

УДК 502.51

Кирпичова І. В., к.б.н. (Луганський національний аграрний університет, м. Харків), **Дем'янова О. О., приватний підприємець** (м. Херсон), **Фурманець О. А., к.с.-г.н.** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ АНАЛІЗУ БАГАТОРІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

Проаналізовано стан річки Інгулець в Херсонській області в пункті контролю, що розташований поблизу селища Садове. Якість річкової води визначена за показниками хімічного споживання кисню (ХСК) та біохімічного споживання кисню (БСК-5). Була проведена статистична обробка даних натурних спостережень за період 2005–2012 рр. з використанням непараметричного методу статистики (методу Монте-Карло).

Ключові слова: річкова вода, якість води, хімічне споживання кисню, біохімічне споживання кисню, гранично допустима концентрація, випадкова величина, метод Монте-Карло.

Вступ. Водні ресурси річок півдня України є однією з головних скарбниць регіону. До будівництва системи каналів вони були основним джерелом водопостачання. У зв'язку з зростаючим антропогенним навантаженням на річкові басейни, особливо малих та середніх річок, окремої уваги заслуговує питання оцінки екологічного стану р. Інгулець. Це необхідно для вирішення задач прогнозування наслідків антропогенного впливу на стан водних ресурсів басейну річки Інгулець в межах Херсонської області. Основні антропогенні фактори, що негативно впливають на стан водних екосистем, це наявність потужних промислових комплексів, регулювання стоку річок водосховищами, забір води з місцевого стоку на господарсько-побутові, комунальні потреби та зрошення, а також перекачування дніпровських вод по каналам Дніпро-Кривий Ріг та Дніпро–Інгулець.

Особливо важливою екологічна оцінка стає в умовах спрямованості державної національної політики в галузі підвищення якості та ефективності управління водними ресурсами, необхідністю наукового обґрунтування проведення водогосподарських заходів щодо розробки подальшої стратегії використання водних ресурсів, оптимізації їх з метою екологічного оздоровлення річок басейну Дніпра. Вивчення водних ресурсів півдня України набуло особливої важливості в останні десятиріччя, коли став проявлятися вплив змін глобального клімату на водні ресурси країни, що знайшло своє відображення у постанові Кабінету

Міністрів України (№ 468 від 10.04.2006 р.), де відмічається необхідність проведення заходів щодо пом'якшення наслідків зміни клімату та забезпечення проведення досліджень, що пов'язані зі змінами водних ресурсів.

Впродовж останніх десятиліть через грубі порушення принципів раціонального природокористування екосистема басейну р. Інгулець деградує. Під впливом антропогенного навантаження відбулись негативні зміни гідроморфологічного стану басейну річки, що викликані широкомасштабною меліорацією, хімізацією сільського господарства, розорюванням заплавл, осушенням земель, розвитком промисловості та розбудовою міст, збільшенням скидів стічних вод тощо.

Головним джерелом забруднення річки Інгулець є скиди шахтних та кар'єрних вод гірничорудних підприємств Кривбасу. Завдяки погіршенню якості поверхневих вод річка втратила природну здатність до самоочищення та самовідновлення [1].

Початок систематичних спостережень за станом річок в Херсонській області відноситься до 1931 р. Гідрологічні пости відкривалися в першу чергу на річках Інгулець та Інгул. Останніми роками частина гідрологічних постів була закрита.

Планування водоохоронних заходів потребує вивчення коливань у часі характеристик річкової води, які викликані як суттєвими, так і великою кількістю малозначних факторів. Такі фактори неможливо спрогнозувати, тому доцільно їх розглядати як випадкові. Тоді розглянутий показник стану водного об'єкта також розглядається як випадкова величина. Відновивши закон розподілу цієї випадкової величини, можна, зокрема, розрахувати імовірність порушення встановлених нормативів якості поверхневих вод за розглянутим показником.

Проблема при цьому полягає в наступному. Якщо для статистичного аналізу взяти спостереження за тривалий період часу, то формально, з позиції математичної статистики, отримані параметри імовірного розподілу досліджуваної величини будуть достовірними. Однак з позиції гідрохімії вихідна вибірка не буде репрезентативною, оскільки неминучі зміни клімату, антропогенного навантаження та інших зовнішніх обставин не дозволяють віднести до єдиної генеральної сукупності дані спостережень за великий проміжок часу.

При розгляді невеликого періоду часу при відсутності істотних подій, що впливають на досліджувані характеристики води (наприклад, поява або зникнення значимого джерела забруднення), вибірка спостережень є репрезентативною. Однак її обсяг буде невеликим і використання традиційних методів статистичної обробки може призвести до недостовірного результату. Це пов'язано з тим, що традиційні методи припускають нормальний закон розподілу досліджуваних випадкових величин, а малий обсяг вибірки не дозволяє перевірити гіпотезу

про закон розподілу. Тому актуальним є використання непараметричних методів обробки інформації, які не вимагають інформації про закон і параметри розподілу досліджуваних випадкових величин.

Метою даної роботи є аналіз стану річки Інгулець із використанням непараметричних методів статистичної обробки даних.

Основна частина. Розрахунок був проведений за даними спостережень в пункті контролю, що розташований у с. Садове, за період 2005–2012 рр. з виключенням 2010 року. 2010 рік був виключений з розгляду як нехарактерний внаслідок надзвичайно високої температури повітря влітку. Були розглянуті два показника якості води – хімічне споживання кисню (ХСК) та біохімічне споживання кисню за п'ятиденний термін (БСК-5). Вибір означених показників пояснюється тим, що вони визначають кисневий режим річки, який є дуже значимим для стабільності екосистеми. Нормативи допустимих значень обох показників представлені гранично допустимими концентраціями (ГДК) споживання кисню в одиниці об'єму води. Для ХСК і БСК-5 значення ГДК комунально-побутової категорії водокористування дорівнюють відповідно 30 мг/дм³ та 4,51 мг/дм³ [2].

Вихідні дані для розрахунку наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Середньорічні дані по якості води р. Інгулець в районі с. Садове за показниками ХСК та БСК-5

Рік	ХСК	БСК-5	Рік	ХСК	БСК-5
2005	26,030	3,183	2009	39,077	4,133
2006	26,298	4,575	2011	46,220	6,800
2007	30,753	5,275	2012	46,220	6,800
2008	24,250	3,950			

Як непараметричний метод був використаний метод Монте-Карло для відновлення функції розподілу величини за відносно невеликою вибіркою даних [3; 4]. Центральним поняттям розробленого методу прогнозування є інтегральний показник – величина, що може бути визначена як

$$A = \int_{\Omega} a(\omega) d\omega,$$

де $a(\omega)$ – щільність розподілу показника A у заданій області Ω ($\omega \in \Omega$) об'єму $V(\Omega)$ деякого простору.

Методами математичного аналізу доведено можливість подання інтегрального показника у вигляді інтеграла по функції розподілу

$$A = V(\Omega) \int_0^1 a(w) dw,$$

де $a(w)$ – функція, зворотна до функції розподілу $w(a)$:

$$w(a) = \int_{a_{\min}}^a \rho(a) da,$$

де $\rho(a)$ – щільність розподілу величини a в області її змінювання $a_{\min} < a < a_{\max}$.

Встановлена закономірність дозволяє за вибіркою даних спостережень $\{a_i\}$ методом Монте-Карло за допомогою чисельного інтегрування робити оцінку інтегрального показника A через розподіл випадкової величини

$$A'(\{w_i\}) = \frac{V(\Omega)}{2} \sum_{i=1}^{N+1} (a_i + a_{i-1})(w_i - w_{i-1}),$$

де $\{w_i\}$, $i = 1 \div N$, – варіаційний ряд рівномірно розподілених випадкових чисел відрізка $[0, 1]$, $\{a_i\}$, $i = 0 \div N+1$, – варіаційний ряд вимірів; $a_0 = a_{\min}$, $a_{N+1} = a_{\max}$, $w_0 = 0$, $w_{N+1} = 1$.

Задаючи за допомогою генератора випадкових чисел велику кількість разів вибірки $\{w_i\}$, можна отримати розподіл величини A' , за яким оцінюється значення інтегрального показника, а також знаходиться довірчий інтервал $[A^-, A^+]$, якому належить дійсне значення інтегрального показника A із заданою імовірністю. За довірчим інтервалом $[A^-, A^+]$ перевіряється нульова гіпотеза – рівність нулю інтегрального показника A .

У випадку, коли інформація щодо параметрів a_{\min} і a_{\max} очікуваного розмаху вибірки відсутня, величини a_0 і a_{N+1} можуть бути прийняті рівними вибіркоvim мінімуму та максимуму по ряду $\{a_i\}$, тобто $a_0 = a_1$ і $a_{N+1} = a_N$.

У роботі показано, що математичне очікування і дисперсія оцінки інтегрального показника обчислюються в аналітичному вигляді за формулами:

$$MA = \frac{1}{N+1} \sum_{i=1}^{N+1} a_{i-1/2}, \quad DA' = \frac{1}{(N+1)(N+2)} \left(\left(\sum_{i=1}^{N+1} a_{i-1/2} \right)^2 + \sum_{i=1}^{N+1} a_{i-1/2}^2 \right),$$

де $a_{i-1/2} = (a_i + a_{i-1})/2$.

Однак розрахунок довірчого інтервалу потребує безпосереднього застосування методу Монте-Карло, оскільки розподіл величини A' є багатопараметричним і задача знаходження формули, що виражає щільність розподілу $\rho(A')$, є надмірно складною.

В табл. 2 наведені результати розрахунку параметрів імовірного розподілу величин ХСК та БСК-5, що розраховані за методом Монте-Карло.

Таблиця 2

Параметри розподілу величин ХСК та БСК-5

Показник	Математичне очікування	Дисперсія	Довірчий інтервал (95%)
ХСК	35	75,3	[29,4; 41,5]
БСК-5	5	1,6	[4,1; 5,8]

На рис. 1 та 2 наведені гістограми розподілу обох показників.

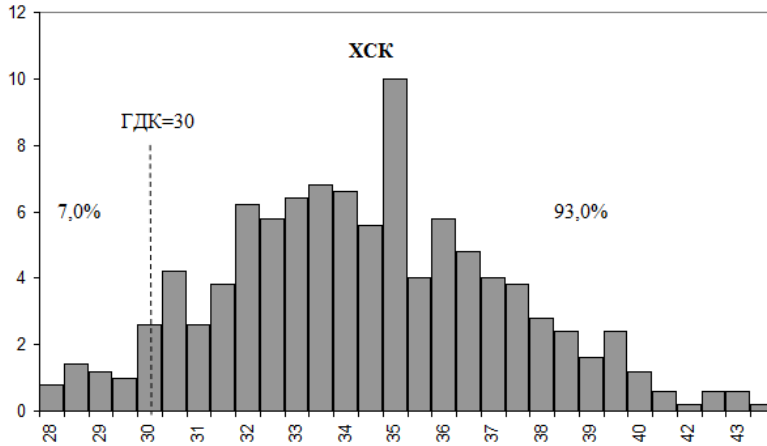


Рис. 1. Розподіл середньорічної величини ХСК в р. Інгулець

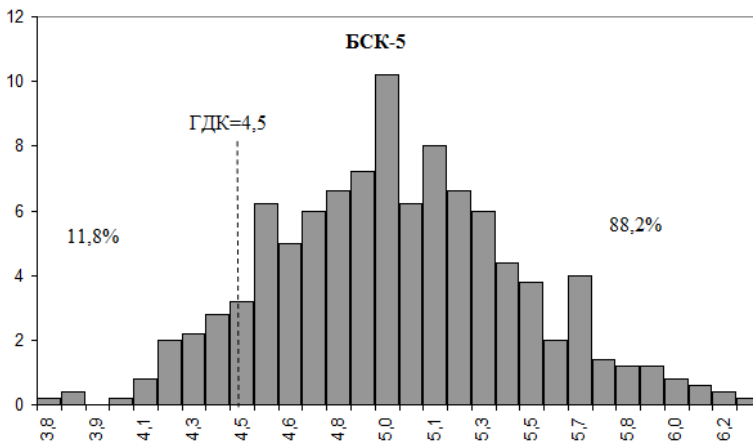


Рис. 2. Розподіл середньорічної величини БСК-5 в р. Інгулець

Згідно гістограм, імовірність неперевищення допустимих значень ХСК та БСК-5 в контрольному створі річки дорівнює відповідно 7,0% та 11,8%.

Висновок. Згідно результатів обробки даних натурних спостережень якості води р. Інгулець за показниками ХСК та БСК-5 має місце висока імовірність порушення допустимих норм. Це створює загрозу

надмірного зменшення розчиненого кисню у річковій воді, що зумовлює потребу в дослідженні джерел забруднення річки (зокрема контролю за дотриманням водокористувачами нормативів на скид забруднюючих речовин зі стічними водами).

Напрямок подальших досліджень є розгляд стану р. Інгулець за комплексними показниками якості води.

1. Дем'янова О. О. Новий підхід до оцінювання екологічного ризику погіршення стану басейну річки Інгулець в Херсонській області / О. О. Дем'янова, О. В. Рибалова // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2013 – № 1/6 (61) – С. 45–52.
2. Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення. СанПін N 4630-88. Додаток 2 / Мінздрав СРСР. – М., 1988. – 51 с.
3. Баранник В. А. Применение метода статистических испытаний в регрессионном анализе данных экологических исследований / В. А. Баранник, О. А. Проскурнин // Экологическая, техногенная безопасность и социальный прогресс: Вест. ХИСП, 2001. – Вып. 1. – С. 9–21.
4. Проскурнин О. А. Прогнозування впливу техногенного забруднення на довкілля методом непараметричного регресійного аналізу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / О. А. Проскурнин. — Харків, 2007. – 22 с.
5. Жукинский В. Н. Экологический риск и экологический ущерб качеству поверхностных вод: актуальность, терминология, количественная оценка / В. Н. Жукинский // Водные ресурсы. – 2003. – Т. 30, № 2. – С. 213–321.

Рецензент: д.с.-г.н., професор Вознюк С. Т. (НУВГП)

Kyrpychova I. V., Candidate of Biological Sciences (Luhansk National Agrarian University, Kharkiv), **Demianova O. O., Private Entrepreneur** (Kherson), **Furmanets O. A., Candidate of Agricultural Sciences** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

USING THE MONTE CARLO METHOD FOR ANALYSIS OF THE LONGTERM STUDIES OF SURFACE WATER

The state of the Inhulets river in Kherson region in the control station, located near the village gardens is analyzed. River water quality was considered based on the parameters of chemical oxygen demand (COD) and biochemical oxygen demand (BOD 5). Statistical processing of field data has been carried out for the period of 2005-2012 using non-parametric statistical method (Monte Carlo method). Statistical processing of field data has been carried out for the period of 2005-2012 using non-parametric statistical method (Monte Carlo method).

Keywords: river water, water quality, chemical oxygen demand, biochemical oxygen demand, the maximum allowable concentration, random variable, the Monte Carlo method.

Кирпичова И. В., к.б.н. (Луганский национальный аграрный университет, г. Харьков), **Демянова О. О., частный предприниматель** (г. Херсон), **Фурманец О. А., к.с.-х.н.** (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ АНАЛИЗА МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Проанализировано состояние реки Ингулец в Херсонской области в пункте контроля, расположенного вблизи села Садовое. Качество речной воды рассматривалось по показателям химическое потребление кислорода (ХПК) и биохимическое потребление кислорода (БПК-5). Была проведена статистическая обработка данных натурных наблюдений за период 2005–2012 гг. с использованием непараметрического метода статистики (метода Монте-Карло).

Ключевые слова: речная вода, качество воды, химическое потребление кислорода, биохимическое потребление кислорода, предельно допустимая концентрация, случайная величина, метод Монте-Карло.
