

УДК 504.75:628.3.033

О.О. Дмитрієва<sup>1</sup>, О.О. Тертичний<sup>2</sup>, І.В. Хоренжая<sup>3</sup><sup>1</sup> Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», Харків<sup>2</sup> Харківський інститут фінансів Київського національного торговельно-економічного університету, Харків<sup>3</sup> Секретаріат Комітету Верховної ради України з питань екологічної політики, природокористування та ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи, Київ

## ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГО-СОЦІАЛЬНОГО ЕФЕКТУ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ВОДОВІДВЕДЕННЯ В НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ УКРАЇНИ

Запропоновано методику оцінювання еколого-соціального ефекту впровадження екологічно безпечної системи водовідведення (ЕБСВ). Оцінка базується на зменшенні ступеня небезпеки проявів симптомів захворювання людей при їх купанні в акваторії в залежності від вмісту бактерій кишкової палички (*E. Coli*) внаслідок впровадження ЕБСВ. Бактерії групи кишкової палички потрапляють у водний об'єкт внаслідок змиву з території поверхневими стічними водами, при скиданні неочищених дренажних вод та внаслідок аварійних ситуацій на каналізаційних мережах.

**Ключові слова:** екологічно безпечна система водовідведення, еколого-соціальний ефект, захворюваність населення, бактерії групи кишкової палички.

### Постановка проблеми

На сьогодні екологічний стан поверхневих вод України цілком можна охарактеризувати як незадовільний. За оцінкою, виконаною згідно [1], майже всі річкові басейни оцінюються як погані (IV клас) або дуже погані (V клас). Причиною значного дефіциту водних ресурсів України є не тільки їх кількісна обмеженість, але і якісне виснаження внаслідок складної водогосподарської діяльності на більшості водних об'єктів країни.

Однією з основних причин погіршення якісного стану водних ресурсів є скид недостатньо очищених та неочищених поверхневих стічних вод з території населених пунктів. До складу цих вод входять завислі речовини, нафтопродукти, органічні речовини, цим водам притаманне також суттєве мікробіальне забруднення. Для запобігання потрапляння у водні об'єкти неочищених та недостатньо очищених стічних вод з території населених пунктів необхідно впроваджувати екологічно безпечну систему водовідведення (ЕБСВ). Ця система водовідведення надає змогу відвертати порушення вимог водного законодавства щодо відведення у поверхневі водні об'єкти стічних вод усіх видів від населених пунктів або господарських об'єктів.

При проектуванні заходів щодо впровадження ЕБСВ для конкретного населеного пункту необхідно проводити еколого-соціальну оцінку їх ефективності.

У статті розглядається спосіб оцінювання еколого-соціального ефекту впливу водного фактору на умови життєдіяльності населення шляхом розрахун-

ку ступеня небезпеки проявів симптомів захворюваності мешканців в населених пунктах при рекреаційному користуванні водними об'єктами, які піддаються додатковому мікробіальному забрудненню.

Господарсько-побутові та виробничі стічні води після біологічних очисних споруд відводяться у водотоки або водосховища нижче за течією за межі зон рекреації населених пунктів, а у приморських населених пунктах відводяться у море на достатньо велику відстань за допомогою відвідних колекторів. Крім того, після біологічної очистки та обеззаражування рівень вмісту мікробіальної складової стічних вод суттєво знижується і вплив очищених стічних вод на зони рекреації можна не враховувати.

Переважна частина поверхневих стічних вод з території населених пунктів скидаються у водні об'єкти без очищення. Потрапляння цих вод у зони рекреації призводить до зростання ризику захворюваності населення, що користується цими водоймами.

Ступінь небезпеки проявів симптомів захворюваності населення запропоновано оцінювати за вмістом бактерій групи кишкової палички – бактерій *Esherichia Coli* (*E. Coli*) у воді у зоні рекреації.

Вибір бактерій *E. Coli* як основного показника для оцінки мікробіального забруднення обумовлений тим, що цей показник є достатньо надійним індикатором бактеріального забруднення водних об'єктів. Для цього показника мікробіального забруднення проведено широкі дослідження щодо його накопичення на поверхні населених пунктів, у стічних та дренажних водах. Для кишкової палички проведені чисельні дослідження щодо зв'язку між їх

концентраціями у водних об'єктах та кількістю проявів симптомів шлунково-кишкових захворювань у тих, хто купається [2, 3].

## Основний матеріал

Як зазначалося раніше, до основних недоліків існуючих систем водовідведення щодо забруднення поверхневих водних об'єктів відносяться:

- надходження у водні акваторії значних обсягів забруднюючих речовин з поверхневими стічними водами (ПСВ) з території населених пунктів;
- скидання забруднених дренажних вод (ДВ) безпосередньо у водні акваторії;
- в аварійних ситуаціях (АС) на мережах відведення господарсько-побутових стічних вод частина цих вод витікає на поверхню і потрапляє у водні акваторії разом з поверхневими стічними водами мережами дощової каналізації або по рельєфу місцевості.

При розрахунку еколого-соціального ефекту від впровадження ЕБСВ територію населених пунктів за допомогою картографічної інформації поділяють на окремі водозбірні басейни, з території яких поверхневі стічні води відводяться окремим випуском. Розрахунок еколого-соціального ефекту від створення екологічно безпечного водовідведення у водозбірних басейнах населених пунктах здійснюється за наступними етапами:

1. Прогнозування кількості бактерій кишкової палички, що надходять з території вибраного водозбірного басейну до водного об'єкта від кожного з трьох зазначених джерел (ПСВ; ДВ; АС), при існуючому водовідведенні.

2. Прогнозування концентрації бактерій кишкової палички у контрольному створі водного об'єкта.

3. Оцінювання прогнозованої кількості проявів симптомів шлунково-кишкових захворювань людей при їх купанні в акваторії при існуючому водовідведенні.

4. Розрахунок еколого-соціального ефекту від створення екологічно безпечного відведення стічних і дренажних вод.

Розглянемо порядок здійснення кожного з наведених етапів.

### 1. Прогнозування кількості кишкової палички, що надходить до басейну від кожного джерела (ПСВ; ДВ; АВ) при існуючому водовідведенні

Для прогнозування кількості бактерій кишкової палички, що надходять до водного об'єкта з водозбірного басейну у складі ПСВ, використані літературні дані щодо накопичення бактерій за одну добу на урбанізованій території при різних підтипах землекористування (табл. 1).

Кількість бактерій кишкової палички, що накопичується на поверхні водозбірного басейну ( $K_{\text{НАК}}$ ) за бездощовий період визначається за формулою:

$$K_{\text{НАК}} = \sum_{i=1}^6 (W_i \cdot S_i) \cdot t, \quad (1)$$

де  $W_i$  – кількість бактерій кишкової палички, що надходять на поверхню 1 га району водовідведення, для  $i$ -го землекористування за 1 добу (табл. 1);

$S_i$  – площі окремих територій за типами землекористування району водовідведення, га;

$t$  – типова тривалість попереднього сухого періоду, діб. Вже за 10 діб практично досягається максимум накопичення кількості патогенних організмів, що піддаються змиву під час дощу, тому при розрахунках за формулою (1) час  $t$  приймається рівним 10 діб.

Таблиця 1

Середня інтенсивність надходження бактерій E.Coli на поверхню урбанізованої території при різних видах забудови (підтипах землекористування) [4]

№	Тип землекористування	E.Coli, од./га за добу
1	Зелені території, житлові території з низькою щільністю забудови	12,3E+10
2	Житлові території з низькою та середньою щільністю забудови	1,5E+09
3	Житлові території з високою щільністю забудови	7,4E+09
4	Індустріальні райони	2,0E+08
5	Дороги	2,47E+08
6	Змішана урбанізована територія	1,63E+09

При тривалому інтенсивному дощу частина бактерій змивається з поверхні і зі зливовими водами потрапляє у водний об'єкт. Їх стік зі зливовими водами розраховувався за залежністю:

$$K_{\text{ПВ}} = K_{\text{НАК}} \cdot S(h), \quad (2)$$

де  $K_{\text{ПВ}}$  – кількість бактерій кишкової палички, що за добу надходять до водозбірного басейну з поверхневими стічними водами, од;

$S(h)$  – функція змиву першого порядку  $A_m$  [5]:

$$S(h) = 1 - \exp(-1,81 \cdot h),$$

де  $h$  – шар опадів, см. При оцінці еколого-соціального ефекту від впровадження ЕБСВ шар опадів за одну добу приймається рівним 10 мм або 1 см. У цьому випадку значення  $S(h)$  при  $h=1$  дорівнює 0,84, а формула (2) має вигляд:

$$K_{ПВ} = K_{НАК} \cdot 0,84. \quad (3)$$

Обсяги поверхневих стічних вод ( $V_{ПВ}$ ) з водозбірної території визначаються згідно з ДБН В.2.5-75-1013 [6]. Концентрація бактерій кишкової палички у поверхневих стічних водах ( $C_{ПВ}$ , од./дм<sup>3</sup>) становить:

$$C_{ПВ} = K_{ПВ} / V_{ПВ}. \quad (4)$$

Кількість бактерій кишкової палички, що за добу надходять до водозбірному басейну з дренажними водами ( $K_{ДВ}$ , од.), визначається за формулою (5):

$$K_{ДВ} = V_{ДВ} \cdot C_{ДВ}, \quad (5)$$

де  $V_{ДВ}$  – добовий об'єм дренажних вод (ДВ), що відводиться у водний об'єкт без очищення з території водозбірному басейну, що розглядається;

$C_{ДВ}$  – концентрація бактерій кишкової палички у дренажних водах, од./дм<sup>3</sup>. Ця концентрація у дренажних водах коливається у широких межах у залежності від рівня забруднення дренажних територій і визначається за даними фактичних вимірювань. За відсутності таких надійних джерел за експертними даними її можна оцінити у  $400 \cdot 10^3$  од./дм<sup>3</sup>.

Кількість бактерій кишкової палички, що потрапляє до складу поверхневих стічних вод внаслідок аварій на мережах господарсько-побутових стічних вод  $K_{АВ}$ , дорівнює:

$$K_{АВ} = V_{АВ} \cdot C_{АВ}, \quad (6)$$

де  $C_{АВ}$  – концентрація бактерій кишкової палички у господарсько-побутових стічних водах од./дм<sup>3</sup>, середнє значення якої становить орієнтовно  $10^9$  од./дм<sup>3</sup> [7, 8];  $V_{АВ}$  – добові обсяги господарсько-побутових стічних вод, які витікають на денну поверхню в результаті аварій на каналізаційних мережах на території вибраного водозбірному басейну і дорівнюють:

$$V_{АВ} = V_{БАС} \cdot f. \quad (7)$$

У цій формулі  $V_{БАС}$  – добовий об'єм господарсько-побутових стічних вод, що збирається з території вибраного водозбірному басейну;

$f$  – коефіцієнт, який враховує частку господарсько-побутових стічних вод, яка в аварійних ситуаціях потрапляє до складу поверхневих стічних вод. За експертними даними  $f = 0,05$ .

Переважає більшість поверхневих стічних та дренажних вод потрапляє до водних об'єктів через організовані або неорганізовані (балки, яри) берегові водовипуски без очищення. Для вибраного водоз-

бірному басейну розрахунковий середній добовий об'єм суміші скидних вод становить:

$$V_{СУМ} = V_{ПВ} + V_{ДВ} + V_{АВ}, \quad (8)$$

а сумарна концентрація бактерій кишкової палички у цій суміші дорівнює:

$$C_{СУМ} = (K_{ПВ} + K_{ДВ} + K_{АВ}) / V_{СУМ}. \quad (9)$$

## 2. Прогнозування концентрації бактерій кишкової палички у контрольному створі водного об'єкта

При скиданні суміші поверхневих, аварійних стічних та дренажних вод відбувається їх розбавлення водою водного об'єкта.

Для водотоків (річок) контрольним створом для обчислення кратності розбавлення є найближча межа рекреаційної зони, яка розташована нижче скиду за течією, для морів та водосховищ – найближча межа рекреаційної зони.

Кратність розбавлення ( $n$ ) скидних вод у контрольному створі водотоків (річок) визначається за методикою Фролова-Родзиллера [9, 10].

Цей метод розрахунку розбавлення стічних вод в водотоках застосовується, якщо виконується умова

$$0,0025 \leq q/Q \leq 0,1.$$

Кратність основного розбавлення у водосховищах та морях розраховується за методикою [9], яка використовується для нескладної берегової лінії з пологим рельєфом дна. При відсутності цих умов кратність основного розбавлення може розраховуватись чисельними методами [11].

Одержане значення кратності розбавлення  $n$  використовується для визначення концентрації бактерій кишкової палички у контрольному створі ( $C_{КС}$ ):

$$C_{КС} = C_{СУМ} / n. \quad (10)$$

## 3. Оцінювання прогнозованої кількості проявів симптомів шлунково-кишкових захворювань людей при їх купанні в акваторії при існуючому водовідведенні

Кількість проявів симптомів захворювань людей при їх купанні в акваторії басейну від надходження кишкової палички з сумішшю поверхневих стічних та дренажних вод оцінюється за регресивною моделлю [2]:

$$R = -11,74 + 9,397 \cdot \lg(X), \quad (11)$$

де  $R$  – кількість симптомів шлунково-кишкових захворювань випадків на 1000 осіб внаслідок їх купання у забрудненій акваторії;

$X$  – концентрація бактерій кишкової палички у контрольному створі водного об'єкта при розмірності, од./100 мл,  $X = C_{КС} \cdot 0,1$ .

#### 4. Розрахунок еколого-соціального ефекту від створення екологічно безпечної системи відведення стічних і дренажних вод

При впровадженні ЕБСВ переважна більшість поверхневих стічних вод буде направлятися на очистку на локальні очисні споруди (БІС) або на комунальні біологічні очисні споруди. На цих очисних спорудах зворотні води будуть очищені від мікробіального забруднення, у тому числі від бактерій кишкової палички. Але надати очищення всю кількість поверхневих стічних вод практично неможливо, орієнтовно до 5 % цих вод неорганізованим способом буде надходити у водні об'єкти без очищення.

Так само і до 5 % "аварійних" господарсько-побутових стічних вод у складі цих неорганізованих поверхневих стічних вод потраплятиме без очищення до водних об'єктів. У той же час весь обсяг дренажних вод буде спрямовуватися на очисні споруди.

При цих умовах кількість бактерій кишкової палички, що за добу надходять до водозбірної басейну з поверхневими стічними водами, після впровадження на території населеного пункту екологічно безпечного водовідведення ( $K'_{ПВ}$ ), буде становити:

$$K'_{ПВ} = K_{ПВ} \cdot 0,05. \quad (12)$$

Аналогічно кількість бактерій кишкової палички, що надходять з дренажними водами ( $K'_{ДВ}$ ) та внаслідок аварій на мережах господарсько-побутових стічних вод ( $K'_{АВ}$ ) після впровадження ЕБСВ буде дорівнювати відповідно:

$$K'_{ДВ} = 0, \quad (13)$$

$$K'_{АВ} = K_{АВ} \cdot 0,05. \quad (14)$$

За формулами, аналогічними (4) – (8), визначається концентрація бактерій кишкової палички у суміші поверхневих стічних і дренажних вод з урахуванням аварійних ситуацій ( $C'_{СУМ}$ ) при впровадженні екологічно безпечного водовідведення, за формулою (10) – у контрольному створі водного об'єкта ( $C'_{КС}$ ).

За залежністю (11) оцінюється кількість проявів симптомів шлунково-кишкових захворювань при купанні людей ( $R'$ ) акваторії при упорядкованому водовідведенні.

Оцінка еколого-соціального ефекту створення ЕБСВ стічних і дренажних вод ( $E$ ) визначається як процент зменшення кількості проявів симптомів захворювань, пов'язаних з купанням в акваторії басейну у перший день після опадів до і після впровадження екологічно безпечного водовідведення у населеному пункті і визначається за формулою:

$$E = \frac{R - R'}{R} \cdot 100. \quad (15)$$

За наведеною методикою еколого-соціальний ефект  $E$  розраховується окремо для кожного водозбірної басейну населеного пункту. Перевлаштування існуючого водовідведення в екологічно безпечно на території всього населеного пункту в складних економічних умовах проблематично. Тому слід вибрати послідовність водозбірних басейнів, за якою буде здійснюватися зазначене впровадження ЕБСВ.

При такому ранжируванні слід враховувати і вартість перевлаштування водовідведення на кожному водозбірному басейні.

Позначимо вартість впровадження ЕБСВ в  $i$ -тому басейні  $W_i$ , а оцінка еколого-соціального ефекту впровадження ЕБСВ у цьому водозбірному басейні –  $E_i$ .

Питомий еколого-соціальний ефект, тобто ефект на одиницю вартості впровадження заходу в цьому басейні  $PE_i$  буде дорівнювати:

$$PE_i = \frac{E_i}{W_i}. \quad (16)$$

При ранжируванні водозбірних територій за еколого-соціальним ефектом варто враховувати не тільки вплив на водні об'єкти та ступінь небезпеки захворюваності людей, що купаються у водоймах.

Суттєве значення має і поліпшення умов життєдіяльності населення, яке проживає на цих територіях. В результаті впровадження ЕБСВ буде поліпшено умови водовідведення, здійснена реконструкція дощоприймачів, тощо [12]. Тому пропонується при ранжируванні водозбірних територій враховувати і щільність населення, яке мешкає на територіях цих водозбірних басейнів і у якій поліпшаються умови водовідведення. У цьому випадку формула (16) матиме вигляд:

$$PE_i = \frac{E_i \cdot N_i}{W_i \cdot S_i}, \quad (17)$$

де  $N_i$  – кількість людей, що проживає на території  $i$ -го водозбірної басейну,  $S_i$  – його площа.

За залежністю (17) пропонується проводити ранжирування водозбірних територій населеного пункту за порядком впровадження ЕБСВ.

### Висновки

Запропоновано загальний підхід до оцінювання еколого-соціального ефекту впровадження екологічно безпечного водовідведення у населених пунктах України, стічні води яких скидаються у поверхневі водні об'єкти.

Зазначений ефект визначає зменшення небезпеки проявів симптомів шлунково-кишкових за-

хворювань при купанні людей у водних об'єктах, забруднених бактеріями кишкової палички, внаслідок перевлаштування існуючого водовідведення в екологічно безпечне.

Розрахована оцінка еколого-соціального ефекту разом з економічним показником вартості перевлаштування водовідведення дозволить проводити ранжирування водозбірних басейнів на території населеного пункту щодо порядку впровадження еколого безпечної системи водовідведення.

### Список літератури

1. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [Текст] / В.Д. Романенко, В.М. Жулинський, О.П. Оксіюк, та ін. – К.: СИМВОЛ-Т, 1998. – 28 с.
2. Alfred P. Dufour. Health Effects Criteria for Fresh Recreational Waters [Text] / Alfred P. Dufour. – EPA-600 / 1-84-004 – Cincinnati, 1984 – 42 p.
3. Victor J. Cabelli. Marine Field Station West Kingston, Rhode Island. Health Effects Criteria for Marine Recreational Waters – Health Effects Research Laboratory Office Of Research And Development U.S. Environmental Protection Agency Research Triangle Park [Text] / Victor J. Cabelli. – North Carolina - EPA-600 / 1-80-031 – 99 pp.
4. Ackerman D., Schiff K. Modeling Arid, Urbanized Watersheds [Text]: Part II, Bacterial Runoff. Draft document – Version 6. – December 20, 2001.
5. Haith D.A. Generalized watershed loading functions (User's Manual, version 2.0) [Text] / D.A. Haith, R. Mandel, R.S. Wu. – GWLF. Cornell University, 1992.
6. ДБН В.2.5-75-2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [Текст] / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – К., 2013. – 208 с.

7. Miescier J.J. Enterococci and Other Microbial Indicators in Municipal Wastewater Effluents [Text] / J.J. Miescier, V.J. Cabelly // J. Water Poll. Control Fed. 54: 1599. 1982.

8. Барышникова Н.В. Биологическая очистка сточных вод на канализационных очистных сооружениях [Текст] / Н.В. Барышникова, М.А. Павлова, Р.И. Моисеева, Е.В. Макаревич // Тезисы Конференции «Успехи современного естествознания», 2011. – № 8. – С. 21-22.

9. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами [Текст]. – Мінприроди України. – К., 1994. – 89 с.

10. Родзиллер И.Д. Прогноз качества воды водоемов – приемников сточных вод [Текст] / И.Д. Родзиллер. – М.: Стройиздат, 1984. – 262 с.

11. Черкинский С.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы [Текст]; Изд. 5-е, перераб. и доп. / С.Н. Черкинский. – М.: Стройиздат, 1977. – 224 с.

12. Дмитрієва О.О. Екологічно безпечне водокористування у населених пунктах України [Текст] / О.О. Дмитрієва. – К.: Рада по вивченню продуктивних сил України НАН України, 2008. – 459 с.

Надійшла до редколегії 10.02.2016

**Рецензент:** канд. техн. наук С.А. Цибульник, Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», Харків.

### ОЦЕНИВАНИЕ ЭКОЛОГО-СОЦИАЛЬНОГО ЭФФЕКТА ВНЕДРЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО ВОДООТВЕДЕНИЯ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ УКРАИНЫ

Е.А. Дмитриева, А.О. Тертичный, И.В. Хоренжая

Предложена методика оценивания эколого-социального эффекта внедрения экологически безопасной системы водоотведения (ЭБСВ). Оценка базируется на уменьшении степени опасности проявления симптомов заболевания людей при их купании в акватории в зависимости от содержания в воде бактерий кишечной палочки (E.Coli) при внедрении ЭБСВ. Бактерии группы кишечной палочки попадают в водный объект при смыве с территории поверхностными сточными водами, при сбросе неочищенных дренажных вод и в результате аварийных ситуаций на канализационных сетях.

**Ключевые слова:** экологически безопасная система водоотведения, эколого-социальный эффект, заболеваемость населения, бактерии группы кишечной палочки.

### EVALUATION ECOLOGICAL AND SOCIAL IMPACT OF THE INTRODUCTION OF ENVIRONMENTALLY SOUND SANITATION IN THE SETTLEMENTS OF UKRAINE

O.O. Dmitrieva, O.O. Tertichnyi, I.V. Khorenzhaya

The method of estimation ecological-social effect introduction of environmentally friendly sewerage system (EFSS). Evaluation is based on reducing the severity of disease symptoms manifestations of the people in their bathing in the waters, depending on the water content of the bacteria Escherichia coli (E.Soli) when implementing EFSS. Coliform bacteria get into the body of water when flushed with the surface area wastewater with discharge of untreated drainage water and as a result of accidents on the sewer networks.

**Keywords:** environmentally friendly sewerage system, ecological and social impact, morbidity, coliform bacteria.