



Якщо людина знаходиться вдома то не рекомендується підходити до вікон, якщо почуєте постріли, спостерігати за ходом бойових дій стояти чи перебігати під обстрілом, конфліктувати з озброєними людьми, носити армійську форму або камуфльований одяг, демонструвати зброю або предмети, схожі на неї, підбирати покинуті зброю та боєприпаси [2].

Висновки. Посилення безпеки населення в умовах воєнного стану вимагає комплексного підходу: функціонування єдиної державної системи цивільного захисту, захисту критичної інфраструктури, навчання діям у надзвичайних ситуаціях, використання захисних споруд та евакуації. Основні заходи повинні включати диференційований захист, контроль правового режиму та забезпечення інформаційної безпеки. Інформаційно-просвітницька робота з питань поведінки в умовах надзвичайних ситуацій повинна організовуватися місцевими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування,

ЛІТЕРАТУРА

1. Романюк І.П. Захист цивільного населення в умовах надзвичайної ситуації воєнного характеру в дискурсі державного управління. / Інвестиції: практика та досвід, 2024. – №13 – С. 232.-237. URL: <https://nayka.com.ua/index.php/investplan/article/view/4118/4152>.
2. Дії населення в умовах надзвичайних ситуацій воєнного характеру. URL: <https://vn.dsns.gov.ua/abetka-bezpeki/diyi-naselennia-v-umovax-nadzvicainix-situacii-vojenogo-harakteru>.

УДК 553.94:622.014.3:553.042

ІНДЕКСНА ВЕРИФІКАЦІЯ ГЕОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ОЦІНКИ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГЛЕВИДОБУТКУ

В.В. Ішков¹, О.С. Шишков²

¹ кандидат геолого-мінералогічних наук, доцент кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин, e-mail: ishkov.v.v@nmu.one

² аспірант кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин, e-mail: Shyshkov.O.S@nmu.one

^{1,2}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. Досліджено структуру геологічної невизначеності породних відвалів вуглевидобувних підприємств як техногенних динамічних геологічних систем. Встановлено, що геологічний ризик таких об'єктів принципово відрізняється від ризику природних родовищ і формується внаслідок взаємодії чотирьох груп факторів: генетичних, просторових, часових та інформаційних. Розроблено концептуальну модель у вигляді функціона-

льної залежності та запропоновано індексний підхід для її реалізації. Доведено, що застосування динамічного моніторингу є необхідною умовою достовірної оцінки техногенних масивів.

Ключові слова: породні відвали; геологічний ризик; геологічна невизначеність; техногенні родовища; індексна модель; просторово-часова неоднорідність.

INDEX VERIFICATION OF GEOLOGICAL RISKS OF COAL MINING WASTE HEAPS

V.V. Ishkov¹, O.S. Shyshkov²

¹Ph.D. (Geological and Mineralogical Sciences), Associate Professor of the Department of Geology and Mineral Prospecting, e-mail: ishkov.v.v@nmu.one

²PhD student of the Department of Geology and Mineral Prospecting, e-mail: Shyshkov.O.S@nmu.one

^{1,2}Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

Abstract. The structure of geological uncertainty in coal mining spoil heaps is investigated as technogenic dynamic geological systems. Geological risk of such objects is shown to differ fundamentally from that of natural deposits, being formed through the interaction of four factor groups: genetic, spatial, temporal, and informational. A conceptual model is developed along with an index approach for its implementation. Dynamic monitoring is substantiated as an essential condition for reliable assessment of technogenic formations.

Keywords: spoil heaps; geological risk; geological uncertainty; technogenic deposits; index model; spatio-temporal heterogeneity.

Вступ. Породні відвали вуглевидобувних підприємств є поширеними техногенними утвореннями в гірничопромислових регіонах України, зокрема у Західному Донбасі. Поряд з екологічними проблемами ці об'єкти становлять практичний інтерес як потенційні джерела вторинної мінеральної сировини - залишкового вугілля та мікроелементів (германій, галій, скандій) [1, 2]. Водночас геологічна оцінка відвалів стикається з принциповими методологічними обмеженнями: традиційні підходи, розроблені для природних родовищ, не враховують специфічну природу техногенних масивів.

Породні відвали - це не статичні геологічні тіла, а динамічні системи, що безперервно трансформуються під впливом гіпергенних процесів. Їхня внутрішня неоднорідність має складний генезис, ієрархічну просторову організацію, яка еволюціонує у часі. Це визначає необхідність розроблення спеціального підходу до оцінки геологічного ризику таких об'єктів [3].

Мета роботи полягає в представленні концептуальної моделі геологічного ризику оцінки породних відвалів вуглевидобування як функції взаємодії генетичних, просторових, часових та інформаційних факторів; обґрунтуванні індексного підходу до її практичної реалізації.



Матеріал і результат досліджень. Актуальність розробки та впровадження індексної верифікації геологічних ризиків породних відвалів вуглевидобутку зумовлена фундаментальним протиріччям між зростаючим інтересом до техногенних родовищ як альтернативних джерел критичної сировини та відсутністю апробованих кількісних методів оцінки геологічної невизначеності, властивої цим специфічним об'єктам надрокористування. На відміну від природних родовищ, для яких існує усталена нормативно-методична база, техногенні масиви характеризуються полігенною та поліхронною будовою, ієрархічно організованою просторовою неоднорідністю (макро-, мезо- та мікрорівні), нелінійною кінетикою гіпергенних та пірогенних процесів, а також критичним дефіцитом репрезентативної ретроспективної інформації про умови їх формування, що унеможливорює пряме застосування класичних геостатичних методів інтерполяції (кригінг, обернені зважені відстані) без попередньої параметризації внутрішньої техногенної зональності.

Сучасна практика оцінки породних відвалів переважно базується або на спрощених валових підрахунках обсягів без урахування внутрішньої неоднорідності, або на якісних описах окремих ризикогенних чинників (генетичних, просторових, часових, інформаційних) без їх інтеграції в єдину кількісну методику, що унеможливорює коректне ранжування об'єктів за рівнем геологічного ризику, обґрунтоване планування додаткових геологорозвідувальних робіт та прийняття інвестиційних рішень. Саме тому розробка індексного підходу до верифікації геологічних ризиків, який дозволяє формалізувати багатофакторну невизначеність у вигляді інтегрального кількісного показника з можливістю ідентифікації домінуючих факторів ризику для кожного конкретного об'єкта, є актуальним науково-прикладним завданням, вирішення якого створить методологічну основу для переходу від якісної інвентаризації відходів вуглевидобутку до кількісної геолого-економічної оцінки техногенних родовищ як потенційних джерел стратегічної мінеральної сировини.

Поглиблений аналіз природи геологічної невизначеності, властивої техногенним масивам, що сформовані відходами вуглевидобутку, дозволяє систематизувати детермінуючі чинники геологічного ризику їх кількісної та якісної оцінки у чотири концептуально відокремлені, проте генетично та функціонально взаємопов'язані групи [4].

До першої групи належать генетичні фактори, які формуються внаслідок тристадійної послідовної трансформації вихідної геологічної системи від початкової ендегенної структури вугленосних формацій до техногенної перебудови, що зумовлена веденням гірничих робіт, транспортуванням та складуванням породи, а потім до гіпергенної еволюції, що відбувається під

впливом поверхневих процесів вивітрювання, інфільтрації та біогенної активності. Кожен із зазначених етапів не лише вносить власний внесок у загальну неоднорідність техногенного масиву, але й суттєво модифікує успадковані характеристики попередніх стадій, створюючи складну полігенну та поліхронну структуру розподілу речовини.

Особливе місце в межах генетичної групи факторів посідають пірогенні процеси (ендогенне горіння породних відвалів), які виступають потужним додатковим чинником трансформації мінеральної матриці. В умовах високих температур та змінної окиснювально-відновної обстановки відбуваються інтенсивні термічні та метасоматичні перетворення, наслідком чого є переведення рідкісних елементів, зокрема германію (Ge), із первинних легкорухомих сорбційних або органомінеральних форм у важкодоступні для вилучення силікатні або оксидні фази. Це продукує додаткові технологічні ризики, які суттєво знижують потенційну економічну цінність техногенного родовища як альтернативного джерела критичної сировини незалежно від формально високих валових концентрацій цільових компонентів [2].

Просторові фактори геологічної невизначеності техногенних масивів відображають ієрархічно організовану систему неоднорідності речовинного складу та фізико-механічних властивостей, яка простежується на трьох взаємопов'язаних масштабних рівнях. Макрорівень (масштаб усього техногенного об'єкта) визначається загальною морфологічною будовою відвалу, просторовим розташуванням окремих його секторів та технологічними особливостями формування – зокрема, способом відсипання породи (вагонетками, стрічковими конвеєрами, автотранспортом), послідовністю складування різних літологічних типів та інтенсивністю технічного ущільнення матеріалу.

Мезорівень (масштаб окремих блоків, лінз або прошарків) характеризується техногенною стратифікацією масиву, що виникає внаслідок пошарового накопичення породи в процесі експлуатації відвалу. Важливою складовою цього рівня є фракційна сегрегація матеріалу – природне сортування уламкового матеріалу за крупністю під час транспортування та відсипання, що призводить до формування збагачених дрібною або грубою фракцією зон.

Мікрорівень (масштаб окремих зерен, включень та мінеральних агрегатів) відображає мінералого-геохімічні трансформації речовини, зумовлені як успадкованими особливостями первинних гірських порід, так і накладеними гіпергенними та пірогенними процесами. Саме на цьому рівні реалізуються найбільш тонкі механізми перерозподілу хімічних елементів, включаючи формування вторинних мінеральних фаз, сорбційно-десорбційні процеси та дифузійну міграцію компонентів.



Ієрархічне поєднання зазначених трьох рівнів продукує складну багато-масштабну систему просторової невизначеності. Важливою особливістю цієї системи є те, що вона не піддається коректній інтерполяції стандартними геометричними (наприклад, методом обернених зважених відстаней або кригінгом із ізотропною варіограмою) без попереднього врахування внутрішньої техногенної зональності, оскільки просторова автокореляція властивостей у межах техногенного масиву не є ні стаціонарною, ні ізотропною.

Часові фактори геологічного ризику характеризують еволюційний розвиток техногенного масиву протягом періоду, що настає після завершення його формування та складування відвальних порід. На відміну від природних геологічних тіл, техногенні утворення перебувають у стані безперервної трансформації, швидкість та спрямованість якої змінюються в часі.

Ключовими процесами, що зумовлюють часову компоненту невизначеності, виступають:

- окиснення сульфідних мінералів (насамперед піриту FeS_2 та марказиту), яке ініціює генерацію сульфатної кислоти, що, у свою чергу, прискорює вилуговування металів та формування кислих дренажних вод;

- окиснення залишкової органічної речовини (вуглецевого матеріалу), що супроводжується тепловиділенням та створює передумови для ендогенного горіння;

- вилуговування та міграція хімічних елементів під впливом атмосферних опадів, ґрунтових вод та процесів капілярного підняття.

Важливою особливістю зазначених процесів є їх нелінійна кінетика. Швидкість хімічних реакцій та інтенсивність міграційних потоків не залишаються сталими, а зазнають періодичних прискорень та сповільнень залежно від комплексу чинників – температури, вологості, доступу кисню, рН середовища, каталітичної активності мінеральної матриці. Наслідком цього є явище тригерної активізації, коли процеси, що тривалий час перебували в латентному стані, раптово активізуються через значний (до десятків років) проміжок часу після формування відвалу.

Ця обставина накладає суттєві обмеження на горизонт достовірності геологічного прогнозу: екстраполяція даних короткострокових спостережень на тривалі періоди (понад 10-15 років) без урахування нелінійності кінетики трансформаційних процесів призводить до систематичних похибок. Отже, оцінка геологічного ризику техногенних родовищ потребує врахування не лише поточного стану масиву, але й прогнозу його еволюційної траєкторії на перспективу, порівняну з термінами потенційних інвестиційних проєктів [5].

Інформаційні фактори геологічного ризику визначають ступінь адекватності (верифікованості) відображення реальної просторово-часової структури техногенного масиву у його геологічній моделі, охоплюючи чотири концептуально відокремлені, проте тісно взаємопов'язані компоненти:

- репрезентативність опробування, яка характеризує міру відповідності відібраної сукупності проб генеральній сукупності масиву з урахуванням ймовірнісних закономірностей розподілу контрольованих параметрів, просторового розташування точок випробування відносно зон техногенної неоднорідності та ефекту просторової автокореляції властивостей;

- достовірність аналітичних даних, що відображає метрологічну якість лабораторних досліджень через три параметри – правильність (близькість до істинного значення), збіжність (відтворюваність) та чутливість (здатність фіксувати цільові компоненти на рівні їх реальних концентрацій), що набуває особливої актуальності для розсіяних елементів на рівні кларкових та субкларкових значень;

- адекватність концептуальних моделей, яка визначає міру відповідності теоретичних уявлень дослідника про речовинний склад, внутрішню будову та еволюцію масиву його реальним характеристикам, де неадекватність може виникати внаслідок хибної ідентифікації генетичних типів порід, ігнорування накладених гіпергенних або пірогенних процесів, некоректного вибору аналогій із природними родовищами або застосування спрощених геометричних форм без урахування реальної морфології;

- повноту ретроспективної технологічної інформації, що охоплює доступність та якість історичних даних про послідовність відпрацювання вугільних пластів, обсяги та літологічний склад порід, параметри транспортування та складування, відомості про аварійні ситуації, пожежі та рекультиваційні заходи, дефіцит якої, типовий для відвалів, що існують понад 20-30 років, змушує дослідника використовувати непрямі методи реконструкції (аналіз космознімків часових серій, експертні оцінки), що автоматично підвищує рівень геологічної невизначеності.

Принципова відмінність техногенних родовищ від природних геологічних об'єктів у контексті інформаційних факторів полягає в тому, що для природних родовищ існує усталена нормативна база, яка забезпечує стандартизацію геологорозвідувальних робіт, тоді як для техногенних об'єктів такі стандарти відсутні, що, разом із принциповою неможливістю повного відновлення історії формування масиву, високим рівнем технологічного шуму (варіації вмістів на коротких відстанях у багато разів перевищують варіації на відстанях у сотні метрів) та залежністю точності оцінки від цілей дослідження (одна й та сама сукупність даних може бути достатньою для еколо-



гічного моніторингу, але недостатньою для підрахунку запасів критичної сировини), зумовлює те, що інформаційні фактори набувають самостійного, а нерідко й визначального значення, виступаючи системоутворювальною ланкою, що визначає саму можливість переходу від якісної оцінки ресурсного потенціалу техногенного родовища до кількісної геолого-економічної моделі, придатної для обґрунтування інвестиційних рішень.

Взаємодія перелічених груп факторів визначає геологічний ризик оцінки породного відвалу як інтегральну функціональну залежність:

$$R_g = f(G, S, T, I) \quad (1)$$

де G - генетичні фактори, S - просторові, T - часові, I - інформаційні.

Складний, багатофакторний та ієрархічно організований характер геологічної невизначеності, властивої техногенним масивам, сформованим відходами вуглевидобутку, обумовлює необхідність переходу від якісного опису окремих ризикогенних чинників до формалізованої кількісної оцінки, що знаходить своє вираження у розробці концептуальної моделі, в межах якої інтегральний геологічний ризик оцінки породного відвалу (R_g) розглядається не як проста сума незалежних компонент, а як складна функціональна залежність, що синтезує внесок чотирьох концептуально відокремлених, проте генетично та функціонально взаємопов'язаних груп факторів. Класифікація підфакторів наведена у табл. 1.

Інтегральний геологічний ризик виступає не як адитивна сума незалежних внесків, а як результат складного нелінійного синтезу, де взаємодія між групами факторів (наприклад, просторові аномалії, спричинені пірогенними процесами, посилюються інформаційним дефіцитом через відсутність ретроспективних даних про ці процеси, а нелінійна кінетика часових трансформацій робить неможливою пряму екстраполяцію даних короткострокових спостережень без урахування генетичної еволюції масиву), що для практичної реалізації запропонованої концептуальної моделі потребує розробки спеціалізованого індексного підходу, в межах якого кожен із чотирьох групових факторів (G, S, T, I) оцінюється за бальною шкалою на основі системи часткових критеріїв та показників, після чого обчислюється інтегральний індекс геологічного ризику (IGR) як зважена суперпозиція індивідуальних індексів із коефіцієнтами вагомості, що визначаються експертним шляхом або на основі аналізу чутливості моделі до зміни вхідних параметрів, що дозволяє: по-перше, ранжувати техногенні об'єкти за рівнем геологічного ризику для цілей інвестиційного аналізу, по-друге, ідентифікувати домінуючі фактори ризику для кожного конкретного відвалу (що дозволяє цілеспрямовано планувати додаткові дослідження для зменшення невизначеності), по-третє, проводити сценарний аналіз впливу різних стратегій опробування,

аналітичного забезпечення або заходів із техногенної ремедіації на кінцевий рівень ризику, та, по-четверте, забезпечити уніфіковану основу для порівняння техногенних родовищ між собою та з природними об'єктами в рамках процедур геолого-економічної оцінки надр.

Таблиця 1. - Класифікація факторів геологічного ризику оцінки відвалів вуглевидобування

Генетичні (G) - чинники формування речовинної та структурної неоднорідності		
1.1	Первинно-геологічні	Природна літолого-фаціальна, мінералого-петрографічна та геохімічна мінливість вихідних порід
1.2	Техногенні	Механічна дезінтеграція при видобутку, перемішування та гравітаційна сегрегація при складуванні
1.3	Гіпергенні	Процеси фізико-хімічного та біогеохімічного вивітрювання
1.4	Пірогенні	Термічна деструкція органічної складової, фазові перетворення та пірометаморфізм речовини
Просторові (S) - чинники структурної організації неоднорідності в межах масиву		
2.1	Макрорівень	Геометричні параметри, зовнішня морфологія та загальна внутрішня будова відвалу
2.2	Мезорівень	Техногенна стратифікація, мозаїчність розподілу матеріалу, текстурно-структурні особливості
2.3	Мікрорівень	Локальні мінералого-геохімічні та порові неоднорідності
Часові (T) - чинники еволюційної трансформації техногенної системи		
3.1	Вік	Тривалість перебування техногенного матеріалу в активному геохімічному середовищі
3.2	Інтенсивність	Швидкість та кінетика фізико-хімічних і фазових перетворень речовини
3.3	Стадійність	Зміна домінуючих процесів трансформації: окиснення → вилуговування → стабілізація
Інформаційні (I) - чинники якості, повноти та достовірності геологічних даних		
4.1	Репрезентативність	Повнота просторового охоплення об'єкта та представницький обсяг вибірки для опробування
4.2	Достовірність	Метрологічна точність вимірювань та мінімізація аналітичних похибок
4.3	Адекватність	Валідність концептуальної моделі, припущень щодо геометризації та інтерполяції параметрів
4.4	Ретроспективність	Надійність архівних даних та повнота реконструкції технологічної історії формування об'єкта

Для практичної реалізації моделі запропоновано індексний підхід, у межах якого кожен підфактор x_{ij} оцінюється за п'ятибальною шкалою інтенсивності прояву з ваговим коефіцієнтом w_{ij} . Узагальнені індекси груп визначаються як: