УДК 550:4.02

Г. А. Кроїк, *д-р геол. наук, професор кафедри зоології та екології (Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара),*
А. В. Павличенко, *канд. біол. наук, доцент кафедри екології (Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет")*

ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ШАХТНИХ ПОРІД ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ ЯК ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ДОВКІЛЛЯ

Установлено закономірності процесу вивітрювання гірських порід вугледобування на денній поверхні. Вивчено особливості розподілу хімічних сполук у природно-техногенних системах, які утворюються на територіях складування шахтних відходів. Запропоновано нові методологічні підходи з екологічної оцінки процесів вилуговування, виносу солей з твердих відходів і вірогідності накопичення їх в об'єктах довкілля. Запропоновано механізм сучасного вивітрювання відвальних шахтних порід.

Ключові слова: *відходи вугледобування, хімічні сполуки, екологічна безпека.*

Вступ

Сталий соціально-економічний розвиток сучасного суспільства неможливий без оцінки техногенного впливу на навколишнє середовище**.** Нині особливостями розвитку промислових регіонів є перебіг антропогенних процесів, які призводять до забруднення об'єктів довкілля [1, 3–5]. Особливої уваги потребує вивчення процесів метаморфізації, які супроводжуються комплексною поліелементною металізацією об'єктів довкілля за такою схемою: джерела забруднення (викиди, відходи, стоки) – депонуючі середовища: ґрунт, рослини, поверхневі й підземні води, донні відклади, а також ті, що забезпечують життєдіяльність людини – повітря, вода, продукти харчування, організм людини [7, 13].

За останній час у всьому світі відзначається підвищена цікавість до багатотоннажних відходів гірничо-збагачувальних підприємств, які прийнято вважати "техногенними родовищами". Щоб залучити їх як сировину, що пролежала на поверхні багато років, у господарський обіг, необхідно чітко уявляти, яким змінам підлягає природний матеріал у процесі взаємодії з атмосферними опадами в умовах перебігу термодинамічних процесів, які виникають унаслідок переміщення порід з глибини на поверхню [2, 8].

Дослідження техногенних систем, які утворилися внаслідок складування і зберігання шахтних порід у відвалах на території гірничопромислового комплексу, як правило, зводяться до оцінки у відвалах запасів цінних компонентів і вибору технологій їх видобутку. Геоекологічні ж задачі виявлення особливостей зонального перерозподілу речовини за термін зберігання порід і відходів вуглезбагачення обговорюються рідше [6, 12].

Водночас дослідження екологічних процесів на території вугледобування в Західному Донбасі показали, що стан відходів під час збереження тісно пов'язаний з реальною небезпекою вторинного забруднення навколишнього середовища.

Особливості розміщення відходів Західного Донбасу полягають у тому, що відходи не тільки складуються у відвали, але й застосовуються для створення дамб,

 © Г. А. Кроїк, А. В. Павличенко, 2013

що огороджують русло р. Самари, штучних водойм і проведення робіт з рекультивації. Таке різноманітне використання відходів і велике поширення їх за площею потребує екологічної оцінки та обґрунтування фізико-хімічних процесів перетворення відходів, що дасть змогу прогнозувати винос речовин у довкілля.

Тому необхідний новий підхід для рішення завдань екологічної безпеки в гірничопромислових регіонах. Цей підхід припускає убезпечення шкідливих джерел забруднення і відтворення якості навколишнього середовища і може слугувати основою екологічної стратегії, яка зорієнтована не стільки на ліквідацію наслідків забруднення навколишнього середовища, скільки на передбачення, попередження і прийняття нагальних заходів щодо запобігання та мінімізації забруднення в процесі добування, збагачення вугілля і складування відходів [9].

У гірничопромислових регіонах склалася екологічна ситуація, проблема покращення якої має дві складові частини:

– убезпечення екологічної безпеки територій під час поточного гірничопромислового виробництва, а також під час консервації і закриття гірничопромислових підприємств;

– ліквідація масштабних негативних екологічних наслідків, пов'язаних з накопиченням відходів за попередній період діяльності мінерально-сировинного комплексу.

Одним з основних джерел екологічної небезпеки є відходи промислових підприємств вугільної, гірничодобувної, металургійної, хімічної, енергетичної промисловості. Вважається, що відходи перелічених галузей промисловості є постійним джерелом забруднення об'єктів довкілля токсичними речовинами [11, 15]. Аналіз сучасного стану розміщення відходів на території Дніпропетровської області свідчить про те, що на території області накопичено 8,5 млрд т твердих відходів. Промислові відходи утворюються як під час видобування корисних копалин, так і під час їх збагачення, переробки сировинних концентратів і використання готового продукту. Відомо, що під час добування корисних копалин з гірничої маси, яка надходить на поверхню, у відходи йде до 93 % сировини, а під час подальшої їх обробки – ще 5 %. Рівень утилізації відходів не перевищує 12 %. Решта накопичується в териконах, шламонакопичувачах, золовідвалах, загальна площа яких перевищує 180 тис. га. Ураховуючи, що експлуатація більшості великих родовищ на Україні почалася в XIX сторіччі і на сьогодні накопичено 13 млрд м^3 відходів, то проблема їх впливу на довкілля є актуальною. Ця проблема досліджується багатьма вченими в різних країнах [10, 14].

У зв'язку з цим важливим питанням під час розробки природоохоронних заходів для мінімізації впливу відходів на навколишнє середовище є достовірна оцінка їх токсичності. Це потребує дослідження процесів геохімічної й біологічної міграції токсикантів у системі "відходи – об'єкти довкілля". Актуальність і постановка проблеми дослідження пов'язана с тим, що однією з найгостріших і найскладніших екологічних проблем техногенно-навантажених регіонів є утворення надзвичайної ситуації, що пов'язана с розміщенням і складуванням відходів.

Метою цих досліджень є екотоксикологічна оцінка відвальних шахтних порід Західного Донбасу як джерела забруднення важкими металами й токсичними солями таких об'єктів довкілля як ґрунти, рослини, поверхневі і підземні води.

Забруднення від відвалів, хвостосховищ і шламосховищ надходять у довкілля переважно з атмосферними опадами. Ступінь збагачення атмосферних опадів компонентами-забруднювачами визначається фільтраційними властивостями матеріалів відходів, які складуються у відвали, а також стійкістю порід до розкладання в умовах денної поверхні. Таким чином, процеси надходження забруднювальних речовин з твердих відходів у довкілля тісно пов'язані з процесами розчинення і вилуговування. Розчинення розглядається як процес переходу твердої фази в рідку, який супроводжується руйнуванням кристалічної структури твердої фази.

Вилуговування – це вибіркове вилучення будь-якого компонента з твердої речовини, яка при цьому зберігає свою кристалічну структуру.

Результати досліджень та їх обговорення

Дослідження стану екологічної безпеки території Західного Донбасу проводились авторами упродовж трьох десятиріч. Передбачалося**,** що формування процесів забруднення об'єктів довкілля на територіях розміщення промислових комплексів зумовлено перебігом фізико-хімічних процесів. Вивчення цих процесів проводилось на засадах комплексного підходу. Вони включали вивчення мінералогічного складу порід, лабораторне моделювання фізико-хімічних процесів і спостереження за станом відходів у природних умовах. Це дало змогу оцінити закономірності фізико-хімічних процесів, які відбуваються у відвальних шахтних породах за умов складування їх у відвали, дамби та використання на ділянках рекультивації.

Фізико-хімічні процеси вилуговування й виносу компонентів вивчались у статичних і динамічних умовах. Для цього використовували фізико-хімічні методи аналізу і статистичну обробку результатів, що дало змогу визначити закономірність надходження солей і важких металів, яка зумовлена процесами сучасного вивітрювання. Під цими процесами мають на увазі зміни, які відбуваються в шахтних породах в умовах денної поверхні.

Оцінка закономірностей процесу вилуговування компонентів з відвальних шахтних порід проводилась за допомогою лабораторних досліджень методом статичного вилуговування. Для якісної та кількісної оцінки водорозчинного комплексу порід використовували метод водних витяжок, модифікований у різних варіантах. Перший варіант включав послідовне вилуговування з однієї і тієї ж наважки породи дистильованою водою при постійному часі дії на породу. Максимальне винесення компонентів водної фракції визначалось у вигляді суми результатів досліджень для однієї і тієї ж наважки породи, загальна кількість цих експериментів становила 3–5. Другий варіант лабораторних досліджень щодо оцінки процесів вилуговування солей з шахтних порід включав вивчення впливу на вилуговування співвідношення "порода : вода": 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 та 1:10.

Одночасно здійснювалися спостереження в природних умовах, які складалися з відбору проб порід за умови буріння свердловин на відвалах, дамбах і ділянках рекультивації до глибини 3 м з інтервалом 0,25 м. Крім того, відбирали зразки шахтних порід безпосередньо після їх надходження з шахт "Благодатна", "Павлоградська", "Степова" на поверхню і порід із Центральної збагачувальної фабрики. Проби на дамбах і ділянках рекультивації відбиралися по два рази на рік, що давало змогу оцінити динаміку процесу вилуговування. На ділянках рекультивації розбурювали свердловини завглибшки до 5 м.

У водних витяжках з усіх проб порід визначали такі показники: кислотно-лужний показник (pH), загальний солевміст і концентрацію таких іонів: карбонатів, бікарбонатів, хлоридів, сульфатів, кальцію, магнію та натрію. Одночасно визначали вміст у водних фракціях таких важких металів: цинк, нікель, кобальт, залізо, марганець, хром, кадмій і свинець.

Для досліджуваних відвальних порід визначено їх літологічний склад. Відвальні шахтні породи Західного Донбасу представлені дрібнозернистими пісковиками (10 %), алевролітами та алевролітовими глинами (32 %), глинистими породами (38 %), вуглистими алевролітами, глинами (5 %) і карбонатними мінералами (5 %). Відходи збагачувальної фабрики складаються, головним чином, з глинистих порід (46 %), вуглистих алевролітів і глин (21 %).

Відповідно до літологічного складу порід водні розчини з них повинні бути нейтральними або близькими до нейтральних. Дійсно, кислотно-лужний показник водної фракції для більшості зразків міститься в межах від 6,9 до 8,4, проте для частини проб pH водної фракції знаходиться в межах від 3,1 до 4,5. Дослідження показали, що величина кислотно-лужного

показника має тенденцію до підвищення зі збільшенням співвідношення порода : вода. Це пояснюється тим, що до процесів розчинення сольового комплексу приєднуються глибші перетворення хімічного складу шахтних порід.

Величини солевмісту водорозчинного комплексу для досліджуваних порід значною мірою знаходяться в межах (%) від 0,2 до 2–3,7. Максимальна кількість солей як за даними лабораторних досліджень, так і за даними природних спостережень відповідає породам з кислою реакцією водної фракції, саме ці породи мають довший термін перебування на денній поверхні. Така закономірність спостерігається незалежно від місця відбору проб з шахтних порід, а саме на дамбі, ділянках рекультивації чи відвалі.

Водорозчинний сольовий комплекс відвальних шахтних порід представлений такими солями: сульфатами кальцію, сульфатами натрію і сульфатами магнію. З хлоридних солей у всіх без винятку породах присутній хлорид магнію і лише на деяких ділянках трапляється хлорид натрію. Дослідженнями доведено, що залежності між значенням кислотно-лужного показника та якісним складом солей у породах не спостерігається. Проте відмінність між хімічним складом водної фракції шахтних порід виявляється в кількісних показниках. Визначено, що для порід з кислою реакцією водної фракції маса солей, які вилуговуються в середньому в три рази вища, ніж для порід з нейтральною реакцією. Цей факт пов'язаний з тим, що надлишкова кількість сульфатних сполук, а саме гіпсу утворюється в результаті обмінних реакцій між поглинальним комплексом породи і натрієм у водній фракції за такою реакцією

$$(ПК)\ Ca + 2Na^{+} \leftrightarrow (ПК)\ Na_2^{+} + Ca^{2+}.$$

Надлишкова кількість сульфат-іонів у породах с pH водної фракції нижче 3,5 пов'язана з тим, що під дією вологи й кисню повітря відбувається процес окиснення піриту, розкладення марказиту і сидериту. Обмінні реакції відбуваються одночасно з вилуговуванням. Тому внаслідок зміщення термодинамічної рівноваги відбувається видалення зі сфери реакції сульфату натрію. Особливість мають ті процеси, які відбуваються в системі "порода-вода" за умов, коли pH водної фракції менше 3,5. Вони супроводжуються зростанням кількості іонів магнію, натрію і хлорид-іонів. Ця закономірність призводить до того, що тип засолення водної фракції різко змінюється (табл. 1). У цьому випадку в довкілля будуть надходити переважно сульфати

Таблиця 1. Уміст солей у відвальних шахтних породах Західного Донбасу, $\frac{мг-екв}{\%}/100\ г$

№ свердловини	$Ca(HCO_3)_2$	$NaHCO_3$	$CaSO_4$	Na_2SO_4	$MgSO_4$	NaCl	$MgCl_2$	pH
106	0,80 0,006	0 0	74,80 0,510	18,80 0,266	36,30 0,218	0 0	12,20 0,058	3,95
107	0 0	0 0	4,20 0,028	360,3 2,558	0 0	4,7 0,027	2,1 0,012	2,85
108	0 0	0 0	110,3 0,75	149,4 1,061	7,0 0,042	0 0	31,5 0,175	3,00
111	2,60 0,021	0 0	30,2 0,205	17,10 0,121	31,20 0,187	0 0	8,0 0,044	7,40
114	6,60 0,053	0 0	10,30 0,07	48,80 0,346	0 0	10,00 0,059	8,40 0,047	7,80
115	7,40 0,06	1,0 0,003	0 0	64,90 0,461	0 0	14,10 0,082	5,30 0,029	8,05

кальцію і магнію. Особливості процесів вилуговування сульфатних солей кальцію і магнію супроводжується конкуренцією між ними залежно від pH. Загалом 70–80 % від загальної суми солей, які вилуговуються з порід у процесі сучасного вивітрювання, представлено саме цими солями. Порівняльна оцінка двох різних типів відвальних шахтних порід ілюструється їх параметрами розподілу (табл. 2, 3).

Таким чином, за результатами моделювання, що включає одноразове і послідовне вилуговування хімічних компонентів з відвальних шахтних порід при різному співвідношенні твердої і рідкої фази, визначено, що в процесі вивітрювання відбувається хімічне і мінералогічне перетворення відвальних порід. За сольовим складом і кислотно-лужним показником водної фракції породи, які підлягають процесам сучасного вивітрювання, умовно можна розділити на дві групи. Одна з них має pH водної фракції, що дорівнює 6,8–8,4; інша – pH від 2,8 до 4,3. При цьому продукти вилуговування відрізняються як кількісним, так і якісним складом речовини.

Дослідженнями встановлено, що кількість солей, які вилуговуються з порід (y) лінійно залежить від об'єму розчинника до співвідношення "тверда фаза-розчин" за рівнянням $y = 0{,}60x \pm 0{,}19$; за умови, коли $т: p>5$, $y = 0{,}75x \pm 0{,}29$.

На основі хімічного складу водно-сольового комплексу, отриманого за даними модельних експериментів і натурних

Таблиця 2. Параметри розподілу солеутворювальних компонентів шахтних порід з нейтральною реакцією водної фракції (n=71)

Компоненти водної витяжки з породи	Параметри розподілу			
	$X_{ср}$	M_e	σ^2	σ
∑ іонів	0,58	0,53	10,40	3,22
HCO_3^-	0,03	0,03	0,04	0,19
Cl^-	0,05	0,05	0,08	0,29
SO_4^{2-}	0,31	0,31	4,83	2,20
Ca^{2+}	0,05	0,04	0,13	0,36
Mg^{2+}	0,02	0,02	0,03	0,16
Na^+	0,10	0,09	0,61	0,73

Примітка: $X_{ср}$ – середнє арифметичне; M_e – медіанне значення; σ^2 – дисперсія; σ – стандартне відхилення.

Таблиця 3. Параметри розподілу солеутворювальних компонентів кислих порід (n=46)

Компоненти водної витяжки з породи	Параметри розподілу			
	$X_{ср}$	M_e	σ^2	σ
∑ іонів	1,68	1,63	0,40	0,63
HCO_3^-	0,003	0,003	0,0003	0,005
Cl^-	0,03	0,02	0,0008	0,09
SO_4^{2-}	1,20	1,20	0,18	0,40
Ca^{2+}	0,22	0,25	0,006	0,08
Mg^{2+}	0,07	0,05	0,003	0,05
Na^+	0,23	0,12	0,063	0,25

спостережень, а також аналізу змін у поглинальному комплексі шахтних порід, запропоновано механізм сучасного вивітрювання відвальних шахтних порід, який дає можливість виділити два типи процесу вивітрювання і запропонувати індикатори для кожного з них. Перший тип вивітрювання включає такі процеси: конгруентне розчинення сульфатних і хлоридних солей, а також гідроліз карбонатів і силікатів. Для цього типу індикаторами є: кислотно-лужний показник (pH), значення якого містяться в інтервалі від 6,8 до 8,4. При цьому у водної фракції спостерігається наявність таких солей: гідрокарбонат-, хлорид- і сульфат натрію. Другий тип вивітрювання: окиснення сульфідів шахтної породи та розчинення карбонатів і силікатів. Індикатором цієї стадії є кислотно-лужний показник (pH), значення якого містяться в інтервалі від 2,8 до 4,3. При цьому у водної фракції переважними є сульфати кальцію й магнію.

Висновки

Узагальнюючи та зіставляючи дані щодо вилуговування солей з порід, отримані за результатами натурних і лабораторних досліджень, можна зробити такі висновки:

– встановлені нові методологічні підходи щодо методології оцінки фізико-хімічних процесів, які відбуваються з шахтними породами під час їх складування у вигляді відвалів і дамб;

– основним процесом, який контролює надходження хімічних сполук з відвалів в об'єкти довкілля, є процес сучасного вивітрювання;

– доведено, що сучасне вивітрювання відбувається у вигляді двох стадії, перша з яких відповідає процесам вилуговування водорозчинних солей з порід, друга стадія пов'язана з окисненням сульфідів з переважним утворенням сульфатних солей;

– доведено, що ступінь небезпеки відходів вугледобування залежить від їх літологічного складу, терміну перебування на денній поверхні, фізико-хімічних процесів та є основою прогнозування якісного і кількісного рівня забруднення об'єктів довкілля в зоні розміщення відвалів вугледобування.

ЛІТЕРАТУРА

1. ***Загороднюк П. О.*** **Взаємозв'язок екологічної та економічної безпеки та їх вплив на економічне зростання України/ П. О. Загороднюк//Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. К., 2005. № 4. С. 5–12.**

2. ***Рудько Г. І.*** **Екологічні ризики при розробці корисних копалин/Г. І. Рудько//Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. К., 2005. № 5. С. 75–84.**

3. ***Хотунцев Ю. Л.*** **Экология и экологическая безопасность/Ю. Л. Хотунцев. М.: Академия, 2002. 480 с.**

4. ***Шевченко Л. М.*** **Геохімічний аспект проблем природокористування у гірничопромислових ландшафтах України/Л. М. Шевченко// Укр. геогр. журнал. 2004. № 4. С. 19–23.**

5. ***Яковлєв Є. О.*** **Сучасні фактори національної безпеки України при формуванні мінерально-сировинної бази/Є. О. Яковлєв// Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. К., 2005. № 5. С. 84–91.**

6. ***Bian Z.*** **Environmental issues from coal mining and their solutions/Z. Bian, H. I. Inyang, J. L. Daniels, F. Otto, S. Strruthers//Mining Science and Technology. 2010. V. 20. P. 215–223.**

7. ***Chapter Y.*** **Mining, transportation and storage/Y. Chapter//Coal Science and Technology. 2005. V. 23. P. 410–450.**

8. ***Guo G.*** **Study of "3-Step Mining" Subsidence Control in Coal Mining Under Buildings/G. Guo, J. Zha, B. Wu, X. La//Journal of China University of Mining and Technology. 2007. V. 17. P. 316–320.**

9. ***Hea Z. L.*** **Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment/Z. L. Hea, X. E. Yanga, P. J. Stoffellab//Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. 2005. V. 19. P. 125–140.**

10. ***Kent M.*** **Plant growth problems in colliery spoil reclamation/V. Kent//Applied Geography. 2002. V. 2. P. 83–107.**

11. ***Kramarova M.*** **Distribution of cadmium and lead in liver and kidney of some wild animals in Slovakia/M. Kramarova, P. Massanyi, J. Slamecka et all.//J. Environ. Sci. Health. A. Tox. Hazard Subst. Environ. Eng. 2005. 40 (3). P. 593–600.**

12. ***Meng L.*** **Quantitative evaluation of soil erosion of land subsided by coal mining using rusle/ L. Meng, Q. Feng, K. Wu, Q. Meng//International**

Journal of Mining Science and Technology. 2012. V. 22. P. 7–11.

13. *Otto F.* Aspects of surface and environment protection in German mining areas/F. Otto// Mining Science and Technology. 2009. V. 19. P. 615–619.

14. *Solomon F.* Social dimensions of mining: Research, policy and practice challenges for the minerals industry in Australia/F. Solomon, E. Katz, R. Lovel//Resources Policy. 2008. V. 33.

15. *Viard B.* Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, graminaceae and land snails/ B. Viard, F. Pihan, S. Promeyrat, J. C. Pihan// Chemosphere. 2004. V. 55. P. 1349–1359.

Рукопис отримано 12.09.2013.

Установлены закономерности процесса выветривания горных пород угледобычи. Изучены особенности распределения токсичных компонентов и соединений в природно-техногенных системах, которые образуются на территориях складирования и длительного пребывания отходов. Предложены новые методологические подходы экотоксикологической оценки процессов выщелачивания, выноса токсичных компонентов из твердых отходов горнодобывающей промышленности и достоверности накопления их в объектах окружающей среды. Выявлено, что за счет физико-химических процессов происходит поступление в окружающую среду как токсичных, так и нетоксичных веществ в виде солей и соединений тяжелых металлов.

Ключевые слова: *отходы угледобычи, тяжелые металлы, экологическая безопасность.*

Set conformities to law of process of eolation of mountain breeds of the coal mining. Studied features of distribution of toxic components and connections in the natural technogenic systems, that appear on territories of warehousing and protracted stay of wastes. New methodological approaches offer from the ekotocsicological estimation of processes of lixiviating, bearing-out of toxic components from hard wastes of mining industry and authenticity of accumulation of them in the objects of environment. It is educed that due to motion of physical and chemical processes there is entering environment of both toxic and untoxic substances as salts and connections of heavy metals.

Keywords: *coal mining wastes, heavy metals, ecological safety.*