

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ НОРМ КРАЇН ЄС ПІД ЧАС ОЦІНКИ ЯКОСТІ ВОД І РОЗРАХУНКІВ ГДС ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН ЗІ СТІЧНИМИ ВОДАМИ

Аргіров Д.Г., Юрасов С.М.

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, 65016, м. Одеса

[argirovdenis8@gmail.com](mailto:argirovdenis8@gmail.com); [urasen54@gmail.com](mailto:urasen54@gmail.com)

У статті запропоновано методику розрахунку значень показників якості вод із заданою забезпеченістю, що дає змогу дотримуватися вимог норм країн ЄС під час оцінки якості вод за минулий період часу та під час нормування скидів забруднювальних речовин у майбутньому протягом прогнозного періоду.

Згідно з нормами країн ЄС водний об'єкт відповідає вимогам рибогосподарських норм у тому разі, коли за кожним показником кількість перевищень оптимального (постійного) нормативу становить не більше ніж 5 % від загальної кількості значень цього показника, використуваних під час оцінки якості вод; за санітарними нормами – 10 %. У вітчизняних нормах частота перевищень ГДК не нормована.

Ця умова повинна поширюватися й на контрольні створи під час розрахунків ГДС. Однак проблема полягає в тому, що оцінка фону за наявними методиками не дає змоги визначити, буде чи ні виконуватися вимога норм ЄС за частотою перевищення нормативів під час розрахованого ГДС, оскільки за фонове значення показника якості вод у деякому створі водотоку приймається верхня межа 95%-го довірчого інтервалу можливих середніх значень низки гідрохімічних спостережень для найбільш несприятливих умов. Імовірність несприятливих умов найчастіше невідома.

Поставлену проблему розв'язано на прикладі результатів спостережень за якістю вод р. Дунай – м. Вилкове за період із початку 2002-го по кінець 2017 рр. Під час статистичної обробки даних спостережень: за допомогою критерію  $3\sigma$  видалено результати спостережень, що мають грубі помилки; проаналізовано хронологічну мінливість показників якості вод і визначено параметри ліній тренду деяких із них; визначено параметри логнормального закону розподілу нормованих значень кожного показника, водночас тренд показників було усунуто; запропоновано формули розрахунку значень показників із заданою забезпеченістю для оцінки якості вод і прогнозу фонових значень показників під час розрахунків ГДС. Запропоновано забезпеченість значень показників прийняти з урахуванням досвіду країн ЄС (санітарні норми – 10 %, рибогосподарські – 5 %). *Ключові слова:* норми ЄС, показники якості вод, оцінка якості вод, розрахунок ГДС, забруднювальні речовини, логнормальний закон розподілу.

### Ensuring the requirements of EU standards in assessing water quality and calculations of GDS of pollutants with wastewater. Argirov D., Yurasov S.

The article proposes a method of calculating the values of water quality indicators with a given security, which allows to comply with the requirements of EU standards in assessing water quality for the past period and in the rationing of pollutant discharges in the future during the forecast period.

According to the norms of the EU countries, a water body meets the requirements of fishery standards in the case when for each indicator the number of exceedances of the optimal (permanent) standard is not more than 5 % of the total values of this indicator used in water quality assessment; according to sanitary norms – 10 %. In domestic standards, the frequency of exceedances of the MPC is not standardized.

This condition should apply to control devices in the calculation of GDS. However, the problem is that the assessment of the background according to existing methods does not allow to determine whether or not the requirement of EU norms on the frequency of exceeding standards will be met in the calculated GDS. Because, the upper limit of the 95 % confidence interval of possible average values of a number of hydrochemical observations for the most unfavorable conditions is taken as the background value of the water quality indicator in some part of the watercourse. The probability of adverse conditions is often unknown.

The problem is solved on the example of the results of observations on the quality of waters of the Danube – Vilkove for the period from the beginning of 2002 to the end of 2017. In the statistical processing of observations: using the criterion  $3\sigma$  removed the results of observations with gross errors; the chronological variability of water quality indicators is analyzed and the parameters of trend lines of some of them are determined; the parameters of the lognormal law of distribution of normalized values of each indicator are determined, and the trend of indicators has been eliminated; proposed formulas for calculating the values of indicators with a given security for assessing water quality and forecasting the background values of indicators in the calculation of GDS. It is proposed to ensure the provision of indicators based on the experience of EU countries (sanitary norms – 10 %, fisheries – 5 %). *Key words:* EU norms, water quality indicators, water quality assessment, MPD calculation, pollutants, lognormal distribution law.

**Постановка проблеми.** Оцінка якості вод і нормування скидів забруднювальних речовин зі стічними водами у водні об'єкти є важливими екологічними завданнями. Розрахунок гранично допустимих скидів забруднювальних речовин (ГДС) [1, с. 79] передбачає оцінку якості вод у контроль-

ному створі водного об'єкта з урахуванням його фонового стану.

Відповідно до норм країн ЄС оцінка якості вод виконується шляхом аналізу частоти перевищення нормативів за показниками якості [2]: водний об'єкт рибогосподарського призначення відповідає вимогам норм, якщо за кожним показником кількість перевищень оптимального (постійного) нормативу становить не більше ніж 5 % від загальної кількості значень цього показника, використовуваних під час оцінки якості вод; за санітарними нормами – 10 %. Це означає, що за аналізований період часу за кожним показником лише в 5 або 10 випадках зі 100 допустиме перевищення постійно чинного нормативу. У вітчизняних нормах частота перевищень ГДК не нормована.

Ця умова повинна поширюватися й на контрольні створи під час розрахунків ГДС. Однак проблема полягає в тому, що оцінка фону за наявними методиками [3] не дає змоги визначити, буде чи ні виконуватися вимога норм ЄС за частотою перевищення нормативів під час розрахованого ГДС, оскільки за фонове значення показника якості вод у деякому створі водотоку приймається верхня межа 95%-го довірчого інтервалу можливих середніх значень низки гідрохімічних спостережень для найбільш несприятливих умов [3]. Ймовірність несприятливих умов найчастіше невідома.

Прагнення України до вступу в ЄС зобов'язує її привести державне законодавство (зокрема, природоохоронне) у відповідність до законодавства країн ЄС. Це положення робить вдосконалення методик оцінки якості вод і розрахунків ГДС актуальними нині завданнями.

**Мета дослідження** – запропонувати методику розрахунку значень показників якості вод із заданою забезпеченістю за минулий і прогнозний періоди часу.

**Завдання дослідження:** на прикладі р. Дунай – м. Вилкове визначити параметри законів розподілу показників якості вод; проаналізувати хронологічну мінливість показників якості вод і апроксимувати їхні тренди; розробити методику розрахунку значень показників якості вод із заданою забезпеченістю для оцінки якості вод відповідно до норм країн ЄС за деякий минулий період часу, а також для визначення фонових значень цих показників під час розрахунків ГДС для виконання вимог норм країн ЄС в майбутньому протягом прогнозного періоду часу.

**Наукова новизна дослідження** полягає: у запропонованні методики розрахунку значень показників якості вод із заданою забезпеченістю за минулий і прогнозний періоди часу; у використанні значень показників із заданою забезпеченістю під час оцінки якості вод і як фон під час розрахунків ГДС.

Огляд сучасної технічної літератури показав, що запропонований авторами підхід до оцінки якості вод і визначення фонових значень концентрації

забруднювальних речовин під час нормування їх скидів зі стічними водами нині відсутній. Дослідження останніх років, пов'язані з нормуванням скидів ЗВ у водні об'єкти, були спрямовані на вдосконалення методики розрахунків у частині пошуку оптимальних рішень, наприклад [4; 5].

Розв'яжемо це завдання на прикладі річки Дунай, використовуючи результати термінових спостережень за 2002–2017 рр. у районі м. Вилкове.

Спочатку результати спостережень за якістю вод було проаналізовано на наявність грубих помилок за допомогою критерію  $3\sigma$ .

Відомо, якщо випадкова величина  $C$  має нормальний закон розподілу, то в інтервал  $C_{CEP} \pm 3\sigma$  потрапляє приблизно 99,7 % всіх її значень. Отже, межі інтервалу мають ймовірність 0,15 % і 99,85 %. Розрахункові значення випадкової величини з такою ймовірністю ( $C_{0,15\%}$  і  $C_{99,85\%}$ ) є межами довірчого інтервалу. Під час розрахунку  $C_{0,15\%}$  і  $C_{99,85\%}$  значення, що розглядаються, потрібно вилучити з ряду, а потім перевірити, потрапили чи ні ці значення в розрахований інтервал.

Якщо значення випадкової величини виходять за межі довірчого інтервалу (мінімальні менші за нижню межу  $C_{0,15\%}$ , а максимальні більші, ніж верхня межа  $C_{99,85\%}$ ), то з ймовірністю 99,7 % їх можна вважати помилковими (такими, що мають грубі помилки) і вилучити з подальшої статистичної обробки.

Усього із 29 показників якості вод у 16 було вилучено по декілька значень.

Для апроксимації розподілу показників якості вод було обрано логнормальний закон [6]. У табл. 1 наведено параметри законів розподілу нормованих значень усіх розглядуваних показників, тут  $C_{BP}$  – середнє багаторічне значення показника;  $\bar{C}_{BP}$  і  $\bar{G}_{BP}$  – параметри багаторічного розподілу (середнє і середньоквадратичне відхилення логарифмів нормованих (по  $C_{BP}$ ) рядів показників якості вод).

Хронологічна мінливість деяких показників якості вод може мати негативний або позитивний тренд. У Дунаї негативний тренд спостерігався за 7 показниками (сульфати, амоній,  $BCK_{20}$ , нітрати, синтетичні поверхнево активні речовини, мідь і цинк). Останні показники або не мали тренду, або він був незначним.

Тренд показників (рис. 1а) апроксимовано експоненційною залежністю:

$$C_{Tn} = b \exp(an), \quad (1)$$

де:  $C_{Tn}$  – значення функції тренду в  $n$ -й момент часу;  $n$  – порядковий номер моменту часу (порядковий номер місяця);  $b$  – значення функції тренду в початковий момент часу ( $n=0$ );  $a$  – параметр експоненційної залежності.

Для показників із хронологічним трендом під час визначення параметрів законів розподілу тренд було усунуто (рис. 1б) шляхом ділення значення показ-

**Параметри багаторічного розподілу  
нормованих значень показників якості вод р. Дунай – м. Вилкове**

| <b>n</b> | <b>Показник</b>      | <b><math>C_{БР}</math>, мг/дм<sup>3</sup></b> | <b><math>\check{C}_{БР}</math></b> | <b><math>\check{G}_{БР}</math></b> |
|----------|----------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|
| 1        | $HCO_3^-$            | 178,8   | -0,007268                          | 0,1215                             |
| 2        | $K^+ + Na^+$         | 20,24   | -0,03929                           | 0,2856                             |
| 3        | $Ca^{2+}$            | 52,33   | -0,009119                          | 0,1369                             |
| 4        | $Mg^{2+}$            | 13,77   | -0,01326                           | 0,1617                             |
| 5        | $SO_4^{2-}$          | 36,92   | -0,01223                           | 0,1568                             |
| 6        | Сух. зал.            | 288,7   | -0,007500                          | 0,1224                             |
| 7        | Cl <sup>-</sup>      | 28,54   | -0,01804                           | 0,1895                             |
| 8        | Мінер.               | 334,0   | -0,006840                          | 0,1174                             |
| 9        | pH                   | 8,043   | -0,0001907                         | 0,0196                             |
| 10       | $NH_4^+$             | 0,1575  | -0,2763                            | 0,7420                             |
| 11       | БСК <sub>20</sub>    | 3,875   | -0,1093                            | 0,4703                             |
| 12       | Si                   | 3,453   | -0,04919                           | 0,3268                             |
| 13       | $NO_3^-$             | 5,809   | -0,05530                           | 0,3405                             |
| 14       | $NO_2^-$             | 0,07086                                       | -0,1734                            | 0,6087                             |
| 15       | Перм.ок.             | 3,643   | -0,01991                           | 0,1964                             |
| 16       | Расч. O <sub>2</sub> | 9,300   | -0,02015                           | 0,2021                             |
| 17       | Фосфати              | 0,1476  | -0,05814                           | 0,3529                             |
| 18       | P(заг.)              | 0,06672                                       | -0,05605                           | 0,3418                             |
| 19       | ХСК                  | 17,16   | -0,03571                           | 0,2703                             |
| 20       | СПАР                 | 0,02972                                       | -0,2233                            | 0,6827                             |
| 21       | Fe                   | 0,06537                                       | -0,2933                            | 0,7634                             |
| 22       | Mn                   | 0,04948                                       | -0,2669                            | 0,7697                             |
| 23       | Cu                   | 0,002581                                      | -0,1186                            | 0,4949                             |
| 24       | НП                   | 0,01801                                       | -0,1148                            | 0,4772                             |
| 25       | Феноли               | 0,001421                                      | -0,09338                           | 0,4041                             |
| 26       | $Cr^{3+}$            | 0,001816                                      | -0,1365                            | 0,5107                             |
| 27       | $Cr^{6+}$            | 0,001740                                      | -0,1129                            | 0,4662                             |
| 28       | Cr(заг.)             | 0,003104                                      | -0,09551                           | 0,4684                             |
| 29       | Zn                   | 0,01655                                       | -0,2881                            | 0,7818                             |

ника ( $C_n$ ) в момент часу  $n$  на значення лінії тренду ( $C_{Tn}$ ) в цей же момент часу:

$$C_{yTn} = C_n / C_{Tn}, \quad (2)$$

де  $C_{yTn}$  – нормовані значення показників з усуненим трендом.

У табл. 2 наведено параметри ліній тренду показників і параметри законів їх розподілу, тут  $C_{OP}$  – середнє значення показника за два останні роки періоду спостережень;  $b_K$  – значення функції тренду наприкінці періоду спостережень;  $a$  – параметр лінії тренду;  $\check{C}_{yT}$  і  $\check{G}_{yT}$  – параметри багаторічного розподілу нормованих значень показників з усуненим трендом.

Табл. 1 використовується для оцінки якості вод за минулий період спостережень за всіма показниками та для прогнозу значень показників без хронологіч-

ного тренду, табл. 2 – для прогнозу значень показників із хронологічним трендом.

Розрахунок значення показника ( $C_{Fi}$ ) із забезпеченістю  $F$  за минулий період часу (для оцінки якості вод) виконується за формулою (3):

$$C_{Fi} = C_{Bri} * \text{ЛОГНОРМОБР}(1-F; \check{C}_{Bri}; \check{G}_{Bri}), \quad (3)$$

де:  $C_{Bri}$  – середнє багаторічне значення показника (табл. 1); ЛОГНОРМОБР() – оператор у табличному редакторі Excel;  $\check{C}_{Bri}$  і  $\check{G}_{Bri}$  – параметри логнормального розподілу значень показника (табл. 1).

Якщо  $C_{Fi}$  більше за норматив, вимоги норм не виконуються.

Під час прогнозу фонового значення показника, що не має тренду, розрахунок виконується за формулою (3). За наявності тренду – за формулою (4):

$$C_{Fi} = b_k * \exp(an) * \text{ЛОГНОРМОБР}(1-F; \check{C}_{yTi}; \check{G}_{yTi}), \quad (4)$$

де:  $b_k$  – значення функції тренду наприкінці періоду спостережень;  $a$  – параметр лінії тренду (табл. 2);  $n$  – розрахунковий момент часу, під час негативного тренду це початок прогнозного періоду, під час позитивного – кінець прогнозного періоду;  $\check{C}_{yTi}$  і  $\check{G}_{yTi}$  – параметри логнормального розподілу значень показника під час усуненого тренду (табл. 2).

Параметр  $b_k$  можна прийняти рівним середньому значенню показника за останній рік (або 2 роки) періоду спостережень ( $C_{OP}$ ).

Приклад розрахунку. Розрахувати значення показника  $SO_4^{2-}$  із забезпеченістю 5 % на період 2 роки (з 2020 по 2021 рр.).

Вихідні дані: оскільки показник сульфатів має негативний тренд, то розрахунковим є початок прогнозного періоду, тобто  $n=2*12=24$ ; за табл. 2 при-

ймаємо  $C_{OP}=34,27$ ;  $a=-0,000639$ ;  $\check{C}_{yT}=-0,0008436$ ;  $\check{G}_{yT}=0,1527$ .

Значення показника розраховується за формулою (4):

$$\begin{aligned} C_{5\%} &= C_{OPi} * \exp(an) * \text{ЛОГНОРМОБР}(1-F; \check{C}_{yTi}; \check{G}_{yTi}) = \\ &= 34,27 * \exp(-0,000639*24) * \\ & * \text{ЛОГНОРМОБР}(1-0,05; -0,0008436; 0,1527) = \\ &= 34,27 * 0,9848 * 1,286 = 43,41 \approx 43,4 \text{ (мг/дм}^3\text{)}. \end{aligned}$$

У минулий період (з 2002 по 2017 рр.) значення показника за формулою (1) дорівнювало (вихідні дані з табл. 1):

$$\begin{aligned} C_{5\%} &= C_{BPi} * \text{ЛОГНОРМОБР}(1-F; \check{C}_{BPi}; \check{G}_{BPi}) = \\ &= 36,92 * \text{ЛОГНОРМОБР}(1-0,05; -0,01223; 0,1568) = \\ &= 47,2 \text{ (мг/дм}^3\text{)}. \end{aligned}$$

Значення показника у прогнозний період дорівнює  $43,2 \text{ мг/дм}^3$ , у минулий період значення було

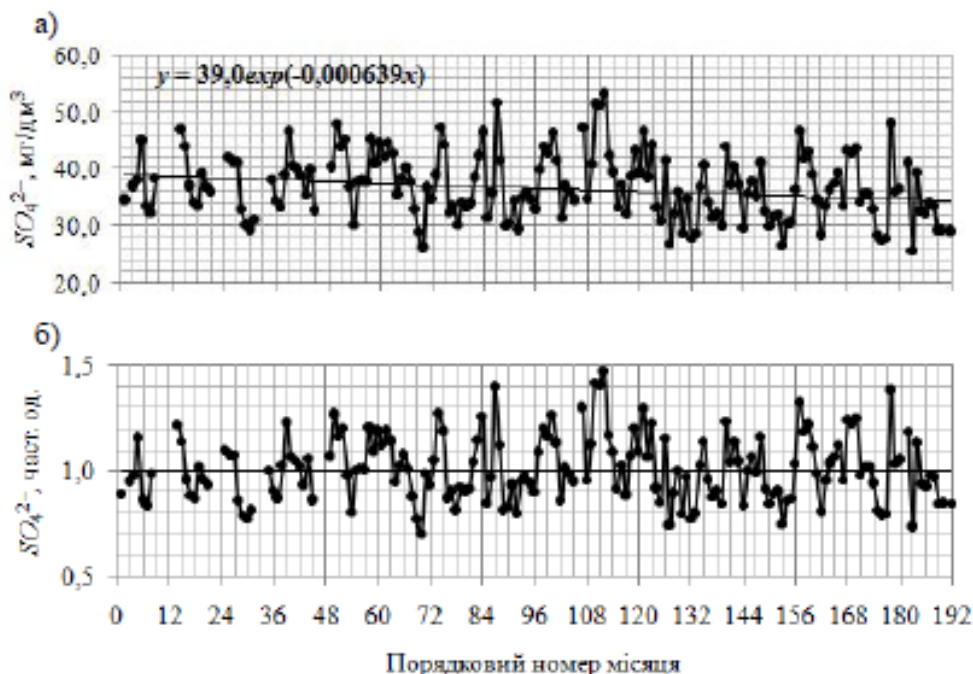


Рис. 1. Хронологічна мінливість сульфатів р. Дунай – м. Вилкове (а – за наявності тренду; б – за усуненого тренду)

Таблиця 2

Параметри лінії тренду і розподілу нормованих значень показників якості вод під час усуненого тренду

| n  | Показник                      | C <sub>OP</sub><br>мг/дм <sup>3</sup> | Параметри лінії тренду              |           | Параметри логнормального розподілу |                 |
|----|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------------|
|    |                               |                                       | b <sub>k</sub> , мг/дм <sup>3</sup> | a         | Ĉ <sub>yT</sub>                    | Ĝ <sub>yT</sub> |
| 5  | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 34,27                                 | 34,50                               | -0,000639 | -0,0008436                         | 0,1527          |
| 10 | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 0,06759                               | 0,06913                             | -0,00591  | 0,002172                           | 0,6686          |
| 11 | BCK <sub>20</sub>             | 3,345                                 | 2,662                               | -0,00306  | 0,0007096                          | 0,4405          |
| 13 | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 5,246                                 | 4,920                               | -0,00137  | 0,0005994                          | 0,3364          |
| 20 | СПАР                          | 0,01518                               | 0,01087                             | -0,0110   | 0,006205                           | 0,5169          |
| 23 | Cu                            | 0,002533                              | 0,001665                            | -0,00353  | -0,001071                          | 0,4615          |
| 29 | Zn                            | 0,007000                              | 0,008772                            | -0,00424  | 0,001126                           | 0,7565          |

47,2 мг/дм<sup>3</sup>. Ці значення не дуже відрізняються, тому що в  $SO_4^{2-}$  слабкий негативний тренд.

Для розрахунків із запасом прогноз значення показника можна зробити з використанням  $C_{OP}$  і  $b_K$ , а для подальших розрахунків прийняти максимальне значення.

**Висновки.** За результатами досліджень можна зробити такі висновки:

1. Запропонована методика дає змогу визначити значення показників якості вод для деякого розрахункового періоду із заданою забезпеченістю під час оцінки якості вод і для прогнозування фонових значень концентрації забруднювальних речовин під час нормування їх скидів зі стічними водами.

2. Під час оцінки якості вод за санітарними нормами забезпеченість значень показників, спираючись на досвід країн ЄС, може бути прийнятою на рівні 10 %, у такому разі оцінка якості вод відповідатиме вимогам європейських норм. Для оцінки за рибогосподарськими нормами – 5 %.

3. Результати дослідження можуть використовуватися під час прогнозування фонових значень концентрації забруднювальних речовин із забезпеченістю на рівні європейських норм, що дасть змогу під час нормування їх скидів дотриматися вимог цих норм у наступний період.

4. Подальші дослідження потрібно спрямувати на обґрунтування забезпеченості значень показників якості вод і вдосконалення методики їх прогнозу.

### Література

1. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами / Міністерство охорони навколишнього природного середовища; наказ № 116 від 15.12.1994 р. 79 с.
2. Матеріали семінару «Основи природоохоронного законодавства України та Європейського співтовариства: водні ресурси». Київ : Державний інститут підвищення кваліфікації та перепідготовки кадрів Мінекобезпеки України. Травень 1997 р.
3. РД 52.24.622-2001 Методические указания. Проведение расчётов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. Санкт-Петербург, 2001. 64 с.
4. Проскурин О.А. Оптимизационный подход к ограничению содержания веществ, нормируемых по лимитирующим признакам вредности, в сточных водах. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки* : зб. наук. пр. УкрНДЦЕП. Харків : ВД «Рейдер», 2010. № 32. С. 162–173.
5. Проскурин О.А. Нормирование сброса в водный объект последовательно трансформирующихся веществ со сточными водами для случая неполного разбавления. *Комунальне господарство міст* : науково-технічний збірник. Харків, 2012. № 103. С. 211–217.
6. Юрасов С.Н., Алексеенко Е.А. Апроксимація законів розподілу показників якості вод на прикладі річки Дністер – місто Біляївка. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології* : науковий журнал Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Харків, 2014. № 3–4. С. 46-51.