

ВЗВЕШЕННЫЙ ИНДЕКС КАЧЕСТВА ВОДЫ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. Н. Медведев, М. А. Медведев

Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Статья посвящена вопросам адаптации и опробования широко применяемого в мире Взвешенного индекса качества воды WQI, который представляет собой перспективный инструмент при экспедиционной оценке качества природной воды и который поможет эффективно решить актуальную задачу обеспечения общественности и заинтересованных организаций информацией о загрязненности водных объектов. Для адаптации индекса WQI предложено определять вес отдельных показателей в соответствии с установленными в РФ классами опасности веществ для человека и окружающей среды, а также использовать в качестве нормативных значений российские предельно допустимые концентрации (ПДК). Опробование адаптированного индекса на данных наблюдений качества воды в реке в зоне влияния горного предприятия за трехлетний период (2017–2019 гг.) показало, что он может быть использован как относительная характеристика загрязненности воды для сопоставления результатов экспедиционных обследований по различным створам в пределах одного года, а также для оценки динамики уровней загрязнения воды по створам в разные годы. Полученные результаты согласуются с данными ежегодников Росгидромета «Качество поверхностных вод Российской Федерации» за 2017–2019 гг. Для использования индекса WQI в качестве абсолютного показателя уровней загрязненности воды необходимо проведение дополнительных исследований для разработки соответствующей классификации.

Ключевые слова: индекс качества воды; Взвешенный индекс; водный объект; экологический мониторинг; класс опасности.

1. Введение

Один из основных видов воздействия горных предприятий на окружающую среду – сброс очищенных рудничных вод. При этом в соответствии с требованиями Федерального закона об охране окружающей среды [1] должны соблюдаться установленные для предприятия нормативы допустимого сброса (НДС) загрязняющих веществ для сохранения в пределах допустимых норм качества воды водного объекта, который является приемником сточных вод. Контроль соблюдения НДС и качества природных вод производится на основе определения уровней содержания в пробах воды достаточно большого количества загрязняющих веществ, характерных для водного объекта и для добываемых руд. Этой работой занимаются уполномоченные органы в сфере контроля загрязнения гидросферы, основным из которых является Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России (Росгидромет).

Необходимо большое количество изучаемых показателей (10–20 и более) для получения достоверных выводов о наличии (или отсутствии) влияния предприятия на качество воды, а также выделения наиболее загрязненных участков водных объектов.

Такой подход эффективен [2] с точки зрения контроля соблюдения норм и требований природоохранительного законодательства, однако он не вполне подходит для реализации установленного в Федеральном законе «Об охране окружающей среды» [1, ст. 4.3] принципа общедоступности экологической информации для общественности. Использование большого набора изучаемых веществ затрудняет понимание неспециалистами (населением, представителями общественных организаций) информации о качестве воды, так как для интерпретации требуются

сопоставление данных измерений по каждому веществу с установленными нормативами [3–5] и квалифицированная оценка полученных результатов.

Для того чтобы сделать информацию более понятной для широкого круга заинтересованных организаций и лиц, в России и за рубежом разработаны и используются индексы качества воды, учитывающие имеющиеся данные по отдельным загрязняющим веществам и дающие обобщенную характеристику каждой пробы воды в виде одного числа.

В частности, в системе Росгидромета для оценки состояния поверхностных водных объектов был разработан индекс загрязнения воды (ИЗВ). Он представляет собой сумму нормированных к предельно допустимой концентрации (ПДК) значений концентрации шести главных поллютантов, где в качестве обязательных используются БПК₅ и содержание в воде растворенного кислорода, а также четыре вещества с максимальными значениями частоты превышения ПДК [6–8] для изучаемого водного объекта. В гидрохимических исследованиях Росгидромета используется удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ), с помощью которого дается оценка качества воды по совокупности находящихся в ней загрязняющих веществ с учетом кратности превышения ПДК и повторяемости случаев превышения [8–10]. Данные индексы используются для общей качественной и количественной оценки и сопоставления уровней загрязнения воды водных объектов на основе разработанных шкал [6–10, 28].

Основным показателем является УКИЗВ, который используется для комплексной оценки уровней загрязненности водных объектов в пределах водных бассейнов и регионов России, результаты которой представляются в ежегодных изданиях Росгидромета [29, 30]. УКИЗВ представляет собой объективный и достоверный показатель, т. к. рассчитывается с использованием большого количества данных измерений (как правило, не менее 12 измерений в год на каждом пункте наблюдения) по единым методикам на постах Росгидромета и предприятий-водопользователей, осуществляющих сброс очищенных сточных вод. Результаты измерений предоставляются в региональные подразделения Росгидромета для обобщения.

Один из первых индексов качества воды был предложен в 1965 г. Р. К. Хортоном [11] и развит Р. М. Брауном и др. [12]. В результате дальнейших исследований в данной сфере было разработано и используется более 30 индексов загрязнения воды, которые рассчитываются различными методами [13–17]. Наиболее известными являются Взвешенный и Канадский индексы качества воды. Они представляют собой безразмерные показатели, и для них разработаны соответствующие шкалы, позволяющие разделить различные створы водных объектов по категориям качества воды с точки зрения возможности ее использования для питьевых нужд.

Канадский индекс качества воды (Canadian Water Quality Index – CWQI) [18–20] практически аналогичен российскому индексу УКИЗВ, т. к. он учитывает кратность превышения ПДК для различных веществ и повторяемость случаев превышения по результатам серии наблюдений за определенный период, обычно за год.

Взвешенный индекс качества воды (Weighted Water Quality Index – WQI) в определенной степени аналогичен ИЗВ, но для его расчета может использоваться достаточно большой набор необходимых для решения разных задач показателей, нормированных к величине ПДК и взятых с определенными весами.

Для расчета Взвешенного индекса не требуется многократных измерений содержания загрязняющих веществ в воде, как, например, для расчета основного российского индекса качества воды (УКИЗВ) и Канадского индекса, поэтому WQI используется в мире чаще, особенно для проведения единовременных оценок качества воды [21–28].

В связи с этим Взвешенный индекс (WQI) можно рассматривать в качестве перспективного показателя при экспедиционной оценке и сопоставлении качества воды в различных створах реки в зоне влияния выпусков очищенных сточных вод

горного предприятия, а также для более эффективного решения актуальной задачи обеспечения граждан и юридических лиц доступной и понятной информацией о загрязненности водных объектов.

Данная работа посвящена адаптации Взвешенного индекса качества воды (WQI) с использованием российских нормативов и оценке эффективности его применения на примере результатов экспедиционного обследования воды р. Реж в зоне влияния выпусков очищенных сточных вод Сафьяновского медного рудника (Свердловская область, район г. Режа).

2. Взвешенный индекс качества воды

Взвешенный индекс качества воды (WQI) был разработан для оценки пригодности поверхностных водных объектов для использования в качестве источников питьевой воды и рассчитывался на основе относительно небольшого количества характерных для поверхностных вод показателей (до 10 [11, 12]).

В дальнейшем индекс был модифицирован для оценки качества подземных источников питьевого водоснабжения на основе дополнения перечня используемых для расчета веществ, характерных для состава подземных вод [22, 25, 27], а также изменения веса отдельных показателей, используемых для расчета.

Анализ литературы показывает, что для расчета WQI используются как различные наборы показателей и нормативы (национальные, международные), так и соответствующие им значения весов, которые определяются авторами, как правило, на основе собственных экспертных оценок [21–28], в связи с чем результаты расчетов характеризуются определенным уровнем субъективности и привязаны к национальной нормативной базе в сфере контроля качества природных вод.

В частности, в [25] оценки поверхностных вод произведены с использованием нормативов качества воды, рекомендованных Всемирной организацией здравоохранения (WHO, 1993), по результатам определения следующих показателей с соответствующими весами (показаны в скобках): pH (0,2190), еН (0,3710), минерализация общая (0,0037), жесткость общая (0,0062), кальций (0,0250), хлориды (0,0074), нитраты (0,0412), сульфаты (0,0124), растворенный кислород (0,3723), БПК₅ (0,3723).

В [26] также для поверхностных вод рассчитан WQI с использованием нормативов ПДК, рекомендованных Индийским бюро стандартов (BIS), Индийским советом медицинских исследований (ICMR) и Всемирной организацией здравоохранения на основе набора показателей с относительными весами, аналогичными [25].

В [27] для оценки подземных вод использованы индийские стандарты качества воды и следующие показатели и относительные веса: pH (0,1212), сухой остаток (0,1212), жесткость общая (0,1212), сульфаты (0,0909), магний (0,0606), нитраты (0,1212), хлориды (0,0909), кальций (0,0606), щелочность (0,0606), фториды (0,1515).

В [28] также для оценки подземных вод использованы индийские стандарты качества воды и следующие показатели и относительные веса: pH (0,0952), сухой остаток (0,0952), жесткость общая (0,0476), гидрокарбонаты (0,0714), хлориды (0,0714), сульфаты (0,0952), нитраты (0,1190), фтор (0,0952), кальций (0,0476), магний (0,0476), железо (0,0952), марганец (0,0952), цинк (0,0238).

Таким образом, индекс WQI может рассчитываться по достаточно большому набору показателей как поверхностных, так и подземных вод и может использоваться для оценки качества воды различных водных объектов.

3. Материалы и методы

Цель настоящей работы – адаптация метода оценки качества воды на основе индекса WQI для мониторинга водного объекта в зоне влияния горного предприятия. Для расчетов используются выражения, представленные в работе [28], которые

учитывают не только характерные для поверхностных вод загрязняющие вещества, но и основные компоненты, входящие в состав руд цветных металлов.

Для расчета WQI использованы результаты экспедиционных обследований р. Реж, приемника очищенных сточных вод Сафьяновского медноколчеданного месторождения (г. Реж, Свердловская область), проведенных в рамках производственного контроля воздействия предприятия на гидросферу в 2017–2019 гг. сотрудниками Института промышленной экологии УрО РАН. Аналитические исследования проб воды, отобранных в теплый период года (с мая по октябрь), были выполнены в аккредитованной лаборатории АО «Сафьяновская медь».

Отбор проб воды проводился в трех створах реки: створ 1 расположен в 500 м выше устья р. Хвощевки (правый приток р. Реж), по которой поступают очищенные сточные воды выпуска № 1 рудника, предназначен для отслеживания фоновых по отношению к руднику концентраций загрязняющих веществ в воде реки; створ 2 расположен в 300 м ниже устья р. Хвощевки, предназначен для оценки загрязнения р. Реж очищенными сточными водами выпуска № 1; створ 3 расположен в 2,5 км ниже выпуска № 2 очищенных сточных вод рудника, предназначен для оценки загрязнения от выпуска № 2, а также неорганизованных стоков, которые могут поступать по малым правым притокам р. Реж.

Для уменьшения субъективности при определении весов показателей (которые, как было сказано выше, определяются на основе экспертных оценок) были использованы установленные в РФ классы опасности веществ для человека и окружающей среды [29–31]. Значение веса для каждого вещества определено как $1/K_0$, где K_0 – класс опасности. Кроме того, были использованы российские нормативы предельно допустимых концентраций химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [4], так как р. Реж используется местным населением в основном для рекреационных и хозяйственно-бытовых целей.

Перечень использованных показателей, соответствующие погрешности аналитических измерений, нормативы ПДК [4] и классы опасности [29–31] приведены в табл. 1. Данные по показателю рН не использовались, потому что для него отсутствует класс опасности в [29–31], наблюдаемые значения (от 7,5 до 8,1) лежат в пределах норматива ПДК 6,5–8,5, и для рН не установлено наиболее приемлемое (идеальное [28]) для человека значение, которое используется в расчетах WQI, при этом идеальные значения остальных показателей приняты равными 0 по аналогии с [27, 28].

Таблица 1. Методы определения массовых концентраций веществ в пробах воды, диапазон и погрешность измерения, ПДК [4], классы опасности [29]

Вещества	Метод измерений	Обозначение МВИ	Диапазон измерений, мг/дм	Отн. погр., %	ПДК	Кл. оп.
Гидрокарбонаты	ГОСТ 31957-2012	ГОСТ 31957-2012	Св. 10 до 100 вкл.	3	1000	4
Железо общ.	Метод АЭСсИСП	ПНДФ 14.1.2:4.135-98	от 0,05 до 0,5 вкл.	24	0.3	4
			св. 0,5 до 5 000 вкл.	15		
Жесткость общ.	Титриметрический метод	ПНДФ 14.1.2.98-97	св 1,0 до 50,0	9	7	4
Ионы аммония	Фотометрический метод с реактивом Несслера	ПНДФ 14.1.1-95	Св. 0,10 до 1,0 вкл.	35	2	4

Окончание табл. 1

Калий	Массовые концентрации металлов методом АЭСсИСП		св. 1,0 до 50 000 вкл.	16	12	4
Кальций	Метод АЭСсИСП	ПНДФ 14.1:2:4.135-98	св. 1,0 до 5 000 вкл.	16	100	4
Кремний	Метод АЭСсИСП	ПНДФ 14.1:2:4.135-98	св. 1,0 до 500 вкл.	15	10	4
Магний	Метод АЭСсИСП	ПНДФ 14.1:2:4.135-98	св. 0,5 до 5 000 вкл.	15	50	4
Марганец	Метод АЭСсИСП	ПНДФ 14.1:2:4.135-98	от 0,001 до 0,05 вкл.	32	0,1	4
			св. 0,05 до 0,5 вкл.	24		
Медь	Метод АЭСсИСП	ПНДФ 14.1:2:4.135-98	от 0,001 до 0,05 вкл.	42	1	3
Нитраты	Фотометрический метод с салициловой кислотой	ПНДФ 14.1:2:4.4-95 (2011)	от 0,1 до 3 вкл.	18	45	4
Нитриты	Фотометрический метод с салициловой кислотой	ПНДФ 14.1:2:4.4-95 (2011)	от 0,02 до 0,1 вкл.	20	3	4
Натрий	Метод АЭСсИСП	ПНДФ 14.1:2:4.135-98	св. 1,0 до 50 000 вкл.	15	120	4
Никель	Метод АЭСсИСП	ПНДФ 14.1:2:4.135-98	от 0,001 до 0,05 вкл.	42	0,01	3
Окисляемость	Титриметрический метод	ПНДФ 14.1:2:4.154-99 (2012)	св. 2 до 100 вкл.	10	5	4
Свинец	Метод АЭСсИСП	ПНДФ 14.1:2:4.135-98	от 0,001 до 0,05 вкл.	42	0,03	2
Сульфаты	Весовой метод	РД 52.24.483-95	от 10 до 50 вкл.	20	500	4
Сухой остаток	Гравиметрический метод	ПНДФ 14.1:2:4.261-2010 (2015)	св. 50 до 5 000 вкл.	9	1 000	4
Цинк	Метод АЭСсИСП	ПНДФ 14.1:2:4.135-98	от 0,005 до 0,05 вкл.	34	1	3
			св. 0,05 до 0,5 вкл.	24		

МВИ – методика выполнения измерений.

Отн. погр. – относительная погрешность.

Кл. оп. – класс опасности.

Расчет Взвешенного индекса качества воды WQI выполнен в соответствии с [28] по приведенным ниже выражениям:

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i, \quad (1)$$

$$SI_i = W_i \times Q_i, \quad (2)$$

$$Q_i = (C_i \div S_i) \times 100, \quad (3)$$

$$W_i = w_i \div \sum_{i=1}^n w_i, \quad (4)$$

где Sl_i – индекс загрязнения по каждому показателю, безразмерный (далее – б/р);

Q_i – относительное загрязнение по каждому показателю i , б/р;

C_i – измеренная концентрация для каждого показателя, мг/дм³;

S_j – ПДК для каждого показателя в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, мг/дм³ [4];

W_i – относительный вес каждого показателя, б/р;

w_i – вес каждого показателя, обратный классу опасности, по [29–31], б/р;

n – количество использованных показателей.

4. Результаты и обсуждение

Для получения обобщенной характеристики качества воды индекс качества WQI был рассчитан по средним значениям концентраций изученных показателей за 3 опробования, выполненные в теплый период 2017–2019 гг.

Для абсолютной оценки уровня загрязненности воды на основе рассчитанных значений требуется соответствующая шкала, которая в настоящее время отсутствует, т. к. для ее обоснования требуются дополнительные исследования. Поэтому полученные значения индекса качества воды могут быть использованы как относительные показатели загрязненности воды для сопоставления результатов по различным створам в пределах одного года, а также для оценки динамики уровней загрязнения воды по створам за трехлетний период 2017–2019 гг.

В табл. 2 представлен расчет WQI для створов 1–3 в 2019 г., в табл. 3 – результаты расчета WQI для створов 1–3 в 2017–2019 гг, на рис. 1 – изменение взвешенного индекса качества воды WQI в створах 1–3 с 2017 по 2019 г.

Таблица 2. Расчет Взвешенного индекса качества воды WQI для створов 1–3 в 2019 г.

Показатель	w_i	W_i	Q_i		
			Створ 1	Створ 2	Створ 3
Гидрокарбонаты	0,25	0,05	0,45	0,44	0,45
Железо общее	0,25	0,05	6,51	6,51	6,24
Жесткость	0,25	0,05	1,30	1,57	1,31
Ионы аммония	0,25	0,05	2,11	1,59	1,83
Калий	0,25	0,05	0,44	0,48	0,49
Кальций	0,25	0,05	0,94	0,95	1,00
Кремний	0,25	0,05	2,57	2,49	2,49
Магний	0,25	0,05	1,03	0,96	1,05
Марганец	0,25	0,05	2,27	2,35	3,91
Медь	0,33	0,063	0,03	0,02	0,15
Нитраты	0,25	0,05	0,04	0,06	0,06
Нитриты	0,25	0,05	0,05	0,03	0,03
Натрий	0,25	0,05	0,21	0,19	0,19
Никель	0,33	0,06	4,12	3,81	4,29
Окисляемость	0,25	0,05	8,86	7,94	8,80
Свинец	0,5	0,10	2,22	1,25	1,28
Сульфаты	0,25	0,05	0,16	0,15	0,21
Сухой остаток	0,25	0,05	0,70	0,61	0,70
WQI			34,02	31,41	34,75

Таблица 3. Средний по трем обследованиям Взвешенный индекс качества воды WQI для створов 1–3 в 2017–2019 гг.

Год	Номер створа		
	1	2	3
2017	34,02	31,41	34,75
2018	36,91	35,97	38,66
2019	30,60	30,04	38,17

По результатам, представленным в табл. 2, можно оценить вклад отдельных показателей в значения индекса качества воды.

Основным показателем, который вносит вклад 26,5 % (в створе 1), является окисляемость, что говорит о наличии общего загрязнения реки во всех створах, в т. ч., вне зоны влияния выпусков очищенных сточных вод Сафьяновского рудника. Это подтверждается также достаточно высоким вкладом показателя ионы аммония (6 % в створе 1). Порядка 12 % во всех створах вносит никель. Вклад свинца также максимален в створе 1. По названным показателям можно сделать вывод, что основным источником загрязнения р. Реж является расположенный выше по течению от изученных створов (порядка 8 км) г. Реж с населением более 35 тыс. человек, где в непосредственной близости от р. Реж расположены отвалы переработки никелевых руд, а также производится сброс очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод.

Заметный вклад в величину индекса качества воды вносят также железо, марганец и кремний, повышенные естественные концентрации которых характерны для многих рек Среднего Урала, в т. ч. для р. Реж выше города Режа [30].

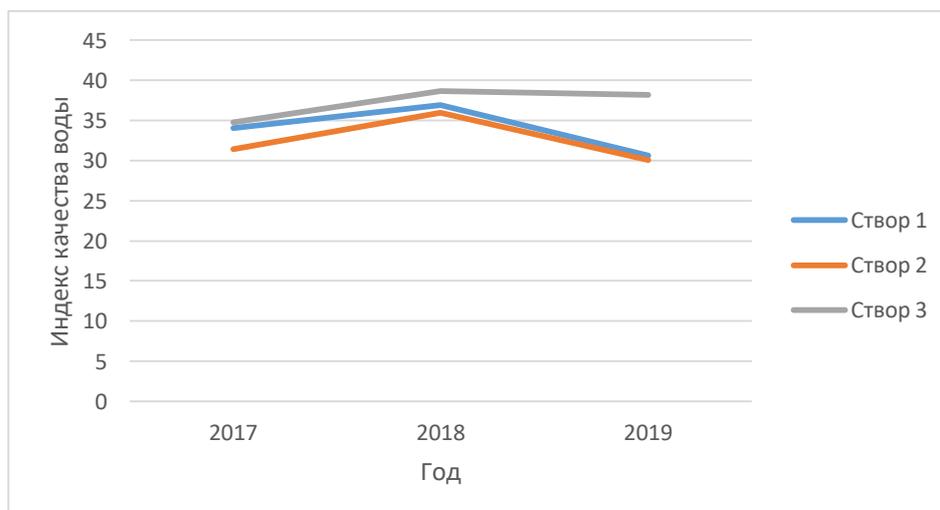


Рис 1. Изменения Взвешенного индекса качества воды WQI в створах 1–3 с 2017 по 2019 г.

Анализ табл. 3 и рис. 1 показывает, что максимальные значения индекса качества воды WQI получены в створе 3 в 2018 и 2019 гг. и составили 38,1–38,6. При этом в створах 1 и 2 индекс качества воды в 2019 г. получен порядка 30, т. е. превышение индекса в створе 3 над створами 1 и 2 составило в 2019 г. порядка 28 %. Учитывая, что относительная погрешность измерений для большинства показателей 15 % и более, а по отдельным металлам достигала 30–40 % (табл. 1), на основании данных обследования нельзя сделать достоверный вывод о наличии влияния сброса очищенных сточных вод медного рудника на качество воды р. Реж.

За период наблюдений (2017–2019 гг.) качество воды, согласно рассчитанному индексу, незначительно изменялось в пределах погрешности измерений (от –12,2 до +11,1 % от среднего значения по всем створам – 34,84), т. е. оно оставалось

практически постоянным с точки зрения соответствия нормативам качества воды для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Полученные данные согласуются с выводами ежегодников Росгидромета «Качество поверхностных вод Российской Федерации» за 2017–2019 гг. [29–31], где отмечено, что вода в р. Реж в указанные годы неизменно классифицировалась как «грязная», т. е. качество воды в реке не изменялось:

- в 2017 г. «качество воды р. Реж характеризовалось 4-м классом разрядов “а” и “б” (грязная)» [29];
- в 2018 г. «вода р. Реж характеризовалось 4-м классом разряда “а” (грязная)» [30];
- 2019 г. «р. Реж характеризовалась низким качеством воды: 4-й класс разряд “б” (грязная)» [31].

5. Заключение

В работе представлены результаты адаптации и опробования широко применяемого в мире Взвешенного индекса качества воды WQI для использования в экологическом мониторинге зоны влияния горного предприятия.. По результатам анализа российских и зарубежных источников индекс WQI представляется перспективным инструментом для использования при экспедиционной оценке и сопоставлении качества воды в различных створах реки в зоне влияния выпусков очищенных сточных вод горного предприятия, а также более эффективного решения актуальной задачи по обеспечению граждан и юридических лиц доступной и понятной информацией о загрязненности водных объектов в соответствии с природоохранительным законодательством России.

Для адаптации индекса WQI предложено определять веса отдельных показателей качества воды в соответствии с установленными в РФ классами опасности веществ для человека и окружающей среды, а также использовать в качестве нормативных значений российские нормативы предельно допустимых концентраций химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, так как р. Реж используется местным населением в основном для рекреационных и хозяйственно-бытовых целей.

Опробование адаптированного индекса качества воды WQI проведено на данных экспедиционных обследований 2017–2019 гг. р. Реж, являющейся приемником очищенных сточных вод Сафьяновского медного рудника (г. Реж, Свердловская область).

За период наблюдений качество воды, согласно рассчитанному индексу, практически не изменялось (в пределах погрешности измерений), что согласуется с данными ежегодников Росгидромета «Качество поверхностных вод Российской Федерации» за 2017–2019 гг. [29–31].

Таким образом, адаптированный Взвешенный индекс качества воды WQI может быть использован как относительный показатель загрязненности воды для сопоставления результатов экспедиционных обследований по различным створам в пределах одного года, а также для оценки динамики уровней загрязнения воды по створам в разные годы с целью дальнейшего использования полученных экологических данных для информирования общественности об экологическом состоянии водного объекта. Чтобы использовать данный индекс в качестве абсолютного показателя загрязненности, необходимо проведение дополнительных исследований для разработки соответствующей классификации уровней качества воды.

6. Список литературы

1. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 26.03.2022) «Об охране окружающей среды» (в редакции на 25.06.2023 г. URL:

- <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102074303>). (дата обращения: 25.06.2023 г.)
2. *Дерягина, С. Е.* Экологический мониторинг – инструмент эффективного управления природоохранной деятельностью горных предприятий / С. Е. Дерягина, О. В. Астафьева, А. Н. Медведев // Экономика природопользования. – 2011. – № 1. – С. 48–53.
 3. СанПиН 2.1.4.559-96. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
 4. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
 5. ГН 2.1.5.1316-03. Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
 6. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09.1986 г.
 7. *Гагарина, О. В.* Обзор методов комплексной оценки качества поверхностных вод / О. В. Гагарина // Науки о земле. – 2005. – № 11. – С. 45–58.
 8. *Сибэгатуллина, А. М.* Измерение загрязненности речной воды (на примере малой реки Малая Кокшага) / А. М. Сибэгатуллина, П. М. Мазуркин. – М. : Академия Естествознания, 2009.
 9. РД 52.24.643-2002. Руководящий документ (методические указания), дата введения 2004-01-01, разработан Гидрохимическим институтом (ГХИ) Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромет; Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы; под ред. Т. В. Гусевой. – М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2007. – С.192.
 10. *Кичигин, В. И.* Использование интегральных показателей загрязненности для анализа состояния водотоков / В. И. Кичигин, Е. Д. Палагин // ВСТ. – 2005. – № 7. – С. 25.
 11. *Horton, R. K.* An Index – Number System for rating water quality / R. K. Horton // J. of the water pollution Control Federation. – 1965. – 37(3). – 300–305.
 12. *Water Quality Index-Crashing, the Psychological Barrier* / R. M. Brown, N. I. McClelland, R. A. Deininger and M. F. O'Connor // Proc. 6-th Annual Conference, Advances in Water Pollution Research. – 1972. – P. 787–794.
 13. Design and development of integrated indicators for the Sustainable Development Goals // UNEP, Report: Senior Expert Meeting, 3–5 December 2014, Gland, Switzerland.
 14. *Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index* / Shweta Tyagi, Bhavtosh Sharma, Prashant Singh, Rajendra Dobhal // American J. of Water Resources. – 2013. – Vol. 1, No. 3. – P. 34–38.
 15. *Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis* / UNEP Global Environment Monitoring System/Water Programme, Report, 2007.
 16. *Water Quality Assessment with Water Quality Indices* / S. Sivaranjani, A. Rakshit and S. Singh // International J. of Bioresource Science. – 2015. – Vol. 2. – Iss. 2. – P. 85–94.
 17. *Mnisi, L. N.* Assessment of the state of the water quality of the Lusushwana River, Swaziland, using selected water quality indices / L. N. Mnisi // M.Sc. Thesis, University of Zimbabwe, Harare. – 2010.
 18. *Boyacioglu, H.* Utilization of the water quality index method as a classification tool / H. Boyacioglu // Environmental Monitoring and Assessment. – 2009. – 167. – P. 115–124.
 19. *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, CCME Water Quality index 1.0, User's Manual* // Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001.
 20. *Khan, A. A.* Modification and Application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the Communication of Drinking Water Quality Data in Newfoundland and Labrador / Amir Ali Khan, Renée Paterson and Haseen Khan // Water Qual. Res. J. Canada. – 2004. – Vol. 39, No 3. – P. 285–293.
 21. *Yogendra, K.* Determination of Water Quality Index and Suitability of an Urban Waterbody in Shimoga Town, Kamataka / K. Yogendra and E. T. Puttaiah; M. Sengupta and R. Dalvani (editors) // Proceedings of Taal 2007: The 12-th World Lake Conference, 2008. – P. 342–346.
 22. *An assessment of ground water quality using water quality index in Chennai, Tamil Nadu, India* / I. N. Balan, M. Shivakumar and P. D. M. Kumar // Chronicles Young Scientist. – 2012. – 3(2). – P. 146–150.
 23. *Srivastava, G.* Water quality index with missing parameters / G. Srivastava, P. Kumar // International J. of Research in Engineering and Technology. – Apr – 2013. Vol. 02. – Iss. 04.
 24. *Water Quality Index for the Assessment of Water Quality from Different Sources in the Niger*

- Delta Region of Nigeria / E. E. Etim, R. Odoh, A. U. Itodo [et al.] // *Frontiers in Science*. – 2013. – 3(3). – P. 89–95.
25. *Kwasi Boah, D.* Mathematical Computation of Water Quality Index of Veve Dam in Upper East Region of Ghana / D. Kwasi Boah, S. Boakye Twum, Kenneth B. Pelig-Ba // *Environmental Sciences*. – 2015. – Vol. 3, No 1. – P. 11–16.
26. *Water Quality Index: A Tool for Evaluation of Surface Water Quality* / G. Sri Bala, G.V.R. Srinivasa Rao, P.A.R.K. Raju and M. Jagapathi Raju // *International J. of Civil Engineering and Technology*. – 2017. – 8(10). – P. 814–821.
27. *Kumari, S.* Assessment Of water Quality Index of Ground Water in Smalkhan, Haryana / S. Kumari, J. Rani // *International J. of Latest Research in Science and Technology*. – 2014. – Vol 3. – Iss. 6. – P. 169–172.
28. *Batabyal, A. K.* Hydrogeochemistry and Water Quality Index in the Assessment of Groundwater Quality for Drinking Uses / A. K. Batabyal, S. Chakraborty // *Water Environment Research*. – 2015. – Vol. 87, No. 7. – P. 607–617.
29. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2017. ФГБУ «Гидрохимический институт», Росгидромет, 2018, URL: https://gidrohim.com/sites/default/files/%D0%95%D0%B6%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%202017_0.pdf (дата обращения: 28.06.2023 г.).
30. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2018. ФГБУ «Гидрохимический институт», Росгидромет, 2019, URL: https://gidrohim.com/sites/default/files/%D0%95%D0%B6%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%202018_3.pdf (дата обращения: 28.06.2023 г.).
31. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник. 2019. ФГБУ «Гидрохимический институт», Росгидромет, 2020, URL: https://gidrohim.com/sites/default/files/%D0%95%D0%B6%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%202019_0.pdf (дата обращения: 27.06.2023 г.).

Сведения об авторах:

Медведев Александр Николаевич, к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, Россия, Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской 20, Эл. почта: alnikmed52@gmail.com.

Медведев Максим Александрович, к.э.н., научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия.

WEIGHTED WATER QUALITY INDEX IN ENVIRONMENTAL MONITORING OF A MINING ENTERPRISE INFLUENCE ZONE

A. N. Medvedev, M. A. Medvedev

*Institute of Industrial Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia*

The article is devoted to the issues of adaptation and testing the weighted water quality index WQI to use in the environmental monitoring of a mining enterprise influence zone. WQI is widely known in the world and is a promising tool for use in the assessment of natural water quality for timely informing the public and interested organizations about water bodies pollution. To adapt the WQI index, it is proposed to determine the weights of individual pollution indicators in accordance with the hazard classes of substances for humans and the environment established in the Russian Federation. It is also proposed to use the Russian values of maximum permissible concentrations as standard values. The testing of the adapted index was conducted using the data of water quality observations in the river located in the influence zone of a mining enterprise for a three-year period (2017-2019). It showed that the WQI can be used as a relative characteristic of water pollution to compare the results of expeditionary surveys for different testing points within one year. It can also be used to assess the dynamics of water pollution in the same site in different years. The data obtained are consistent with the conclusions of the yearbooks of Roshydromet "Quality of surface waters of the Russian Federation" for 2017–2019. To use the adapted WQI as an absolute measure of water quality, it is needed to conduct additional studies to develop an appropriate classification.

Key words: water quality index; weighted index; water object; environmental monitoring, hazard class.

References

1. Federal Law No. 7-FZ of January 10, 2002 (as amended on March 26, 2022) "On Environmental Protection" (as amended on June 25, 2023, <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102074303>), (accessed 06/27/2023).
2. Deryagina, S. E. Ecological monitoring – a tool for effective management of environmental activities of mining enterprises / S. E. Deryagina, O. V. Astafieva, A. N. Medvedev // Economics of nature Use. – 2011. – No. 1. – P. 48–53.
3. SanPiN 2.1.4.559-96. Drinking water and water supply of populated sites. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control.
4. GN 2.1.5.1315-03. Maximum Permissible Concentrations (MPC) of chemicals in the water of water bodies for drinking and domestic water use.
5. GN 2.1.5.1316-03. Approximate Permissible Levels (APL) of chemicals in the water of water bodies for drinking and domestic water use.
6. Temporary guidelines for a comprehensive assessment of the quality of surface and sea waters. Approved USSR State Committee for Hydrometeorology on September 22, 1986.
7. Gagarina, O. V. Review of methods for complex assessment of the quality of surface waters / O. V. Gagarina // Nauki o Zemlje. – 2005. – No. 11. – P. 45–58.
8. Sibagatullina, A. M. Measurement of river water pollution (on the example of the small river Malaya Kokshaga) / A. M. Sibagatullina, P. M. Mazurkin. – M. : Academy of Natural Sciences, 2009.
9. RD 52.24.643-2002. Governing document (guidelines), introduction date 2004-01-01, developed by the Hydrochemical Institute (HCI) of the Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring Roshydromet; Hydrochemical indicators of the state of the environment: reference materials; ed. T. V. Guseva. – M. : FORUM : INFRA-M. – 2007. – 192 P.
10. Kichigin, V. I. The use of integral indicators of pollution for the analysis of the state of watercourses / V. I. Kichigin, E. D. Palagin // VST. – 2005. – No. 7. – P. 25.
11. Horton, R. K. An Index – Number System for rating water quality // Journal of the water pollution

- Control Federation. – 1965. – 37(3). – P. 300 – 305.
12. Water Quality Index-Crashing, the Psychological Barrier / R. M. Brown, N. I. McClelland, R. A. Deininger and M. F. O'Connor // Proc. 6th Annual Conference, Advances in Water Pollution Research. – 1972. – P. 787–794.
 13. Design and development of integrated indicators for the Sustainable Development Goals // UNEP, Report: Senior Expert Meeting, 3-5 December 2014, Gland, Switzerland.
 14. Shweta Tyagi, Bhavtosh Sharma, Prashant Singh, Rajendra Dobhal, Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index // American J. of Water Resources. – 2013. – Vol. 1, No. 3. – P. 34–38.
 15. Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis / UNEP Global Environment Monitoring System/Water Programme, Report, 2007.
 16. Sivaranjani S., Amitava Rakshit and Samrath Singh, Water Quality Assessment with Water Quality Indices // International Journal of Bioresource Science. – 2015. – Vol 2. – Issue 2. – P. 85-94.
 17. Mnisi, L.N., Assessment of the state of the water quality of the Lusushwana River, Swaziland, using selected water quality indices // M.Sc. Thesis, University of Zimbabwe, Harare. – 2010.
 18. Hülya Boyacioglu, Utilization of the water quality index method as a classification tool, Environmental Monitoring and Assessment. – 2009. – 167. – P. 115-124.
 19. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life, CCME Water Quality index 1.0, User's Manual // Canadian Council of Ministers of the Environment. – 2001.
 20. Amir Ali Khan, Renée Paterson and Haseen Khan, Modification and Application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the Communication of Drinking Water Quality Data in Newfoundland and Labrador // Water Qual. Res. J. Canada. – 2004. – Vol 39. – No. 3. – P. 285-293.
 21. K. Yogendra and E.T. Puttaiah, Determination of Water Quality Index and Suitability of an Urban Waterbody in Shimoga Town, Karnataka / Sengupta, M. and Dalvani. R. (Editors) // Proceedings of Taal2007: The 12th World Lake Conference. -2008. – P. 342 -346.
 22. Balan, I. N., Shivakumar, M. and Kumar, P.D.M. An assessment of ground water quality using water quality index in Chennai, Tamil Nadu, India // Chronicles Young Scientist. – 2012. – 3(2). – P. 146-150.
 23. Garima Srivastava, Pradeep Kumar, Water quality index with missing parameters, International J. of Research in Engineering and Technology. – Apr -2013. Vol 02. – Issue 04.
 24. Water Quality Index for the Assessment of Water Quality from Different Sources in the Niger Delta Region of Nigeria / E. E. Etim, R. Odoh, A. U. Itodo [et al.] // Frontiers in Science. – 2013. – 3(3). – P. 89–95.
 25. Douglas Kwasi Boah, Stephen Boakye Twum, Kenneth B. Pelig-Ba, Mathematical Computation of Water Quality Index of Veia Dam in Upper East Region of Ghana // Environmental Sciences. – 2015. – Vol. 3. – No. 1. – P. 11–16.
 26. G. Sri Bala, G.V.R. Srinivasa Rao, P.A.R.K. Raju and M. Jagapathi Raju, Water Quality Index: A Tool for Evaluation of Surface Water Quality // International Journal of Civil Engineering and Technology. – 2017. – 8(10). – P. 814-821.
 27. Kumari, S. Assessment Of water Quality Index of Ground Water in Smalkhan, Haryana / S. Kumari, J. Rani // International J.I of Latest Research in Science and Technology. – 2014. – Vol 3. – Iss. 6. – P. 169–172.
 28. Batabyal, A. K. Hydrogeochemistry and Water Quality Index in the Assessment of Groundwater Quality for Drinking Uses / A. K. Batabyal, S. Chakraborty // Water Environment Research. – 2015. – Vol. 87. – No. 7. – P. 607–617.
 29. Quality of surface waters of the Russian Federation. Yearbook. 2017. FGBU "Hydrochemical Institute", Roshydromet, 2018, URL: https://gidrohim.com/sites/default/files/%D0%95%D0%B6%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%202017_0.pdf (accessed 28.06.2023).
 30. Quality of surface waters of the Russian Federation. Yearbook. 2018. FGBU "Hydrochemical Institute", Roshydromet, 2019, URL: https://gidrohim.com/sites/default/files/%D0%95%D0%B6%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%202018_3.pdf (accessed 28.06.2023 r.).
 31. Quality of surface waters of the Russian Federation. Yearbook. 2019. FGBU "Hydrochemical Institute", Roshydromet, 2020, URL: https://gidrohim.com/sites/default/files/%D0%95%D0%B6%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%202019_0.pdf (accessed 27.06.2023 r.).