals content in bottom sediments of surface water bodies in the Republic of Tatarstan (approved by the Order dated 27.03.2019 of the Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Tatarstan). URL: <http://www.garant.ru/hotlaw/tatarstan/1270863/> (accessed: 10.08.2019).

Tomilina I. I., Komov V. T. Donnye otlozheniya kak ob'ekt toksikologicheskikh issledovaniy (obzor) [Bottom sediments as an object of toxicological study (an overview)]. Biol. vnutr. vod [Inland Water Biol.]. 2002. No. 2. P. 20–26.

Valiev V. S., Ivanov D. V., Ziganshin I. I., Shamaev D. E., Malanin V. V., Marasov A. A. Analiz raspredeleniya form metallov v donnykh otlozheniyakh ozer prirodnykh i urbanizirovannykh territorii Respubliki Tatarstan [Metals forms distribution in lakes sediments of natural and urban areas of the Republic of Tatarstan]. Trudy KarNTs RAN [Trans. KarRC RAS]. 2016. No. 9. P. 57–67. doi: 10.17076/lim413

Forstner U., Wittmann G. T. W. Metal pollution in aquatic environment. Berlin-Heidelberg-NY: Springer, 1983. 481 p.

Muller G., Ottenstein R., Yahya A. Standardized particle size for monitoring, inventory, and assessment of metals and other trace elements: <20 µm or <2 µm? Fresenius J. Anal. Chem. 2001. Vol. 371. P. 637–642.

Received August 19, 2019

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Валиев Всеволод Сергеевич

старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия, 420087 эл. почта: podrost@mail.ru

CONTRIBUTORS:

Valiev, Vsevolod

Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences 28 Daur'skaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia e-mail: podrost@mail.ru

Иванов Дмитрий Владимирович

заместитель директора по научной работе, к. б. н.
Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан
ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия,
420087
эл. почта: water-rf@mail.ru
тел.: (843) 2759573

Шагидуллин Рифгат Роальдович

директор, чл.-корр. АН РТ, д. х. н.
Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан
ул. Даурская, 28, Казань, Республика Татарстан, Россия,
420087
эл. почта: shagidullin_@mail.ru

Ivanov, Dmitry

Research Institute for Problems of Ecology
and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences
28 Daurskaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
e-mail: water-rf@mail.ru

Shagidullin, Rifgat

Research Institute for Problems of Ecology
and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of Sciences
28 Daurskaya St., 420087 Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
e-mail: shagidullin_@mail.ru