

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ НАКОПИЧУВАЧІВ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД І ШЛАМІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ НА УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ

Сталінська І.В., Дмитренко Т.В.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
вул. Маршала Бажанова, 17, 61002, м. Харків  
stalinskaairina5@gmail.com, tetyana.dmytrenko@kname.edu.ua

У роботі розглянуто питання оцінки основних факторів, що впливають на екологічний стан поверхневих водних об'єктів на урбанізованих територіях. Виявлено, основні причини забруднення поверхневих вод – скидання забруднених промислових стічних вод (ПСВ), господарсько-побутових вод, надходження до водних об'єктів забрудненого поверхневого стоку з території населених пунктів, промислових підприємств і сільгоспугідь та ін. Діяльність підприємств окремих галузей промисловості нероздільно пов'язана з експлуатацією накопичувачів стічних вод, які знайшли широке поширення як водоохоронний захід. Доведено, що основними джерелами впливу підприємств на поверхневі водні об'єкти є скиди неочищених і умовно очищених ПСВ. Також негативний вплив чинить надходження фільтратів і поверхневих стоків з території накопичувачів ПСВ і шламів. Зазначено, що внаслідок військових дій та спричинених ними техногенних забруднень, до поверхневих вод потрапляють нафтопродукти та важкі метали. З'ясовано, що екологічний стан окремих басейнів річок на цей час фактично катастрофічний, зокрема, це стосується і басейну р. Дніпро у зв'язку з підривом дамби Каховської ГЕС у Херсонській області у червні 2023 р., тому розробка заходів щодо зниження рівня забруднення річок на цей час є актуальним завданням. У роботі наведено залежності концентрації важких металів у воді від рН. Отримані дані можуть бути використані при розробці технічних рішень щодо очищення стічних вод для підприємств машинобудівної галузі, електротехнічної промисловості та ін., які переважно розташовані на урбанізованих територіях і, як правило, скидають стічні води у господарсько-побутову каналізацію. Запропоновані основні рекомендації щодо охорони та раціонального використання водних ресурсів. *Ключові слова:* екологічний стан, екологічний ризик, поверхневі водні об'єкти, забруднення, захист водного басейну, очищення стічних вод, важкі метали, утилізація шламів, урбанізовані території.

### Recommendations for reducing the environmental risk of industrial wastewater and sludge storage facilities on the ecological state of surface water bodies in urbanized areas. Stalinska I., Dmytrenko T.

The paper considers the issue of assessing the main factors affecting the ecological state of surface water bodies in urbanized areas. The main causes of surface water pollution are the discharge of contaminated industrial wastewater (IWW), domestic water, and contaminated surface runoff from settlements, industrial enterprises, and agricultural land, etc. The activities of enterprises in certain industries are inextricably linked to the operation of wastewater storage facilities, which are widely used as a water protection measure. The main sources of impact of enterprises on surface water bodies are discharges of untreated and conditionally treated industrial wastewater. Another negative impact is caused by leachate and surface runoff from industrial wastewater and sludge storage areas. It is noted that as a result of military operations and man-made pollution caused by them, oil products and heavy metals get into surface waters. The ecological condition of some river basins is currently catastrophic, including the Dnipro River basin due to the undermining of the Kakhovka hydroelectric power plant dam in Kherson Oblast in June 2023, so developing measures to reduce river pollution is a very urgent task at this time. The paper presents the dependence of the concentration of heavy metals in water on pH. The data obtained can be used in the development of technical solutions for wastewater treatment for enterprises in the machine-building industry, electrical industry, etc., which are mainly located in urbanized areas and usually discharge wastewater into domestic sewage. The main recommendations for the protection and rational use of water resources are proposed. *Key words:* environmental state, environmental risk, surface water bodies, pollution, water basin protection, wastewater treatment, heavy metals, sludge disposal, urbanized areas.

**Постановка проблеми.** Однією з глобальних екологічних проблем сучасності є забруднення поверхневих водних об'єктів. Рівень забруднення води таких річок, як Дунай, Рейн, Ельба та багатьох інших, дав підставу називати їх «стічними канавами Європи». У березні 1992 р. під егідою Європейської економічної комісії ООН у м. Гельсінкі (Фінляндія) було ухвалено «Конвенцію про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер» [1].

Конвенція слугує механізмом посилення національних заходів і міжнародного співробітництва, спрямованих на досягнення екологічно обґрунтованого управління та охорони транскордонних поверхневих і підземних вод. До неї входять законодавчі норми покарання та заохочення підприємств, що скидають у річки промислові стічні води й шлами.

У цьому напрямку було розроблено нові технології скорочення обсягів промислових стоків, надходження токсичних фільтратів із накопичувачів ПСВ і шламів у водний басейн. Одним з ефективних спо-

собів запобігання інфільтрації ПСВ і шламів є влаштування захисних протифільтраційних екранів із полімерних плівок (рис. 1) [1].

Для виконання положення «Конвенції про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер» докладено чимало зусиль зі створення і зміцнення транскордонного водного співробітництва. Закон про приєднання України до Конвенції був ухвалений 1 червня 1999 р. Верховною Радою України й набув чинності 23 червня 1999 р.

Результати досліджень стану поверхневих водних об'єктів України показали, що екологічний стан басейнів окремих річок катастрофічний, зокрема, це стосується і стану найбільшого річкового басейну – басейну р. Дніпро.

Таким чином, на цей час актуальними є проблеми, аналогічні тим, які розв'язували в промислово розвинених країнах Європи для покращення екологічного стану поверхневих водних об'єктів.

**Актуальність дослідження.** За даними багаторічних досліджень виявлено, що якість води в річках України погіршується: виявлено перевищення вмісту фармпрепаратів, отрутохімікатів, які використовуються у сільському господарстві, біогенних елементів, ряду важких металів та ін. Однією з основних причин масового мору риби є цвітіння води. Існує також проблема обміління річок.

Одними з основних забруднювачів водних ресурсів є металургійна, хімічна, гірничодобувна промисловість, а також житлово-комунальне та сільське господарство.

Окремо слід розглянути ситуацію, що склалася після підриву дамби Каховської ГЕС у Херсонській області, що сталася у червні 2023 р., та призвела до найбільшої техногенної катастрофи останніх десятиліть, катастрофічного забруднення водних ресурсів і поставила під загрозу десятки тисяч жителів.

Держкомпанія «Укргідроенерго» проводить дослідження, яким чином неконтрольований витік води з водосховища позначиться на стані всього Дніпровського каскаду. У зв'язку із затопленням вигрібних ям, сміттєзвалищ, кладовищ можливе бактеріальне забруднення води річки. Вода забруднюється забруднюючими речовинами з промислових підприємств, відбувається змішування зі стічними водами, тому ризики забруднення водних ресурсів можуть збільшуватись в десятки разів, що потребує негайного вирішення.

За даними Міністра охорони здоров'я України Віктора Ляшка, рівень забруднення води у р. Дніпро унаслідок підриву греблі Каховської ГЕС за деякими показниками перевищено у 28 тисяч разів – вся акваторія нижче Каховської дамби «непридатна для використання». Проблема погіршення екологічного стану річки та її оздоровлення потребує негайного вирішення.

Так, екологічний стан окремих басейнів річок на цей час фактично катастрофічний, тому розробка заходів щодо зниження рівня забруднення річок на цей час є актуальним завданням.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Тема роботи відповідає основним принципам і напрямкам державної політики щодо охорони, раціонального використання та відновлення водних ресурсів України, що викладені, зокрема, у Водному Кодексі України (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № 24, ст. 189) [2], Правилах охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами (Постанова Кабінету Міністрів України від 25 березня 1999 р. № 465) [3], Загальнодержавній цільовій програмі розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період із 2013–2021 рр. (Відомості Верховної Ради України, 2013, № 17, ст. 146) [4], Директиві



Рис. 1. Сучасні методи запобігання надходженню стоків із накопичувачів промислових стічних вод

ЄС 2000/60/ЄС «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23 жовтня 2000 р. [5].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Забруднення поверхневих вод токсичними металами в результаті антропогенних процесів викликає велике занепокоєння в усьому світі. Внаслідок недосконалого технічного рівня обладнання та використання застарілих, недостатньо ефективних технологій, що не відповідають екологічним вимогам на підприємствах України, дуже велика кількість промислових забруднень потрапляє до поверхневих водоем, у тому числі токсичні сполуки важких металів (свинець, нікель, залізо, мідь, кадмій, марганець, кобальт, цинк та ін.). Наприклад, свинець може потрапити у річкові води внаслідок спалювання вугілля, зі стічними водами металургійної та хімічної промисловості, кобальт і марганець – зі стічними водами марганцевих фабрик та металургійних заводів тощо.

Дослідники в усьому світі зосереджують свою увагу на кількісному дослідженні вмісту важких металів у водних екосистемах [6]. Крім виявлення та кількісного аналізу вмісту забруднень у водних об'єктах і ґрунтах, проводиться оцінка несприятливих ризиків для здоров'я людини [7]. Слід зазначити, що найбільші рівні забруднення і, як наслідок, загроза для здоров'я населення, відзначаються на урбанізованих територіях, в промислових зонах зі значною антропогенною діяльністю [8].

Для оцінки вмісту забруднюючих речовин у поверхневих водних об'єктах, зокрема й важких металів, запропоновано різні методики та показники. Дедалі частіше використовують комбіновані індикатори (Composite indicators, CIs) для вимірювання та відстеження екологічних систем [9]. Однак вони піддаються критиці за їхній часто довільний характер і за те, що не враховують невизначеності.

Для визначення загального стану якості необроблених та очищених стічних вод запропоновано індекс якості стічних вод – Wastewater Quality Index (WWQI) [10], який підсумовує велику кількість вимірних параметрів якості в єдиний показник якості води, враховуючи попередньо встановлені стандарти обмеження якості.

Зроблено спробу створити показник глобальних параметрів очищення стічних вод для оцінки екологічних чинників і сталого розвитку на основі статистики очищення стічних вод для більше ніж 180 країн [11]. Однак відсутність послідовних визначень, протоколів звітності та централізованої бази даних про очищення стічних вод є основною причиною багатьох проблем під час побудови порівняльних показників ефективності.

Накопичення важких металів у річкових відкладеннях унаслідок забруднення поверхневих вод може бути оцінено з використанням індексу металу (metal index, MPI) та індексу забруднення металами (metal pollution index, MPI) [12].

Встановлено, що саме недостатнє очищення, безперервне скидання ПСВ та фільтрату їхніх шламів є значним чинником негативного впливу на навколишнє природне середовище та накопичення у водних об'єктах токсичних домішок. Відзначено значний вплив стоків шкіряних підприємств, фарбувально-хімічної, металообробної галузей промисловості та ін. [13].

Розуміння джерел і характеру поведінки важких металів у басейнах річок має вирішальне значення для оцінки екологічних ризиків, пов'язаних із впливом на людину та екосистеми. Для оцінки просторового розподілу поллютантів у відкладеннях річок може бути використаний індекс накопичення (geo-accumulation index, Igeo). Таким чином, наприклад, було проведено оцінку забруднення річок Південного Китаю і досліджено негативний вплив скидання ПСВ і хвостосховища металургійного підприємства [14].

В Україні проблеми еколого-економічної оцінки наслідків розміщення накопичувачів неочищених ПСВ та шламів виникли лише в останні десятиліття. У зв'язку з цим реально апробовані методики такої оцінки відсутні. На сьогодні більшість накопичувачів ПСВ, розташованих на території України мають високий ступінь зносу та практично повне вичерпання місткості накопичувачів, що є головними причинами утворення надлишку високотоксичних стічних вод, а також аварійних ситуацій, які створюють екологічні ризики для довкілля і людини [15].

**Мета дослідження.** Проаналізувати екологічний ризик накопичувачів ПСВ і шламів для поверхневих водних об'єктів на урбанізованих територіях та запропонувати рекомендації щодо зниження негативного впливу об'єктів промисловості, комунального та сільського господарства на водні басейни.

**Викладення основного матеріалу.** Доступні для широкого використання водні ресурси формуються, в основному, в басейнах Дніпра, Дністра, Сіверського Дінця, Південного і Західного Бугу, а також малих річок Приазов'я та Причорномор'я [16]. Відомо, що більша частина зарегульованого стоку в Україні припадає на Дніпровський каскад водосховищ загальним об'ємом 43,8 км<sup>3</sup> і корисним об'ємом 18,5 км<sup>3</sup>.

За даними [16] у 2021 р. спостереження за станом поверхневих вод здійснювались у 558 пунктах моніторингу на масивах поверхневих вод на транскордонних ділянках 55 водотоків відповідно до міжурядових угод, на масивах поверхневих вод, забір з яких здійснюється для задоволення питних та господарсько-питних потреб населення та на масивах поверхневих вод, де є ризик недосягнення екологічних цілей.

Аналіз якісного стану поверхневих вод за результатами моніторингу в системі Держводагентства за 2021 р. у розрізі гідрографічного районування наве-

дено у [16]. Згідно із результатами проведених вимірювань визначено якісний стан масивів поверхневих вод басейнів річок Дніпро, Дністер, Дон, Дунай, Вісла, Південний Буг, річок Причорномор'я та річок Приазов'я.

За результатами узагальнення даних державного обліку водокористування у 2021 р. у поверхневій водні об'єкти скинуто 4684,6 млн м<sup>3</sup> ПСВ, у тому числі: забруднених – 541,5 млн м<sup>3</sup> (11,6%), без очищення – 119,3 млн м<sup>3</sup>, недостатньо очищених – 422,2 млн м<sup>3</sup>, нормативно очищених – 1430 млн м<sup>3</sup> (30,5%) та нормативно-чистих без очистки – 2712,9 млн м<sup>3</sup> (57,9%) [16].

Основні причини забруднення поверхневих вод – це скидання забруднених ПСВ, господарсько-побутових вод, яке може здійснюватись безпосередньо у водні об'єкти, а також через систему міської каналізації, надходження до водних об'єктів забрудненого поверхневого стоку з територій населених пунктів, промислових підприємств та сільгоспугідь та ін.

Діяльність багатьох підприємств хімічної, гірничодобувної, металургійної та вугільної галузей промисловості нероздільно пов'язана з експлуатацією накопичувачів стічних вод, які знайшли широке поширення як водоохоронний захід. На території України налічується 366 накопичувачів забруднених стічних вод, з них близько 300 містять в розчиненому вигляді забруднюючі речовини з концентраціями, що перевищують встановлені екологічні нормативи (ГДК) більш ніж в 50 разів. Тому вони належать до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, що здатні викликати екстремально високе забруднення природних водних об'єктів. Ступінь

і масштаб забруднення залежить від режимів скидання, кількості та концентрації забруднюючих речовин, що надходять при цьому у поверхневі води [15].

Важливим напрямом у дослідженні процесів скорочення негативного впливу накопичувачів ПСВ є вивчення шляхів міграції в ґрунті фільтратів із розчинними сполуками важких металів [1].

В результаті аналізу існуючих накопичувачів за відомчою приналежністю встановлено, що найбільша кількість накопичувачів з невеликими місткостями використовується в сільському господарстві, а найбільш об'ємні (що досягають понад 500 млн м<sup>3</sup>) належать до теплової енергетики й чорної металургії. Сумарний обсяг накопичувачів становить 3129,2 млн м<sup>3</sup>, з них близько 46% припадає на накопичувачі Криворізького, Запорізького, Полтавського та ін. гірничо-збагачувальних комбінатів [17].

На рис. 2 наведено принципову схему надходження до поверхневих і ґрунтових вод та ґрунту іонів важких металів і вміст їх у ґрунті біля накопичувача ПСВ [1].

Основними джерелами впливу підприємств на водний басейн є скиди неочищених і умовно очищених ПСВ. Також негативний вплив чинить надходження фільтратів і поверхневих стоків з території накопичувачів ПСВ і шламів. Значним може бути осадження твердої фази організованих і неорганізованих пилогазових викидів у поверхневі водні об'єкти [1].

Необхідно зазначити, що внаслідок військових дій та спричинених ними техногенних забруднень, до поверхневих вод попадають нафтопродукти та важкі

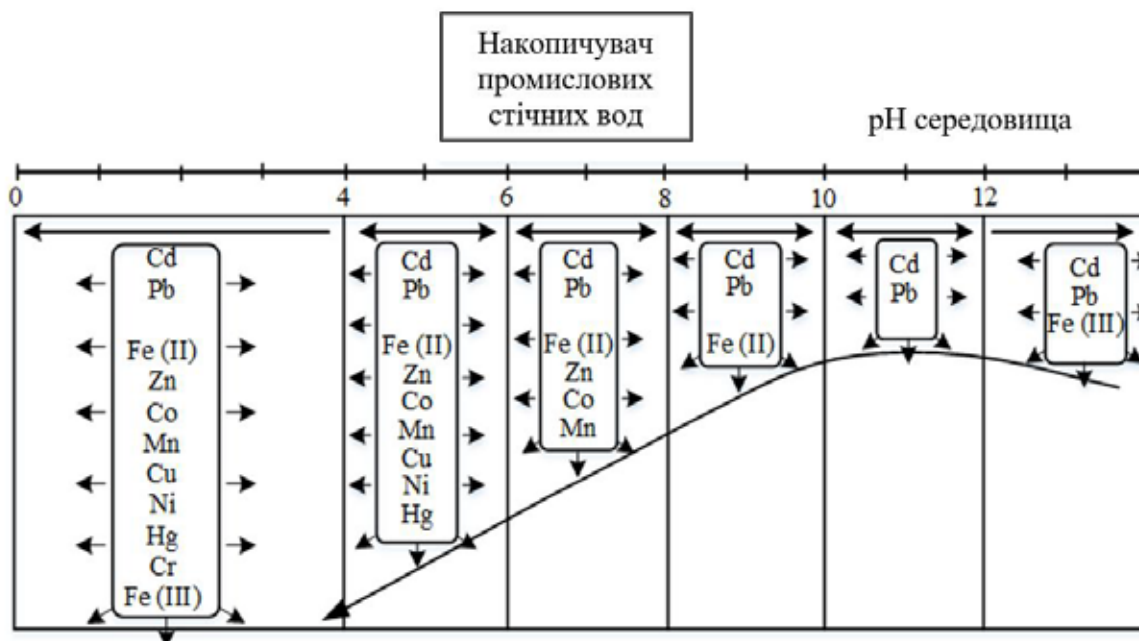


Рис. 2. Схема надходження в поверхневі та ґрунтові води іонів важких металів із ПСВ і шламів

метали, адже боєприпаси й військова техніка містять свинець, ртуть, миш'як, гексоген, тротил і під час їхнього розкладання у воду виділяється токсичний коктейль, який загрожує водній екосистемі.

У зв'язку з підливом дамби у червні 2023 р. ситуація у Дніпрі ще більш погіршилася. Як зазначено вище, за даними Міністра охорони здоров'я України Віктора Ляшка, рівень забруднення води у р. Дніпро за деякими показниками перевищено у 28 тисяч разів – вся акваторія нижче Каховської дамби «непридатна для використання», проблема погіршення екологічного стану річки потребує негайного вирішення.

Для видалення важких металів зі стічних вод у світовій практиці можуть бути використані різні технології обробки води, наприклад, коагуляція, флоатація, хімічне осадження, іонний обмін та ін.

Методи очищення стічних вод від важких металів широко відомі. Як правило, на першому етапі очищення стічні води підлягають, щоб висадити метали у вигляді гідроксидів. Нами проведено розрахунки, які дали змогу встановити можливий мінімальний вміст важких металів залежно від рН.

Для визначення мінімально можливої концентрації тривалентних важких металів отримано наступну залежність:

$$[Me^{3+}] = S_{Me(OH)_3} \left( \frac{1}{f_3 \cdot a_{OH}^3} + \frac{k_1}{f_2 \cdot a_{OH}^2} + \frac{k_{1,2}}{f_1 \cdot a_{OH}} + k_{1,2,3} + \frac{k_{1,2,3,4} \cdot a_{OH}}{f_1} \right), \quad (1)$$

де  $S_{Me(OH)_3}$  – добуток розчинності гідроксиду металу;

$k_1$  і  $k_{1,2}$  – константи стійкості комплексів  $Me(OH)^{2+}$  і  $Me(OH)_2^+$ ;

$k_{1,2,3}$  і  $k_{1,2,3,4}$  – константи стійкості комплексів  $Me(OH)_3^-$  і  $Me(OH)_4^{2-}$ , якщо такі існують;

$a_{OH}$  – коефіцієнт активності іонів  $OH^-$ .

Для визначення мінімально можливої концентрації двовалентних важких металів отримано наступну залежність:

$$[Me^{2+}] = S_{Me(OH)_2} \left( \frac{1}{f_2 \cdot a_{OH}^2} + \frac{K_1}{f_1 \cdot a_{OH}} + k_{1,2} + \frac{K_{1,2,3} \cdot a_{OH}}{f_1} + \frac{K_{1,2,3,4} \cdot a_{OH}^2}{f_2} \right), \quad (2)$$

де  $S_{Me(OH)_2}$  – добуток розчинності гідроксиду металу;

$K_1$  – константа стійкості комплексу  $Me(OH)^+$ ;

$K_{1,2}$  – константа стійкості комплексу  $Me(OH)_2$ ;

$k_{1,2,3}$  і  $k_{1,2,3,4}$  – константи стійкості комплексів  $Me(OH)_3^-$  і  $Me(OH)_4^{2-}$ , якщо такі існують.

З огляду на вищевказані формули нами побудовано графіки залежності концентрації важких металів від рН (рис. 3–7). За їхньою допомогою можна встановити, до яких значень слід підвищити водневий показник, щоб знизити концентрацію того чи іншого металу до заданої (допустимої) величини.

Отримані дані можуть бути використані при розробці технічних рішень щодо очищення стічних вод травильних та гальванічних цехів та відділень підприємств машинобудування, електротехнічної промисловості та ін., які переважно розташовані в межах міста і, як правило, скидають свої стічні води у господарсько-побутову каналізацію.

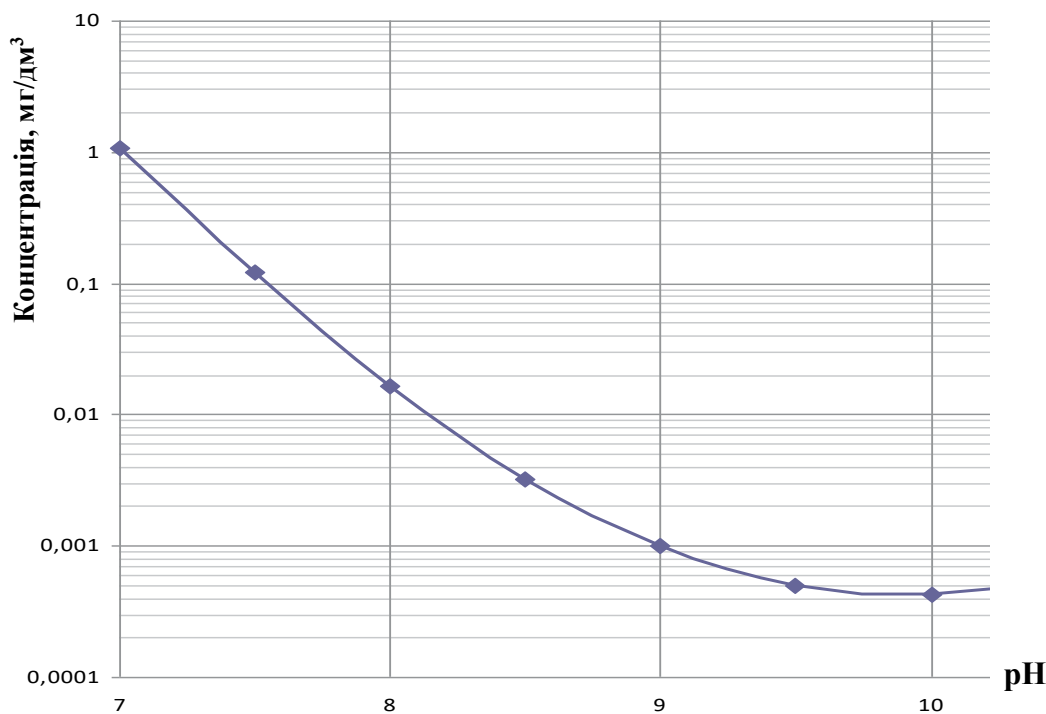


Рис. 3. Зміна концентрації міді у стоках залежно від рН

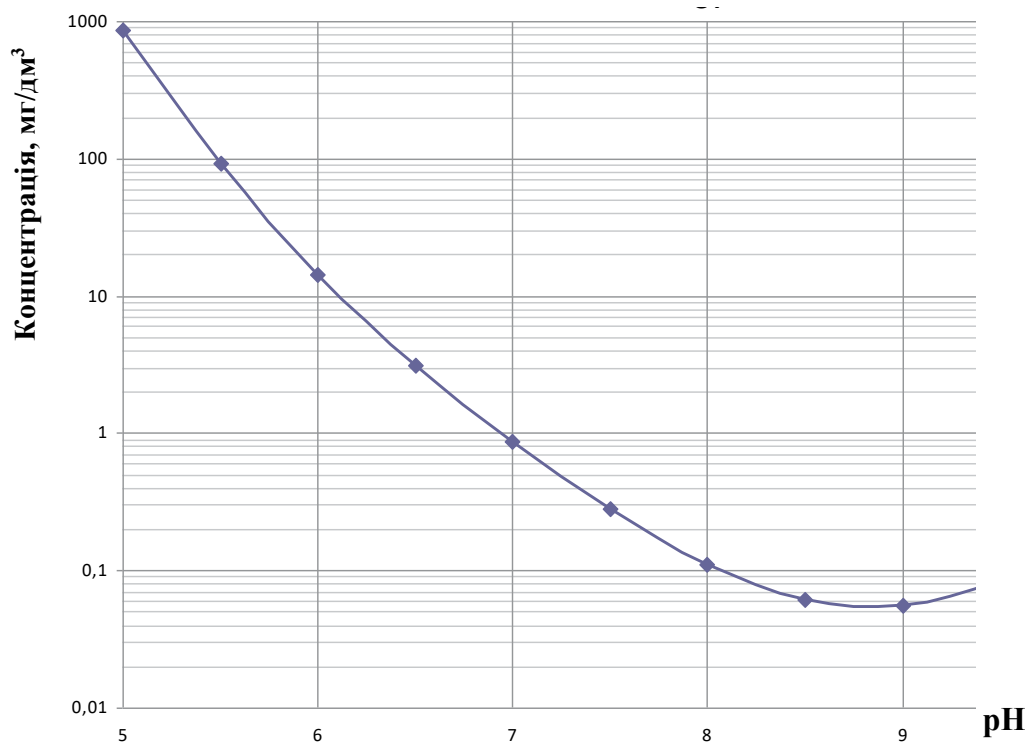


Рис. 4. Зміна концентрації тривалентного хрому у стоках залежно від рН

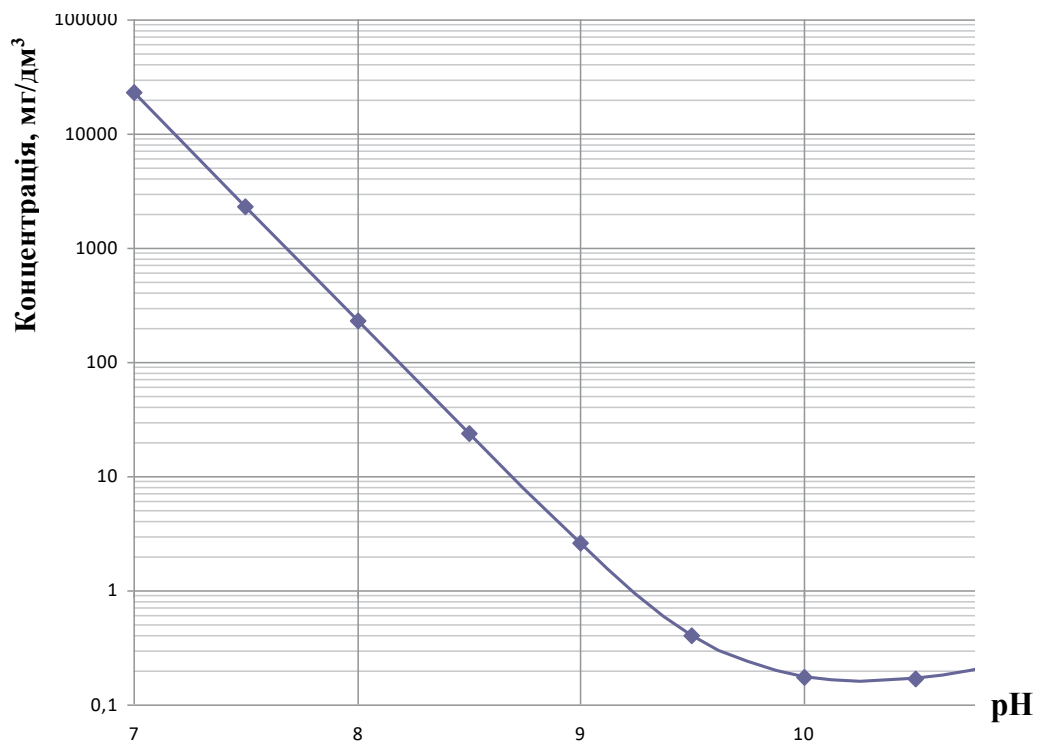


Рис. 5. Зміна концентрації нікелю у стоках залежно від рН

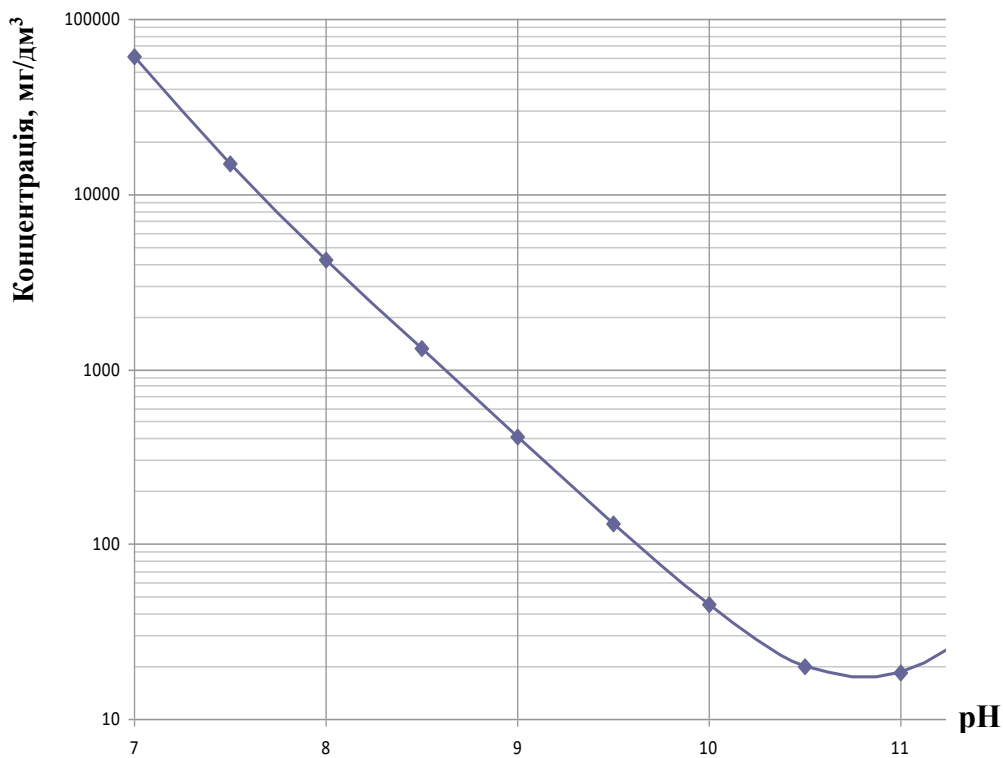


Рис. 6. Зміна концентрації нікелю у стоках залежно від рН

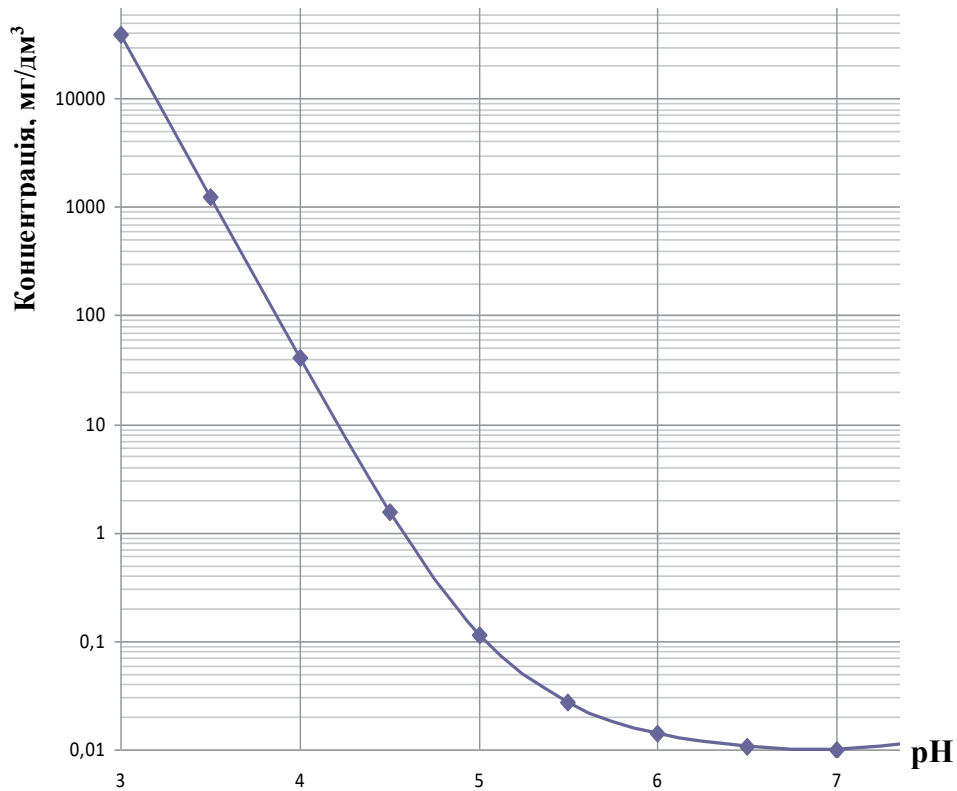


Рис. 7. Зміна концентрації алюмінію у стоках залежно від рН

В якості основних рекомендацій щодо охорони та раціонального використання водних ресурсів запропоновані наступні:

- забезпечити функціонування всіх очисних споруд для попередження скиду неочищених стоків;
- налагодити повноцінний екологічний моніторинг басейнів річок;
- налагодити систему штрафів за забруднення водойм. Особливо це стосується великих підприємств, які сьогодні є головними забруднювачами водних ресурсів;
- впроваджувати нові технології скорочення обсягів промислових стоків, надходження токсичних фільтратів із накопичувачів промислових стічних вод і шламів у водний басейн;
- припинити незаконні будівництва навколо водних об'єктів та забезпечити там оптимальне поєднання лісових насаджень та лук;
- на законодавчому рівні заборонити використання фосфатів в товарах побутової хімії, які масово потрапляють до річок;
- створити плаваючі острови з рослин та водоростей (біоплато), які добре поглинають забруднюючі речовини з води;
- розробити стратегію відновлення річок країни після війни.

**Головні висновки.** Результати досліджень стану поверхневих водних об'єктів України показали, що екологічний стан басейнів окремих річок катастрофічний. Основними забруднювачами водних ресурсів є металургійна, хімічна, гірничодобувна промисловість, а також житлово-комунальне та сільське

господарство. Діяльність цих підприємств нероздільно пов'язана з експлуатацією накопичувачів стічних вод, які належать до об'єктів підвищеної екологічної небезпеки, і здатні викликати екстремально високе забруднення природних водних об'єктів, зокрема важкими металами. До того ж важкі метали та нафтопродукти потрапляють до поверхневих вод внаслідок військових дій та спричинених ними техногенних забруднень.

Для зменшення екологічного ризику накопичувачів ПСВ вивчено шляхи міграції в ґрунті фільтратів із розчинними сполуками важких металів, наведено принципову схему надходження до поверхневих і ґрунтових вод та ґрунту іонів важких металів. Проведено розрахунки, які дали змогу встановити можливий мінімальний вміст важких металів залежно від рН та побудовано графіки залежності концентрації важких металів від рН. За їхньою допомогою можна встановити, до яких значень слід підвищити водневий показник, щоб знизити концентрацію того чи іншого металу до заданої (допустимої) величини. Отримані дані можуть бути використані при розробці технічних рішень щодо очищення ПСВ.

Запропоновані основні рекомендації щодо охорони та раціонального використання водних ресурсів.

**Перспективи використання результатів досліджень.** Результати досліджень можуть бути корисними для прогнозу наслідків впливу на навколишнє природне середовище з боку накопичувачів ПСВ, хвостосховищ і відвалів великотоннажних відходів, а також при розробці технічних рішень щодо очищення стічних вод окремих промислових виробництв, розташованих на урбанізованих територіях.

### Література

1. Kasimov A., Stalinska I., Sorokina K. Assessment of the pollution degree of the Dnepr river and development of measures for its decrease. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 3(10). P. 41–49.
2. Водний Кодекс України: Закон України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 24. Ст. 189.
3. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами: Постанова Кабінету Міністрів України від 25.03.1999 р. № 465. *Відомості Верховної Ради України*. 1999. № 13. Ст. 518.
4. Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну ріки Дніпро на період до 2021 року. *Відомості Верховної Ради України*. 2013. № 17. Ст. 146.
5. Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23 жовтня 2000 року [Directive 2000/60/EU of the European Parliament and of the Council «On establishing the framework for Community activities in the field of water policy» dated October 23, 2000]. *Офіційний вісник Європейського Союзу*. 2000. L0060.
6. Farkas, A., Erratico C., Vigano, L. (2007). Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River. *Chemosphere J.* 2007. № 68. P. 761–768.
7. Saleem M., Iqbal J., Shah M.H. Dissolved Concentrations, Sources, and Risk Evaluation of Selected Metals in Surface Water from Mangla Lake, Pakistan. *The Scientific World Journal*. 2014. Vol. 2014. 12 p.
8. Kumar, M., Ramanathan, A.L., Tripathi, R., Farswan, S., Kumar, D., Bhattacharyac, P. (2017). A study of trace element contamination using multivariate statistical techniques and health risk assessment in groundwater of Chhaprola Industrial Area, Gautam Buddha Nagar, Uttar Pradesh, India. *Chemosphere*. 2017. Vol. 166. P. 135–145.
9. Burgassa, M. J., Halperna, B. S., Nicholsons, E., Milner-Gulland, E. J. (2017). *Ecological Indicators*. 2017. Vol. 75. P. 268–278.
10. Ebrahimi, M., Gerber, E. L., Rockaway, T. D. (2017). Temporal performance assessment of wastewater treatment plants by using multivariate statistical analysis. *Journal of Environmental Management*, Vol. 193. P. 234–246.
11. Malik, O. A., Hsu, A., Johnson, L. A., de Sherbinin, A. (2015). A global indicator of wastewater treatment to inform the Sustainable Development Goals (SDGs). *Environmental Science & Policy*. Vol. 48. P. 172–185.



12. Ogunkunle, C. O., Mustapha, K., Oyedeji, S., Fatoba, P. O. (2016). Assessment of metallic pollution status of surface water and aquatic macrophytes of earthen dams in Ilorin, north-central of Nigeria as indicators of environmental health. *Journal of King Saud University – Science*. Vol. 28, Issue 4. P. 324–331.
13. Islam, S., Islam, S., Habibullah-AL-mamun, Islam, S. A., Wayne Eaton, D. (2016). Total and dissolved metals in the industrial wastewater: A case study from Dhaka Metropolitan, Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. Vol. 5. P. 74–80.
14. Liao, J., Chen, J., Ru, X., Chen, J., Wu, H., Wei, C. (2017). Heavy metals in river surface sediments affected with multiple pollution sources, South China: Distribution, enrichment and source apportionment. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. Vol. 176. P. 9–19.
15. Bratina, B., Šorgo, A., Kramberger, J., Ajdnik, U., Fras Zemljič, L., Ekart, J., Šafarič, R. (2016). From municipal/industrial wastewater sludge and FOG to fertilizer: A proposal for economic sustainable sludge management. *Journal of Environmental Management*. 2016. Vol. 183, Part 3. P. 1009–1025.
16. Полозенцева В. О. Комплексна оцінка впливу та підвищення екологічної безпеки скидання стічних вод із водойм-накопичувачів: дис. канд. техн. наук: 21.06.01. Київ, 2021, 257 с.
17. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. Київ: Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2022. 514 с.
18. Ніколаєва І. О. Екологічний аудит промислових хвостосховищ із застосуванням контрольних списків як передумова підвищення їх екологічної безпеки: дис. канд. техн. наук: 21.06.01. Київ, 2017. 204 с.