

Белогуров В. П.,
Бакланова В. Ю.

ПРИМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Анализ теоретического обоснования, экспертного тестирования и практического применения коэффициента загрязненности (КЗ) подтвердил его пригодность для оценки состояния водных объектов. КЗ позволяет обобщенно (одним числом) оценить уровень загрязненности воды и может служить для выявления тенденций и заблаговременного обнаружения водоохранных проблем. КЗ рекомендуется использовать при гармонизации нормативных документов для решения трансграничных проблем.

Ключевые слова: загрязненность вод, индексы качества воды, состояние водных объектов, логистическая кривая.

1. Введение

Качество воды водных объектов является сложным многофакторным понятием, которое характеризуется совокупностью физических, гидрохимических и гидробиологических свойств и показателей, наличием загрязняющих веществ и уровнем загрязненности воды. Комплексное оценивание качества воды, его количественное «измерение» в баллах или классах, разработка необходимых для этого «измерителей» (рейтингов, индексов, индикаторов) является сложной и до конца еще не решенной задачей, что подтверждает актуальность исследований в данном направлении водоохранной науки и практики.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Разработке комплексных оценок качества воды (индексов качества воды — ИКВ, индикаторов — Water Quality Indices) посвящено большое количество работ. Первым известным исследованием по этой проблематике является работа [1], в название которой авторы включили слова 'do we dare' (мы решились), что свидетельствует о сложности проблемы. Многие другие работы отражены в сборниках [2–4]. Подход, предложенный в работе [1], был проверен на соответствие мнениям экспертов разных стран [5] и внедрен в нормативном документе США [6]. В УкрНИИ экологических проблем был предложен коэффициент загрязненности (КЗ) [7], который был одобрен в нормативном документе [8]. В России за основу принят «индекс загрязненности воды» (ИЗВ) [9].

Оценивание уровня загрязненности воды по разным методикам дает результаты, существенно отличающиеся друг от друга [10]. Однако решение трансграничных экологических проблем требует согласования подходов, применяемых в разных странах. Так, в программе экологического оздоровления бассейна р. Северский Донец гармонизации нормативных документов посвящен отдельный раздел работ [11]. В связи с этим актуальной является необходимость сравнительного анализа под-

ходов, представленных в документах [8, 9] и обоснование единого подхода к комплексной оценке уровня загрязненности воды, пригодного для решения трансграничных проблем.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — качество воды водных объектов.

Целью исследования является теоретическое обоснование подходов к комплексному оцениванию уровня загрязненности воды и сравнительный анализ двух комплексных показателей, представленных в документах [8] и [9].

Задачи исследования:

1. Теоретическое обоснование условий, которым должны удовлетворять комплексные оценки уровня загрязненности воды.
2. Экспертное тестирование и сравнение подходов на натуральных данных.
3. Анализ результатов практического применения.

4. Теоретические обоснования

В странах бывшего СССР охрана вод базируется на официально установленных нормах качества воды, которыми являются предельно допустимые концентрации (ПДК). Значения ПДК устанавливают границу, в пределах которой никакие изменения гидрохимических ингредиентов не оказывают негативного влияния. Превышение ПДК свидетельствует о наличии загрязнения воды, с увеличением содержания загрязняющих веществ выше ПДК уровень загрязненности воды увеличивается. При дальнейшем увеличении содержания загрязняющих веществ до уровня экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ) возможно появление чрезвычайной экологической и переход состояния водного объекта в зону экологического бедствия. Известно мнение ряда ученых о том, что изменение состояния экологических систем происходит по S-образной логистической кривой. Подбор ссылок и обоснований этого приведен в работе [12], из которой нами цитируется форма логистической кривой (рис. 1).

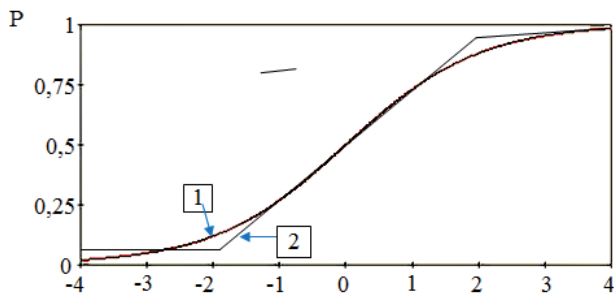


Рис. 1. Форма логистической кривой (1) и ее кусочно-линейная аппроксимация (2): ось абсцисс — шкала воздействий (нагрузок на экосистему), ось ординат — шкала влияния (отклика экосистемы)

Весь диапазон изменения концентраций удобно представить тремя участками: до ПДК (нормативное качество воды), от ПДК до ЭВЗ (участок загрязненности) и сверх ЭВЗ (чрезвычайные ситуации). Поскольку на участке до ПДК негативного влияния нет, его можно представить прямой, параллельной оси абсцисс. В формулах расчета КЗ отражен именно такой нелинейный подход, при котором значение КЗ не меняется и равно 1 в диапазоне изменения концентраций от 0 до ПДК, а далее изменяется пропорционально росту кратности превышения ПДК. Этот метод был рекомендован для практического применения в документе [13]. Следует заметить, что КЗ — единственный комплексный показатель, имеющий нелинейный (ломаный) характер изменения. ИЗВ является линейным и изменяется от 0 пропорционально росту концентраций. Отсюда следует, что даже теоретически он не может достаточно точно совпадать логистической кривой, особенно сильно отличаясь от нее в местах перегибов и, прежде всего, в районе ПДК. Другой вывод: КЗ можно рекомендовать для применения только в диапазоне от ПДК и до ЭВЗ.

Необходимо учитывать еще два принципиальных условия, повышающих эффективность оценки уровня загрязненности. Это — (1) вероятность превышения ПДК (доля всех измерений, в которых наблюдалось нарушение ПДК), а также (2) комплексность — количество ингредиентов, по которым наблюдались такие нарушения. В работе [14] была учтена вероятность превышений, а в утвержденной методике КЗ [3] все эти три показателя обобщены в формуле (1):

$$\gamma = 0,1 \sum_{i=1}^{10} \left(\frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^{N_{ij}} \gamma_{ijn} \right), \quad (1)$$

$$\gamma_{ijn} = \begin{cases} \frac{C_{ijn}}{\text{ГДК}_i}, & \text{если ПДК}_i \text{ наushено } (C_{ijn} > \text{ГДК}_i), \\ I, & \text{если ПДК}_i \text{ удовлетворяется } (C_{ijn} \leq \text{ГДК}_i), \end{cases}$$

где i , 10 — порядковый номер и общее количество контролируемых показателей; j , J — порядковый номер и общее количество пунктов (створов) наблюдений; n , N_{ij} — порядковый номер и общее количество измерений i -го показателя в j -м пункте (створе) за период времени, который анализируют (квартал, год и т. д.); N_i — общее число измерений i -го показателя во всех пунктах (створах) наблюдений; γ_{ijn} — кратность пре-

вышения ПДК при n -м измерении i -го показателя в j -м пункте (створе) наблюдений. Поскольку вклад (отличный от 1) в сумму вносят только нарушения, а делится он на общее число измерений, то этот подход позволяет учесть одновременно и частоту нарушений. При этом КЗ определяет не среднюю, а наиболее вероятную кратность превышения ПДК.

Значения КЗ рассчитываются всегда только для десяти показателей. В список включаются те показатели, которые в наибольшей мере превышают ПДК. В случае если число показателей, которые превышают ПДК, меньше десяти (например, 7), в формуле 1 значение величин γ_{ijn} для остальных показателей (например, для восьмого, девятого и десятого) принимается равным единице. Такой подход позволяет учитывать комплексность нарушения норм качества воды одновременно с расчетом кратности и вероятности превышения ПДК.

5. Вычислительные эксперименты, тестирование и практическое применение сравниваемых подходов

Методология сравнения комплексных оценок качества воды [15] предусматривает обязательное тестирование оценок экспертами. Для тестирования правильности индексов качества воды авторы работы [5] предложили специальный набор натуральных данных о качестве 20 проб воды и их рейтинговые оценки, сделанные большой группой экспертов из США, Англии и Бразилии (этот набор данных и оценок будем называть тестом Дайнингера). Проверка КЗ по тесту Дайнингера показала [16], что ранжирование проб по КЗ согласуется с мнением экспертов и, следовательно, КЗ может служить индикатором качества воды при интегральной оценке экологического состояния территорий.

Сравнение КЗ и ИЗВ по реальным данным Гидрометслужбы для набора 16 пар контрольных створов (выше и ниже источника загрязнения), выполненное в работе [15], подтвердило преимущество КЗ, который дал верные решения в 12 случаях из 16 (в четырех случаях значения КЗ для створов «выше» и «ниже» были практически одинаковыми). Применение ИЗВ для задачи ранжирования створов следует считать нецелесообразным, так как он дал для тех же 16 пар створов не только меньше верных ответов — 7, но и 2 неверных (в семи случаях по ИЗВ нельзя было определить приоритетность створов).

В работе [10] была проведена оценка качества воды для шестнадцати рек бассейна Днепра по индексу ИЗВ, рассчитанному по утвержденной методике [9]. Результаты показали, что из 16 рассмотренных рек 12 % принадлежит к очень чистым и 38 % — к чистым, т. е. по ИЗВ 50 % рек бассейна Днепра следует считать незагрязненными, что противоречит мнениям специалистов.

КЗ рекомендован для применения в Государственной системе мониторинга вод Украины [17]. Практическое применение КЗ показало пригодность этого комплексного показателя для решения ряда задач, связанных с получением интересной обобщающей информации о пространственном распределении уровней загрязненности по территории Украины ([18], рис. 1). КЗ позволяет выявлять тенденции, определять стратегию водоохранной деятельности по стране в целом и даже

определять «эффективность капиталовложений в охрану вод по конечному результату (то есть степени улучшения качества воды на 1 руб. затрат)» [19].

6. Выводы

1. Комплексные оценки уровня загрязненности воды должны соответствовать требованиям, описанным в разделе 4 «Теоретические обоснования».

2. Коэффициент загрязненности (КЗ) позволяет обобщенно (одним числом) оценить уровень загрязненности воды в диапазоне изменения концентраций от ПДК до ЭВЗ.

3. КЗ рекомендуется для представления информации об изменении качества воды в пространстве и времени, для выявления тенденций и заблаговременного обнаружения вероятных проблем в сфере охраны вод от загрязнения.

4. Сравнение КЗ и ИЗВ позволяет рекомендовать КЗ для гармонизации нормативных документов при решении трансграничных проблем.

Литература

- Brown, R. M. A water quality index — do we dare? [Text] / Robert M. Brown, Nina I. McClelland, Rolf A. Deininger, Ronald G. Tozer // Water and Sewage Works. — October 1970. — P. 339–343.
- Всесоюзная конференция «Оценка и классификация качества поверхностных вод для водопользования», Харьков, 3–4 окт. 1979 [Текст]: тезисы сообщений. — Харьков: ВНИИВО, 1979. — 199 с.
- Комплексные оценки качества поверхностных вод [Текст]. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — 150 с.
- Баканов, А. И. Количественные методы в экологии и гидробиологии (библиография, составленная А. И. Бакановым) [Электронный ресурс] / А. И. Баканов. — 2004. — Режим доступа: \www/URL: http://188.44.47.138/library/books/_pdf_rozenberg/5-1_literature.pdf
- Deininger, R. A. Water Quality Indices — A Comparison of Experts' opinions [Text] / R. A. Deininger, D. H. Newsome // Water Science and Technology. — 1984. — V. 16, № 5–7. — P. 499–510.
- Mitchell, M. K. Field manual for water quality monitoring [Text] / M. K. Mitchell, W. B. Stapp, K. Vixby. — Ed. 12. — 2000. — 266 p.
- Лозанский, В. Р. Обобщенный показатель для оценки загрязненности водных объектов [Текст]: тезисы сообщений / В. Р. Лозанский, В. П. Белогуров, С. А. Песина, Ю. П. Беличенко // Всесоюзная конференция «Оценка и классификация качества поверхностных вод для водопользования», Харьков, 3–4 окт. 1979. — Харьков: ВНИИВО, 1979. — С. 24–26.
- КНД 211.1.1.106-2003. Организация та здійснення спостережень за забрудненням поверхневих вод (в системі Мінекоресурсів) [Текст]. — Київ: Мінекоресурсів України, 2003. — 64 с.
- Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям [Текст]. — М., 1988. — 10 с.
- Коваленко, М. С. Оцінка лімітуючих забруднюючих речовин та виносу їх в Чорне море основними річками басейну Дніпра [Текст]: зб. наук. пр. / М. С. Коваленко // Проблеми охорони навколишнього природного середовища та техногенної безпеки. — Харків: УкрНДІЕП, 2001. — Вип. XXV. — С. 150–157.
- Подоба, Я. Г. Основные положения межрегиональной экологической программы по охране и использованию вод бассейна реки Северский Донец [Текст] / Я. Г. Подоба, А. М. Кирихин, В. П. Белогуров // Регион: проблемы и перспективы. Спец. выпуск '2003. Экологическая безопасность Северского Донца. — Харьков: ИД «ИНЖЭК», 2004. — С. 3–12.
- Белогуров, В. П. Разработка методологии интегрального оценивания экологического состояния территорий [Текст] / В. П. Белогуров // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2014. — № 5/10(71). — С. 51–56. doi:10.15587/1729-4061.2014.28173
- Рекомендации по применению обобщенного показателя для оценки уровня загрязненности природных вод — коэффициента загрязненности (КЗ) [Текст]. — Одобрены Главводоохраной Минводхоза СССР № 13-3-05/532 от 28.05.82. — Харьков: ВНИИВО, 1982. — 10 с.
- Лозанский, В. Р. Применение обобщенных показателей для оценки уровня загрязненности водных объектов [Текст] / В. Р. Лозанский, В. П. Белогуров, С. А. Песина // Комплексные оценки качества поверхностных вод. — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — С. 33–43.
- Львов, В. А. Методология сравнения комплексных показателей качества воды [Текст]: сб. науч. тр. ВНИИВО / В. А. Львов, В. И. Гурарий, В. П. Белогуров // Экономические, технические и организационные основы охраны вод. — Харьков: ВНИИВО, 1986. — С. 3–8.
- Белогуров, В. П. Анализ соответствия обобщенных оценок качества воды по коэффициенту загрязненности мнениям экспертов разных стран [Текст]: сб. науч. тр. ВНИИВО / В. П. Белогуров // Экономические, технические и организационные основы охраны вод. — Харьков: ВНИИВО, 1986. — С. 33–42.
- Єдине міжвідомче керівництво по організації та здійсненню державного моніторингу вод [Електронний ресурс]: Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України 24.12.2001 № 485. — Режим доступу: \www/URL: <http://www.uazakon.com/document/spart20/inx20611.htm>
- Білогуров, В. П. Моделювання фонові якості води для розрахунку нормативів скиду [Текст] / В. П. Білогуров, Г. А. Нагорна // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2011. — № 2/6(50). — С. 46–49. — Режим доступу: \www/URL: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/1809>
- Лозанский, В. Обобщенная оценка изменения качества речных вод в СССР [Текст] / В. Лозанский // Бюллетень по водному хозяйству. — Москва, 1986. — № 1. — С. 51–55.

ЗАСТОСУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАБРУДНЕНОСТІ ДЛЯ ОЦІНКИ СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Аналіз теоретичного обґрунтування, експертного тестування та практичного застосування коефіцієнта забрудненості (КЗ) підтвердив його придатність щодо оцінювання стану природних вод. КЗ дозволяє узагальнено (одним числом) оцінювати рівень забрудненості води і може служити для виявлення тенденцій та завчасного викриття водоохоронних проблем. КЗ рекомендується використовувати при гармонізації нормативних документів для вирішення трансграничних проблем.

Ключові слова: забрудненість вод, індекси якості води, стан водних об'єктів, логістична крива.

Белогуров Виктор Петрович, кандидат технических наук, доцент, Старооскольский геологоразведочный институт, Россия, e-mail: v.belogurov@gmail.com.

Бакланова Виктория Юрьевна, научный сотрудник, Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем, Харьков, Украина, e-mail: vu.pashenko@gmail.com.

Білогуров Віктор Петрович, кандидат технічних наук, доцент, Старооскольський геологорозвідувальний інститут, Росія, Бакланова Вікторія Юрїївна, науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут екологічних проблем, Харків, Україна.

Belogurov Victor, Sary Oskol Geological Prospecting Institute, Russia, e-mail: v.belogurov@gmail.com.

Baklanova Viktoriya, Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems, Kharkiv, Ukraine, e-mail: vu.pashenko@gmail.com