УДК 504.4.054
О. А. Проскурнин, канд. техн. наук, **С. А. Смирнова**
(УкрНИИЭП)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОНКОРДАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОГЛАСОВАННОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ СУЖДЕНИЙ ПРИ РАНЖИРОВАНИИ ПУНКТОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДНОГО ОБЪЕКТА

Приведен краткий анализ существующих подходов к оценке состояния водных объектов. Предложен метод совершенствования интегральных показателей качества воды путем ранжирования пунктов контроля по степени их значимости, а также механизм оценки согласованности экспертных суждений при присвоении весовых коэффициентов пунктам контроля.
Ключевые слова: *водный объект, качество воды, пункт контроля, экспертное суждение, коэффициент конкордации.*

Оценка состояния водного объекта (ВО) является одной из главных подзадач в системе управления природопользованием [1]. Водный объект — это сложная экосистема, и его состояние определяется состоянием различных составляющих данной системы — собственно воды, донных отложений, высшей водной растительности, водной фауны и т. д. Качество воды при этом является доминирующим фактором в общей оценке состояния ВО. Показатели качества воды могут быть различной степени сложности. От научной обоснованности показателей в конечном счете зависит эффективность решения водоохранных задач. Наиболее простыми являются показатели, по которым судят о какой-либо определенной характеристике воды. При исследовании химического состава воды это концентрации нормированных веществ. Более сложными являются комплексные и интегральные показатели. Комплексные показатели учитывают одновременное присутствие в воде различных загрязняющих веществ, а интегральные показатели учитывают качество воды в различных пунктах контроля (ПК). (Интегральными показателями, согласно сложившейся терминологии, называют также такие показатели как биохимическое и химическое потребление кислорода, которые характеризуют содержание в воде различных примесей, идентично влияющих на ее свойства. Данные показатели в настоящей работе

рассматриваться не будут и понятие «интегральный» будет трактоваться исключительно в пространственном понимании слова.)

Наиболее простой пример комплексных показателей — это сумма кратностей превышения предельно-допустимых концентраций (ПДК) для группы веществ, выбранной по определенному признаку. Более сложный подход — балльные оценки, при использовании которых для каждого загрязняющего вещества вводятся диапазоны, соответствующие мере опасности данных веществ для природной среды и человека. Наиболее значимой в этом направлении была разработка Методики экологической оценки качества поверхностных вод по соответствующим категориям [2]. Согласно данной методике, анализ качества воды осуществляется в два этапа. Вначале проводятся оценки отдельно по трем категориям (солевой состав, трофосапробиологические характеристики, содержание биологических и специфических веществ). Затем на основании этих оценок выводится комплексная оценка качества воды.

Положения данной методики впоследствии уточнялись. В частности, проводились исследования с целью учета региональных особенностей при установлении экологических нормативов и оценки качества воды [3].

Однако указанные подходы направлены на оценку качества воды в определенной точке и не содержат методический инструментарий, позволяющий делать вывод о состоянии ВО в целом (либо достаточно протяженной его части). В силу этого обстоятельства представляется актуальным использование интегральных показателей.

Целью данной статьи является анализ существующих подходов к интегральной оценке качества воды ВО и выработка предложений по их совершенствованию.

Методические положения по оценке состояния ВО на основе наблюдений в различных ПК разрабатывались в СССР в 80-х годах XX века. Один из вариантов интегрального показателя качества — коэффициент загрязненности (КЗ) — был разработан во ВНИИВО в 1982 г. [4]. Данный показатель рассчитывается по формулам:

$$I = \frac{1}{n \cdot K} \sum_{i}^{K} \left(\sum_{j}^{n} \frac{1}{V_{ij}} \sum_{v}^{V_{ij}} p_{ijv} \right), \qquad (1)$$

$$p_{ijv} = \begin{cases} C_{ijv} / ПДК_i, \text{ если } C_{ijv} > ПДК_i, \\ 1, \text{ если } C_{ijv} \le ПДК_i, \end{cases} \quad (2)$$

где K — количество рассматриваемых загрязняющих веществ; i, j, v — индексы соответственно вещества, пункта контроля и измерения; n — количество ПК; V_i — количество измерений i-го параметра, C_{ijv} — концентрация вещества.

Несколько позже в работе [5] был предложен показатель качества воды, учитывающий расстояния между ПК:

$$I = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^{J-1} p_j \cdot l_j, \quad (3)$$

где p_j — оценка качества воды (комплексная либо упрощенная) в j-м ПК; l_j — длина участка реки между j и (j+1) ПК; L — длина рассматриваемого участка реки.

Очевидно, что формула (3) представляет собой рассчитанное методом прямоугольников приближенное значение интеграла

$$I = \int_L p(l) dl. \quad (4)$$

Проведенный обзор литературы в поисках более поздних разработок в этом направлении результатов не дал.

Недостатком обоих подходов является равнозначность ПК. Однако требования к качеству воды не могут быть едиными на всем протяжении реки и должны зависеть от характера водопользования и антропогенной нагрузки. С учетом градации ПК интегральный показатель может быть записан следующим образом:

$$I = \sum_{j=1}^{n} w_j \cdot p_j, \quad (5)$$

где w_j — весовой коэффициент j-го ПК; n — количество ПК.

Действующее на сегодняшний день водоохранное законодательство не предусматривает ранжирования ПК по степени их важности. Поэтому для установления весовых коэффициентов можно воспользоваться экспертным заключением.

Если пункты контроля вдоль ВО установлены (выбор месторасположения ПК — отдельная задача, которая в настоящей статье не рассматривается), то результатом экспертизы должны стать весовые коэффициенты, характеризующие важность каждого ПК. Для этого

1. Соответствие качественных и количественных характеристик значительности ПК

Качественная характеристика значительности ПК	Количественная характеристика значительности ПК (ранг)
Наиболее важный	4
Очень важный	3
Важный	2
Не очень важный	1

назначается одна или несколько групп специалистов-экспертов, в задачу которых входит:

- интуитивно-логический анализ значимости каждого ПК с позиции близости населенного пункта, питьевого водозабора, организованных и неорганизованных зон отдыха, любительского рыболовства и т. д., а также с позиции интенсивности антропогенного загрязнения;
- назначение количественных показателей (рангов) значительности каждого ПК.

Количественные характеристики значительности могут назначаться по 4-балльной системе в соответствии с табл. 1.

Для дальнейших расчетов назначенные экспертами количественные характеристики (ранги) пересчитываются в весовые коэффициенты путем осреднения

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}}{m}, \tag{6}$$

где i — индекс ПК; m — количество экспертов.

После этого производится нормирование каждого

$$w_k = \frac{Z_k}{\sum_{i=1}^{n} Z_i}. \tag{7}$$

Оценка может считаться достаточно надежной только при условии хорошей согласованности суждений отдельных специалистов-экспертов. Одним из способов оценивания согласованности экспертов является использование коэффициента конкордации. Суть метода в общем виде заключается в следующем [6]. Пусть имеются n неких объектов, подлежащих ранжированию, и m экспертов. Каждый j-й

эксперт производит самостоятельно ранжирование объектов. В результате получается матрица рангов $\{x_{ij}\}$, где $x_{ij} \in \{1, \ldots, n\}$.

В том случае, если согласованность суждений «идеальна», т. е. все суждения совпадают, то

$$x_{i1} = x_{i2} = \ldots = x_{im},\ i = 1 \div n. \tag{8}$$

Если же ситуация противоположная, т. е. суждения абсолютно несогласованны, то для каждого объекта i значение x_{ij} — случайная дискретная равномерно распределенная величина в интервале от 1 до n с математическим ожиданием $(n + 1) / 2$.

Контрольной величиной при проверке гипотезы о согласованности экспертных суждений будет коэффициент конкордации [6, 7], равный:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2 \cdot \left(n^3 - n\right)}, \tag{9}$$

где S — величина, которая рассчитывается по формуле

$$S = \sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{j=1}^{m} x_{ij} - \frac{1}{2} m \cdot (n+1) \right)^2. \tag{10}$$

Значимость величины W при заданном уровне надежности p проверяется по χ^2-критерию [7].

Однако вышеописанный механизм оценки согласованности экспертных суждений предполагает, что каждому объекту присваивается свой уникальный ранг, т. е. количество объектов совпадает с количеством возможных рангов. Но при ранжировании ПК такое количество рангов является излишним. Если количество рангов равно R ($R < n$), то математическим ожиданием величины x_{ij} будет значение $(R + 1) / 2$, и величина S в этом случае будет равна

$$S = \sum_{i=1}^{n} \left(\sum_{j=1}^{m} x_{ij} - \frac{1}{2} m \cdot (R+1) \right)^2. \tag{11}$$

Окончательно для объективной проверки согласованности экспертных суждений выполняются следующие действия:

- рассчитывается эмпирическая величина по результатам экспертизы:

$$\chi^2_{эмп} = m \cdot (n-1) \cdot W; \tag{12}$$

- находится значение $\chi^2_{кр}$, равное квантили порядка p распределения χ^2 со степенью свободы $k = n - 1$;
- сравниваются значения $\chi^2_{эмр}$ и $\chi^2_{кр}$; если $\chi^2_{эмр} > \chi^2_{кр}$, то коэффициент конкордации W считается значимым, а суждение экспертов согласованным.

В случае, если суждение экспертов оказывается несогласованным, задача назначения весовых коэффициентов повторно ставится перед экспертами.

Таким образом, предлагаемый в статье способ оценки состояния ВО с учетом дифференциации ПК по степени их значимости является более информативным в сравнении с существующими подходами. Согласованность экспертных суждений может быть оценена статистическим методом с заданным уровнем надежности.

В качестве дальнейших исследований в данном направлении предполагается постановка и решение задачи по оптимальному размещению ПК.

1. Водный кодекс Украины. — К.: Издательский Дом «Ін Юре», 2004. — 138 с.
2. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк; відп. ред. В. Я. Шевчук. — К.: Символ-Т, 1998. — 28 с.
3. Мельникова Н. В. Застосування інтегральних показників оцінки якості поверхневих вод в управлінні станом водних об'єктів / Н. В. Мельникова // Эколого-правові та економічні аспекти техногенної безпеки регіонів : VII Міжнар. наук.-практ. конф. за участю молодих науковців та студентів, 17-19 жовт. 2012 р.: матер. конф. — Х.: ХНАДУ, 2012. — С. 143-145.
4. Рекомендации по применению обобщенного показателя для оценки уровня загрязненности природных вод — коэффициента загрязненности / ВНИИВО. — Харьков: ВНИИВО, 1982. — 8 с.
5. Шайн А. С. Интегральные оценки и их использование при долгосрочном прогнозировании качества воды рек / А. С. Шайн. — Л.: Гидрометиздат, 1984. — 152 с.
6. Орлов А. И. Прикладная статистика / А. И. Орлов. — М.: Экзамен, 2006. — 672 с.
7. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВТУЗов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. — М.: Наука, 1986. — 544 с.

Проскурнін О. А., Смірнова С. А. ВИКОРИСТАННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОНКОРДАЦІЇ ДЛЯ ОЦІНКИ УЗГОДЖЕНОСТІ ЕКСПЕРТНИХ СУДЖЕНЬ ПРИ РАНЖУВАННІ ПУНКТІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВОДИ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Наведено короткий аналіз існуючих підходів до оцінки стану водних об'єктів. Запропоновано метод вдосконалення інтегральних показників якості води шляхом ранжування пунктів контролю за ступенем їх значущості, а також механізм оцінки узгодженості експертних суджень для присвоєння вагових коефіцієнтів пунктам контролю.

Ключові слова: *водний об'єкт, якість води, пункт контролю, експертне судження, коефіцієнт конкордації.*

Proskurnin O. A., Smirnova S. A. USE FOR EVALUATION COEFFICIENT OF CONCORDANCE CONSISTENCY EXPERT JUDGMENT IN RANKING QUALITY CONTROL STATIONS, WATER BODIES

A brief analysis of existing approaches to the assessment of the status of water bodies. A method for improving integrated water quality by gradation control points according to their importance, as well as a mechanism for assessing the consistency of expert judgment when assigning a weighting coefficient control points.

Key words: *water body, water quality control point, expert judgment, coefficient of concordance.*