

Оцінка ступеня забруднення середньої течії р. Дніпро та розробка заходів його мінімізації

Олександр Касімов¹

д. техн. н., професор, начальник науково-технічного відділу,

¹ ДП «Український вуглехімічний інститут», Харків, Україна

e-mail: kassimov2011@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0007-2655-2478>;

Ігор Удалов²

д. геол. н., професор, кафедра фундаментальної та прикладної геології,

² Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна,

e-mail: igorudalov8@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0003-3844-6481>;

Аліна Кононенко²

к. геол. н., доцент кафедри фундаментальної та прикладної геології,

e-mail: kononenko_alina01@ukr.net,  <https://orcid.org/0000-0003-0382-3910>

В статті оцінено вплив накопичувачів промислових стічних вод та шламів, надходження фільтрату та поверхневих стічних вод промислових підприємств на стан водного басейну р. Дніпра. Проведено моніторинг якості води у водних об'єктах басейну р. Дніпро із визначенням найпоширеніших забруднюючих речовин, у т.ч. сполук техногенних родовищ металів (іони Mn, Cu, Zn, Fe, Pb), сполук азоту, фенолів. Визначено середньорічні концентрації політвантів у період 2011-2022 рр. під впливом промислових об'єктів, комунального, сільського господарства. Проаналізовано досвід управління навколишнім природним середовищем, зокрема водними ресурсами, в європейських країнах. Наведено принципову схему надходження в поверхневі, підземні води та ґрунти токсичних сполук важких та рідкісних металів техногенних родовищ та їх вміст у ґрунті біля накопичувача стічних вод та шламів. Для шламонакопичувача комбінату «Запоріжсталь» розроблена принципова структурна схема мінімізації шкоди навколишньому природному середовищу від його впливу. Виконано модернізацію газоочисного обладнання аглоцеху та гідротехнічних споруд оборотного циклу водопостачання «мокрих» газоочисток доменних печей, що дозволило значно скоротити скидання стічних вод у водозбірну споруду «балка Капустянка». Розроблено нову маловідходну економічно ефективну технологію утилізації замасленої окалини з отриманням збагачених залізом брикетів або окатишів, придатних для використання в основному виробництві комбінату. Використано методику інтегральної оцінки якості навколишнього природного середовища для ранжування території шламонакопичувача комбінату «Запоріжсталь» за рівнем техногенного навантаження та ступеня цього впливу на окремі компоненти навколишнього природного середовища. Рекомендовано для запобігання забрудненню водного басейну р. Дніпро стічними водами та шламами комбінату «Запоріжсталь» виконати додатковий комплекс науково-дослідних та проектно-вишукувальних робіт з вивчення властивостей накопичених відкладів окалини в місцях її скидів у шламонакопичувач. Наведено основні заходи запобігання шкоди навколишньому природному середовищу. Приведено заходи щодо обмеження шкоди навколишньому природному середовищу.

Ключові слова: захист водного басейну, очищення стічних вод, металургійний комбінат, шламонакопичувач, важкі та рідкісні метали, фільтрат, ґрунтові та поверхневі води, утилізація шламів, завдана шкода навколишньому природному середовищу.

Як цитувати: Касімов Олександр, Удалов Ігор, Кононенко Аліна (2025). Оцінка ступеня забруднення середньої течії р. Дніпро та розробка заходів його мінімізації. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія», (62), 412-423. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-62-31>

In cites: Kasimov Oleksandr, Udalo Igor, Kononenko Alina (2025). Assessment of the degree of pollution of the middle reaches of the Dnipro River and development of measures to minimize it. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology, (62), 412-423. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-62-31> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Однією з найбільших транскордонних рік Європи є Дніпро, його басейн займає площу приблизно 511 тис.км², з яких 57,3 % знаходяться в Україні. Басейн охоплює понад 48 % території України і концентрує близько 80 % її водних ресурсів, що задовольняють продовольчі та питні потреби більше ніж 70 % населення країни. Щорічно у води Дніпра надходить понад 400 млн. м³/рік забруднених стоків. За значенням модифікованого індексу забруднення вода у середній та нижній течії річки Дніпро класифікується як «надзвичайно брудна» [1].

У басейні р. Дніпра виділено 3 основні зони забруднення поверхневих та підземних вод, які

сформовані під техногенним впливом [1-4].

Перша – зона розміщення хімічної промисловості та енергетики. У її межах виділено підзону впливу підприємств нафтопереробки – басейни рр. Березина, Орель, Сула та Псел, та підзона впливу підприємств харчової промисловості – Житомирська, Вінницька, Черкаська, Сумська, Полтавська та Харківська області.

Друга – зона гірничо-металургійного комплексу – басейн середньої течії р. Дніпро. Тут виділяють підзону розміщення підприємств гірничо-металургійного та енергетичного комплексів – Криворіжжя, Нікополь-Марганця, Дніпра, Дніпродзержинська та Запоріжжя.

У басейні р. Дніпро налічується понад 350 накопичувачів, з яких 279 шламонакопичувачів (ШН) та 22 – хвостосховища, решта – накопичувачі власне стічних вод (СВ). Найбільші накопичувачі скидів СВ та шламів розташовані в середній течії р. Дніпро у Дніпровському, Дніпродзержинському та Західно-Донбаському промислово-економічних районах, що становлять $\approx 75\%$ загальних скидів СВ. До них відносять накопичувачі СВ та шламів Північного, Центрального, Інгулецького, Південного та Новокриворізького гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) Криворіжжя, Полтавського, Орджонікідзевського ГЗК, комбінатів «Запоріжсталь», Дніпровського алюмінієвого та ін. [2]

Третя – зона із розвиненим зрошувальним землеробством півдня України.

Проблеми еколого-економічної оцінки наслідків розміщення накопичувачів неочищених стічних вод та шламів, які часто виступають як техногенні родовища важких і рідкісних металів (ТРМ), а також створення підприємств для їх видобутку, з'явилися лише в останні роки. Проте на практиці в Україні ще не існує реально апробованої методики для такої оцінки.

Також перед Україною зараз стоять технічні та еколого-гігієнічні завдання щодо мінімізації забруднень поверхневих та підземних вод, низка яких стосовно басейну р. Дніпро, розглянута у даній статті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Політика Європейського Союзу щодо управління навколишнім природним середовищем (НПС), зокрема водними ресурсами, спрямована на досягнення стійкого розвитку у водогосподарській сфері серед держав-членів. У кожній європейській країні ця політика має національні особливості, які залежать від історичних аспектів розвитку державного управління, рівня економічного і соціального прогресу, екологічної ситуації, географічних характеристик території, а також від стану водних ресурсів і культурних традицій населення [5].

У Франції в 1964 р. було створено систему управління водними ресурсами, яку нині визнають однією з найефективніших у світі. Завдяки цій системі у 1980-х рр. екологічний стан річок Франції значно покращився. Сучасна водна політика Франції розвивається на основі нового водного законодавства країни.

У Великобританії для реалізації національної політики у сфері використання та охорони водних ресурсів розробляються довгострокові програми, що визначають ключові напрямки водогосподарської діяльності. Особлива увага приділяється:

- раціональному водокористуванню та водовідведенню;

- запобіганню деградації та відновленню вододойм;

- гідроекологічному контролю;

- створенню технічних засобів контролю та управління якістю води.

У Німеччині визначено мету водогосподарської політики, яка полягає у відновленні і збереженні екологічної рівноваги водних ресурсів країни. Така екологічна стратегія є важливою для забезпечення довготривалого і надійного постачання якісної води населенню та іншим споживачам.

У Норвегії високі стандарти якості води підтримуються завдяки законодавчим нормам, які захищають водоймища і водозабори від діяльності, що може спричинити забруднення. Наприклад, у місті Осло 70 % питної води надходить із озера, розташованого за 6 км від міста [6].

Хоча ЄС займає провідні позиції, відповідальність за ефективне впровадження «водних» законів покладається на держави-члени [7]. Саме національні уряди відповідають за реалізацію водогосподарської політики ЄС у своїх країнах. Це критично важлива ланка системи: навіть найкраще розроблене законодавство ЄС не буде дієвим, якщо держави-члени не зможуть його належним чином застосувати та адаптувати до своїх національних нормативних актів.

В Україні, відповідно до статті 13 Водного кодексу [8], державне управління у сфері використання, охорони вод та відновлення водних ресурсів має здійснюватися за басейновим принципом на основі міждержавних, державних і регіональних програм. На даний момент формуються лише теоретичні та методичні основи цього підходу. Також розробляються програми екологічного оздоровлення окремих річкових басейнів і створюються громадські дорадчо-консультативні басейнові ради, як-от басейнова рада Західного Бугу, яка об'єднує представників Львівської та Волинської областей [6]. Однак через відсутність належної інституційної структури і відповідного нормативно-правового забезпечення, басейновий принцип управління в Україні ще не досяг рівня розвинених країн.

Цій темі присвячена низка робіт, опублікованих в Україні. Серед них варто відзначити праці В. А. Сташука [9], спільну роботу А. В. Яцика, Ю. М. Грищенка, Л. А. Волкової та інших [10], а також дослідження В. Б. Мокіна, В. В. Гребня та їхніх колег [11]. Серед видань особливу увагу привертає монографія О. Г. Васенка та Г. А. Верніченко [12], що детально розглядає комплексне планування і управління водними ресурсами, пропонує глибокий аналіз підходів до управління водними ресурсами в різних країнах.

Серед іноземних дослідників слід відмітити наступні колективи авторів: G. Martins, A.G. Brito, R. Nogueira [13] займаються дослідженням управління водними ресурсами в південній Європі; H.R. Khan, J. Liu, S. Liu, J. Li [14] оцінюють особливості антропогенного впливу на вміст важких металів у поверхневих відкладах річкової системи басейну Бенгалії, Бангладеш; Md.M. Naque, N.M. Niloy, O.K. Nayna, K.J. Fatema [15] визначають мінливість якості води та індексу забруднення металами в річці Ганг, Бангладеш; S. Chakraborty, K. Sarkar, S. Chakraborty, A. Ojha [16] оцінюють покращення якості поверхневих вод під час пандемічного локдауну в екологічно напруженому естуарії річки Хуглі (Ганг), Західна Бенгалія, Індія; A. Bridhikitti, T. Prabamroong, G.A. Yu [17] виявляють проблеми якості поверхневих вод у басейні річки Мун, Таїланд.

Невирішена частина загальної проблеми.

Автори статті намагалися двояко охарактеризувати проблему накопичувачів неочищених СВ та шламів промислових підприємств України, оскільки, з одного боку, вони є техногенними родовищами корисних компонентів великотоннажних відходів, а з іншого – завдають серйозної шкоди всім компонентам НПС.

Мета дослідження – визначити ступінь негативного впливу накопичувачів СВ та шламів на водний басейн р. Дніпро та запропонувати заходи для покращення якості води у головному джерелі водопостачання в районі розміщення одного з найбільших металургійних комбінатів України «Запоріжсталь».

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі задачі:

- проводився моніторинг якості води у водних об'єктах басейну р. Дніпро із визначенням найпоширеніших забруднюючих речовин, у т.ч. сполук ТРМ (іони Mn, Cu, Zn, Fe, Pb), сполук азоту, фенолів;

- визначалися середньорічні концентрації полутантів у період 2011-2022 рр. під впливом промислових об'єктів, комунального, сільського господарства та ін.

Методи дослідження. В роботі використовувється методика інтегральної оцінки якості НПС для ранжування території ШН за рівнем техногенного навантаження та ступеня його впливу на окремі компоненти НПС.

Викладення основного матеріалу. Найбільш поширеними забруднюючими речовинами у водних об'єктах басейну р. Дніпро залишаються сполуки ТРМ (Cr, Mn, Cu, Zn, Fe, Pb), сполуки азоту, феноли та нафтошлами. За даними гідрохімічних спостережень за період 2011-2022 рр. загалом у річках дніпровського басейну за більшістю показників якості води суттєво не змінилася.

Середньорічні концентрації основних забруднюючих речовин перевищували ГДК, а деякі знаходилися лише на рівні високого забруднення. Середньорічні концентрації азоту амонійного та нафтопродуктів були в межах 1-4 ГДК, азоту нітритного – 1-12 ГДК, сполук Zn – 1-5 ГДК, фенолів – 1-6 ГДК, Fe – 1-7 ГДК, Cr⁺⁶ – 1-13 ГДК, Mn – 1-18 ГДК, сполук Cu – 2-23 ГДК [1-4]. Значна частина водних ємнісних споруд нині зруйнована чи пошкоджена.

Максимальний вміст сполук Mn в межах 20-61 ГДК спостерігався у воді рр. Дніпро, Случ, Остер, Удай, Псел, Сула, Хорол, Ворскла, Вовча, Інгулець та Дніпровського водосховища, сполук Cu в межах 31-59 ГДК – у воді рр. Дніпро, Устє, Случ, Десна, Сула, Кременчуцького та Кам'янського водосховищ, з'єднань Zn у межах 10-16 ГДК – у воді Київського, Кременчуцького та Кам'янського водосховищ. У рр. Самара, Вовча, Солони постійно трапляються випадки значних забруднень сульфатами [1].

Основними джерелами впливу промислових підприємств на водний басейн є скидання неочищених та умовно очищених СВ, надходження фільтратів та поверхневих стоків з території накопичувачів СВ та шламів, осадження твердої фази організованих та неорганізованих пилогазових викидів у поверхневі водні об'єкти (рис. 1). Більше 40 % накопичувачів басейну належать до особливо небезпечних.

Індикаторами забруднення НПС є хімічний склад сировини, продукції підприємств з урахуванням фону в регіоні та скидів і шламів, що утворюються. Об'єктами завданої шкоди є приземна атмосфера, земельні ділянки, водоймища в межах розсіювання забруднень у діапазоні гранично допустимих концентрацій (ГДК), природні ландшафти та ін. [18].

Важливим напрямом у дослідженні процесів ресурсозбереження та скорочення негативного впливу накопичувачів СВ та шламів на водний басейн та здоров'я людини є вивчення складу та шляхів міграції у ґрунті поверхневих стоків та фільтратів, що містять розчинні сполуки ТРМ. На рис. 2, 3 наведено принципову схему надходження в поверхневі, підземні води та ґрунти іонів ТРМ та їх вміст у ґрунті біля накопичувача СВ [1-4; 19].

Близько 50 % накопичувачів сконцентровано у південній частині басейну р. Дніпро. Це накопичувачі шламів, що втратили цілісність. Із цих накопичувачів в поверхневі і підземні води інфільтруються розчини ряду токсичних сполук [1].

Авторами статті для ШН комбінату «Запоріжсталь» розроблена принципова структурна схема мінімізації шкоди НПС від його впливу. Досліджуваний ШН комбінату «Запоріжсталь» ємні-



Рис. 1. Фактори дії накопичувача СВ на водні басейни рік України /

Fig. 1. Factors affecting the storage of natural gas on water basins of Ukraine

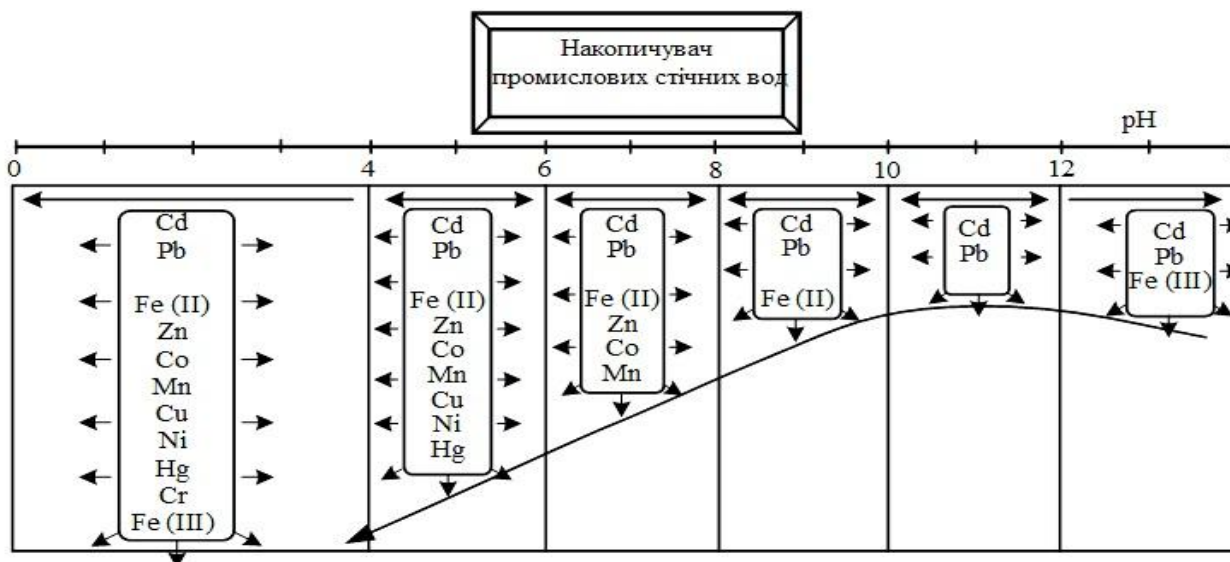


Рис. 2. Схема надходження в поверхневі та підземні води іонів ТРМ з накопичувача СВ та шламів промислового об'єкта / Fig. 2. Scheme of the entry of heavy metal ions into surface and groundwater from the wastewater and sludge storage tank of an industrial facility

стю 10,5 млн. м³ запроектований харківським «Водоканалпроектом». Скидання в нього СВ і шламів складає 1,1 млн. т/рік, термін служби – 25 років, площа ШН – 135 га, експлуатується ШН з 1958 р. У накопичувач передбачено скидання СВ та шламів:

– комбінату «Запоріжсталь» – шламів мокрих газоочисток аглофабрики, доменних, мартенівських печей, машин розливання чавуну, стоків ТЕЦ, обводненої окалини прокатних цехів, цеху виливниць, відпрацьованих емульсій та ін. [1-4; 18];
– коксохімічного заводу – шламів вуглемийки,

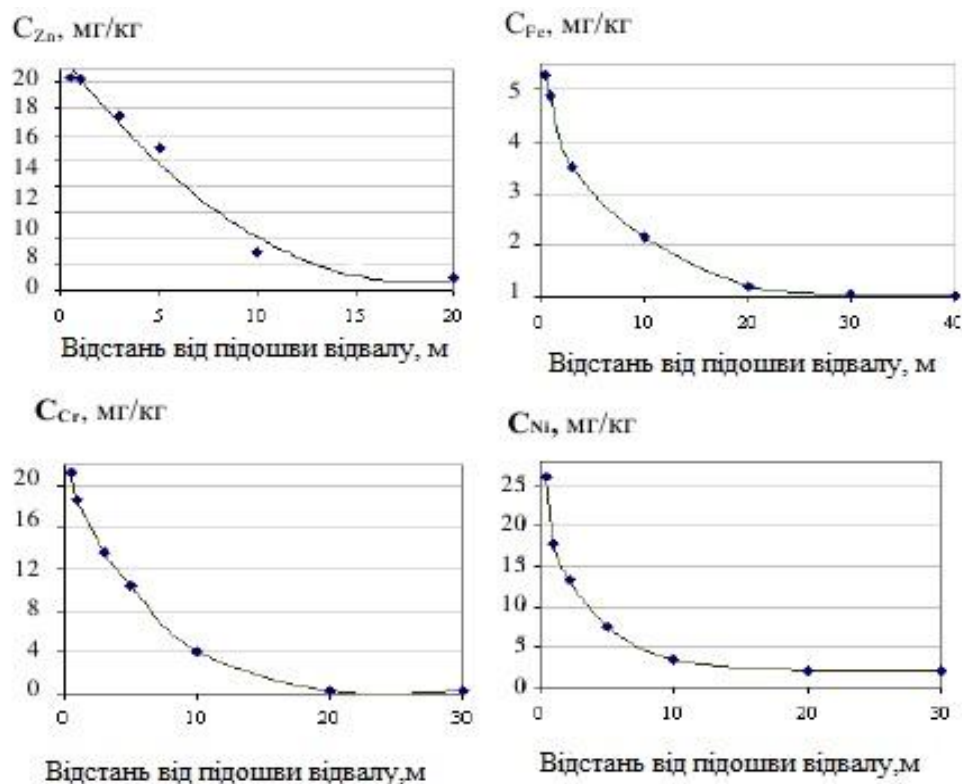


Рис. 3. Вміст важких металів у ґрунті біля накопичувачів СВ та шламів /
Fig. 3. Heavy metal content in soil near wastewater and sludge storage tanks

хімічно забруднених СВ;

- «Алюмінієвого заводу» – шламів мокрих газоочисток ТЕЦ, що працювала на твердому паливі, та шламів глиноземного виробництва;
- заводу «Дніпроспецсталь» – обводненої прокатної окалини, нейтралізованих та кислих СВ, шламів мокрих газоочисток;
- «Метизного заводу» – нейтралізованих та кислих СВ;
- заводу «Кремнійполімер» – шламів хімічного виробництва.

Враховуючи, що в системі оборотного циклу комбінату в сьогоденні умовах в середньому затримується 12 тис. т/рік окалини, за період з 1958 по 1979 рр. окалина, що міститься в СВ накопичувалася в руслі балки «Капустянка» і за 21 рік її маса склала більше 252 тис. т.

Фахівцями комбінату спільно з авторами статті виконано модернізацію газоочисного обладнання аглоцеху та гідротехнічних споруд оборотного циклу водопостачання «мокрих» газоочисток доменних печей, що дозволило значно скоротити скидання СВ у водозбірну споруду «балка Капустянка» (рис. 4).

Також авторами даної статті розроблено нову маловідходну економічно ефективну технологію утилізації замасленої окалини з отриманням збагачених ферумом брикетів або окатишів, придатних для використання в основному виробництві комбінату [1-4; 18]. Як сировину використано

представницькі проби окалини цехів комбінату «Запоріжсталь».

Принципова структурна схема мінімізації шкоди НПС від впливу ШН наведено на рис. 5.

Для запобігання забрудненню водного басейну р. Дніпро СВ та шламами із ШН комбінату «Запоріжсталь» доцільно виконати додатковий комплекс науково-дослідних та проектно-вишукувальних робіт з вивчення властивостей накопичених відкладів окалини в місцях її скидів у ШН для створення виробничого комплексу з утилізації окалини із отриманням за технологією авторів цієї статті збагачених ферумом брикетів/окатишів для використання в умовах комбінату.

Авторами статті використана методика інтегральної оцінки якості НПС для ранжування території ШН комбінату «Запоріжсталь» за рівнем техногенного навантаження та ступеня цього впливу на окремі компоненти НПС [1; 3-4; 18].

Ступінь негативного впливу підприємства на НПС визначається його розмірами. Виділяють об'єкти з низькою, середньою та високою інтенсивністю негативного впливу, яким відповідають значення коефіцієнта k_1 (табл. 1). Ступінь небезпеки накопичених речовин визначається за формулою:

$$D = 5 - (O_n - 0,25) N \quad (1)$$

де D – ступінь їхньої небезпеки; O_n – клас небезпеки найнебезпечнішого компонента; N – кількість факторів додаткової небезпеки [1-5].

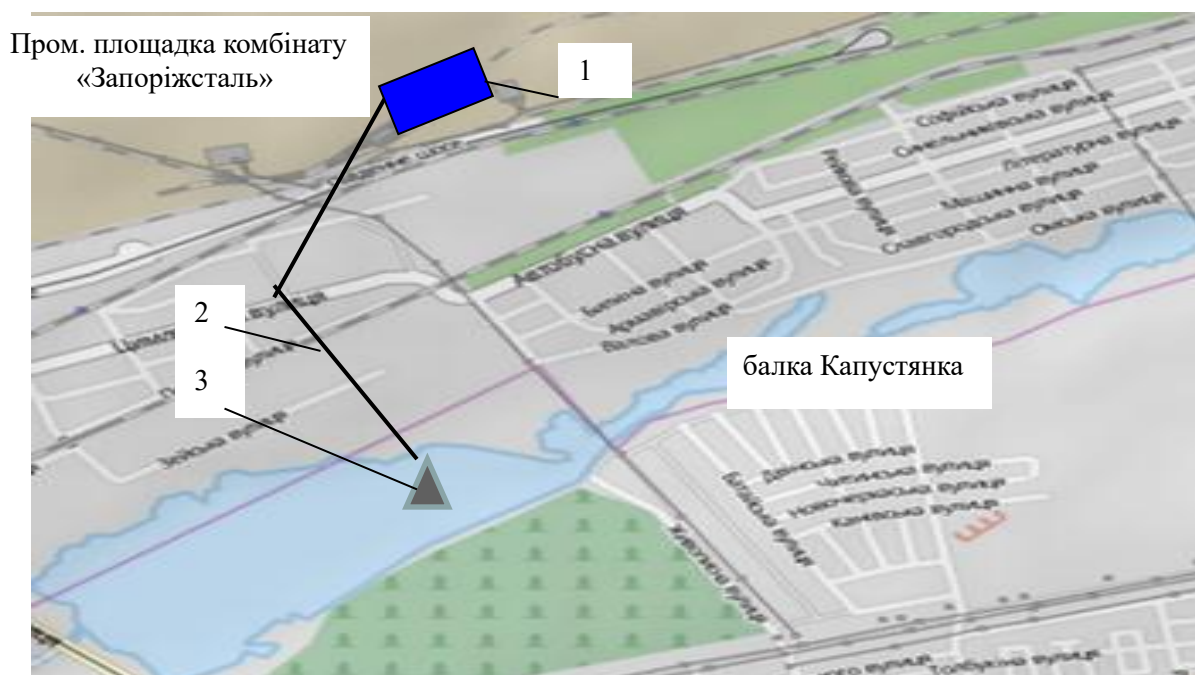


Рис. 4. Розробка шламових відкладів водозбірної споруди комбінату «Запоріжсталь» у балці «Капустянка»: 1 – оборотний цикл СВ, що містять окалину;

2 – пульпопровід $L = 1,5$ км, $D = 600$ мм; 3 – земснаряд /

Fig. 4. Development of sludge deposits of the water collection structure of the Zaporizhstal plant in the Kapustyanka beam. 1 – reversible cycle of sludge containing scale; 2 – slurry pipeline $L = 1.5$ km, $D = 600$ mm; 3 – dredger

Таблиця 1/ Table 1

Коефіцієнти інтенсивності впливу на НПС накопичувача стічних вод та шламів /
Environmental impact intensity factors of wastewater and sludge storage facilities

Коефіцієнт інтенсивності впливу об'єкта на НПС	Площа об'єкта, га	Об'єм сховища, м ³	Розмір санзони, м
Низька ($k_1=1$)	< 1	< 10 тис.	< 500
Середня ($k_1=1,5$)	1–10	10–250 тис.	500–1000
Висока ($k_1=2$)	>10	> 250 тис.	>1000

Іншим найважливішим параметром, що визначає ступінь негативної дії об'єкта на НПС є надійність споруди. При оцінці використовують коефіцієнти надійності (k_2) (табл. 2).

Наявність та оперативність системи моніторингу НПС може істотно впливати на масштаби негативного впливу об'єкта, так як від цього залежить оперативність ухвалення рішень у випадках аварійного забруднення НПС (табл. 3).

Для розрахунку показника ступеня потенційної екологічної небезпеки об'єкта (l_0) визначають похідні коефіцієнтів k_1 , k_2 , k_3 . В залежності від результату показник ступеня l_0 визначають за табл. 4.

Залежно від конструкції протифільтраційних екранів об'єкти розміщення накопичених СВ та шламів мають такі коефіцієнти технологічної захищеності підземних вод $k_{g,w}/l_{s,w}$ (табл. 5). Показник ступеня природної захищеності поверхневих вод ($l_{s,w}$) наведено у табл. 6.

Значення ступеня потенційної негативної дії накопичених промислових відходів на НПС розраховують за формулою:

$$C = D(a \text{ або } D_m) \cdot l_0 \cdot (l_a \cdot k_a + l_{g,w} \cdot k_{g,w} + l_{s,w} \cdot k_{s,w}) \quad (2)$$

де C – ступінь негативної дії накопичених скидів та шламів; D – ступінь їхньої власної небезпеки; D_m – середній ступінь власної небезпеки всіх видів скидів і шламів (використовується у разі спільного складування різних типів речовин, що скидаються); l_0 – ступінь екологічної небезпеки споруди; l_a – ступінь природної захищеності атмосфери; $l_{g,w}$ – ступінь природної захищеності підземних вод; $l_{s,w}$ – ступінь природної захищеності поверхневих вод; k_a , $k_{g,w}$, $k_{s,w}$ – коефіцієнти технологічної захищеності атмосфери, підземних та поверхневих вод відповідно [1-4].

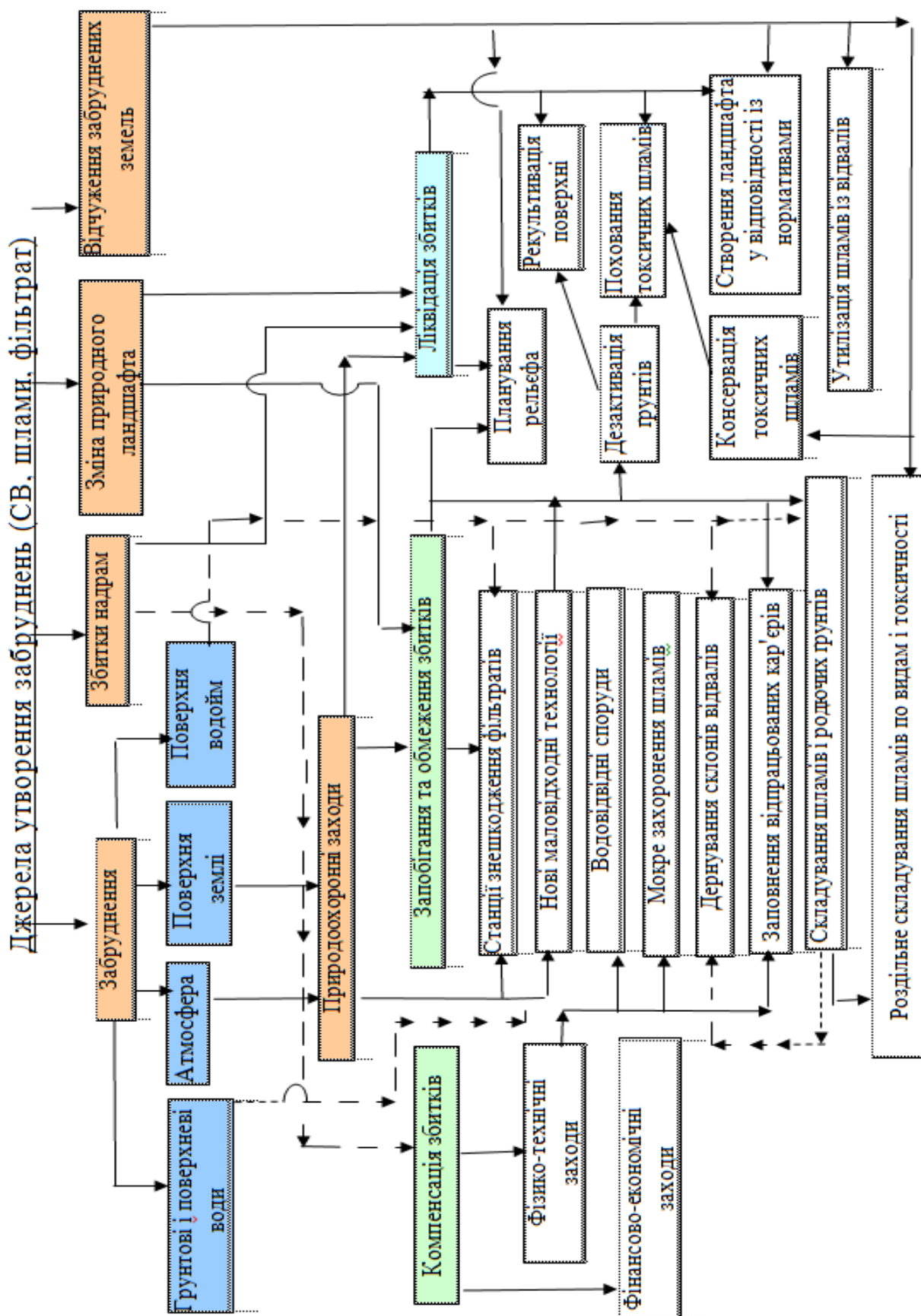


Рис. 5. Принципова структурна схема мінімізації шкоди НПС від впливу ППН /
Fig. 5. Schematic structural diagram of minimizing damage to the environment from the impact of a sludge storage tank

Таблиця 2 / Table 2

Коефіцієнти надійності об'єктів зберігання скидів / Reliability factors of discharge storage facilities

Коефіцієнт надійності об'єкта (k_2)	Коефіцієнт зносу об'єкта	Заповнення сховища, %	Строк безаварійної експлуатації
1,5	> 1	>100	<1 року
1	0,75–1	75–100	1–5 років
0,75	< 0,75	< 75	> 5 років

Таблиця 3 / Table 3

Коефіцієнти ефективності моніторингу НПС (k_3) / Environmental monitoring efficiency factors (k_3)

Коефіцієнт ефективності моніторингу (k_3)	Частота замірів якості повітря	Частота замірів якості поверхневих і підземних вод	
1,0	щодня	щомісячно	1 раз в 6 міс.
1,1	рідше	рідше	рідше
1,25	відсутні		

Таблиця 4 / Table 4

Показник ступеня потенційної екологічної небезпеки спорудження/об'єкта (l_0) /Indicator of the degree of potential environmental hazard of a structure/object (l_0)

l_0	1	2	3
Похідна коефіцієнтів k_1, k_2, k_3	< 2	2–4	> 4

Таблиця 5 / Table 5

Коефіцієнт негативного впливу об'єкта на підземні води $k_{g.w.}$ /Coefficient of negative impact of the facility on groundwater $k_{g.w.}$

$k_{g.w.}$ / ступінь	Екран	Матеріал екрана	Потужність, м
1 (дуже висока)	відсутній	–	–
0,75 (висока)	1-шаровий, тільки днище	плівка	< 0,3
0,5 (середня)	1-шаровий, днище та борта	грунт, бетон	0,3–0,8
0 (дія практично відсутня)	2-шаровий, днище та борта	асфальтобетон, бетон + плівка, грунт	> 0,8

Таблиця 6 / Table 6

Показник природної захищеності поверхневих вод ($l_{s.w.}$) / Indicator of natural protection of surface waters ($l_{s.w.}$)

Сумарний бал	3–4	5–6	7–8
$l_{s.w.}$	0,5	1,0	1,5

Таблиця 7 / Table 7

Ступінь негативного впливу СВ та шламів на НПС /

The degree of negative impact of wastewater and sludge on the environment

Ступінь	низька	середня	висока
Значення	<30	30–60	>60

Ступінь негативного впливу накопичених матеріалів на НПС визначається за табл. 7.

Наведена маса забруднювачів і зона забруднення території для джерела визначаються по [1-

4; 18]. Наведена маса j -го поллютанта у ґрунті від i -го джерела визначається за формулою:

$$M_{pi} = m_{ij} \cdot A_j \cdot S_{ij}, \quad (3)$$

де m_{ij} – річна маса j -го поллютанта на одиницю площі, що надходить з i -го джерела; A_j – екологічний показник відносної небезпеки надходження j -го поллютанту у ґрунт; S_{ij} – площа зони активного забруднення ґрунту j -м поллютантом від i -го джерела.

Аналіз всього комплексу еколого-економічних функцій показує, що існування природних об'єктів значно цінніше вигод, що отримуються від їхнього одностороннього промислового використання. Навіть без урахування екологічних та соціальних ефектів, що не підлягають економічній оцінці, визначення економічної шкоди від забруднення НПС на стадії передпроектних рішень допомагає уникнути багатьох екологічних та економічних прорахунків.

Заходи щодо компенсації завданої шкоди мають відповідати вкладенню фінансових та інших коштів. Заходи щодо ліквідації збитків визначаються характером земель, що відводяться, властивостями накопичених матеріалів і включають [20]:

- планування рельєфу з рекультивацією та використанням територій у рекреаційних цілях;
- консервацію токсичних СВ, що розміщуються, і шламів з їх обваловкою, похованням і використанням ділянок, що утворюються, у виробничо-господарських цілях;
- біологічну рекультивацію з урахуванням придатності відроджуваних земель (засипання піском, гіпсування, укладання родючого шару, ґрунтування та ін.);
- поховання токсичних шламів у спеціальних сховищах;
- утилізацію СВ і рідкої фази шламів, що складаються.

На рис. 6 наведено залежності ступеня шкоди НПС у районі розміщення накопичувачів СВ та шламонакопичувачів.

Основні заходи запобігання шкоди НПС [20]:

- розробка маловідходних технологій, зниження класу небезпеки речовин, що надходять у накопичувач СВ та шламів;

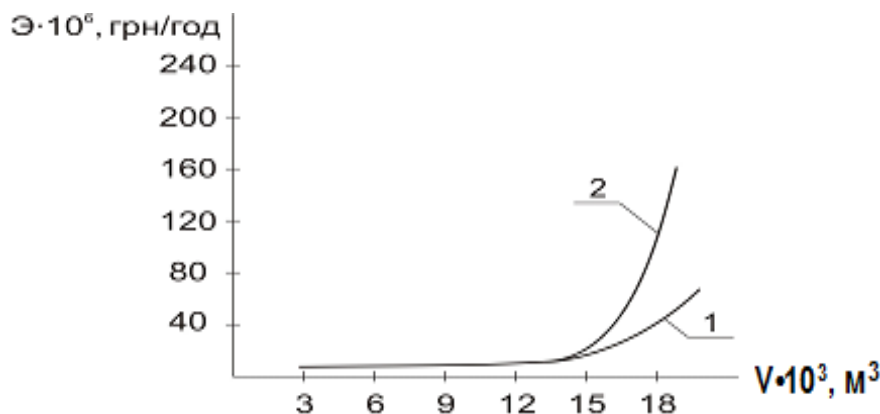


Рис. 6. Номограма для визначення шкоди НПС від впливу накопичувача СВ та шламів залежно від обсягу їх складування та класу небезпеки (КНп): 1 – шлами 3 КНп; 2 – шлами 1 КНп. /

Fig. 6. Nomogram for determining the environmental damage from the impact of a wastewater and sludge storage tank depending on the volume of their storage and hazard class (Hazard Class):

1 – sludge 3 Hazard Class; 2 – sludge 1 Hazard Class

– розробка технологічних схем відведення підвідвальних вод, їх очищення та повернення в основне виробництво;

– винесення сільгоспоб'єктів з районів впливу накопичувачів СВ.

До заходів щодо обмеження шкоди НПС входять:

– утилізація цінних компонентів із СВ та шламів, використання нейтральних твердих компонентів як закладного матеріалу та для будівництва доріг у районі їх господаря;

– відведення площ під розширення накопичувачів з урахуванням вартості землі, обсягів скидів і шламів, рельєфу місцевості, рози вітрів.

Соціально-економічні передумови вирішення проблеми включають:

- усвідомлення необхідності глибокої рефор-

ми існуючої практики природокористування на всіх етапах виробничої діяльності;

– пріоритетність екологічних імперативів у структурній перебудові економіки, розвитку науки та технологій;

– необхідність реформування та розвитку всієї правової та економічної системи регулювання природокористування.

Розмір економічної шкоди від забруднення НПС перестав бути нормативним показником. Методи його розрахунку у європейських країнах різняться за економічною складовою. Тому важко зіставити оцінки збитків, отриманих у цих країнах.

В умовах сьогодення особливого значення набуває визначення основних напрямів та масштабів зростання використання вторинних ресурсів з урахуванням комплексу еколого-економіч-

них та соціальних факторів [1-4]. Економічне забезпечення має включати розробку механізмів пільгового оподаткування та кредитування суб'єктів підприємницької діяльності при очищенні СВ та утилізації вилучених сполук ТРМ, у т.ч. положень про методи визначення ресурсоцінних компонентів, про організаційно-економічний механізм управління суб'єктами на регіональному та галузевому рівнях, про державне стимулювання заходів щодо їх використання.

Висновки. 1. Проблема запобігання шкоді НПС у районах розміщення накопичувачів неочищених СВ та шламів промислових підприємств України має двоякий характер, оскільки, з одного боку, є техногенними родовищами корисних компонентів великотоннажних відходів, а з іншого – завдають серйозної шкоди всім компонентам НПС.

2. Доцільність інвестицій в утилізацію цінних компонентів зі складу СВ і шламів, що скидаються, характеризується великим економічним ефектом і малим терміном окупності створюваних виробничих об'єктів.

3. Для запобігання забрудненню водного басейну річок стічними водами промислових об'єктів, шламами і фільтратами ШН у балці «Капустянка» доцільно виконати комплекс додаткових науково-дослідних і проектно-вишукувальних робіт з вивчення властивостей накопичених відкладень окалини в районах її скидів для створення виробничого комплексу з утилізації в основному виробництві комбінату «Запоріжсталь».

4. Наведені у статті дані можуть бути корисними для прогнозу наслідків впливу на НПС з боку накопичувачів СВ, хвостосховищ і відвалів великотоннажних відходів на інших об'єктах.

Список використаних джерел

1. Kasimov, A., Stalinska, I., & Sorokina, K. (2017). Assessment of the pollution degree of the dnepir river and development of measures for its decrease. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10 (87)), 41–49. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101388>
2. Семиноженко, В.П., Касимов, А.М. (2011). *Промышленные отходы: проблемы и решения*. Харьков: Индустрия.
3. Касимов, А.М., Гуренко, И.В., Мацевитая, И.Н. (2013). Экологические и экономические инструменты сокращения ущерба окружающей среде со стороны накопителей промышленных отходов. *Экология и промышленность*, 1. 79–83.
4. Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления (1999). Госкомэкология.
5. Shaofeng, Jia, Aifeng, Liu, Wenbin, Zhu, Gojenko Integrated, Boris (2024). River Basin Management (IRBM). *Water Resources in the Lancang-Mekong River Basin: Impact of Climate Change and Human Interventions*, 283–325. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-0759-1_8
6. Хільчевський, В.К., Забокрицька, М.Р., Кравчинський, Р.Л., Чунарьов, О.В. (2015). *Основні засади управління якістю водних ресурсів та їхня охорона*. К: ВПЦ «Київський університет».
7. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС (2006). *Основні терміни та їх визначення*, Київ.
8. Водний кодекс України (Закон України). № 213/95-ВР (1995). Вилучено з <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/213/95>.
9. Сташук, В.А., Мокін, В.Б., Гребінь, В.В. (2014). *Наукові засади раціонального використання водних ресурсів України за басейновим принципом*. Херсон.
10. Яцик, А.В., Грищенко, Ю.М., Волкова, Л.А., Пашенюк, І.А. (2007). *Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління*. К.: Генеза.
11. Гребінь, В.В., Мокін, В.Б., Хільчевський, В.К. (2013). *Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу*. К: Інтерпрес.
12. Васенко, О.Г., Верніченко, Г.А. (2001). *Комплексне планування та управління водними ресурсами*. К: Ін-т географії НАН України.
13. Martins, G., Brito, A.G., Nogueira, R., Ureña, M., Fernández, D., Luque, F.J., Alcácer C. (2013). Water resources management in southern Europe: Clues for a research and innovation based regional hypercluster. *Journal of Environmental Management*, 119. 76–84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.0272>.
14. Khan, M.H.R., Liu, J., Liu, S., Li, J., Cao, L., Rahman, A. (2020). Environ Anthropogenic effect on heavy metal contents in surface sediments of the Bengal Basin river system, Bangladesh. *Sci. Pollut. Res. Int.*, 27(16). 19688–19702. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08470-4>
15. Haque, Md. M., Niloy, N.M., Nayna, O.K., Fatema, K.J., Quraishi, S.B., Park, J.H., Kim, K.W. (2020). Variability of water quality and metal pollution index in the Ganges River, Bangladesh. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 27(34). 42582–42599. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10060-3>
16. Chakraborty, S., Sarkar, K., Chakraborty, S., Ojha, A., Banik, A., Chatterjee A. (2021). Assessment of the surface water quality improvement during pandemic lockdown in ecologically stressed Hooghly River (Ganges) Estuary, West Bengal, India. *Mar. Pollut. Bull.*, 171. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112711>
17. Bridhikitti, A., Prabamroong Sustain, T., Yu, G.A. (2020). Problem identification on surface water quality in the Mun River Basin, Thailand. *Water Resour. Manag.*, 6 (4) DOI: <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00413-8>
18. Касимов, А.М., Товажнянский, Л.Л., Тошинский, В.И., Сталинский, Д.В. (2009). *Управление опасными промышленными отходами. Современные проблемы*. А. М. Касимов (ред.). Х., Изд. Дом НТУ «ХПИ».

19. Касимов А.М. (2013). Миграция ионов тяжелых и редких металлов в почвах вокруг золошлаковых отвалов ряда угольных ТЭС Украины. *Mater. IX Mezinárodní vědecko-praktická Konference «Vědecký Promysl Evropského kontinentu-2013. 27.11.2013-05.12/2013»*. Díl. 33 *Technické vědy. Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o.*
20. Касимов, А.М. (2011). Основные мероприятия по ликвидации ущерба окружающей природной среде в районе размещения накопителей отходов металлургических заводов. *Черная металлургия: Бюллетень института «Черметинформация»*, Вып. 12 (1344). 70-72.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Конфлікт інтересів: автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів

Assessment of the degree of pollution of the middle reaches of the Dnipro River and development of measures to minimize it

Oleksandr Kasimov¹

DSc (Technical), Professor, Head of the Scientific and Technical Department

¹ State Enterprise "Ukrainian Coal Chemical Institute", Kharkiv, Ukraine;

Igor Udalov²

DSc (Geology), Professor, Department of Fundamental and Applied Geology,

² V.N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine;

Alina Kononenko²

PhD (Geology), Associate Professor of the Department of Fundamental and Applied Geology

ABSTRACT

Problems Statement and Purpose. Ukraine is currently facing technical and ecological and hygienic challenges to minimize pollution of surface and groundwater, a number of which, in relation to the Dnipro River basin, are discussed in this article. The authors of the article tried to characterize the problem of untreated wastewater and sludge reservoirs of industrial enterprises of Ukraine in two ways, since, on the one hand, they are man-made deposits of useful components of large-tonnage waste, and on the other hand, they cause serious harm to all components of the environment. The purpose of the study is to determine the degree of negative impact of wastewater and sludge storage tanks on the Dnipro River basin and to propose measures to improve water quality in the main source of water supply in the area where one of the largest metallurgical plants in Ukraine, Zaporizhstal, is located.

Materials and Methods of Research. The work uses the methodology of integrated assessment of environmental quality to rank the territory of the sludge storage facility by the level of technogenic load and the degree of its impact on individual components of the environment.

Results. The article assesses the impact of industrial wastewater and sludge storage tanks on the state of the Dnieper River water basin. Water quality monitoring was carried out in water bodies of the Dnipro River basin with the determination of the most common pollutants, including compounds of technogenic metal deposits (Mn, Cu, Zn, Fe, Pb ions), nitrogen compounds, and phenols. A schematic diagram of the entry of toxic compounds of heavy and rare metals from technogenic deposits into surface, groundwater and soil and their content in the soil near the wastewater and sludge storage tank is presented. A basic structural diagram has been developed for the sludge storage tank of the Zaporizhstal plant to minimize damage to the environment from its impact. The methodology of integrated assessment of environmental quality was used to rank the territory of the sludge storage facility of the Zaporizhstal plant by the level of technogenic load and the degree of this impact on individual components of the environment. The main measures for preventing and limiting damage to the environment are presented.

Conclusions. 1. The problem of preventing damage to the environment in areas where untreated wastewater and sludge storage facilities of industrial enterprises of Ukraine are located is twofold: on the one hand, they are man-made deposits of useful components of large-tonnage waste, and on the other hand, they cause serious damage to all components of the natural environment. 2. The feasibility of investments in the utilization of valuable components from the composition of discharged wastewater and sludge is characterized by a large economic effect and a short payback period for the created production facilities. 4. The data provided by the statistics may be useful for forecasting the influx of excess wastewater into the natural medium from the side of accumulative wastewater, tailings and dumps of large-tonnage waste at other facilities.

Keywords: water basin protection, wastewater treatment, metallurgical plant, sludge storage tank, heavy and rare metals, filtrate, groundwater and surface water, sludge disposal, damage to the environment.

References

1. Kasimov A., Stalinska I., Sorokina, K. (2017). Assessment of the pollution degree of the dnep river and development of measures for its decrease. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(10(87), 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.101388>

2. Seminozhenko, V.P. Kasimov, A.M. (2011). *Industrial waste: problems and solutions*. Kharkiv: Industry. [in Russian]
3. Kasimov, A.M., Gurenko, I.V., Matsevitaya I.N. (2013). *Ecological and economic tools for reducing the damage to the environment from the side of industrial waste collectors*. *Ecology and industry*, 1, 79-83.
4. *Collection of specific indicators of production and consumption waste generation* (1999). M.: State Committee for Ecology.
5. Shaofeng, Jia, Aifeng, Lyu, Wenbin, Zhu, Gojenko Integrated, Boris (2024). *River Basin Management (IRBM). Water Resources in the Lancang-Mekong River Basin: Impact of Climate Change and Human Interventions*, 283-325. https://doi.org/10.1007/978-981-97-0759-1_8
6. Khilchevsky, V. K., Zabokrytska, M. R., Kravchinsky, R. L., Chunar'yov, O. V. (2015). *Basic principles of water resources quality management and their protection: a manual*. K.: VPC "Kyiv University". [in Ukrainian]
7. *EU Water Framework Directive 2000/60/EC* (2006). Key terms and their definitions, Kyiv. [in Ukrainian]
8. *Water Code of Ukraine (Law of Ukraine)*. No. 213/95-BP (1995). Retrieved from <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/213/95> [in Ukrainian]
9. Stashuk, V. A., Mokin, V. B., Hrebin, V. V. (2014). *Scientific principles of rational use of water resources of Ukraine according to the basin principle*. Kherson. [in Ukrainian]
10. Yatsyk, A. V., Grishchenko, Yu. M., Volkova, L. A., Pashenyuk I. A. (2007). *Water resources: use, protection, reproduction, management*. Kyiv: Geneza. [in Ukrainian]
11. Hrebin, V. V., Mokin, V. B., Khilchevskyi, V. K. (2013). *Methods of hydrographic and water management zoning of the territory of Ukraine in accordance with the requirements of the Water Framework Directive of the European Union*. Kyiv: Interpress. [in Ukrainian]
12. Vasenko, O. G., Vernichenko, G. A. (2001). *Integrated planning and management of water resources*. Kyiv: Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine. [in Ukrainian]
13. Martins, G., Brito, A.G., Nogueira, R., Ureña, M., Fernández, D., Luque, F.J., Alcácer C. (2013). *Water resources management in southern Europe: Clues for a research and innovation based regional hypercluster*. *Journal of Environmental Management*, 119, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.0272>
14. Khan, M.H.R., Liu, J., Liu, S., Li, J., Cao, L., Rahman, A. (2020). *Environ Anthropogenic effect on heavy metal contents in surface sediments of the Bengal Basin river system, Bangladesh*. *Sci. Pollut. Res. Int.*, 27(16). 19688-19702. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08470-4>
15. Haque, Md. M., Niloy, N.M., Nayna, O.K., Fatema, K.J., Quraishi, S.B., Park, J.H., Kim, K.W. (2020). *Variability of water quality and metal pollution index in the Ganges River, Bangladesh*. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, 27(34). 42582-42599. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10060-3>
16. Chakraborty, S., Sarkar, K., Chakraborty, S., Ojha, A., Banik, A., Chatterjee A. (2021). *Assessment of the surface water quality improvement during pandemic lockdown in ecologically stressed Hooghly River (Ganges) Estuary, West Bengal, India*. *Mar. Pollut. Bull.*, 171. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112711>
17. Bridhikitti, A., Prabamroong Sustain, T., Yu, G.A. (2020). *Problem identification on surface water quality in the Mun River Basin, Thailand*. *Water Resour. Manag.*, 6 (4) <https://doi.org/10.1007/s40899-020-00413-8>.
18. Kasimov, A.M., Tovazhnyansky, L.L., Toshinsky, V.I., Stalinsky, D.V. (2009). *Hazardous Industrial Waste Management. Current Issues*. A. M. Kasimov (ed.). Kh.: Publ. House of NTU "KhPI".
19. Kasimov, A.M. (2013). *Migration of ions of heavy and rare metals in soils around ash and slag dumps of some coal-fired thermal power plants in Ukraine*. *Materials of the IX Mezinárodní vědecko-paktická Konference «Vědecký Promysl Evropského kontinentu. Díl. 33rd Technical Conference*. Prague. Publishing House «Education and Science».s.r.o., 75-81.
20. Kasimov, A.M. (2011). *Main measures to eliminate damage to the environment in the area of waste storage facilities of metallurgical plants*. *Ferrous metallurgy: Bulletin. of the Institute "Chermetinformatsiya"*, 12 (1344). 70-72.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest

Received 24 March 2025

Accepted 25 April 2025