



О. Р. Зубов¹, Л. Г. Зубова¹, А. О. Зубов²

¹ Український ордена "Знак пошани" науково-дослідний інститут лісового господарства і агролісомеліорації ім.

Г. М. Висоцького, м. Харків, Україна

² Інститут агроєкології та природокористування НААН, м. Київ, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕРИКОНІВ НА ЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН АГРОЛАНДШАФТІВ

Охарактеризовано міграційні процеси забруднювальних речовин в аграрних ландшафтах вугледобувних регіонів, кількісну оцінку ступеня забруднення ґрунтів і його впливу на біопродуктивність ландшафтів та якість сільськогосподарської продукції. Проаналізовано космічні знімки, здійснено моніторинг процесів водної ерозії, фізичне моделювання вітрової ерозії відвальної породи, математичне моделювання, застосовано емісійний спектральний та інші методи хімічного аналізу ґрунтів та рослинної продукції. Внаслідок проведення дослідження отримано кількісні показники винесення відвальної породи внаслідок водної та вітрової ерозії, встановлено закономірності відкладення частинок відвальної породи залежно від відстані до відвалу. Доведено, що породні відвали вугільних шахт є джерелами надходження в агроландшафти надмірної кількості забруднювальних речовин, що спричиняють несприятливу екологічну ситуацію внаслідок забруднення ґрунтів і рослинної продукції важкими металами. Показано, що для отримання просторового розподілу ступеня забруднення ґрунтів потрібно використовувати геосистемний підхід. Розглянуто теоретичні та практичні підходи до застосування геосистемного аналізу до процесів міграції і розсіювання забруднювальних речовин у ландшафті. Зроблено аналіз парагенетичних геосистем териконових ландшафтів Донбасу. Запропоновано показники для оцінювання умов розсіювання речовин, що надходять з відвалів. Доведено, що геосистемний підхід із використанням цих показників дає змогу виявити найбільш небезпечні щодо забруднення ділянки ландшафту.

Ключові слова: породний відвал; забруднення ґрунтів; геосистема; парагенезис; катена; геополе.

Вступ. Ефективне агропромислове виробництво можливе тільки на ґрунтах із високим рівнем родючості. Однак в умовах великого техногенного навантаження, яке відбувається на територіях із підприємствами гірничодобувної промисловості, стається забруднення ґрунтів важкими металами (ВМ), що сукупно з ерозійним виснаженням ґрунтів негативно впливає на якість сільськогосподарської продукції, призводить до її недобору.

Аналіз літературних джерел. Одним з основних джерел забруднення десятків тисяч гектарів сільськогосподарських угідь від заходу до сходу України є понад 1300 відвалів пустої породи вугільних шахт – териконів. На території Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну розташовані 55 відвалів, у тому числі 44 недіючих (Pinder & Porovych, 2017), у Західному Донбасі (східній частині Дніпровської обл.) за (Petlovanyi & Medianyuk, 2018) їх 11. Переважна ж частина відвалів – 1257 – розташована на території Центрального Донбасу (Донецького кам'яновугільного басейну) (Zubova et al., 2015). Внаслідок катастрофічного розвитку водної та вітрової ерозії на породних відвалах, го-

ріння значної частини з них, вони є джерелами забруднення повітря небезпечними газами та пилом, інтенсивного надходження в ландшафти ВМ (Pinder & Porovych, 2017; Petlovanyi & Medianyuk, 2018; Zubova et al., 2015; Yatsukh & Snitinskii, 2011). І це є загальносвітовою проблемою, характерною як для України та інших країн із найбільшими запасами вугілля: США (Chugh & Behum, 2014); Росія (Aleksenko et al., 2018); Китай (Yingyi et al., 2007); Індія (Pandey et al., 2014); Австралія та Німеччина (Zillig et al., 2015), так і для всіх інших із 70 країн, що добувають вугілля, яке залишається одним із найважливіших джерел енергії у світі. Так, Польща виробляє з нього понад 94 % енергії, а відходи вугледобутку розташовані тут на площі понад 4000 га у більш ніж 220 відвалах загальною масою понад 760 млн тонн (Gawor, 2014).

Дослідженнями Aleksenko (2018) у Східному Донбасі (Ростовська обл. РФ) встановлено, що повітряна та водна міграція матеріалу з відвалів змінює властивості степових ґрунтів у радіусі 1 км. Вміст Mn, Cu, V, Cr, Zn, Pb, Mo і Ba у верхніх шарах ґрунту підвищено, порівняно з фоновими значеннями. Перевищення вмісту

Інформація про авторів:

Зубов Олексій Ремович, д-р с.-г. наук, пров. наук. співробітник, лабораторія лісових культур і агролісомеліорації.

Email: zuboval195@gmail.com

Зубова Лілія Григорівна, д-р техн. наук, пров. наук. співробітник, лабораторія лісових культур та агролісомеліорації.

Email: zubova.lidiya@gmail.com

Зубов Антон Олексійович, канд. техн. наук, докторант. Email: zuboval195@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1759-9481>

Цитування за ДСТУ: Зубов О. Р., Зубова Л. Г., Зубов А. О. Оцінювання впливу териконів на екологічний стан агроландшафтів.

Науковий вісник НЛТУ України. 2019, т. 29, № 9. С. 50–59.

Citation APA: Zubov, O. R., Zubova, L. H., & Zubov, A. O. (2019). Assessment of the influence of terricons on the ecological conditions of agrarian landscapes. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(9), 50–59. <https://doi.org/10.36930/40290909>

важких металів Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Ni, Cd і Cr у ґрунтах, порівняно з їх критичними концентраціями, зазначено у праці індійських дослідників (Pandey et al., 2014); зниження показника кислотності рН до 2,4 внаслідок надходження кислотного дренажного стоку (AMD) виявлено в озерах Туреччини (Yucel et al., 2017). Але якщо стосовно забруднення ґрунтів у світі є досить багато матеріалів, то стосовно впливу відвалів на рослинність аграрних ландшафтів – їх значно менше. Тому виконані дослідження, спрямовані саме на оцінку такого впливу відвалів, є актуальними.

Для правильного оцінювання екологічних ризиків, що пов'язані з забрудненням ґрунтів, важливо знати закономірності міграції забруднювальних часток і речовин у ландшафті. Найбільш фундаментальною науково-методологічною основою теоретичного вирішення цієї задачі є геосистемний підхід, оскільки як для природних, так і для антропогенно змінених геосистем характерним є *ландшафтний парагенезис*, під яким розуміють функціонування пов'язаних геосистем через латеральне (бічне) перенесення речовини та енергії (Kazakov, 1999).

Об'єкт дослідження – техногенні та природні процеси на породних відвалах і прилеглих до них аграрних ландшафтах.

Предмет дослідження – методи і засоби визначення ерозійного і дефляційного винесення відвальної породи та її міграція в аграрному ландшафті.

Мета роботи – характеристика міграційних процесів забруднювальних речовин в аграрних ландшафтах вугледобувних регіонів щодо взаємодії парагенетичних геосистем, кількісне оцінювання ступеня забруднення ґрунтів та його впливу на біопродуктивність ландшафтів і якість сільськогосподарської продукції.

Завдання дослідження: дати кількісну оцінку інтенсивності процесів винесення забруднювальних речовин із породних відвалів вугільних шахт; охарактеризувати процеси поширення та відкладання речовин на прилеглий територію; оцінити вплив забруднення ґрунтів на їхню продуктивність; розробити теоретичні та практичні підходи до застосування методів геосистемного аналізу до процесів міграції і розсіювання забруднювальних речовин у ландшафті.

Наукова новизна дослідження полягає в удосконаленні геосистемного підходу до оцінювання процесів міграції та розсіювання забруднювальних речовин в аграрному ландшафті, а також у кількісному оцінюванні їх впливу на стан його рослинної продукції.

Практична значущість результатів полягає в отриманні критеріїв оцінювання екологічної ситуації з розсіювання хімічних речовин, що надходять з відвалів.

Матеріал і методи дослідження. Дослідними об'єктами були аграрні ландшафти, що оточують пласкі породні відвали двох вугільних шахт: "Ювілейна" шахтоуправління "Луганське" та "Матроська" ПАТ "Лисичанськвугілля" в Луганській обл. та самі ці відвали, а також конічний відвал (терикон) шахти "Чорноморка" цього ПАТ. *Методологічною основою досліджень* є геосистемний підхід (Kazakov, 1999; Berest, 2010; Glazovskaya, 1988; Perelman, 1977; Nikolaev, 1979). Як методи дослідження використали аналіз космічних знімків, моніторинг водноерозійних процесів вимірюванням параметрів перерізу рівчаків, фізичне моделювання віт-

рової ерозії (дефляції) породи за допомогою авторської лабораторної аеродинамічної установки (патент України № 53815), описаної у монографії (Zubova et al., 2015), математичне моделювання процесів перенесення частинок породи вітром та їх відкладення на прилеглий території внаслідок дії гравітації, загальноприйняті польові методи ґрунтового обстеження. Облік урожайності сільгоспкультур виконували їх викошуванням з метрових майданчиків, для хімічного аналізу зразків породи, ґрунту та рослинності виконували емісійний спектральний аналіз та інші лабораторні методи, для оцінювання гранулометричного складу породи – ситовий аналіз. Здійснювали математико-статистичний аналіз даних.

Результати дослідження та їх обговорення. Як свідчить вже чисто візуальний огляд породних відвалів та аналіз їх космічних знімків, отриманих за допомогою сервісу "Google Earth" (рис. 1), вони схильні до катастрофічної водної ерозії і є джерелом винесення у довкілля величезної кількості породної маси. Наслідком означених процесів є помітна зміна стану ґрунтового покриву прилеглої території. Оскільки хімічні речовини та механічні забруднювачі виносяться з відвалів та поширюються у ландшафті переважно з поверхневим стоком атмосферних опадів (каскадним шляхом), характер поширення забруднювальних речовин та частинок породи значною мірою залежить від рельєфу території, а її забруднення має нерівномірний характер (див. рис. 1, б).

Згідно з (Rodríguez-Eugenio et al., 2018), такий вплив на ґрунти можна класифікувати як *забруднення від точкового джерела (point-source pollution)*. До таких джерел, поряд з відвалами, відносять виробничі майданчики, надмірне використання агрохімікатів тощо. Джерело і характер забруднення ґрунту в таких випадках легко ідентифікуються.

У разі винесення частинок породи вітром забруднення території має *дифузний* характер, яке за (Geissen et al., 2015) включає перенесення забруднювальних речовин через систему "повітря – земля – вода" та може виявлятися на досить великій відстані від свого джерела.

Як показали досліді з породою, відібраною на досліджуваних відвалах, проведені з використанням аеродинамічної установки, потенційне річне винесення породи вітром досягає 157 т/га. Просторові закономірності забруднення внаслідок відкладення частинок породи, що були винесені, залежать від повторюваності вітрів різної швидкості та різних напрямків.

Розрахунки за розробленою математичною моделлю перенесення та відкладання частинок породи, реалізованою у програмі Excel, показали, що найбільше забруднення території відбувається за роки відсипання відвалу – внаслідок бічного віднесення частинок породи вітром (до 12 % всієї маси відвалу). Біля підніжжя сформованого відвалу щільність забруднення досягає 10^4 т/га. На відстанях 1000 і 2000 м вона знижується відповідно до 5 т/га і 1 т/га (рис. 2). На порядок меншим є забруднення внаслідок дефляції поверхні відвалу за період його відсипання. Річне забруднення території внаслідок дефляції після завершення відсипання є найменшим, але теж дуже небезпечним, оскільки відбувається у реальному часі, а його негативний ефект накопичується з роками.



Рис. 1. Прояви водної ерозії (а) і забруднення ґрунтового покриву агроландшафтів внаслідок ерозії та надходження відвальної породи та хімічних речовин (а, б) з відвалу шахти "Матроська" ПАТ "Лисичанськвугілля".

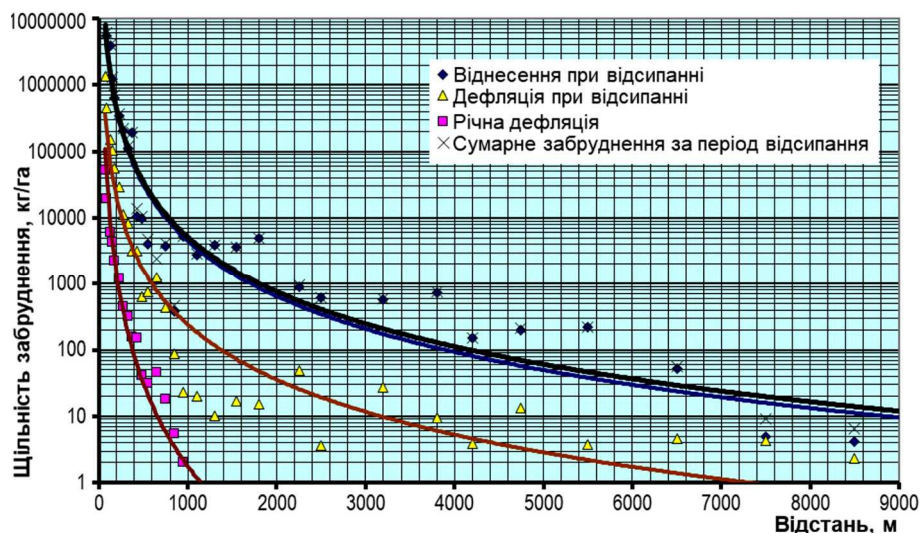


Рис. 2. Зміна щільності річного забруднення породою території в зоні від підніжжя конічного відвалу висотою 50 м до відстані 9000 м

За отриманим рівнянням залежності щільності сумарного забруднення території породою Y (кг/га), що відбувається за час відсіпання типового терикону висотою 50 м, від відстані до його центру (L , м), яке має такий вигляд: $Y = 1 \cdot 10^{12} L^{-2,76}$ (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,93$), виконано зонування території за ступенем багаторічного забруднення: 1) від підніжжя відвалу до відстані 100 м воно знижується від 10000 до 3000 т/га; 2) у зоні 100–150 м – від 3000 до 1000 т/га; 3) 150–300 м – від 1000 до 145 т/га; 4) 300–500 м – від 145 до 35 т/га; 5) 500–1000 м – від 35 до 5 т/га; 6) 1000–2000 м – від 5 до 1 т/га, 7) у зоні 2000–4000 м забруднення знижується від 1 до 0,1 т/га.

Стосовно геосистемного підходу, внаслідок зонування, фактично, були отримані розміри ландшафтно-географічних *полів*, тобто парагенетичних геосистем дифузного походження, які підкоряються "правилу убивання" або "закону плати за відстань" (Kazakov, 1999): за віддаленням від геосистеми, що генерує геополя, їхня напруженість послаблюється і згодом вичерпується. Разом із відвалом як антропогенним ядром поля утворюють систему, яку, згідно з працями (Kazakov, 1999;

Nikolaev, 1979), можна охарактеризувати як *нуклеарну парагенетичну*. А оскільки ядро має сильно виражений забруднювальний вплив, таку нуклеарну геотехнічну систему можна назвати *імпактною*.

Зображення відкошу відвалу шахти "Матроська" та шлейфу винесення породи (див. рис. 1,а) є ілюстрацією парагенетичної геосистеми, що формується односпрямованим потоком речовини та енергії – спочатку вниз по відкосам відвалу разом із поверхневим стоком води, а потім за ухилом місцевості. Таку геосистему називають *ландшафтною катеною*. За (Nikolaev, 1979) та (Kazakov, 1999) під катеною розуміють ряди сполучених за елементами рельєфу природних комплексів від вододілів до місцевих або регіональних базисів ерозії, з'єднаних односпрямованими латеральними зв'язками в єдину парагенетичну систему. Найпоширенішими є катени у вигляді водозборів улоговин. Їх верхньою межею є вододіл балкового або річково-долинного водозбирання, боковими межами – міжугловинні вододіли. У межах катени будь-якого розміру виділяють три ланки, приурочені до різних ярусів рельєфу: 1) *елювіально-денудаційну* (це найвища ланка – вододіл); 2) *транзитну* (про-

міжну), в межах якої виділяють дві частини – *транселювіальну* – верхню частину схилу, що прилягає до вододілу, і *трансакумулятивну* – нижню частину схилу, яка переходить у третю – найнижчу ланку – *аккумулятивну* частину катени. У межах останньої виділяють такі частини: *супераквальну* (надводну – дно балки, річкова заплава) і *субаквальну* – дно водойми або річки (Glazovskaya, 1988).

Термін "катена" (від лат. *catena* – ланцюг) у практиці ґрунтових досліджень уперше ввів G. Milne у працях, які стосуються ґрунтів Східної Африки (1935, 1947). Згідно з (Berest, 2010), G. Milne розглядав катену як "пов'язаний з рельєфом ряд ґрунтів, відмінності між якими пов'язані з відмінностями висотного рівня і ухилу".

Катенарний підхід часто використовують у працях вітчизняних та зарубіжних вчених. Так Sowinski et al. (2016) застосовували його для оцінювання перерозподілу загальних та доступних для рослин форм ВМ (Pb, Cr і Cu) та зв'язку між властивостями ґрунтів річкової долини у північно-східній Польщі.

Стосовно відвалів, ланкою 1 може бути їхня вершина, якщо вона пласка, ланкою 2 – їхні укоси. Цю частину можна назвати, на наш погляд, денудаційно-транзитною, враховуючи активний ерозійний процес, про який свідчать літературні дані (Pinder & Popovych, 2017; Zubova et al., 2015; Vorobyov, 2010; Yatsukh & Snitinskii, 2011; Alekseenko et al., 2018) й отримані нами результати щодо багаторічної механічної (водноерозійної) міграції речовини (породи) зі схилів типового відвалу ПАТ "Лисичанськвугілля" (табл. 1).

Табл. 1. Показники змиву породи зі схилів відвалу шахти "Чорноморка"

Експозиція схилу	Площа схилу, га	Змив з одиниці площі, м ³ /га	Змив з усього схилу, м ³
Північна	0,43	900	389
Південна	0,43	2700	1168
Західна	0,55	480	266
Східна	0,77	1800	1395
Усього*, у середньому**	2,18*	1476**	3218*

Прилегла територія, на яку виходять потоки з відвалу, є вже іншою геосистемою, яку за наявності похилу можна віднести до трансакумулятивної. Підніжжя відвалу, яке є фронтом виходу в цю геосистему (з нейтральною або слаболужною реакцією її середовища) кислотного стоку та забруднювальних речовин у розчиненому та твердому стані, є парагенетичною геосистемою, яку називають *ландшафтним екотоном*. Цим терміном називають перехідну смугу між геосистемами, що контактують (Kazakov, 1999).

Ландшафтознавці вважають, що ландшафтні екотони відіграють одночасно *буферну*, *мембранну* та *транзитну* ролі (Kazakov, 1999; Perelman, 1977). У табл. 2 навели виконаний аналіз особливостей цих ролей.

Буферна роль екотонів. Відомо, що окислення піриту, який входить до складу шахтної породи, приводить до утворення H₂SO₄ та сильного підкислення середовища (Vorobyov, 2010; Alekseenko et al., 2018; Yucel et al., 2017). Для оцінення кислотності породи відбирали зразки породи на відвалі №3 шахти "Матроська", визначали їх pH у водній та сольовій витяжках, виконали математико-статистичний аналіз даних (табл. 3).

Табл. 2. Особливості буферної, мембранної та транзитної ролей екотонів

Основна функція екотонів	Характер дії екотонів на потік
1. Слугує як буферна ємність	Нейтралізує кислотний стік
2. Виконує роль мембрани (селективного фільтра)	а) пропускає транзитом (без хімічних перетворень) частину потоку; б) фіксує (затримує) компоненти суміші усередині або поблизу поверхні "фільтра".

Табл. 3. Математико-статистичний аналіз даних з pH відвальної породи

Показник	pH	
	сольовий (KCl)	водний (H ₂ O)
Обсяг вибірки <i>n</i>	19	19
Діапазон варіювання показника pH	4,2–7,0	4,4–7,4
Середня арифметична $\bar{X} = (\sum X) / n$	5,48	5,71
Дисперсія $S^2 = [\sum (X - \bar{X})^2] / (n - 1)$	1,07	1,24
Середнє квадратичне відхилення $S = \sqrt{S^2}$	1,03	1,11
Коефіцієнт варіації $V = (S / \bar{X}) \cdot 100\%$	18,8	19,4
Абсолютна помилка $S_{\bar{X}} = S / \sqrt{n}$	0,24	0,25
Відносна помилка $S_{\bar{X}}\% = (S_{\bar{X}} / \bar{X}) \cdot 100\%$	4,38	4,38
Довірчий інтервал $\bar{X} \pm t \cdot S_{\bar{X}}$	5,48 ^{±0,50}	5,71 ^{±0,53}

Кислотний стік із відвалу шахти "Матроська" (табл. 4), що сформувався внаслідок випадіння дощів, характеризується дуже низьким значенням pH (3,4) та високим вмістом сульфатів (5215 мг/дм³).

Оскільки типоморфним елементом компонентів природних ландшафтів степу, зокрема Донбасу, є кальцій, на прилеглий до відвалу території (в екотоні) pH ґрунтів має нейтральне та слабколужне значення. Тому цей екотон нейтралізує кислотний стік з терикону, тобто слугує як буферна ємність.

Табл. 4. Хімічний аналіз кислотного стоку з відвалу шахти "Матроська"

Назва компонента	Результати аналізу			
	мг/дм ³	помилка, ±Δ	моль/дм ³	%
Калій	63	9,45	1,61	1,48
Натрій	11	1,65	0,48	0,44
Кальцій	461	23	23,00	21,14
Магній	936	46,8	77	70,77
Залізо III	76,26	7,63	4,1	3,77
Залізо II	0,6	0,3	0,02	0,02
Амоній	39,55	3,56	2,2	2,02
Кремнієва кислота	22	1,1	100	
Жорсткість загальна		5	65.50	
pH	3,4	0.1		
Хлориди	32	6,72	0,9	0,82
Сульфати	5215	260,75	108,58	98,49
Нітрати	47	11,75	0,76	0,69
Сухий залишок за експериментом	7380	369		
Сума мінеральних речовин	6904			

Мембранна роль екотонів із затримання компонентів суміші та утворення геохімічних бар'єрів. Ландшафтний екотон відіграє також роль мембрани – селективного фільтра, що фіксує (затримує) частину компонентів рідкого та твердого стоку з відвалів, сприяючи утворенню геохімічних бар'єрів, другу ж частину пропускає транзитом без хімічних перетворень.

За класифікацією О. І. Перельмана (Perelman, 1977), існують чотири основні типи геохімічних бар'єрів – механічні, фізико-хімічні, біогеохімічні та техногенні, серед яких можна виділити природні та штучні. Механічні утворюються внаслідок різкої зміни транспортувальної здатності потоків, які надходять з відкосів відвалу на його підніжжя через різку зміну їх похилу. Роль таких бар'єрів проявляється у відкладанні грубих частинок породи у підніжжі відвалу. Додаткову роль у відкладенні частинок відіграють рослинні смуги (деревні та трав'яні) або посіви с.-г. культур – через гідравлічну шорсткість, яку вони надають поверхні. Штучним механічним бар'єром є інженерно-біологічні споруди, наприклад лісові смуги, що суміщені з валами та утворюють разом з ними так звану механічно-захисну зону відвалу (МЗЗ), а на етапі гасіння відвалу, що горить, – вали з траншеєю для збирання води, що стікає з відкосів, та її відведення у відстійник. У дослідях на відвалі шахти "Матроська" ця система затримувала до 87 % маси виносеної відвальної породи (Zubova et al., 2015). Найбільш рухомою частиною твердого стоку виявилися частинки менші за 0,25 мм. Вони не втрачали міграційної здатності в траві та траншеї, а осаджувалися лише у відстійнику. Незважаючи на відносно малу їхню частку долю від усього твердого стоку, ці частинки є досить небезпечними, оскільки з ними, як виявилось, виноситься до 100 кг ВМ з гектару поверхні відвалу.

Геохімічні бар'єри, що утворюються на стику сірчано-кислих міграційних потоків з чорноземами звичайними, з їх нейтральною або слабколужною реакцією, на прилеглий до відвалів території, належать до бар'єрів лужного класу (D_1 , D_2). Внаслідок підвищення рН потоку на них осаджуються багато які елементи, що виносяться з кислотним стоком (рис. 3). Осаджування важких металів призводить до забруднення прилеглої до відвалів території.

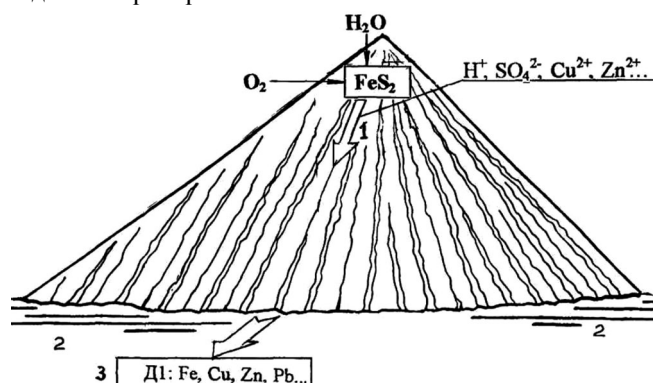


Рис. 3. Площинні геохімічні бар'єри типу D_1 у підніжжі території: 1 – сірчано-кислий розчин; 2 – чорноземи; 3 – лужний бар'єр (D_1)

Аналіз внутрішніх властивостей елементів показав, що багато які з них (Zn, Cu, Pb, Cd, Li, Ba, Sr) мігрують у сірчано-кислих водах у вигляді простих, розчинених катіонів. Під час зустрічі з лужними умовами вони переходять у тверду фазу, осаджуються у вигляді слабо-

розчинних гідроксидів та випадають з міграційного середовища, формуючи геохімічні аномалії (Perelman, 1977). Осаджування елементів, що входять у склад комплексних нерозчинних гідролізованих сполук (Al, Ga, W, Ge, Be, Nb, Mo, Zr), відбувається по-іншому. Після розчинення у воді сполуки спочатку піддаються первинній дисоціації, при якій ліганди зовнішньої сфери відділяються від комплексоутворювача, а лужні бар'єри чорноземів приводять до вторинної дисоціації, при якій від нього відділяються адденти внутрішньої сфери. Це відбувається тільки на специфічних геохімічних бар'єрах. Як такий у нашому випадку теж виступає лужний бар'єр.

Оскільки через низку причин кислотний стік нейтралізується на бар'єрі не одразу, елементи осаджуються на ньому також не одразу й не повністю. Певна їхня частина за масою продовжує міграційний рух. Значною мірою нейтралізація стоку залежить від площі контакту потоку з ґрунтом, яка визначається здатністю катен розсіювати або концентрувати стік.

Отже, оцінювання екологічної ситуації в частинах екотону, що фіксують (накопичують) та пропускають речовини транзитом без хімічних перетворень, повинна виконуватися по-різному. У накопичувальній частині екотону екологічна ситуація має оцінюватися за забрудненням ґрунтів і рослинності, а в транзитній частині – за розсіюванням хімічних речовин.

Оцінку екологічної ситуації у прилеглих до відвалів ґрунтах необхідно проводити порівнянням фактичних значень концентрації ВМ з кларком і ГДК валової та рухомої форми; у рослинній продукції – шляхом порівняння фактичних значень валової форми з ГДК валової форми за методикою, розробленою в ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського" (Medvedev et al., 1998). Використання методики стосовно зразків породи та ґрунту, що відібрані на відвалі шахти "Ювілейна" (рис. 4) та поряд з ним, показало, що накопичення ВМ у геохімічних аномаліях біля відвалів має катастрофічний характер.

Висота відвалу 96 м, площа його основи 18 га, об'єм породи 12,4 млн m^3 , кут укосів 37° . За периметром він мав МЗЗ у вигляді обвалованої лісосмуги (по суті це механічний геохімічний бар'єр), але через надмірне замулення і токсикацію ґрунту лісові насадження здебільшого випали (рис. 5), а вали втратили водоутримнуємність. Тому практично у всіх улоговинах (катенах) стік з відкосів відвалу утворює довгі шлейфи виносеної породи, які спричиняють пригнічення та навіть загибель посівів (див. рис. 4). В одному з таких шлейфів відібрали зразки породи, а на відстані 50, 100, 200 і 500 м від його кінця – зразки ґрунту.

За результатами спектрального аналізу виявлено перевищення над ГДК вмісту в ґрунті елементів Cu, Zn та As. У різні роки досліджень агрофоном на п'яти ланах, що примикають до відвалу, були: озима пшениця, ячмінь, соняшник, еспарцет, пар. Під час вегетації озимої пшениці на відстані 50, 100, 200 і 500 м від кінця шлейфу виносеної породи виміряли висоту рослин. Отримані дані та результати їх математичного оброблення навели у табл. 5.

За масою 1000 зернин, яка варіює від 36,3 до 41,7 г практично незалежно від відстані до кінця шлейфу, зерно озимої пшениці оцінюється у 5–6 балів (середня

якість). Найнижчу масу 1000 зернин (36,3 г) спостерігаємо на відстані 100 м, а якість зерна тут характеризується як низька (3–4 бали).

За емісійним спектральним аналізом дослідили хімічний склад соломи пшениці та визначили екологічну ситуацію за її забрудненням ВМ (табл. 6).

Отже, всі зразки озимої пшениці, незалежно від відстані до кінця шлейфу, характеризуються катастрофічною екологічною ситуацією за забрудненням. Можна припустити, що така ситуація є типовою, оскільки розташування орних земель впритул до відвалів вугільних шахт є дуже поширеним у Донбасі. Деякі приклади зображено на рис. 6.

На полі СГП "Лисичанський", що примикає до відвалу №3 ш. "Матроська" ПАТ "Лисичанськвугілля" (див. рис. 6) дослідили ґрунт і посіви озимої пшениці. Багаторічні спостереження показали, що після танення снігу або зливів потоки води з відвалу виносять у поле продукти ерозії, що відкладаються в улоговинах (катенах) у вигляді довгих шлейфів шириною до 50 м.

На дні однієї з катен зі шлейфом винесених наносів відбирали проби ґрунту і рослинності на відстані 50, 100 і 150 м від підніжжя відвалу. За контрольні обрали точки з обох боків шлейфу, розташовані за його межами. З табл. 7 видно істотну зміну рН ґрунту, порівняно з контролем, щонайменше до 50 м.

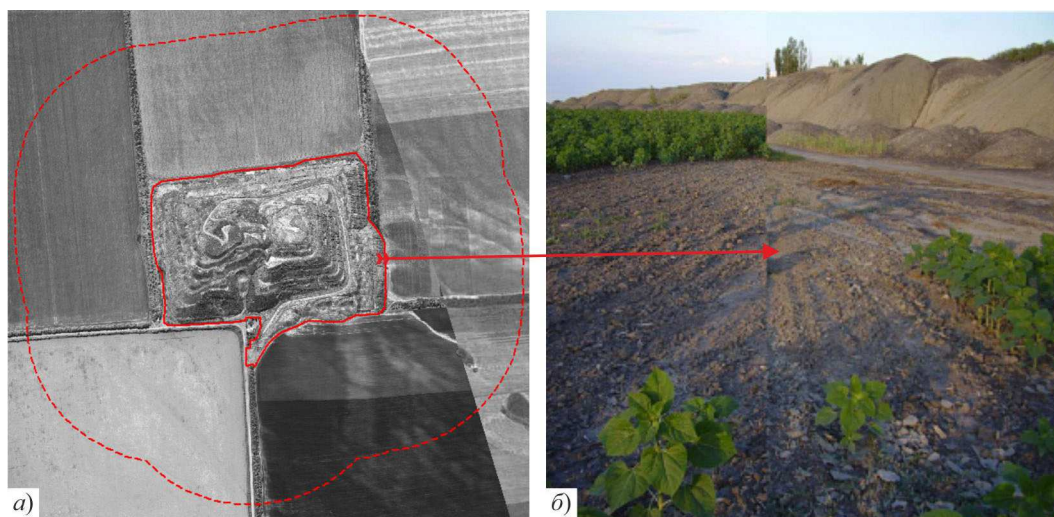


Рис. 4. Космічний та наземний знімки відвалу шахти "Ювілейна" зі слідами винесення речовин породи на поля (а); з пригніченням та повним випадінням рослин соняшника у забрудненій зоні (б)

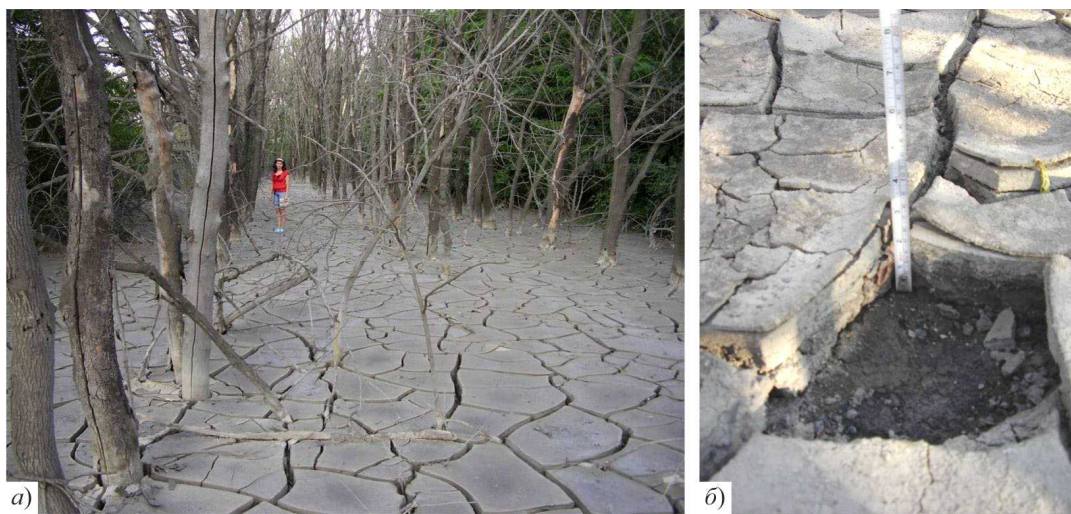


Рис. 5. Загиблі насадження ясеня зеленого у механічно-захисній зоні біля відвалу шахти "Ювілейна" (а); висохла кірка намулу (б)

Табл. 5. Статистичні показники аналізу висоти рослин озимої пшениці

Показник	Варіант за відстанню, м			
	50	100	200	500
Середня арифметична $\bar{X} = (\sum X) / n$	20,2	19,37	19,85	20,03
Дисперсія $S^2 = [\sum (X - \bar{X})^2] / (n - 1)$	19,0	12,8	6,8	16,8
Середнє квадратичне відхилення $S = \sqrt{S^2}$	4,4	3,6	2,6	4,1
Коефіцієнт варіації $V = (S / \bar{X}) \cdot 100\%$	21,7	18,5	13	21
Абсолютна помилка $S_{\bar{X}} = S / \sqrt{n}$	0,80	0,65	0,48	0,75
Відносна помилка $S_{\bar{X}}\% = (S_{\bar{X}} / \bar{X}) \cdot 100\%$	3,94	3,36	2,42	3,7
Довірчий інтервал $\bar{X} \pm t \cdot S_{\bar{X}}$	$20,2^{\pm 1,62}$	$19,37^{\pm 1,33}$	$19,85^{\pm 0,82}$	$20,03^{\pm 1,53}$

Табл. 6. Екологічна ситуація в зоні впливу відвалу шахти "Ювілейна"

Відстань	Елемент	Перевищення вмісту над ГДК, разів	Екологічна ситуація	Відстань, м	Елемент	Перевищення вмісту над ГДК, разів	Екологічна ситуація
50 м	Zn	4	катастр.	200 м	Zn	4	катастр.
	Ni	60	катастр.		Ni	40	катастр.
	Co	5	катастр.		Co	5	катастр.
	Mn	23	катастр.		Mn	16	катастр.
	Pb	67	катастр.		Pb	67	катастр.
	Cu	3	катастр.		Cu	3	катастр.
	Cr	250	катастр.		Cr	250	катастр.
100 м	Zn	10	катастр.	500 м	Zn	20	катастр.
	Ni	40	катастр.		Ni	30	катастр.
	Co	5	катастр.		Co	3	катастр.
	Mn	16	катастр.		Mn	11,4	катастр.
	Pb	67	катастр.		Pb	67	катастр.
	Cu	2	катастр.		Cu	3	катастр.
	Cr	350	катастр.		Cr	100	катастр.

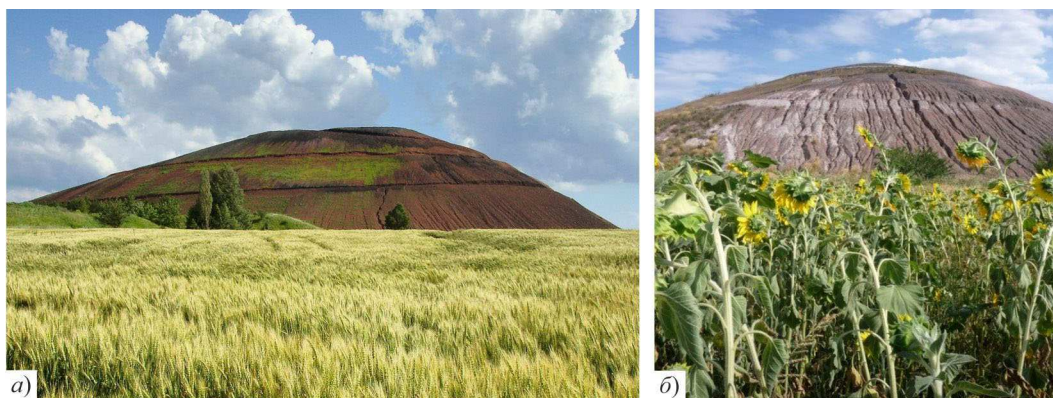


Рис. 6. Типові агроландшафти, розташовані впритул до відвалу шахти "Матроська" ПАТ "Лисичанськвугілля"

Табл. 7. Показники кислотності ґрунту на відвалі шахти "Матроська" та в полі

Місце відбору проб	Кислотність pH	Сульфат-іон SO_4^{2-} , %
Схил відвалу	5,71 ^{±0,53}	0,2
Підніжжя відвалу	4,5	0,4
50 м від підніжжя	5,9/7,5*	0,43/0,06
100 м від підніжжя	7,8/8,0	0,14/0,10
150 м від підніжжя	8,0/7,9	0,08/0,10

*Чисельник – дно катени, знаменник – контрольні точки.

Вміст сульфатів у породі (0,2 %) та в ґрунті на всій досліджуваній довжині шлейфу (0,43–0,08 %) багаторазово (у 33 та 72–13 разів відповідно) перевищує їх природний вміст у степових ґрунтах (0,006 %). Підвище-

ним вмістом сульфатів (у 10–17 разів) характеризується також ґрунт у контрольних точках, що можна пояснити його дефляційним забрудненням та боковим переміщенням під час обробітку поля.

За забрудненням вегетативної маси озимої пшениці на полі, що примикає до відвалу, зроблено оцінку екологічної ситуації на різній відстані (див. табл. 6), виходячи з нормативів забруднення земель важкими металами, що наведені в методиці (Medvedev et al., 1998). На значній частині шлейфу спостерігали повну загибель рослин. Під дією токсикантів змінилася схожість і показники зростання збереженої частини посівів пшениці (табл. 8).

Табл. 8. Характеристика стану посівів озимої пшениці

Місце відбору проб	Кількість рослин на 1 м ²	Висота стебла, см	Ширина листової пластини, мм	Кількість колосків у рослині, шт.	Довжина колосу, мм
50 м від підніжжя	6,6/81*	30,0/70,3	5,0/10,0	1,00/5,33	40,0/69,0
100 м від підніжжя	15,7/70,7	48,0/61,7	8,0/8,7	3,00/5,00	74,0/77,7
150 м від підніжжя	29,0/98,7	71,0/87,0	11,0/8,7	5,67/8,33	88,3/93,7
НСР ₀₅ **	14,5	7,84	1,8	1,16	9,30

Примітка: * чисельник – дно катени, знаменник – контрольні точки; ** найменша істотна різниця

Табл. 9. Забруднення рослин озимої пшениці важкими металами

Елемент	Вміст у рослинах, мг/кг		ГДК, мг/кг	Відношення вмісту до ГДК	
	у зоні шлейфу	у контрольних точках		у зоні шлейфу	у контрольних точках
Zn	100	50	50	2	1
Pb	30	30	0,3	100	100
Cu	50	30	10	5	3
Ni	7	5	0,5	14	10

Кількість рослин на погонному метрі в зоні шлейфу, порівняно з контрольними точками за наближенням до відвалу, знижується до 12 разів, висота рослин – до 2,3; кількість колосів – до 5,3; їхня довжина – до 1,7 раза.

Спектральний аналіз рослин пшениці, вирощуваної біля відвалу шахти "Матроська", у фазі молочно-воскової стиглості (табл. 9) дав змогу оцінити екологічну ситуацію щодо їх забруднення ВМ. За вмістом Pb, Cu, Ni

у пшениці як на території, прилеглій до відвалу, так і на контролі екологічна ситуація, яка оцінена за методикою ННЦ "ІГА ім. О. Н. Соколовського" (Medvedev et al., 1998), визнана катастрофічною.

Мембранну роль екотонів з транзитним розсіюванням хімічних елементів дослідили на прикладі відвалу шахти "Ювілейна". На рис. 7 зображено катени агроландшафту, що оточує відвал. Вони представлені водозборами улоговин та є екотонами, за яким відбувається міграція речовин, що надходять з відвалу.

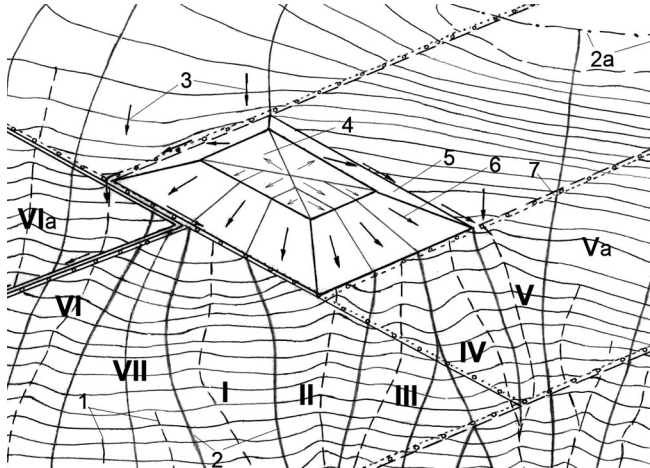


Рис. 7. Розташування другої (трансакумулятивної) частини катен у межах ландшафтного екотону на топокарті: I-VII – номери катен; 1) тальвеги улоговин; 2) вододіли між улоговинами (бокові межі катен); 2а – річковий вододіл (верхня межа катен); 3) напрямок стоку з поля; 4) пласка верхівка відвалу, умовно розділена на водозбори катен; 5) укоси відвалу; 6) стік на укосах; 7) лісові смуги

Різне розташування катен відносно відвалу робить їх досить різноманітними за умовами міграції та розсіювання речовин і дає змогу розділити їх на чотири роди. Катени першого роду – це улоговини, що проходять поблизу відвалу, але не пов'язані з ним гідрологічно, тобто не отримують забруднювальні речовини зі стоком з відвалу, але знаходяться у полі дефляційного дифузного забруднення (катени Va та VIa, рис. 7).

Внаслідок концентрації поверхневого стоку в них відбувається ерозійне перенесення забруднювальних частинок разом із ґрунтом, змитим із водозбірної части-

ни улоговин та їх схилів: спочатку на дно улоговин, а потім – уздовж їх тальвегу – в акумулятивну (супер- та субаквальну) частину (пойма та русло річки Біла). Наявність водозбірної частини, розташованої вище відвалу, сприяє активному розсіюванню речовин, що виносяться зі забрудненої частини.

Катени другого роду (V та VI) мають гідрологічний зв'язок із відвалом, тому в них надходить кислотний стік з розчиненими та твердими забруднювальними речовинами. Вони розташовані ближче до відвалу, тому в них формується щільніше дефляційне забруднення. Як і катени першого роду, ці катени мають приплив зверху, що сприяє більш активному розсіюванню речовин, які надходять до них із денудаційно-транзитної частини, розташованої на укосах відвалу. Їхній вплив на забруднення ґрунтів визначається площею цієї частини та здатністю їх транспортувальної частини до розсіювання стоку. Катени третього роду (VII, I – IV) є продовженням потоків з відвалу, тобто їх денудаційно-транзитна частина цілком розташована на відвалі й забруднюється найбільше, але вони не мають таких передумов для розсіювання у транспортувальній частині, як всі інші. До катен четвертої групи можна віднести водозбори всіх інших улоговин, які віддалені від зони щільного дефляційного забруднення. Інтенсивність розсіювання забруднювальних речовин у транспортувальній частині катен перших трьох родів залежить від відношення тих з її параметрів, які сприяють розсіюванню (ширина та довжина, площа, а також площа верхнього водозбирання), до параметрів денудаційно-транзитної частини, які визначають ступінь надходження забруднень (табл. 10).

Запропоновано критерії для оцінювання екологічної ситуації з розсіювання хімічних речовин із відвалів, зокрема за показником №3 (табл. 11).

Важливе значення для оцінювання екологічної ситуації мають також показники відношення площі зони винесення до площі та ширини транспортувальної частини катени. Як видно з рис. 7, істотний вплив на характер розсіювання речовин можуть мати лісові смуги. Якщо вони розташовані з великим кутом до горизонталей (катена VI), то потік на дні катени може відхилитися від напрямку її тальвегу.

Табл. 10. Характеристика другої частини катен териконових ландшафтів

Параметр катен та їхня частина	№ катени					
	1	2	3	4	5	6
Площа зони винесення на відвалі, тис. м ²	23,4	87,5	22,8	40,0	99,0	150,3
Площа транспортувальної частини, тис. м ²	355	257	215	129	200	390
Загальна площа катени, тис. м ²	378	346	238	169	299	540
Довжина зони винесення, м	300	350	350	195	300	350
Довжина транспортувальної частини, м	1800	1383	1480	900	1200	1900
Загальна довжина катени, м	2100	1733	1830	1095	1500	2250
Ширина зони винесення, м	170	250	65	205	330	520
Ширина транспортувальної частини, м	197	186	145	143	167	205
Середня ширина катени, м	180	200	130	154	199	240
Показник для оцінювання умов розсіювання хімічних речовин у катенах та його значення						
1. Відношення площі зони винесення до ширини транспортувальної частини, м ² /м	119	470	157	280	593	732
2. Відношення площі зони винесення до площі транспортувальної частини	0,07	0,34	0,11	0,31	0,50	0,39
3. Відношення ширини зони винесення до ширини транспортувальної частини	0,86	1,34	0,45	1,43	1,98	2,54

Табл. 11. Оцінка екологічної ситуації з розсіювання хімічних речовин, що надходять з відвалів із поверхневим стоком

Характеристика рельєфу	Оцінний коефіцієнт	Екологічна ситуація
Зниження рельєфу відсутнє	K=0	благополучна
С зниження рельєфу; на відвалі немає зони винесення у цю катену	K=0	задовільна
С зниження рельєфу; на відвалі є зона винесення в катену:		
а) ширина зони винесення з відвалу менша за ширину транспортувальної частини катени;	K < 1	задовільна
б) ширина зони винесення з відвала дорівнює ширині транспортувальної частини катени;	K = 1	передкризова
в) ширина зони винесення з відвала більша за ширину транспортувальної частини катени:	K > 1	кризова
до 1,5 раза;	K > 1,5	катастрофічна
понад 1,5 раза		

Висновки. Породні відвали вугільних шахт є джерелами надходження в агроландшафти надмірної кількості забруднювальних речовин, вони спричиняють недопустимий вміст сульфатів та важких металів у ґрунті та, як слідство, катастрофічну екологічну ситуацію за забрудненням рослинної продукції, що виявляється у погіршенні їх морфометричних показників.

На прилеглих до териконів територіях, забруднених важкими металами, утворюються геохімічні бар'єри, а через біогенну міграцію відбувається накопичення в рослинах хімічних елементів у аномальних концентраціях.

Для отримання теоретичної просторової картини ступеня забруднення ґрунтів та рослинності варто використовувати геосистемний підхід, за яким хімічні речовини, що надходять з відвалів із поверхневим і твердим стоком, розсіюються в агроландшафті у таких парагенетичних геосистемах, як катени, а в разі винесення вітром – у геопольях. Ландшафтні екотони, що утворюються у підніжжях відвалів, є як буферна ємність і відіграють роль селективного фільтра – мембран. У мембранах на геохімічних бар'єрах частина речовин із потоку затримується з утворенням геохімічних аномалій, а решта прямує транзитом без хімічних перетворень. У концентруючій частині мембран (геохімічних аномалій) екологічна ситуація має оцінюватися за ступенем накопичення хімічних елементів у ґрунтах і рослинах; у транзитній частині – за здатністю до розсіювання хімічних речовин потоку. Геосистемний підхід з використанням запропонованих показників розсіювання дає змогу виявити в агроландшафті з відвалами місця найбільш небезпечні на забруднення.

References

- Alekseenko, V. A., Bech, Jaime, Alekseenko, A. V., & Shvydkaya, N. V. (2018). Environmental impact of the disposal of coal mining waste in soils and plants in the Rostov Oblast. *Russia Journal of Geochemical Exploration*, 184, 261–270. Part B, January. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.06.003>
- Berest, A. V. (2010). Catenary paragenesis in landscape science: problems of research. *Vestnik TGU*, 15(1), 175–178. Tambov. [In Russian].
- Chugh, Y. P., & Behum, P. T. (2014). Coal waste management practices in the USA: an overview. *Int. J. Coal Sci. & Technol.*, 1, 163–165. <https://doi.org/10.1007/s40789-014-0023-4>
- Gawor, Lukasz. (2014). Coal mining waste dumps as secondary deposits – examples from the Upper Silesian Coal Basin and the Lublin Coal Basin. *Geology, Geophysics and Environment*, 40(3), 285–289. <https://doi.org/10.7494/geol.2014.40.3.285>
- Geissen, V., Mol, H., Klumpp, E., Umlauf, G., et al. (2015). Emerging pollutants in the environment: A challenge for water resource management. *International Soil and Water Conservation Research*, 3(1), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.002>
- Glazovskaya, M. A. (1988). *Geochemistry of natural and man-made landscapes of the USSR*. Moscow: Higher school. [In Russian].
- Kazakov, L. K. (1999). *Landscape science*. Moscow: Publishing House MNEPU, 100 p. [In Russian].
- Medvedev, V. V. (Ed). (1998). *Land Resources of Ukraine*. Kyiv: Agrarian Science, 148 p. [In Ukrainian].
- Milne, G. (1935). Some recommended units for classification and mapping, particularly for East African soils: Berlin, Soil Resources, v. 4. *Composite units for the mapping of complex land associations: Transactions of the 3rd International Congress, Soil Science*, Vol. 1, (pp. 345–347).
- Milne, G. (1947). A soil reconnaissance journey through Tanganyika Territory December 1935 to February 1936. *Journal of Ecology*, 35, 192–265. <https://doi.org/10.2307/2256508>
- Nikolaev, V. A. (1979). *Problems of regional landscape science*. Moscow: Publishing House MGU. [In Russian].
- Pandey, Bhanu, Agrawal, Madhoolika, & Singh, Siddharth (2014). Effects of Coal Mining Activities on Soil Properties with Special Reference to Heavy Metals. *Conference Paper*, (pp. 369–372). https://doi.org/10.1007/978-3-319-18663-4_56
- Perelman, A. I. (1977). *Biocosystems of the earth*. Moscow: Science. [In Russian].
- Petlovanyi, M. V., & Medanyk, V. Yu. (2018). Assessment of coal mine waste dumps development priority. *Naukovyi Visnyk NHU*, 4, 28–35. <https://doi.org/10.29202/nvngu.2018-4/3>
- Pinder, V., & Popovych, V. (2017). Reclamation of mine waste dumps of liquidates mines in Lviv-Volyn coal basin. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(3), 113–116. <https://doi.org/10.15421/40270325>
- Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2018). *Soil Pollution: a hidden reality*. Rome, FAO, 142 p. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/i9183en/i9183en.pdf>
- Sowiński, P., Glink-Lewczuk, K., Kalisz, B., & Astel, A. (2016). Distribution of heavy metals in soils in a postglacial river valley – A geochemical landscape approach. *Environmental engineering and management journal*, 15(6), 1323–1335. <https://doi.org/10.30638/eemj.2016.143>
- Vorobyov, S. H. (2010). Protection of landscapes from the receipt of pollutants from dumps of large-scale industrial waste. *Ekologichna bezpeka: naukovyy zhurnal*, 2(10), 57–61. Kremenchuk: KDU. [In Russian].
- Yatsukh, O. M., & Snitinskii, V. V. (2011). Special features of the territorial branch of important metal from the zone of the Chervonograd mine. *Naukovyi visnyk L'vivskoho natsional'noho universytetu veterinarnoi medycyny ta biotekhnologii im. Gzhyts'koho*, 13, 2(2), 190–195. Retrieved from: [https://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnu_2011_13_2\(2\)_35](https://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnu_2011_13_2(2)_35). [In Ukrainian].
- Yingyi Chen, Yijun Jiang, Hu Wang, & Daoliang Li. (2007). Assessment of ambient air quality in coal mine waste areas – a case study in Fuxin, China. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 50, 1187–1194. <https://doi.org/10.1080/00288230709510401>
- Yucel, S. D., Yucel, M. A., & Ileri, B. (2017). Monitoring metal pollution levels using the GIS. *ISPRS Annals of the Photogrammetry*, Vol. IV/W4, 4th International GeoAdvances Workshop, October 14–15, 2017, (pp. 335–338). Safranbolu, Karabuk, Turkey. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W4-335-2017>
- Zillig, Lisa J. K., Keenan, Naomi, & Roberts, Tim. (2015). Mining Rehabilitation in New South Wales (Australia) and Germany. *Journal of Earth Science and Engineering*, 5, 499–511. <https://doi.org/10.17265/2159-581X/2015.08.005>
- Zubova, L. G., Zubov, A. R., Zubov, A. A., Kharlamova, A. V., Vorobyev, S. G., Makarishina, Yu. I., & Buniachenko, V. V. (2015). *Waste dumps*. Lugansk: Noulidzh, 712 p. [In Russian].

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF TERRICONS ON THE ECOLOGICAL CONDITIONS OF AGRARIAN LANDSCAPES

The purpose of the study is to characterize the processes of migration of pollutants in the agrarian landscapes of coal-mining regions considering the interaction of paragenetic geosystems; to quantify the degree of soil pollution and its impact on landscape bio-productivity and on the quality of agricultural products. The experimental objects are agrarian landscapes surrounding two flat and one conical waste dumps of coal mines in Lugansk Region of Ukraine, and these dumps themselves. The following research methods were used: the analysis of satellite images; monitoring of water erosion processes; physical modeling of wind erosion of dump rock using a laboratory aerodynamic setup; mathematical modeling of the transfer of rock particles by the wind and their deposition in the adjacent area; the emission spectral and other methods of chemical analysis of soils and plant products. As the results of the studies, quantitative indicators of the removal of the waste rock due to water and wind erosion were obtained. It was shown that long-term flushing of the rock from the waste dumps can reach 2700 m³/ha, and the potential annual removal of the rock by the wind exceeds 150 t/ha. The regularities of the deposition of particles of waste dump rock are established depending on the distance to the dump. Waste dumps of coal mines are proved to be sources of excessive amounts of pollutants entering agrolandscapes. They cause an unfavorable environmental situation for the pollution of soils and plant products by heavy metals. To obtain a spatial picture of the degree of soil pollution, a geosystem approach should be used. Accordingly, it is necessary to distinguish such paragenetic geosystems as catenas, geofields and ecotones in the landscape, which differ in the function of accumulation or transit of pollutants. Theoretical and practical approaches to the application of geosystem analysis to the processes of migration and dispersion of pollutants in the landscape are considered. The analysis of paragenetic geosystems of waste dumps landscapes of Donbass is made. The indicators for assessing the dispersion conditions of substances from waste dumps are proposed. Thus, the geosystem approach using the proposed indicators enables identifying the most hazardous areas of landscape pollution.

Keywords: waste dump; geosystem; paragenesis; catena; geofield; pollution.