

УДК 004.65 : 519.6+556

**В. Б. Мокін**, д-р. техн. наук, проф.;  
**А. В. Камінський**, канд. техн. наук;  
**А. В. Сташук**;  
**А. Ф. Ткачук**

## ОПЕРАТИВНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ВПЛИВУ СКИДІВ СТИЧНИХ ТА ЗВОРОТНИХ ВОД НА СТАН ВОДНИХ РЕСУРСІВ БАСЕЙНУ ВЕЛИКОЇ РІЧКИ

*Запропоновано новий метод оперативного оцінювання та візуалізації впливу скидів стічних та зворотних вод на стан водних ресурсів басейну великої річки, який може застосовуватись у процесі прийняття рішень щодо вибору у першому наближенні пріоритетності фінансування природоохоронних заходів щодо покращення екологічної ситуації на річках заданого басейну. Метод оснований на експертних оцінках рівня цього впливу за трибальною шкалою, на запропонованій алгебрі обробки цих балів та використанні ГІС-технологій для візуалізації результатів цієї оцінки. Метод успішно апробовано для басейну р. Південний Буг.*

### 1. Постановка задачі

Загальновідомо, що під час прийняття рішень з управління водними ресурсами басейну річки слід враховувати антропогенний вплив на стан цих ресурсів. Для розрахунку впливу скиду стічних та зворотних вод (впливу спецводокористування) на стан вод у річках в Україні використовується спеціальна «Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами» [1]. Саме за результатами такого розрахунку видається чи не видається дозвіл на спецводокористування власнику скиду стічних чи зворотних вод. Однак, у практиці прийняття рішень з управління водними ресурсами басейну річки, коли слід комплексно оцінити фактичний вплив усіх спецводокористувачів на стан вод басейну, математичний апарат цієї інструкції, як правило, не використовується. Для таких задач частіше використовується «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [2], за якою, за даними екологічного моніторингу характеризується стан вод, що є наслідком у т. ч. і антропогенного впливу. Однак і ця інструкція, і ця методика вимагають значного обсягу даних та тривалої обробки в масштабі, наприклад, басейну р. Південний Буг. У звичайній практиці управління басейном великої річки більше використовуються оцінки експертів щодо суттєвості впливу того чи іншого скиду, а відповідно, і пріоритетності фінансування тих чи інших природоохоронних заходів (як правило, будівництва чи модернізації водоочисних споруд). Ситуацію ускладнюють групові скиди, коли на певній ділянці річки (як правило, у містах) мають місце одразу декілька потужних скидів забруднених вод. Крім того, вони ще можуть впливати на одні й ті самі показники якості води, наприклад, органічні, органолептичні тощо. Теоретично цей груповий вплив враховується під час розрахунку нормативів на ГДС кожного спецводокористувача, а тому, якщо усі підприємства не перевищують свій норматив, то якість води у річці не погіршується. Однак підприємства не завжди виконують вимоги нормативу на ГДС. Таким чином, актуальним є пошук методів обробки даних про спецводокористувачів, які можна було б застосовувати для оціночного (у першому наближенні) аналізу основних проблем із забрудненням басейну річки. Для ефективного використання результатів розрахунку важливо розробити і методику візуалізації цих результатів, але простішу запропонованої у методиці [3].

Отже, слід розробити метод оперативної обробки та візуалізації експертних оцінок рівня впливу групових скидів стічних та зворотних вод на ділянки водоток річкової мережі з урахуванням басейнового принципу.

## 2. Формалізація та розв'язання задачі

У світовій практиці для візуалізації рівня небезпеки використовується триколіорова система типу «світлофор», добре зрозуміла усім. Аналогічно пропонуємо будувати систему оцінювання забруднюючого впливу підприємств на стан вод річок на основі трибальної шкали:

«0» — відсутній відчутний забруднюючий вплив з боку спецводокористувача;

«1» — має місце забруднюючий вплив спецводокористувача або є вплив, менший гранично допустимих значень за усіма показниками;

«2» — є значний забруднюючий вплив спецводокористувача або є вплив, що дорівнює чи перевищує гранично допустимі значення.

Передбачається, що кожний експерт (фахівець з моніторингу чи водокористування підрозділів Мінекології, Держекоінспекції, Держводгоспу, МОЗ, комунальних підприємств, за винятком лабораторій підприємств-спецводокористувачів) дає оцінку рівня впливу окремого джерела забруднення на кожній ділянці нижче за течією від місця скиду.

Для формування та вибору меж ділянок, стан яких оцінюється експертами, пропонується використовувати такі реперні точки: 1) пости регулярної мережі моніторингу якості вод; 2) скиди значних, як для такого басейну річки, обсягів води; 3) місця впадіння приток, на яких розташовані скиди вод; 4) місця досить протяжних ділянок річки без скидів, значних приток та постів моніторингу, в яких має місце значне зменшення забруднень, що надійшли на початок цієї ділянки, внаслідок дії самоочисних процесів річки.

Для обробки експертних оцінок можна використати один з відомих методів, наприклад, математичний апарат теорії нечітких множин [4].

Очевидно, що в загальному випадку декілька проблемних об'єктів можуть впливати на одну і ту саму ділянку річки одночасно. Виходячи із вищенаведених означень оцінювання ступеня впливу проблемного об'єкта на басейн річки, під час визначення оцінки впливу декількох об'єктів на одну ділянку природно виходити із того, що оцінка «2» завжди переважає над оцінкою «1» та «0», а оцінка «1» переважає над оцінкою «0». Зокрема, якщо ступінь впливу хоча б одного об'єкта відповідає оцінці «2», то, незалежно від ступеня впливу всіх інших об'єктів ця ділянка річки є проблемною і вимагає першочергової уваги, що відповідає оцінці «2». Якщо ступінь впливу всіх об'єктів відповідає оцінці «0», то і результуюча оцінка для цієї ділянки річки буде такою самою, тобто «0».

В усіх інших випадках (немає об'єктів з оцінкою «2» і є, хоча б один, об'єкт з оцінкою «1») спільна ділянка річки буде мати оцінку «1».

Формалізуємо запропоновану систему оцінювання ступеня впливу проблемного об'єкта на басейн річки у вигляді алгебраїчної системи

$$(R = \{0; 1; 2\}, +), \quad (1)$$

де  $R$  — множина можливих експертних оцінок ступеню впливу проблемного об'єкта на басейн річки; «+» — бінарна операція над елементами множини  $R$ , яку можна подати у вигляді відображення  $f: R \times R \rightarrow R$ :

$$f(x, y) = \begin{cases} 2, & \text{if } x = 2 \vee y = 2; \\ 0, & \text{if } x = 0 \wedge y = 0; \\ 1, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2)$$

Назвемо бінарну операцію «+», задану відображенням  $f$ , операцією *накладання*.

Покажемо, що алгебраїчна система (1) є комутативним моноїдом [5]. Комутативний моноїд — це деяка множина  $S$  із заданою на ній бінарною операцією «\*», що задовольняє властивості асоціативності:

$$(a * b) * c = a * (b * c); \quad \forall a, b, c \in S, \quad (3)$$

наявності нейтрального елемента  $e$ :

$$\exists e \in S; \quad e * a = a * e = a; \quad \forall a \in S \quad (4)$$

та комутативності:

$$a * b = b * a, \quad \forall a, b \in S. \quad (5)$$

Доведемо, що алгебраїчна система (1) має нейтральний елемент і таким елементом є елемент «0». Перевіримо, чи виконується рівність  $e*a = a*e = a$  із (4) для кожного елемента множини  $R$  з урахуванням означення операції накладання (2):

$$0 + 0 = 0 + 0 = 0; \quad 0 + 1 = 1 + 0 = 1; \quad 0 + 2 = 2 + 0 = 2. \quad (6)$$

Оскільки вище наведені рівності виконуються, робимо висновок про те, що алгебраїчна система (1) відповідає властивості (4).

Доведемо, що алгебраїчна система (1) відповідає властивості комутативності (5). З урахуванням (2), очевидно, що такі рівності виконуються:

$$\begin{aligned} 2 + 2 &= 2 + 2 = 2; & 2 + 1 &= 1 + 2 = 2; & 2 + 0 &= 0 + 2 = 2; \\ 1 + 2 &= 2 + 1 = 2; & 1 + 1 &= 1 + 1 = 1; & 1 + 0 &= 1 + 0 = 1. \end{aligned}$$

Попередні рівності разом з рівностями (6) фактично є рівністю  $a*b = b*a$  із (5), записаною для усіх можливих пар елементів із множини  $R$ . Оскільки всі ці рівності виконуються, то алгебраїчна система (1) має властивість комутативності.

Наявність властивості асоціативності алгебраїчної системи (1) доводиться аналогічним чином — шляхом запису та перевірки рівності  $(a*b)*c = a*(b*c)$  із (3) для всіх можливих трійок елементів множини  $R$ .

Таким чином, доведено, що запропонована алгебраїчна система оцінювання ступеня впливу проблемного об'єкта на басейн річки (1) представляє собою комутативний моноїд. А це дає, у свою чергу, можливість коректно застосовувати запропоновану алгебраїчну систему (1), (2) для обробки трибальних оцінок впливу скидів стічних та зворотних вод на стан водних ресурсів ділянок басейну великої річки у разі накладання оцінок впливу різних скидів вод на одну й ту саму ділянку річки.

Для забезпечення ефективної візуалізації результатів оцінювання пропонуємо використати геоінформаційну систему басейну річки в одному із сучасних універсальних пакетів для роботи з ГІС (ArcGIS (США), MapInfo (США), ГІС «Карта» КБ Панорама (РФ) тощо [6]) та такий алгоритм:

1) сформувані зони у вигляді площинних об'єктів навколо річок басейну з такою шириною, щоб ці зони, зафарбовані тим чи іншим кольором, добре були помітні на карті, але, у той же час, зони розташованих поряд різних річок добре ідентифікувались;

2) розрізати зони на «ділянки» — окремі площинні об'єкти, які утворюються шляхом розсікання лінією об'єкта зони у реперних місцях;

3) присвоїти кожній зоні код та прив'язати до відповідного запису таблиці баз даних із результатами оцінювання;

4) налагодити можливість зміни кольору ділянок у залежності від значення певного їх атрибуту: «0» — «зелений», «1» — «жовтий», «2» — «червоний».

### 3. Апробація та впровадження результатів

Розроблений метод був апробований для басейну р. Південний Буг за даними Басейнового управління водними ресурсами річки Південний Буг. При цьому була використана розроблена у Вінницькому національному технічному університеті геоінформаційна система прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Південний Буг (далі — «ГІС Південного Бугу»), створена у форматі універсального пакету для роботи з ГІС «Карта 2005/2008» (КБ «Панорама», РФ, <http://gisinfo.ru>) [7].

Спеціалізоване програмне забезпечення, розроблене на основі веб-технологій, з урахуванням запропонованої формалізації системи експертного оцінювання впливу скидів стічних та зворотних вод (1), дозволяє:

— виконувати автоматичну побудову карти річкової мережі та зон біля них на основі просторових координат об'єктів, імпортованих із ГІС Південного Бугу, але програма може бути легко адаптована і для басейну іншої річки;

— наочно відображати на карті положення проблемних об'єктів уздовж русла річки;

— забезпечувати одночасний доступ багатьох користувачів через мережу Інтернет завдяки ви-

користанню веб-технологій;

— вводити та оперативно обробляти експертні оцінки згідно з прийнятими в (1) позначеннями для окремих ділянок річки, починаючи від місця розташування кожного спецводокористувача (рис. 1);

Редагування об'єкта

Ступінь впливу (наприклад, 221111000):

Примітка

Скасувати    Прийняти

Рис. 1. Завдання експертної оцінки ступеня впливу окремого джерела забруднення на ділянку річки нижче за течією від місця скиду

— виконувати автоматичну візуалізацію впливу кожного джерела забруднення на басейн річки (рис. 2) на основі заданих експертних оцінок з урахуванням можливих групових скидів (впливу декількох об'єктів на і ту саму ділянку річки) згідно з (1).



Рис. 2. Приклад візуалізації впливу декількох проблемних об'єктів № 7 та № 8 (позначено нумерованими квадратами) на ділянку частини басейну річки Південний Буг

Запропонований метод та створене програмне забезпечення може використовуватись у процесі прийняття рішень щодо вибору у першому наближенні пріоритетності фінансування природоохоронних заходів щодо покращення екологічної ситуації на річках заданого басейну. Після визначення пріоритетних регіонів та проблемних місць варто провести уточнене обстеження та аналіз з використанням методик [1—3] та ін.

#### 4. Висновки

Запропоновано новий метод оперативного оцінювання та візуалізації впливу скидів стічних та зворотних вод на стан водних ресурсів басейну великої річки, який може застосовуватись у процесі прийняття рішень щодо вибору у першому наближенні пріоритетності фінансування

природоохоронних заходів щодо покращення екологічної ситуації на річках заданого басейну. Метод оснований на експертних оцінках рівня цього впливу за трибальною шкалою, на запропонованій алгебрі обробки цих балів та використанні ГІС-технологій для візуалізації результатів цієї оцінки. Метод успішно апробовано для басейну р. Південний Буг.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами / Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. — Харків : УкрНЦОВ, ЮНИТЕП, 1994. — 80 с.
2. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / [В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк та ін.]. — К.: СИМВОЛ-Т, 1998. — 28 с.
3. Методика картографування екологічного стану поверхневих вод України за якістю води / [Л. Г. Руденко, В. П. Разов, В. М. Жукинський та ін.]. — К.: СИМВОЛ-Т, 1998. — 48 с.
4. Мокін В. Б. Новий підхід до ідентифікації параметрів малих річок по нечітких експертних оцінках / В. Б. Мокін // Вісник вінницького політехнічного інституту. — 2005.— № 4. — С. 34—41.
5. Кострикин А. И. Введение в алгебру. Основы алгебры : учеб. для вузов / А. И. Кострикин. — М. : Физматлит, 1994. — 320 с.
6. Мокін В. Б. Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми : моног. / Мокін В. Б., Боцула М. П. та ін.; під ред. В. Б. Мокіна. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. — 315 с.
7. Система прийняття управлінських рішень керівниками водогосподарських організацій для басейну річки Південний Буг з використанням геоінформаційних технологій: Звіт про НДР / [В. Б. Мокін, Є. М. Крижановський та ін.] / Вінницький національний технічний університет. — 2805; № ДР 0105U006684. — Інв. № 0206U006852. — К., 2006. — 99 с.

Рекомендована кафедрою моделювання та моніторингу складних систем

Стаття надійшла до редакції 22.02.11

Рекомендована до друку 24.02.11

**Мокін Віталій Борисович** — завідувач кафедри, **Камінський Андрій В'ячеславович** — доцент.

Кафедра моделювання та моніторингу складних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

**Шашук Андрій Васильович** — здобувач.

Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне;

**Ткачук Андрій Федорович** — інженер-програміст НВП «Спільна Справа», Вінниця