

УДК 502.3

**Volodymyr D. Pohrebennyk**<sup>1</sup>, Full professor, D. S., Professor at the Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity  
ORCID ID 0000-0002-1491-2356 *e-mail*: vpohreb@gmail.com

**Anatoly A. Nester**<sup>2</sup>, PhD (Engineering), Associate Professor

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

<sup>2</sup>Khmelnitsky National University, Khmelnytsky, Ukraine

## ASSESSMENT OF THE RISK OF EMERGENCY SITUATIONS DURING THE STORAGE OF GALVANIC WASTE

**Abstract.** *The article is dedicated to the research of the consequences of emergencies related to the storage of waste (sludge) on the territory of the enterprise, as well as directly in the process of carrying out technological processes for the estimation of danger to health and human life. The problem of industrial and household waste recycling is becoming more pressing nowadays taking into consideration constantly increasing volume of waste generation, while the rate of its processing is incomparably small. As a result, hundreds of millions of tons of various solid wastes must be recycled and disposed.*

*The scale of annual production and accumulation of solid waste requires the creation of powerful processing plants with a capacity of millions tons per year with their industrial development. The environment is considered to be safe when its condition meets legislated criteria, standards, limits and standards established by legislation concerning cleanliness (not pollution), not exhaustion, environmental sustainability, sanitary requirements, ability to satisfy the interests of citizens. The level of environmental pollution in the areas of production of plates, galvanizing and painting plants, which are the greatest sources of environmental hazard and belong to main pollutants.*

*The question of risk estimation and management in different production branches of Ukraine and leading countries nowadays became urgent and significant because of repeated use of chemical elements, imperfection of disinfection and utilization processes.*

*The work objective lies in estimation of hazard level to human health and life consequent on occurring emergencies, connected with galvanizing processes and waste conservation (sludge) on the territory of the enterprise.*

*Sludge hazard classes during production of plates and galvanics are defined, allowing a possibility of searching the ways for increasing ecological safety level of territories of enterprises, involved in plate and galvanics production.*

*Application of "risk" definition lead to impossibility of the development of unified approach to its estimation. Plenty of risk types exists, among which is ecological risk. National standard of Ukraine (ДСТУ 2156-93. Industrial safety. Definitions) specifies risk of industrial enterprises as probability of potential danger realization, initiated by industrial enterprises and (or) negative consequences of this realization.*

*On the grounds of research results of galvanic sludge content the effective content and dangerous substances content was determines. Two examples of sludge taken from different Ukrainian enterprises, kept inside plantsite area, were shown. It was determined that hazard index is above normal and this risk level is inadmissible.*

*Emergencies, accompanied by storage area dismemberment and lead to galvanic sludge insertion into the environment, increasing risk for human health. Obtained*

level of carcinogenic risk and hazard index indicate on the necessity of carrying complex of resolutions concerning prevention of emergencies and minimizing their consequences. Following researches have to be directed for search of alternatives of sludge storing on the territories of enterprises, for wastes utilization with separation of valued components and recurrent use of solutions in technological processes.

**Keywords:** hazard index; plate production; waste recycling; environmental safety

**В.Д. Погребенник<sup>1</sup>, А.А. Нестер<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

<sup>2</sup>Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

## **ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ВІД АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ ГАЛЬВАНІЧНИХ ВІДХОДІВ**

**Анотація.** Статтю присвячено дослідженням наслідків виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних зі зберіганням відходів (шламів) на території підприємства, так і безпосередньо в процесі проведення технологічних процесів, для оцінювання небезпеки для здоров'я та життя людини. Проблема утилізації відходів промислового й побутового походження набуває в наш час усе більш гострого характеру у зв'язку з тим, що обсяги генерування відходів постійно зростають, тоді як темпи їхнього перероблення незрівнянно малі. У результаті дотепер накопичено сотні мільйонів тонн різних твердих відходів, які необхідно переробляти й знешкоджувати. Масштаби щорічного продукування й нагромадження твердих відходів вимагають створення потужних переробних установок продуктивністю, вимірюваною мільйонами тонн у рік з їх промисловим освоєнням. Навколишнє середовище вважається безпечним, коли його стан відповідає встановленим у законодавстві критеріям, стандартам, лімітам і нормативам, які стосуються чистоти (не забруднення), не виснаженості, екологічної стійкості, санітарних вимог, здатності задовольняти інтереси громадян. Забруднення навколишнього середовища в районах розташування цехів виробництва плат, гальванічних і фарбувальних цехів, які є найбільшими джерелами екологічної небезпеки, належить до числа основних забруднювачів.

Питання оцінювання та управління ризиком в різних галузях виробництва України та передових держав набули актуальності та значущості сьогодні через широке використання хімічних елементів, недосконалість процесів знешкодження, утилізації відходів.

Метою роботи є оцінювання рівня небезпеки для здоров'я та життя людини внаслідок виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з гальванічними процесами та зберіганням відходів (шламів) на території підприємства.

Визначено класи небезпеки шламу виробництва плат та гальваніки, що дає змогу намітити шляхи для підвищення рівня екологічної безпеки територій підприємств виробництва плат і гальваніки.

Застосування терміну "ризик" призвело до неможливості розробити уніфікований підхід до його оцінювання. Існує багато видів ризиків, серед яких є екологічний ризик. Державний стандарт України (ДСТУ 2156-93. Безпечність промислових підприємств. Терміни та визначення) визначає ризик промислового підприємства як імовірність реалізації потенційної небезпеки, що ініціюється промисловим підприємством, та (або) негативних наслідків цієї реалізації.

*За результатами дослідження складу гальванічних шламів встановлено якісний склад та вміст небезпечних речовин. Подано два приклади шламів різних українських підприємств, які зберігаються на заводських територіях. Встановлено, що індекс небезпеки перевищує норму, тому такий рівень ризику є неприйнятним. Аварійні ситуації, що супроводжуються порушенням цілісності місць зберігання і призводять до потрапляння гальванічного шламу в довкілля, підвищують ризик для здоров'я людини. Отримані рівні канцерогенного ризику і індексу небезпеки вказують на необхідність прийняття комплексу рішень щодо відвертання виникнення надзвичайних ситуацій, а також мінімізації їх наслідків. Подальші дослідження повинні бути направлені на пошук альтернатив зберіганню шламів на територіях підприємств, на перероблення відходів з видаленням цінних компонентів та повторним використанням розчинів у технологічних процесах.*

**Ключові слова:** індекс небезпеки; виробництво плат; утилізація відходів; екологічна безпека

## Вступ

Питання стану та якості води є одними з пріоритетних в екологічній політиці європейських країн [1–3]. Стічні води, які містять важкі метали, становлять небезпеку для навколишнього середовища [4–8]. Гальванічне виробництво є одним з найнебезпечніших джерел забруднення довкілля, головним чином поверхневих і підземних вод, через утворення великого об'єму стічних вод, а також великої кількості твердих відходів, особливо від реагентного способу знешкодження стічних вод [9]. Сполуки металів, які виносяться стічними водами гальванічного виробництва, досить шкідливо впливають на екосистему ґрунт – рослина – тваринний світ – людина.

Під час використання гальванічних процесів в сучасному виробництві виникає ризик, пов'язаний з аварійними ситуаціями, який можна розглядати як ризик зберігання відходів, так і ризик в процесі проведення технологічних процесів. При цьому прийнято виділяти технічні, технологічні, організаційні та інші причини розвитку несприятливих ситуацій. Як ризик зберігання відходів, так і ризик в процесі проведення технологічних процесів є небезпекою для навколишнього середовища, в якому перебуває людина, тваринний світ та фауна. Тому такий ризик можна називати екологічним.

Сучасні підприємства, як і в кращий для виробництва час, виробляли приблизно  $4 \cdot 10^3$  м<sup>2</sup> плат, накопичили на своїй території по 1500-3000 тонн відходів за рік у вигляді солей, які зберігаються в ємкостях, поліетиленових мішках та потрапляють під дію атмосферних опадів. У процесі дії на них атмосферних опадів солі вимиваються та переходять в ґрунти, поверхневі води, забруднюючи навколишнє середовище.

Виробництво друкованих плат в Україні представлено підприємствами серед яких: АТ НПО “ЭТАЛ” м. Кіровоград, який випускає близько 4–5 тис. м<sup>2</sup> плат, маючи потужності для випуску 50000 м<sup>2</sup> плат, ДП “Гальванотехніка” ПАТ “Київського заводу “Радар”, ПАТ “Новатор” (м. Хмельницький) з випуском в межах 0,9 тис. м<sup>2</sup>, ПАТ “Концерн-Електрон” – 0,8 тис. м<sup>2</sup>. Це означає, що тільки одне підприємство може скинути зі стічними водами або накопичити шламів за рік до 5-6 т міді, що явно не веде до поліпшення екологічної обстановки навколо підприємств, які займаються виробництвом плат. До 1992 р. тільки в Києві скидалось більше 20 т міді

щорічно. Завод “Електронмаш” щорічно травив  $\approx 15\ 000\ \text{м}^2$  плат (а це призводить до виділення 7500 кг міді) [9].

Надзвичайні ситуації, які можуть виникнути під час зберігання та в процесі проведення технологічних процесів, можуть відрізнятися за ступенем тяжкості та характером наслідків. Їх негативний вплив відтворюється у вигляді прямої або побічної екологічної, економічної та соціальної шкоди.

Особливу небезпеку для людини і біоти становлять важкі метали. Шкідливий вплив таких важких металів, як хром і нікель, значно підвищується за їх канцерогенними властивостями, які проявляються в мутагенному ефекті, хромосомних ушкодженнях, зміні репарації ДНК і тому подібне.

Свинець впливає на кровотворну і нервову системи, шлунково-кишковий тракт і нирки. Сприяє анемію (оскільки включається до ланцюга біосинтезу гема і скорочує період життя еритроцитів), а також енцефалопатію, зниження розумових властивостей, викликає гіперкінетичні або агресивні стани, шлунково-кишкові розлади, диспепсію, кольки, нефропатію.

Кадмій — важкий метал, віднесений до другого класу небезпечності, має виражену тенденцію до накопичення в організмі. Отруєння кадмієм відбувається при потраплянні його в шлунок або інгаляційним шляхом. Абсорбований кадмій накопичується в печінці та нирках у вигляді комплексу з металотіонеїном. В еритроцитах і м'яких тканинах кадмій зв'язується з альфа 2-макроглобуліном та альбуміном. Кадмій зв'язується із сульфгідрильними групами білків, що призводить до їх денатурації та інактивації ферментів; пригнічується діяльність мітохондрій, підвищується вільнорадикальне окислення в клітинах. Концентрацію кадмію в нирках можна оцінити, досліджуючи нейтронно-активаційним методом отриманий субстрат сечі.

Хром викликає рак легенів і органів шлунково-кишкового тракту; нікель – рак носової порожнини і легенів [9]. За рахунок утворення комплексів з біоорганічними з'єднаннями вони довгий час можуть знаходитися в доступній для живих систем формі. Нікель індукує канцерогенез пригніченням генів і в результаті процесів гіперметилування і мутації ДНК, перетворення генів-супресорів пухлин в гетерохроматин.

## **Мета дослідження**

Метою роботи є оцінювання небезпеки для здоров'я та життя людини наслідків виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з гальванічними процесами та зберіганням відходів (шламів) на території підприємства.

## **Матеріали і методи**

Нині єдиною офіційно затвердженою в Україні методикою визначення класу небезпеки відходів є державні санітарні правила і норми ДСанПіН 2.2.7.029-99 «Гігієнічні вимоги до поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення» [10]. Цей нормативний документ містить деякі норми, що не відповідають вимогам діючого законодавства України та принципам державної регуляторної політики, тому Рішенням Державної служби України з питань регуляторної політики та розвитку підприємництва № 33 від 15.07.2014 р. Міністерству охорони здоров'я України було запропоновано визнати ДСанПіН 2.2.7.029-99 такими, що втратили

чинність, та усунути порушення принципів державної регуляторної політики у двомісячний строк з дня прийняття такого рішення. Проте і досі жодні зміни не були внесені у цей документ і жодних нових правил визначення класу небезпеки відходів Міністерством охорони здоров'я України розроблено не було і де-факто на практиці фахівці вимушені продовжувати користуватися цим нормативним недіючим документом, адже альтернативи немає.

Методику, яку висвітлено у вказаному нормативному документі, поширюють на тверді промислові та побутові відходи.

Суть методики визначення класу небезпеки складного відходу, описаної в [10], полягає в тому, що для окремого хімічного інгредієнта відходу визначають індекс токсичності за таким виразом

$$K_c = \frac{\lg(LD_{50})i}{(S + 0,1F + C_w)i}, \quad (1)$$

де  $LD_{50}$  – середня смертельна доза хімічного інгредієнта під час потрапляння в шлунок,  $S$  – коефіцієнт, який відображає розчинність хімічного інгредієнта у воді,  $F$  – коефіцієнт летючості хімічного інгредієнта,  $C_w$  – кількість даного інгредієнта в загальній масі відходу, або його частка т/т;  $i$  – порядковий номер конкретного інгредієнта.

Після розрахунку індексів токсичності всіх компонентів відходу вибирають не більше трьох, але не менше двох основних (визначальних компонентів), які мають найменші індекси токсичності  $K_c$ , при цьому повинна виконуватись умова  $K_1 < K_2 < K_3$ , крім того, повинно витримуватись ще і таке співвідношення:  $2 + K_c > K_3$ . Далі визначають сумарний індекс токсичності згідно з таким виразом

$$K_\sigma = \frac{1}{2} \cdot \sum_{i=1}^n K_i, n \leq 3. \quad (2)$$

Визначення ступеня токсичності подано у табл. 1.

Таблиця 1 – Класифікація небезпек відходів за  $LD_{50}$

Величина $K_\sigma$ (по $LD_{50}$ )	Клас небезпеки	Ступінь токсичності	Еквівалент $LD_{50}$	$Lg(LD_{50})$
Менше 1.3	I	Надзвичайно небезпечні	15	1.176
1.3 – 3.3	II	Високонебезпечні	150	2.176
3.4 – 10	III	Помірно небезпечні	5000	3.699
Більше 10	IV	Малонебезпечні	>5000	3.778

Однак, для деяких шкідливих інгредієнтів дренажних вод у цьому документі відсутня інформація щодо конкретних значень середньої смертельної дози  $LD_{50}$ . Вона також відсутня і в інших відкритих джерелах інформації.

Тоді вказана методика рекомендує використовувати умовні величини  $LD_{50}$ , які орієнтовно визначають за показниками класу небезпеки цих інгредієнтів у повітрі робочої зони. Такі умовні величини  $LD_{50}$  подано у табл. 1.

Але для деяких складників відходів не існує розроблених і впроваджених схем утилізації, знешкодження чи оброблення. Основна частина всієї маси дренажних вод видаляється після часткового очищення шляхом скиду у природні водойми. В такій ситуації буде мати місце безпосередній контакт маси недоочищених рідких відходів з об'єктами навколишнього природного середовища. Вказана методика рекомендує для спрощення розрахунків під час визначення класу небезпеки рідких відходів використовувати гранично допустиму концентрацію (*MPC*) (*maximum permissible concentration*) у ґрунті, а індекс токсичності для окремого складника визначати за таким виразом:

$$K_i = \frac{MPC_i}{(S + 0,1F + C_w)i} \quad (3)$$

Коефіцієнт розчинності *S* хімічного інгредієнта у воді визначають так. За допомогою довідників знаходять розчинність хімічного інгредієнта у воді у грамах на 100 г води за температури не вище 25<sup>0</sup>С. Цю величину ділять теж на 100 і отримують безрозмірний коефіцієнт, який в більшості випадків знаходиться в інтервалі від 0 до 1.

Коефіцієнт летючості *F* – другий доданок у знаменнику виразу (1), а також формули (3) – отримують за допомогою відповідних довідників, де визначають тиск насичених парів в мм рт. ст. інгредієнтів відходу за температури 25<sup>0</sup>С, що мають температуру кипіння за тиску 760 мм рт. ст. не вище 80<sup>0</sup>С; одержану величину ділять на 760 і отримують безрозмірну величину *F*, яка знаходиться в інтервалі від 0 до 1.

Також варто зауважити, що у випадку відсутності для деяких інгредієнтів однієї або двох із загальної кількості трьох характеристик, що містяться у знаменнику виразу (3), замість конкретного значення слід записувати цифру 0.

Для оцінювання канцерогенного ризику від важкого металу розраховуємо середню добову дозу *LADD*, усереднену з урахуванням очікуваної середньої тривалості життя людини (70 років) за формулою (4) [11]:

$$LADD = \frac{C \cdot CR \cdot ED \cdot EF}{BW \cdot AT \cdot 365} \quad (4)$$

де: *LADD* – середня добова доза, мг/(кг×добу);

*C* – концентрація речовини в забрудненому середовищі, мг/кг;

*CR* – швидкість кількісного надходження діючого середовища, кг/день;

*ED* – тривалість дії, років;

*EF* – частота дії, днів/рік;

*BW* – маса тіла людини, кг;

*AT* – період усереднювання експозиції (для канцерогенів *AT* = 70 років);

365 – число днів в році.

Канцерогенний ризик від важких металів як додаткову вірогідність розвитку раку у індивідуума впродовж життя *CR* визначаємо за формулою (5):

$$CR = LADD \cdot SF, \quad (5)$$

де *SF* – чинник нахилу, (мг/(кг×добу))<sup>-1</sup>.

Відповідно до [12] такий рівень канцерогенного ризику входить у високий (De Manifestis) – не прийнятний для виробничих умов і населення. Тому необхідне здійснення заходів з усунення або зниження ризику. Ці рівні підлягають постійному контролю і вимагають додаткових негайних заходів щодо їх зниження. Значення ризику розвитку неканцерогенних ефектів для окремих речовин визначають на основі обчислень коефіцієнта небезпеки за формулою (6):

$$HQ = AD/RfD, \quad (6)$$

де:  $HQ$  – коефіцієнт небезпеки;  $AD$  – середня доза, мг/кг;  $RfD$  – референтна (безпечна) доза, мг/кг.

Індекс небезпеки за умов одночасної дії декількох речовин розраховують за формулою (7):

$$HI = \sum_i^n HQ_i, \quad (7)$$

де:  $HQ_i$  – коефіцієнти небезпеки для окремих компонентів суміші речовин.

### Результати дослідження та обговорення

При постановці завдання для прогнозування екологічного ризику від джерела, яке має в своєму складі токсичні речовини, головним об'єктом турботи та відповідальності є людина. Тому всі види ризиків, серед яких екологічний, соціальний та індивідуальний, повинні бути орієнтовані на збереження життя та здоров'я людини. Тому найбільш правильним повинен бути принцип застосування інтегрованого показника ризику, оскільки всі сфери діяльності людини нерозривно пов'язані між собою та мають відповідний взаємовплив.

Для кількісного аналізу та вимірювань використовують, як правило, базові індикатори-ризиків для життя та життєдіяльності людини – якість та довголіття.

Кількісною оцінкою сфери дії та серйозності несприятливих впливів, які можуть статися в результаті фактичного чи передбаченого впливу речовини, повинні стати надходження забруднювальних речовин в організм людини.

Для визначення кількісного надходження забруднювальних речовин в організм людини, який може знаходитись в зоні негативного впливу шламів гальванічного виробництва, необхідно оцінити ці небезпеки, що можна виконати за такими етапами:

- характеристика навколишньої обстановки з аналізом основних фізичних параметрів досліджуваної області;
- визначення шляхів впливу джерел забруднення та їх розповсюдження;
- визначення та оцінювання рівня, частоти та часу дії кожного забруднювача, ідентифікованого на другому етапі.

За результатами дослідження складу гальванічних шламів встановлено якісний склад та вміст небезпечних речовин. Подано два приклади шламів різних українських підприємств, які зберігаються на заводських територіях (табл. 2 і 3).

1. *Найменування відходів:* шлами гальванічні з осаджувачем, лугою, содою (шлам ванн травлення). Зовнішній вигляд та консистенція: пастоподібна маса коричневого кольору. Подамо загальні відомості про відходи виробництва,

зокрема, цеху травлення трубних виробів. Травлення здійснюється розчинами сірчаної кислоти. Шлам містить переважно сполуки заліза у вигляді часток сульфату заліза та сторонніх нерозчинних домішок. Він нейтралізується до значень рН = 3-10 розчинами соди кальцинованої або їдкого натру. Якісний склад відходів та вміст в них небезпечних речовин: заліза сульфат – 35-40 мас. %; сульфат-йон – до 10 мас. %. Активна реакція розчину з відходів рН становить 5,33.

Таблиця 2 – Концентрація та клас токсичності речовини

Форма присутності	Концентрація, мг/кг (X), клас токсичності речовини						
	Pb(1)	Cd(I)	Zn(1)	Mn	Cu(2)	Cr(2)	Ni(2)
Валова	< 0,5	< 0,25	6,94	39,64	3,71	< 0,1	27,87
Рухлива за $t = 25^{\circ}\text{C}$	< 0,5	< 0,25	2,39	39,62	0,74	< 0,1	9,00
Водорозчинна за $t = 25^{\circ}\text{C}$	< 0,5	< 0,25	0,29	9,38	<0,35	< 0,1	2,90
Розчинність у експерименті, (г/100г)	–	–	4,1	23,2	Не розчинна	–	Не розчинна
Середня кількість у відходах, (кг/т)	–	–	0,007	0,04	0,004	–	0,03
ГДК у ґрунті, (мг/кг) – валова форма	32,0	1,5	–	1500,0	–	80,0	–
ГДК у ґрунті, (мг/кг) – рухлива форма	–	–	23,0	–	3,0	6,0	4,0

Визначення класу безпеки: виходячи з якісного складу відходів та їх активної реакції, яка вказує на нормалізацію первинної кислої активної реакції розчину. Розрахунок виконано за основною речовиною – сполуками заліза.

Підставивши значення у формулу (1), отримаємо:

$$K_{Fe} = \lg(5000)/(0,0+0,0+0,4) = 9,25. \quad (8)$$

Виходячи з індексу токсичності відходів, розрахованого через еквівалент  $LD_{50}$  для лабораторних тварин основного компоненту – заліза сульфату ( $3,4 < K_C < 10,0$ ), шлам ванн травлення належить до помірно небезпечних відходів (III клас токсичності).

2. *Найменування відходів:* шлами гальванічні з осаджувачем: лугою, содою.

Зовнішній вигляд та консистенція: сухі пористі грудки жовто-зеленого кольору, без запаху. Загальні відомості про відходи: відходи утворюються при багаторазовій обробці заготовок труб у ваннах з лужним розчином. Після застигання мають тверду консистенцію. Якісний склад відходів та вміст в них небезпечних речовин: натрію гідроксид – 38-65 мас. %; натрій азотнокислий – 24-35 мас. %; натрій хлористий – 5-6 мас. %; нерозчинні домішки (окалина, скломаса) – до 100%; активна реакція водної витяжки з відходів рН становить 11,68.



Таблиця 3 – Концентрація та клас токсичності речовини

Форма присутності	Концентрація, мг/кг (X), клас токсичності речовини						
	Pb(1)	Cd(I)	Zn(1)	Mn	Cu(2)	Cr(2)	Ni(2)
Валова	26,88	1,87	3,68	626,73	86,25	12497	8,79
Рухлива за $t = 25^{\circ}\text{C}$	< 0,5	< 0,25	1,64	< 0,5	73,24	200,4	< 1,0
Водорозчинна за $t = 25^{\circ}\text{C}$	< 0,5	< 0,25	2,08	< 0,5	0,53	201,8	< 1,0
Розчинність у експерименті, (г/100г)	не розч.	не розч.	56,5	не розч.	не розч.	16,0	не розч.
Середня кількість у відходах, (кг/т)	0,027	0,002	0,004	0,63	0,086	1,25	0,01
ГДК у ґрунті, (мг/кг) – валова форма	–	–	–	1500,0	–	80,0	–
ГДК у ґрунті, (мг/кг) – рухлива форма	–	–	23,0	–	3,0	6,0	4,0

Визначення класу небезпеки відходів: виходячи з фактичного вмісту у відходах, водорозчинності, активної реакції, найменший індекс токсичності мають сполуки натрію, зокрема гідроксид. Розрахунок виконано з урахуванням  $LD_{50}$  цієї речовини для теплокровних тварин за формулою (1), де:  $K_c$  – розрахунковий індекс токсичності відходів по  $LD_{50}$  для білих щурів. Підставляючи значення, отримаємо:

$$K_c = \lg(150)/(1,0+0,0+0,56) = 1,39. \quad (9)$$

Враховуючи індекс токсичності відходів, розрахований через  $LD_{50}$  для лабораторних тварин одного з найнебезпечніших компонентів – гідроксиду натрію ( $1,3 < K_c < 3,3$ ), шлами гальванічні з осаджувачем (лугою, содою) належать до високонебезпечних відходів (II клас токсичності). Приймаючи до уваги різко лужну реакцію водної витяжки з відходів, їх утилізацію слід проводити з дотриманням правил техніки безпеки під час роботи з агресивними речовинами. Клас небезпеки відходів можна зменшити після їх нейтралізації.

За результатами дослідження складу гальванічного шламу встановлено масовий вміст пріоритетних забруднювальних речовин на рівнях: хром – 1,25 кг/т, нікель – 0,01 кг/т.

Використавши необхідні для розрахунку початкові дані, деякі з яких вказано в додатках [11], отримаємо таке значення середньодобової дози нікелю:

$$LADD = \frac{C \cdot CR \cdot ED \cdot EF}{BW \cdot AT \cdot 365} = \frac{10 \cdot 0,2 \cdot 5 \cdot 365}{70 \cdot 70 \cdot 365} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ мг/(кг} \cdot \text{добу)}. \quad (10)$$

Канцерогенний ризик від нікелю як додаткову вірогідність розвитку раку у індивідуума впродовж життя  $CR$  визначаємо за формулою (6):

$$CR=LADD \cdot SF=2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,84=1,68 \cdot 10^{-3}. \quad (11)$$

Визначимо індекс небезпеки за формулою (8) для пріоритетних забруднювальних речовин відходів гальванічного цеху, зокрема, для кадмію, нікелю, свинцю, хрому:

$$HI = \sum_1^4 HQ_i = \frac{0,002}{0,0005} + \frac{0,01}{0,02} + \frac{0,027}{0,0035} + \frac{0,005}{0,005} = 82,5. \quad (12)$$

## Висновки

Оскільки індекс небезпеки  $HI > 1$ , то такий рівень ризику є неприйнятним, а забруднювальні речовини, які містяться у гальванічному шламі і надійшли в об'єкти довкілля внаслідок аварійної ситуації, негативно вплинуть на здоров'я людини. Отже, аварійні ситуації, що супроводжуються порушенням цілісності місць зберігання (ємностей, мішків і т.п.) і призводять до потрапляння гальванічного шламу в довкілля, підвищують ризик для здоров'я людини. Отримані рівні канцерогенного ризику і індексу небезпеки вказують на необхідність прийняття комплексу рішень щодо відвертання виникнення надзвичайних ситуацій, а також мінімізації їх наслідків.

## Перспективи подальших досліджень

Подальші дослідження повинні бути направлені на пошук альтернатив зберігання шламів на територіях підприємств, на перероблення відходів з видаленням цінних компонентів та повторним використанням розчинів у технологічних процесах.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Bharti, N., Katyal, D.: Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. *Inter. J Environ. Sciences*, 2011, 2 (1), 154-173, USA.
2. Pohrebennyk V., Koszelnik P., Mityrasova O., Dzhumelia E., Zdeb M. Environmental monitoring of soils of post-industrial mining areas, *Journal of Ecological Engineering*, 2019, Vol. 20, iss. 9, pp. 53–61.
3. Pohrebennyk V., Mityrasova O., Dzhumelia E., Kochanek A. Evaluation of surface water quality in mining and chemical industry, 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, Albena, Bulgaria, 2017, vol. 17, issue 51, pp. 425–433.
4. Ishchenko V., Pohrebennyk V., Borowik B., Falat P., Shaikhanova A. Toxic substances in hazardous household waste, (2018) International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 18 (4.2), pp. 223–230.
5. Petryk A., Czop M., Pohrebennyk V. The assessment of the degree of pollution of fallow vegetation with heavy metals in rural administrative units of Psary and Płoki in Poland. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM, 18 (5.2), 2018, pp. 921–928.

6. Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., Kardasz, P.: Hydrochemical Aspects of Surface Water Quality Assessment, Conference proceedings 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2018, (Albena, Bulgaria. 30 June – 9 July 2018, 5.2., 18, Ecology and Environmental Protection. Ecology, Economics, Education and Legislation, 2018, pp. 513–520.
7. Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., Selivanova, A.: Environmental Risk of Surface Water Resources Degradation. *Water Supply and Wastewater Removal*, Politechnika Lubelska, 2018, pp. 152–162.
8. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні. <http://old.menr.gov.ua/index.php/dopovidi>.
9. Нестер А.А. Очистка стічних вод виробництва друкованих плат: монографія / Хмельницький національний університет, 2016, 219 с.
10. ДСанПіН 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення класу небезпеки для здоров'я населення. 01.07.1999 N 29.
11. Руководство Р2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду // М. Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004, 4 с.
12. Караєва Н. В., Варава І. А. Методи і засоби оцінки ризику здоров'ю населення від забруднення атмосферного повітря // КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018, 56 с.

Стаття надійшла до редакції 27.11.2019 і прийнята до друку після рецензування 23.01.2020

## REFERENCES

1. Bharti, N., & Katyal, D. (2011). Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. *Inter. J Environ. Sciences*, 2(1), 154-173.
2. Pohrebennyk, V., Koszelnik, P., Mitryasova, O., Dzhumelia, E., & Zdeb, M. (2019). Environmental monitoring of soils of post-industrial mining areas. *Journal of Ecological Engineering*, 20(9), 53-61.
3. Pohrebennyk, V., Mitryasova, O., Dzhumelia, E., & Kochanek, A. (2017). Evaluation of surface water quality in mining and chemical industry. In *Proceedings of the 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM*, Albena, Bulgaria, 2017. (vol. 17, issue 51, pp. 425-433).
4. Ishchenko, V., Pohrebennyk, V., Borowik, B., Falat, P., & Shaikhanova, A. (2018). Toxic substances in hazardous household waste. In *Proceedings of the International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. (18 (4.2), pp. 223-230).
5. Petryk, A., Czop, M., & Pohrebennyk, V. (2018). The assessment of the degree of pollution of fallow vegetation with heavy metals in rural administrative units of Psary and Płoki in Poland. In *Proceedings of the International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. (18 (5.2), pp. 921-928).
6. Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., & Kardasz, P. (2018). Hydrochemical Aspects of Surface Water Quality Assessment. In *Ecology and Environmental Protection. Ecology, Economics, Education and Legislation: 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM. Proceedings of the Conference*, Albena, Bulgaria, 30 June – 9 July 2018. (5.2., 18, pp. 513–520).
7. Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., & Selivanova, A. (2018). Environmental Risk of Surface Water Resources Degradation. *Water Supply and Wastewater Removal*, pp. 152-162.
8. National report on the state of the environment in Ukraine. <http://old.menr.gov.ua/index.php/dopovidi>. (in Ukrainian)
9. Nester, A.A. (2016). *Cleaning of water of virobnittva druckovanich boards: monograph*. Khmelnytsky: Khmelnytsky National University. (in Ukrainian)

10. DSanPin 2.2.7.029-99. Hygienic requirements for the management of industrial waste and the definition of a hazard class for public health. 01.07.1999 N 29. (in Ukrainian)
11. Rukovodstvo P2.1.10.1920-04. Rukovodstvo po otsenke riska dlya zdorovya naseleniya pri vozdeystvii khimicheskikh veschestv, zagryaznyayuschikh okruzhayushchuyu sredu. M.: Federalnyy tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2004, 144 p. (in Russian)
12. Karaeva, N.V., & Varava, I.A. (2018). *Metody i zasoby otsinky ryzyku zdorovyu naseleennyia vid zabrudnennya atmosfernogo povitrya*. Kyiv: KPI im. Igorya Sikorskogo. (in Ukrainian)

*The article was received 27.11.2019 and was accepted after revision 23.01.2020*

**Погребенник Володимир Дмитрович**

професор, доктор технічних наук, професор кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Національного університету «Львівська політехніка»  
**Адреса робоча:** 79013, Україна, м. Львів, вул. С. Бандери, 12  
**e-mail:** vpohreb@gmail.com  
ORCID ID 0000-0002-1491-2356

**Нестер Анатолій Антонович**

доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва та цивільної безпеки Хмельницького національного університету  
**Адреса робоча:** 29016, Україна, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11  
**e-mail:** nesteranatol111@gmail.com