



*П. В. Босак, О. В. Стокалюк*

*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0303-544X> – П. В. Босак

<https://orcid.org/0000-0002-9877-771X> – О. В. Стокалюк



[p.bosak@ldubgd.edu.ua](mailto:p.bosak@ldubgd.edu.ua)

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У ДОВКІЛЛЯ З ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ НОВОВОЛИНСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

**Вступ.** Відходи вугільної галузі в більшості випадків є масштабними техногенно створеними джерелами постійного негативного впливу на об'єкти довкілля. На всіх етапах існування породних відвалів відбувається поступове внутрішнє нагрівання териконів, окислення нестійких сполук, вилугування активних елементів, кислотне стікання новоутворених розчинів, повітряна та водна ерозія схилів відвалів тощо. При вивченні внутрішніх та зовнішніх особливостей, притаманних породним масам, виникають проблеми, пов'язані саме з комплексними перетвореннями у відвалах, адже більшість реакцій проходять одночасно, нівелюючи або підсилюючи хімічну активність окремих компонентів.

**Метою** дослідження є моделювання поширення забруднюючих речовин з породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району у довкілля.

**Методи.** У процесі досліджень використовувалися такі методи: фізичні, хімічні, біологічні, математично-статистичні, системного аналізу. Обробка результатів проводилась із використанням математичного програмування в пакеті MS Excel, Surfer, Mathcad.

**Результати дослідження.** При моделюванні поширення забруднюючих речовин у довкілля (на прикладі породних відвалів шахт Нововолинського гірничопромислового району) встановлено, що найвищий вміст хлоридів ( $192 \text{ мг/дм}^3$ ) спостерігали для відвалів шахти № 4, які відібрані із водойми, розташованої біля підніжжя терикона. Встановлено, що на відстані 15 м від підніжжя терикона шахти № 2 концентрація нітратів в ґрунті є нижчою порівняно з іншими ділянками ( $158,3 \text{ мг/дм}^3$  і  $198 \text{ мг/дм}^3$ ) відповідно. На відстані 10 м від підніжжя терикона вміст сульфатів становить  $716 \text{ мг/дм}^3$ , на відстані 5 м від підніжжя –  $552 \text{ мг/дм}^3$  і на відстані 2 м від підніжжя –  $1884 \text{ мг/дм}^3$ , що перевищує ГДК ( $500 \text{ мг/дм}^3$ ) у 3 рази.

**Висновки.** На основі аналізу та досліджень сучасних екологічних проблем встановлено, що вугільна галузь України за ступенем впливу на довкілля найбільше серед інших галузей промисловості шкідливо впливає на поверхневі і підземні води, ґрунтовий покрив та ландшафт. Породні відвали є одним з джерел поширення у довкілля значної кількості забруднюючих речовин, які прямо або опосередковано впливають на довкілля. Найбільш забрудненими ділянками породних відвалів Нововолинського гірничопромислового району є підніжжя із північно-східного боку. На відстані 15 м від підніжжя териконів концентрації забруднюючих речовин знижуються, але деякі з них перевищують гранично допустимі концентрації (сульфати  $1884 \text{ мг/дм}^3$ ) та спричиняють техногенний пресинг на живі організми.

**Ключові слова:** породні відвали, природно-технічні системи, екологічна безпека, моделювання.

*P. V. Bosak, O. V. Stokalyuk*

*Lviv State University of Life Safety*

## MODELING DISTRIBUTION OF POLLUTANTS ORIGINATING FROM COAL WASTE DUMPS OF THE NOVOLYNSK MINING AREA IN THE ENVIRONMENT

**Introduction.** In most cases, coal industry waste is a large-scale man-made source of permanent environmental impact. Throughout the lifetime of the waste rocks, there is a gradual internal heating of the heaps, oxidation of unstable compounds, leaching of active elements, acidic runoff of newly formed solutions, air and water erosion of the slopes, etc. While studying the internal and external features of the rocks, problems precisely related to complex transformations in dumps arise, because most of the reactions take place simultaneously, neutralising or enhancing the chemical activity of individual components.

**This study aims** to model the distribution of the pollutants from mining waste in the Novovolynsk mining and industrial area in the environment.

**Methods.** During the research, the following methods were used: physical, chemical, biological, mathematical and statistical, system analysis. Results were processed using mathematical programming in MS Excel, Surfer, and Mathcad.

**Research results.** During modelling the distribution of the pollutants in the environment (case of mining waste in the Novovolyn mining area), it is established that the highest chloride content ( $192 \text{ mg/dm}^3$ ) was observed in the reservoir located at the foot of the waste heap of mine №. 4. It was established that at a distance of 15 m from the foot of the waste heap of mine №. 2, the concentration of nitrates in the soil is lower compared to other areas ( $158.3 \text{ mg/dm}^3$  and  $198 \text{ mg/dm}^3$ , respectively). At a distance of 10 m from the foot of the waste dump, the sulfate content is  $716 \text{ mg/dm}^3$ , at a distance of 5 m from the foot -  $552 \text{ mg/dm}^3$  and at a distance of 2 m from the foot -  $1884 \text{ mg/dm}^3$ , respectively, the maximum permissible concentration ( $500 \text{ mg/dm}^3$ ) in 3 times.

**Conclusions.** Based on the analysis and research of modern environmental problems of the coal industry of Ukraine, it was established that this type of industry has the highest environmental impact rate among other industries, exerting a harmful effect on the surface and underground waters, soil and landscape. Rock dumps are one of the sources of a significant amount of pollutants distribution into the environment, affecting the environment directly or indirectly. The foothills from the northeastern side are the most polluted areas of the waste dumps of the Novovolynsky mining area. At a distance of 15 m from the foot, the concentration of pollutants decreases, but some of them exceed the maximum permissible concentration (sulfates  $1884 \text{ mg/dm}^3$ ) and cause technogenic pressure on living organisms.

**Keywords:** waste dumps, natural and technical systems, environmental safety, modelling.

**Вступ.** Вугільна галузь є основою сталого функціонування національної економіки та енергетичної безпеки України. У результаті видобутку вугілля на території гірничопромислових районів спостерігається деформація земної поверхні, підтоплення і засолення земель, забруднення підземних вод та поверхневих водойм, загострюються соціально-економічні проблеми та формуються депресивні території. Вичерпність балансових запасів, збитковість більшості шахт, складні гірничо-геологічні умови та нестабільна економічна ситуація призвели до масової ліквідації гірничих підприємств. У зв'язку з цим відбувається просідання земної поверхні, підтоплення і заболочування земель, катастрофічні зміни якості підземних і поверхневих вод, а також зростання ризиків руйнування споруд та об'єктів інфраструктури [2-4, 9].

Видобуток вугілля призводить до порушення ландшафту, а також супроводжується значними притоками підтериконових стічних вод. Залишаються невирішеними питання очистки шахтних вод у ставках-накопичувачах закритих шахт. Шахтні води, забруднені мінеральними солями, завислими речовинами та сульфатами, забруднюють водоносні горизонти та порушують їх гідрологічний режим. Однією з найбільш серйозних і складних екологічних проблем є значні обсяги скидання шахтних вод, що подаються з шахт на поверхню і негативно впливають на екологічний стан регіону. За ступенем впливу шахтних вод на довкілля на перше місце необхідно поставити дію на геологічне середовище, в тому числі на підземні та поверхневі води; на друге – на земну поверхню і геохімічні ландшафти; на третє – на ґрунти, біоти і атмосферу [9, 11].

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Діяльність шахт обумовлює виникнення комплексу явищ і процесів, негативних в екологічному та техногенному аспектах. Ці явища та їх наслідки на сьогодні є недостатньо вивченими, важко прогнозованими і майже некерованими. Відходи вуглевидобутку стають техногенним компонентом довкілля у гірничодобувних регіонах, а негативні наслідки їх розміщення на земній поверхні очевидні. Породні відвали є одним з джерел принесення у довкілля значної кількості забруднюючих речовин, які прямо або опосередковано впливають на стан біоти. Агресивні сполуки у вигляді кислот, лугів, солей важких металів та інших компонентів змиваються з поверхні відвалу та зрештою потрапляють до ґрунтових вод і ґрунтів, призводять до їх забруднення. Екологічна небезпека породних відвалів залежить від багатьох чинників: хімічного та мінералогічного складу порід, особливостей фізико-хімічних внутрішніх та зовнішніх перетворень у поєднанні з кліматичними та гідрогеологічними умовами тощо [2, 5, 7].

Характер та інтенсивність впливу цього техногенно створеного джерела небезпеки безпосередньо залежить від умов його розташування та об'єктів, на які спрямовано негативний вплив. Крім того, в процесі накопичення хімічний склад розкривних та пустих порід зазнає серйозних перетворень і не збігається з початковим, що означає також і невідповідність попередньо визначеному класу небезпеки. Найбільшого негативного впливу породних відвалів, розташованих на територіях вугледобувних регіонів, зазнають ґрунти й атмосферне повітря, що в свою чергу призводить до забруднення регіону (міст, селищ, сільськогосподарських угідь).

У роботах [1, 4, 7, 10-12] вчені надають деякі рекомендації до проектування і технічного обслуговування відвалів: в основі відвалу не повинно бути глинистих і сланцевих відкладень, оскільки такі породи можуть деформуватися і стискатися через зміну вмісту в них вологи; основа повинна бути рівна і тверда, вільна від виходів на земну поверхню корисних копалин; вугілля і порожні породи необхідно складувати разом, для запобігання самонагріванню; породи слід укладати рівними шарами й ущільнювати; при проектуванні відвалу необхідно враховувати дренажну систему; вісь відвалу повинна бути обрана в напрямку переважаючих вітрів та ін. На сьогодні зниження негативного впливу на довкілля гірничопромислових комплексів здійснюється в основному за допомогою методів очищення стічних шахтних вод, викидів в атмосферу, рекультивациі порушених земель, утилізації відходів тощо. Але практично всі ці методи спрямовані на усунення наслідків впливу застосованих технологій видобутку і переробки вугілля, а не на запобігання цим наслідком завдяки зміні технології виробництва [2-4].

**Метою** статті є моделювання поширення забруднюючих речовин гідрокарбонатів ( $\text{HCO}_3^-$ ), кальцію ( $\text{Ca}^{2+}$ ), кобальту (Co), магнію ( $\text{Mg}^{2+}$ ), міді (Cu), нікелю (Ni), нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ), сульфатів ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), фосфатів ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) та хлоридів (Cl) з породних відвалів вугільних шахт

Нововолинського гірничопромислового району у довкілля.

**Об'єктом** досліджень є екологічний стан породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району Львівсько-Волинського вугільного басейну (рис. 1). Для дослідження характеру та рівнів впливу на довкілля вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району визначено певні чинники, а саме: вплив на стан атмосферного повітря – основними джерелами забруднення атмосферного повітря є породні відвали, димові труби котельні, склади вугілля тощо; вплив на водні об'єкти – відкачувані шахтні води, у складі яких окремі інгредієнти перевищують допустимі норми; вплив на гідрогеологічне середовище – процес розробки вугільного родовища супроводжується постійним відкачуванням шахтних вод і утворенням внаслідок цього депресійних воронок, які порушують в гірському масиві і водоносних горизонтах природну динаміку підземних вод, їх якість, істотно змінюють режим ґрунтових вод; негативний вплив на земельні ресурси – відчуження земель сільськогосподарського призначення під шахтні об'єкти, а також для розміщення породних відвалів; деформації земної поверхні в межах гірничих відводів шахт; забруднення ґрунтів газоподібними, рідкими та твердими речовинами (побічними продуктами вуглевидобутку) [2, 9].



**Рисунок 1** – Географічне положення Нововолинського гірничопромислового району, Україна (фото авторів)

**Методи досліджень.** У процесі досліджень використовувалися такі методи: фізичні, хімічні, біологічні, математично-статистичні, системного аналізу. Обробка результатів проводилась із використанням математичного програмування в пакеті MS Excel, Surfer, Mathcad. Дослідження здійснено у Науково-дослідній лабораторії екологічної безпеки, яка функціонує у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності, Україна. Свідоцтво про відповідність системи керування вимірюваннями № РА127/17 від 14.11.2017 р., чинне до 13.11.2021 р. видане ДП «Львівстандартметрологія» (станом на 01 грудня 2022 року Свідоцтво про відповідність системи керування вимірюваннями № РЛ091/21 від 30.11.2021 р., чинне до 29.11.2026 р. видане ДП «Львівстандартметрологія»). Фактичний матеріал, використаний у роботі, включає результати понад 50 хімічних аналізів шахтних вод за період 2017-2020 рр., що були згруповані як окремо по кожній шахті району дослідження, так і за основними компонентами складу шахтних вод усього району. Для встановлення часових змін хімічного складу стічних вод і діапазонів концентрацій головних іонів були використані методи графічного аналізу – графічні побудови діаграм, гістограм, графіків та карт. Для визначення вмісту важких металів проби субстрату спалювали у фарфорових тиглях у муфельній печі за температури 400-450 °С протягом 4-6 годин до отримання однорідного кольору золи. Після цього проби обробляли сумішшю HCl та HNO<sub>3</sub> у співвідношенні 3:1. Вміст важких металів у частинах рослин

визначали у середній пробі, яку формували з проб, відібраних в п'яти місцях у межах пробної ділянки. Актуальну кислотність відвальної породи визначено потенціометрично, нітратну форму азоту – дисульфофеноловим методом Грандваль-Ляжу, рухомі форми фосфору і калію – за методами Мачігіна та Кірсанова, вміст гумусу – за методом Антонової, Скалабян, Сучилкіної, вміст кальцію та магнію – комплексометричним методом. Для аналізу хімічного складу підтериконових стічних вод породних відвалів Нововолинського гірничопромислового району 30.08.2018 року проведено відбір проб стічної води з технологічних відвалів шахтних порід. Проби відбиралися переважно з шахт №: 2, 4, 9 поблизу териконів м. Нововолинська, температура повітря була 16-18 °С, а відносна вологість – 65%. Параметри технологічних відвалів були такі: висота – 58,6 м.; площа основи – 61,5 тис. м<sup>2</sup>; обсяг – 1430 тис. м<sup>3</sup>; кут нахилу бічної поверхні – 50°. Характеристика породи: вміст золи – 87,1%; сірки – 0,26%; об'ємна щільність – 2,42 кг/м<sup>3</sup>. Рекультиваційні роботи проводилися не в повному обсязі. Поблизу терикона відібрали проби стічних вод в трьох точках для кожної шахти, температура проб значно відрізняється від температури поверхні терикона (рис 2). Також у дослідженні використані методи порівняння, класифікації, проектування, теоретичного моделювання, з'ясування причинно-наслідкових зв'язків, спостереження, аналізу результатів проведеного дослідження [2].



Терикон шахти № 2 Нововолинського гірничопромислового району



Терикон шахти № 4 Нововолинського гірничопромислового району

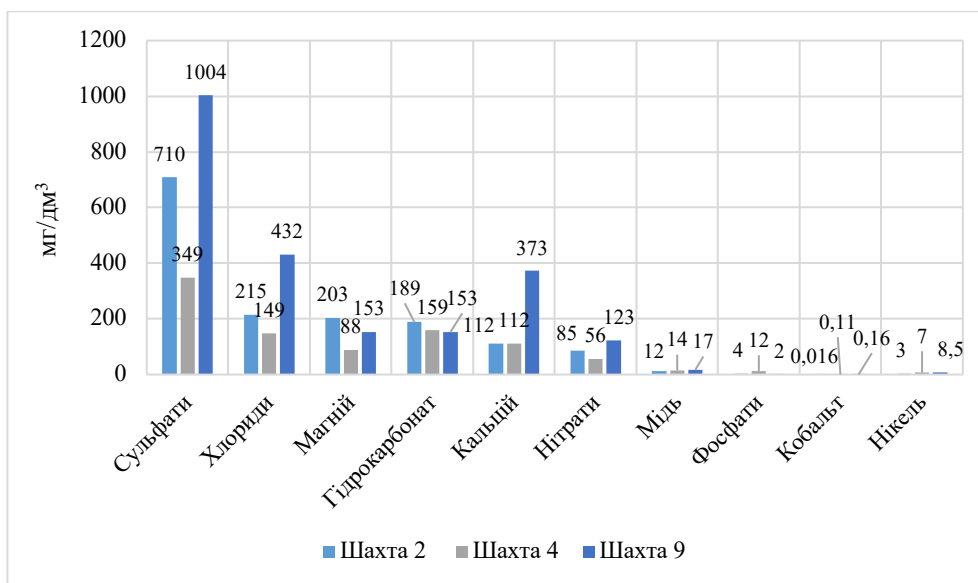


Терикон шахти № 9 Нововолинського гірничопромислового району

**Рисунок 2** – Ділянки відбору на териконах вугільних шахт № 2, 4, 9 Нововолинського гірничопромислового району (використано Google Maps) [2]

**Результати досліджень.** В результаті видобутку вугілля в Нововолинському гірничопромисловому районі відбувається вивільнення важких металів і їх надходження у довкілля. За результатами досліджень, терикони вугільних шахт в результаті дренажу

дошових і талих вод інтенсивно забруднюють поверхневі і підземні води токсичними елементами, які входять до складу породи, а також істотно змінюють гідродинамічний режим і рівень підземних вод р. Західний Буг.



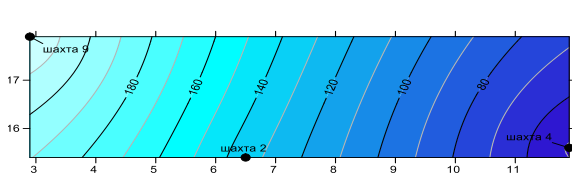
**Рисунок 3** – Вміст небезпечних компонентів у підтериконових стічних водах шахт № 2, 4, 9 Нововолинського гірничопромислового району на відстані 0,5 км по периметру від терикона [2]

На рисунку 3, за даними досліджень проб ґрунту з вугільних відвалів Нововолинського гірничопромислового району встановлено, що на відстані 0,5 км від периметра відвалу ґрунти повністю втрачають свої властивості до глибини 0,6 м, а в зоні до 1 км – відбувається накопичення важких металів, втрата гумусу і деградація ґрунтів, а саме, у підтериконових стічних водах спостерігається перевищення у всіх пробах сульфатів: 349 мг/дм³ – для шахти № 4; 710 мг/дм³ – для шахти № 2; 1004 мг/дм³ – для шахти № 9.

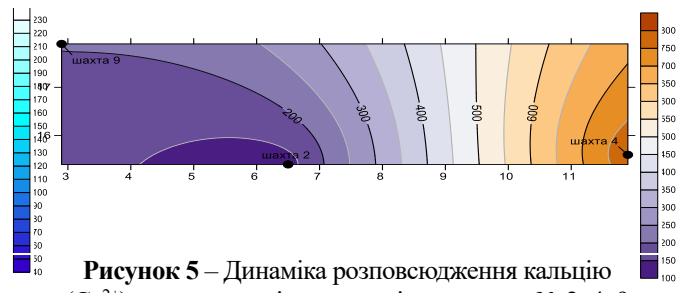
Крім того, експлуатація шахт та їх ліквідація може активізувати такі негативні зміни: підтоплення і заболочування територій внаслідок підняття рівня підземних вод, засолення і деградацію ґрунтів; зміну модулів річкового стоку, появу нових і відновлення зниклих джерел з водою підвищеної мінералізації; техногенний вплив на стан земної поверхні, природні об'єкти тощо; зміну інженерно-геологічних умов; утворення значних об'ємів побічних продуктів вуглевидобутку, які негативно впливають на стан біоти та погіршують умови проживання для населення вугледобувних регіонів [9].

Результати дослідження показали, що поширення кобальту (Co), міді (Cu), нікелю (Ni) з породних відвалів у довкілля є що найвищим для шахти № 4 (не діюча) і вони накопичуються біля

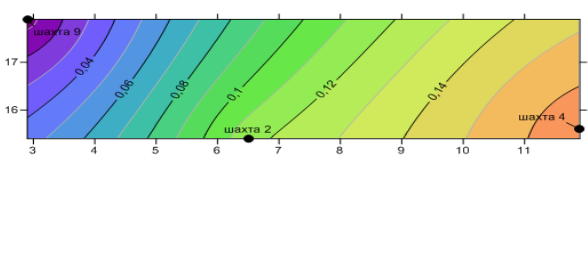
підніжжя терикона, а найнижчим – для шахти № 9 (діюча). Перевищення вмісту кобальту у породних відвалах становить (0,006, 0,11 та 0,16 мг/дм³). Найбільше гідрокарбонатів (220 мг/дм³) накопичується у породних відвалах шахти № 9 біля підніжжя терикона, але вони не перевищують значення (ГДК 300 мг/дм³). Найвищий вміст хлоридів (192 мг/дм³) спостерігали для відвалів шахти № 4, які відібрані із водойми, розташованої біля підніжжя терикона. Встановлено, що на відстані 15 м від підніжжя терикона шахти № 2 концентрація нітратів в ґрунті є нижчою у порівнянні з іншими ділянками (158,3 мг/дм³ і 198 мг/дм³) відповідно. На відстані 10 м від підніжжя терикона вміст сульфатів становить 716 мг/дм³, на відстані 5 м від підніжжя – 552 мг/дм³ і на відстані 2 м від підніжжя – 1884 мг/дм³, що перевищує ГДК (500 мг/дм³) у 3 рази. При поширенні забруднюючих речовин у довкілля (на прикладі породних відвалів шахт Нововолинського гірничопромислового району) створено моделі поверхонь (та відстані від підніжжя териконів) у заданих точках досліджуваної області. Динаміку розповсюдження гідрокарбонатів ( $\text{HCO}_3^-$ ), кальцію ( $\text{Ca}^{2+}$ ), кобальту (Co), магнію ( $\text{Mg}^{2+}$ ), міді (Cu), нікелю (Ni), нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ), сульфатів ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), фосфатів ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) та хлоридів (Cl) зображено на рисунках 4-13 [2-3].



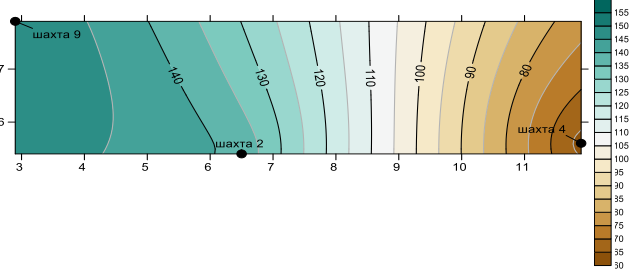
**Рисунок 4** – Динаміка розповсюдження гідрокарбонатів ( $\text{HCO}_3^-$ ) у породних відвалах вугільних шахт № 2, 4, 9 Нововолинського гірничопромислового району ( $\text{мг/дм}^3$ )



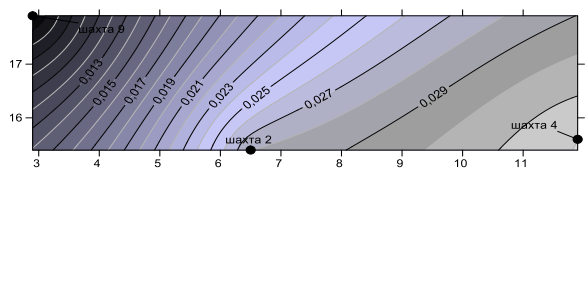
**Рисунок 5** – Динаміка розповсюдження кальцію ( $\text{Ca}^{2+}$ ) у породних відвалах вугільних шахт № 2, 4, 9 Нововолинського гірничопромислового району ( $\text{мг/дм}^3$ )



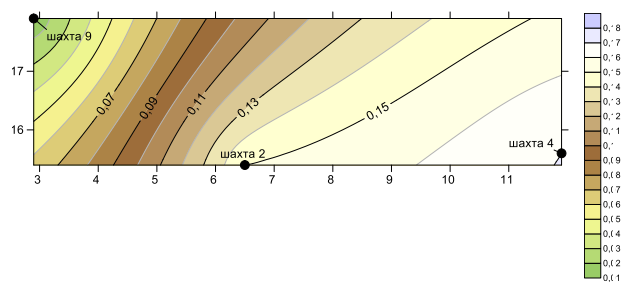
**Рисунок 6** – Динаміка розповсюдження кобальту (Co) у породних відвалах вугільних шахт № 2, 4, 9 Нововолинського гірничопромислового району ( $\text{мг/дм}^3$ )



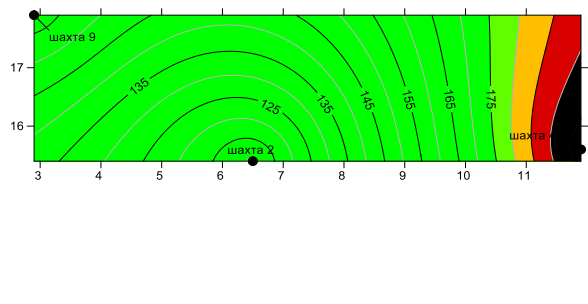
**Рисунок 7** – Динаміка розповсюдження магнію ( $\text{Mg}^{2+}$ ) у породних відвалах вугільних шахт № 2, 4, 9 Нововолинського гірничопромислового району ( $\text{мг/дм}^3$ )



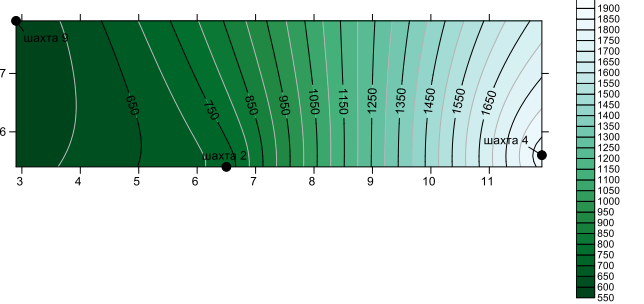
**Рисунок 8** – Динаміка розповсюдження міді (Cu) у породних відвалах вугільних шахт № 2, 4, 9 Нововолинського гірничопромислового району ( $\text{мг/дм}^3$ )



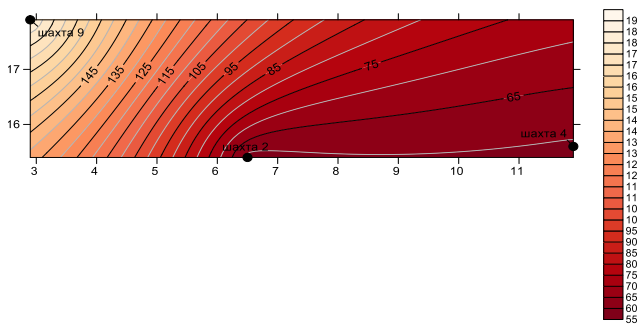
**Рисунок 9** – Динаміка розповсюдження нікелю (Ni) у породних відвалах вугільних шахт № 2, 4, 9 Нововолинського гірничопромислового району ( $\text{мг/дм}^3$ )



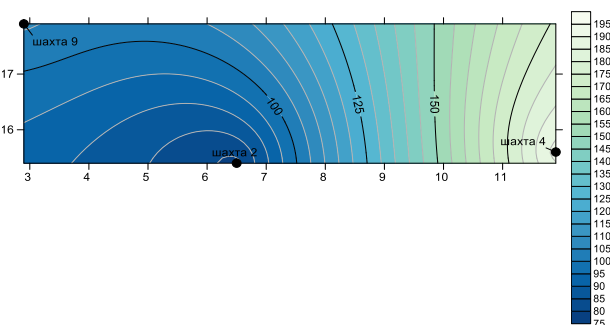
**Рисунок 10** – Динаміка розповсюдження нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ) у породних відвалах вугільних шахт № 2, 4, 9 Нововолинського гірничопромислового району ( $\text{мг/дм}^3$ )



**Рисунок 11** – Динаміка розповсюдження сульфатів ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) у породних відвалах вугільних шахт № 2, 4, 9 Нововолинського гірничопромислового району ( $\text{мг/дм}^3$ )



**Рисунок 12** – Динаміка розповсюдження фосфатів ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) у породних відвалах вугільних шахт № 2, 4, 9 Нововолинського гірничопромислового району ( $\text{мг/дм}^3$ )



**Рисунок 13** – Динаміка розповсюдження хлоридів ( $\text{Cl}^-$ ) у породних відвалах вугільних шахт № 2, 4, 9 Нововолинського гірничопромислового району ( $\text{мг/дм}^3$ )

Відповідно до проведених досліджень [2] встановлено, що найбільш забрудненими ділянками породних відвалів Нововолинського гірничопромислового району є підніжжя із північно-східного боку. На відстані 15 м від підніжжя териконів концентрації забруднюючих речовин знижуються, але деякі з них перевищують гранично допустимі концентрації (сульфати  $1884 \text{ мг/дм}^3$ ) та спричиняють техногенний пресинг на живі організми.

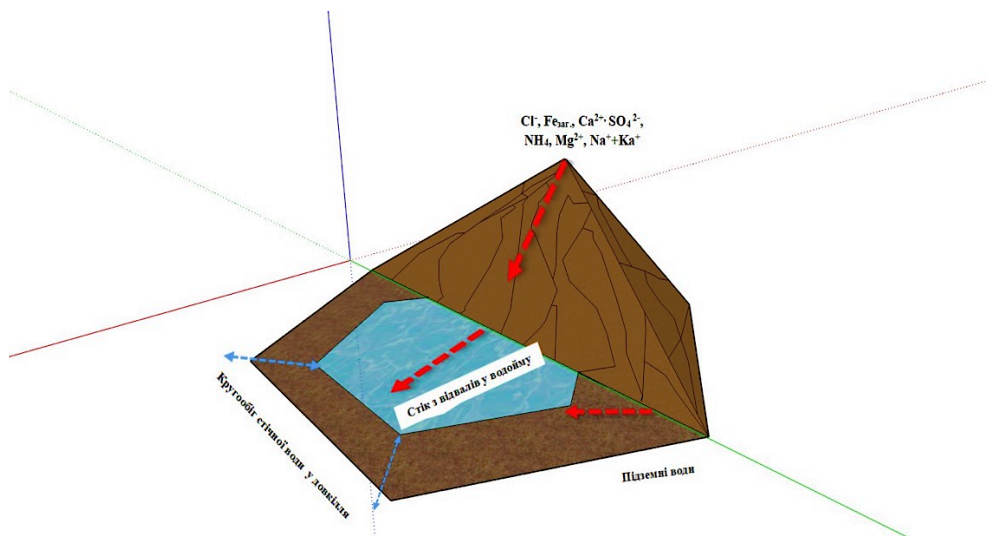
#### Обговорення результатів досліджень.

Науковцями та вченими [1-3, 6, 9, 10-12] встановлено дві зони впливу териконів на ґрунтові води: 1 зона – інтенсивної зміни зі значним перевищенням хімічних показників (понад 50 разів) і 2 зона – незначного забруднення (перевищення в понад 3 рази – тільки деяких специфічних показників). Перша зона прослідковується у радіусі 110-120 м від підніжжя териконів, а друга – у радіусі 240-300 м.

Складування відвальної породи у терикони на території Нововолинського гірничопромислового району супроводжується низкою

небезпечних процесів та явищ, які порушують екологічну рівновагу та збільшують екологічну небезпеку регіону. Серед таких небезпечних явищ – підтериконові стічні води.

Нововолинський гірничопромисловий район належить до вугільних підприємств, підтериконові стічні води яких збільшують екологічну небезпеку для довкілля. Негативний вплив на водні ресурси досліджуваного регіону відбувається в результаті забруднення поверхневих вод з териконів вугільних шахт і скидами недостатньо очищених стічних вод, а також стоками талих та зливових вод із відвалів вугільних шахт. Подальше потрапляння стічних вод гірничопромислового регіону у довкілля призводить до заболочування ґрунтів, забруднення водних ресурсів, зокрема на поверхневі води р. Західний Буг, що створює екологічну небезпеку регіону. На рисунку 14 зображено 3D-модель поширення забруднюючих речовин підтериконових стічних вод та накопичення їх біля підніжжя породних відвалів вугільних шахт.



**Рисунок 14** – 3-D моделювання міграції небезпечних компонентів підтериконових стічних вод з породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району у біоту [2]

Для запобігання екологічній небезпеці для довкілля від забруднюючих речовин (калій, кальцій, магній, марганець, важкі метали, сульфати) підтериконових стічних вод відвалів вугільних шахт запропоновано штучно створювати біля териконів системи очищення – біоплато. В процесі проходження підтериконових стічних вод через шари породи відбуваються процеси фільтрування, осадження, адсорбції та поглинання забруднювачів певними вищими водними рослинами (очерет звичайний, рогіз вузьколистий та айр звичайний).

#### Висновки

Породні відвали є одним з основних джерел поширення у довкілля значної кількості забруднюючих речовин, які прямо або опосередковано впливають на довкілля. Найбільш забрудненими ділянками породних відвалів Нововолинського гірничопромислового району є підніжжя із північно-східного боку. На відстані 15 м від підніжжя териконів концентрації забруднюючих речовин знижуються, але деякі з них перевищують гранично допустимі концентрації (сульфати  $1884 \text{ мг/дм}^3$ ) та спричиняють техногенний пресинг на живі організми.

Виявлено, що шахтні породи містять небезпечні для довкілля концентрації токсичних сполук та важких металів. Створено моделювання досліджуваної області розповсюдження гідрокарбонатів ( $\text{HCO}_3^-$ ), кальцію ( $\text{Ca}^{2+}$ ), кобальту (Co), магнію ( $\text{Mg}^{2+}$ ), міді (Cu), нікелю (Ni), нітратів ( $\text{NO}_3^-$ ), сульфатів ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), фосфатів ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) та хлоридів (Cl).

#### Список літератури:

1. Бондаренко В. І., Малашкевич Д. С. Сучасний стан розвитку вугільної галузі України. Вісті Академії інженерних наук України. 2016. №1 (43). С. 19–21.
2. Босак П. В. Екологічна безпека стічних вод породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району : дис. на здобуття наук. ступеня кан. техн. наук : 21.06.01 / НУ «Львівська політехніка». Львів. 2021. 218 с.
3. Босак П. В., Попович В. В. Еко-геоінформаційна технологія захисту довкілля від підтериконових вод Нововолинського гірничопромислового району. Науково-практичний журнал Екологічні науки. 2020. № 4(31). С. 96-102. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.4-31.14>.
4. Карабин В. В. Способи зниження ризиків виникнення надзвичайних ситуацій екологічної генези на ділянках техногенного впливу вуглевидобувних підприємств. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2018. № 18. С. 125-131.

<https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.18>. 2018.14.

5. Кочмар І. М., Карабин В. В. Поширення окремих важких металів у породах терикона центральної збагачувальної фабрики «Червоноградська» Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. 2022. № 25. С. 5-12. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.25>. 2022.01.

6. Лозинський В. Г. Стендові експериментальні дослідження температурного режиму підземного газогенератора в зоні впливу геологічних порушень. Збірник наукових праць НГУ. 2014. № 44. С. 33-43.

7. Мандрик В. О. Фітомеліорація земель, порушених гірничодобувною галуззю у Львівсько-Волинському вугільному басейні. Заповідна справа в Галичині, на Поділлі та Волині. Науковий вісник. 2014. 14 (8). С. 412–416.

8. Петрушка І. М., Мороз О. І., Петрушка К. І. Математичне моделювання ресурсозберігаючих технологій очищення стічних вод. Актуальні проблеми економіки. 2016. № 4(178). С. 433–439.

9. Попович В. В. Фітомеліорація згасаючих териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну: монографія. 2014. 174 с.

10. Шпак Я. В., Баранов В. І., Терек О. І. Вміст макроелементів і важких металів у породних відвалах і рослинах за впливу меліорантів. Науково-практичний журнал Екологічні науки. 2018. № 4(23). С. 117-123. <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2018-4-23-25>

11. Mykhailo Petlovanyi, Dmytro Malashkevych, Kateryna Sai & Serhii Zubko. Research into balance of rocks and underground cavities formation in the coal mine flowsheet when mining thin seams. Mining of Mineral Deposits. 2020. 14(4), P. 66-81 <https://doi.org/10.33271/mining14.04.066>

12. Symonenko V. I., Pavlychenko A. V., Cherniaiev O. V. & Hrytsenko L. S. Ecology saving technology of mineral deposit mining in the conditions of the sanitary protection zone. In: Annual Scientific-Technical Collection – Mining of mineral deposits. 2015. 9. P. 469–476.

#### References:

1. Bondarenko V. I., Malashkevich D. S. Current state of development of the coal industry of Ukraine. News of the Academy of Engineering Sciences of Ukraine. 2016. No. 1 (43). P. 19–21.
2. Bosak P. V. Ecological safety of waste water from waste dumps of coal mines of the Novovolynsk mining and industrial area: dissertation for obtaining the degree of candidate of technical Sciences: 21.06.01 / Lviv Polytechnic University. Lviv. 2021. 218 p.



3. Bosak P. V., Popovych V. V. Eco-geo-informational technology of environmental protection from waste waters of the dumps in the Novovolynsk mining and industrial area. Scientific and practical journal Ecological sciences. 2020. No. 4(31). P. 96-102. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.4-31.14>.
4. Karabyn V. V. Methods of reducing the risks of emergency situations of ecological genesis in areas of technogenic influence of coal mining enterprises. Bulletin of the Lviv State University of Life Safety. 2018. No. 18. P. 125-131. DOI: [doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.18.2018.14](https://doi.org/10.32447/20784643.18.2018.14).
5. Kochmar I. M., Karabyn V. V. Distribution of certain heavy metals in waste rocks of the central beneficiation factory "Chervonohradska" of the Lviv-Volyn coal basin. Bulletin of the Lviv State University of Life Safety. 2022. No. 25. P. 5-12. [doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.25.2022.01](https://doi.org/10.32447/20784643.25.2022.01)
6. Lozynsky V. G. Bench experimental studies of the temperature regime of an underground gas generator in the zone of influence of geological disturbances. Collection of scientific works of NSU. 2014. No. 44. P. 33-43.
7. Mandryk V. O. Phytomelioration of lands disturbed by the mining industry in the Lviv-Volyn coal basin. Reserve management in Galicia, Podilla and Volyn. Scientific Bulletin. 2014. 14 (8). P. 412–416.
8. Petrushka I. M., Moroz O. I., Petrushka K. I. Mathematical modeling of resource-saving wastewater treatment technologies. Actual problems of the economy. 2016. No. 4(178). P. 433–439.
9. Popovych V. V. Vegetative reclamation of damped coal waste heaps of the Lviv-Volyn coal basin: monograph. 2014. 174 p.
10. Shpak Y. V., Baranov V. I., Terek O. I. The content of macroelements and heavy metals in rock dumps and plants engendered by meliorants. Scientific and practical journal Ecological science. 2018. № 4(23). P. 117-123. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716-2018-4-23-25>
11. Mykhailo Petlovanyi, Dmytro Malashkevych, Kateryna Sai & Serhii Zubko. Research into balance of rocks and underground cavities formation in the coal mine flowsheet when mining thin seams. Mining of Mineral Deposits. 2020. 14(4), P. 66-81. DOI: <https://doi.org/10.33271/mining14.04.066>
12. Symonenko V. I., Pavlychenko A. V., Cherniaiev O. V. & Hrytsenko L. S. Ecology saving technology of mineral deposit mining in the conditions of the sanitary protection zone. In: Annual Scientific-Technical Collection – Mining of mineral deposits. 2015. 9. P. 469–476.

© П. В. Босак, О. В. Стокалюк, 2022.

**Науково-методична стаття.**

Надійшла до редакції 09.12.2022.

Прийнято до публікації 12.12.2022.