

*В.В. Попович, канд. с.-г. наук, доцент, В.Ф. Піндер
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ГОРІННЯ ТЕРИКОНІВ ЯК ЛАНДШАФТНО-ТРАНСФОРМУЮЧИЙ ЧИННИК ЗРОСТАННЯ РЕГІОНАЛЬНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

Розроблено типологію териконів вугільних шахт за наявністю процесів горіння. Встановлено, що окрім горимих териконів забруднення довкілля відбувається і через згасаючі терикони діючих шахт. Об'єм породи, яка складується у відвали діючих шахт перевищує проектні норми. Відповідно до розробленої залежності встановлено, що у регіоні можуть піддаватися горінню до 80,2% териконів, що призведе до зростання екологічної небезпеки. Найбільш оптимальним методом ліквідації горіння на териконах вугільних шахт є переформатування їх у відвали *плоскої форми*.

Ключові слова: терикон, осередки горіння, типологія, екологічна небезпека.

В. В. Попович, В. Ф. Піндер

ГОРЕНИЕ ТЕРРИКОНОВ КАК ЛАНДШАФТНО-ТРАНСФОРМИРУЮЩИЙ ФАКТОР РОСТА РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Разработана типология терриконов угольных шахт при наличии процессов горения. Установлено, что кроме горящих терриконов загрязнения окружающей среды происходит и через угасающие терриконы действующих шахт. Объем породы, которая складывается в отвалы действующих шахт, превышает проектные нормы. В соответствии с разработанной зависимостью установлено, что в регионе могут подвергаться горению до 80,2% терриконов, что приведет к росту экологической опасности. Наиболее оптимальным методом ликвидации горения на терриконах угольных шахт является переформатирование их в отвалы плоской формы.

Ключевые слова: террикон, очаги горения, типология, экологическая опасность.

V. V. Popovych, V. F. Pinder

WASTE HEAPS BURNING AS A LANDSCAPES TRANSFORMING FACTOR OF REGIONAL ENVIRONMENTAL HAZARDS GROWTH

Developed a typology heaps of coal mines by the presence of combustion processes. It was established that in addition hot heaps pollution occurs and fading through piles of existing mines. The volume of rock that is stored in dumps operating mines exceed design standards. In accordance with our dependence found that the region can be exposed to burning heaps 80.2%, which will lead to increased environmental hazards. The best method for elimination of burning heaps of coal mines are reformatting them into heaps flat shape.

Key words: heap, burning cells, typology, ecological risk.

Постановка проблеми. Терикони вугільних шахт спричиняють значний еколого-техногенний пресинг на довкілля та живі організми. У літологічному відношенні терикони (породні відвали) представлені аргілітами, алевролітами, пісковиками, вугіллям та іншими породами [1, 2]. У породі наявна деревина, металеві предмети. Площі техногенного впливу відвалів в кілька разів перевищують площі самих відвалів. Залежно від технології відвалоутворення формуються відвали таких типів: конічні (терикони), хребтові і плоскі. Породи неоднорідні за гранулометричним складом та мають розмір від глинистих частинок до брил [3, 4]. Щільність породи терикону знижується від вершини до підніжжя. Вершині терикону, яка складена породою із дрібних фракцій, притаманна найбільша щільність (рис. 1). Така структура терикону характерна у випадках, коли складування відвальної маси відбувається конвеєром, починаючи з вершини. Для деяких териконів нижня 1/3 частина відвалу є проникною для повітря. Решта ділянок слабо проникні або непроникні. Надзвичайно небезпечним чинником погіршення екологічного стану довкілля є горіння териконів. Найбільш сприятливі умови до самозаймання породної маси шахтних териконів створюються на межі 1-ї та 2-ї зон (рис. 1). На териконах збагачувальних фабрик такі умови створюються між 2-ю та 3-ю зонами [1].

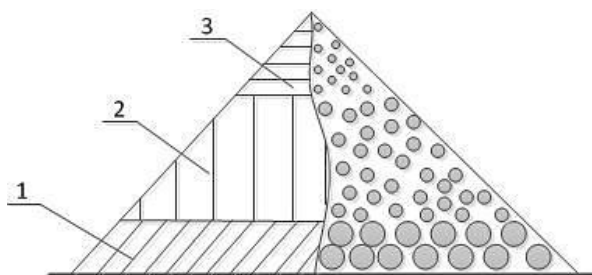


Рисунок 1 – Структура терикону (1 – підніжжя; 2 – середня зона; 3 – вершина)

Відповідно до нормативних документів, терикон вважається таким, що горить, якщо на ньому хоча б один осередок горіння (незалежно від його площі) з температурою порід на глибині 2,5 м більшою за $+80^{\circ}\text{C}$ [5]. З відвалів, що горять, в атмосферу виділяється близько двох десятків шкідливих речовин: сірководень, оксид вуглецю, вуглекислий газ, сірчаний ангідрид, сірководень, оксиди азоту, сірчана кислота, сірчистий газ, ціанистий водень, аміак, ціаніди, тiocіанати і ін. [6, 7]. Встановлено, що при згорянні 1 кг породи забруднюється до небезпечної межі від 6,7 до 8,7 млн. m^3 повітря [6]. Дослідженнями [7] встановлено, що при температурах породи вище $+100^{\circ}\text{C}$ Hg переноситься в елементній формі, а при температурах нижче $+100^{\circ}\text{C}$ – у вигляді хлориду (HgCl). Так само в елементній формі в мінімальних кількостях можуть переноситися Cd і Zn при температурах вище $+400^{\circ}\text{C}$. В інтервалі температур $+200-400^{\circ}\text{C}$ переважають форми CdCl , ZnCl_2 , ZnBr_2 . Існують випадки вибухів териконів. Найбільшим вибухом терикону, який спричинив десятки людських жертв, вважається вибух терикону шахти тресту "Кадіїввугілля" в 1962 році. Причиною трагедії став палаючий терикон шахти і Кадіївського коксохімічного заводу висотою 111,5 м [8].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Особливості розвитку аномалій техногенних забруднювачів геоecологічного середовища, а також вплив більшості хімічних сполук і газів на екологічну ситуацію та зміну хімічного складу ґрунтів, рослинності, атмосфери Нововолинського гірничопромислового району відображено в праці Терещук О. [9]. Дослідженням ґрунтів та відвальної породи у межах Червоноградського гірничопромислового району, який входить до складу Львівсько-Волинського вугільного басейну, присвячені численні наукові праці Башуцької У. Б. [10]. Осередки горіння породи на териконах Нововолинського гірничопромислового району досліджено у роботі [11]. Способи поліпшення якості довкілля вуглевидобувного регіону відображені у монографії [12]. В роботі [13] за допомогою методів математичного моделювання знайдено відстань від точки з підвищеною температурою на поверхні терикону до осередку горіння та одержано залежності температури від часу на різних відстанях від осередку горіння. У науковій праці [14] відображено результати фізико-хімічних досліджень ґрунтів териконів Нововолинського гірничопромислового району в зоні горіння та проаналізовано негативний вплив горіння териконів на цілісність відвалів і формування фітомеліоративного покриву на них.

Постановка завдання. Складування відвальної породи у терикони на території Львівсько-Волинського вугільного басейну супроводжується низкою небезпечних процесів та явищ, які порушують екологічну рівновагу та збільшують екологічну небезпеку регіону. Серед таких явищ – горіння відвальної маси у териконах. Мета роботи – на підставі літературних джерел та власних досліджень встановити вплив териконів на довкілля та здійснити їх типологію за ступенем горіння відвальної маси.

Виклад основного матеріалу. За результатами польових досліджень на території зазначеного вуглевидобувного регіону встановлено, що процеси горіння породи протікають неоднаково та залежать від давності відсіпання терикону, наявності технології складування, геометричних параметрів відвалів тощо. Процеси горіння відсутні на 2-х типах териконів – перегорілих (згаслих) та рекультивованих. Ми здійснили типологію териконів вугільних шахт за наявністю процесів горіння на їх поверхні. Найбільш безпечними, з точки зору горіння, є терикони, які були піддані рекультивації (терикон №2 «Шахти №2 Нововолинська»). Рекультивовані терикони засаджені лісовими культурами відповідно до проектів. Найбільш поширеними культурами є береза повисла, клен гостролистий та горобина. Проте, такого типу териконів є мало: на території Нововолинського гірничопромислового району нами виявлено всього 3. Типологію териконів відображено на рис. 2.

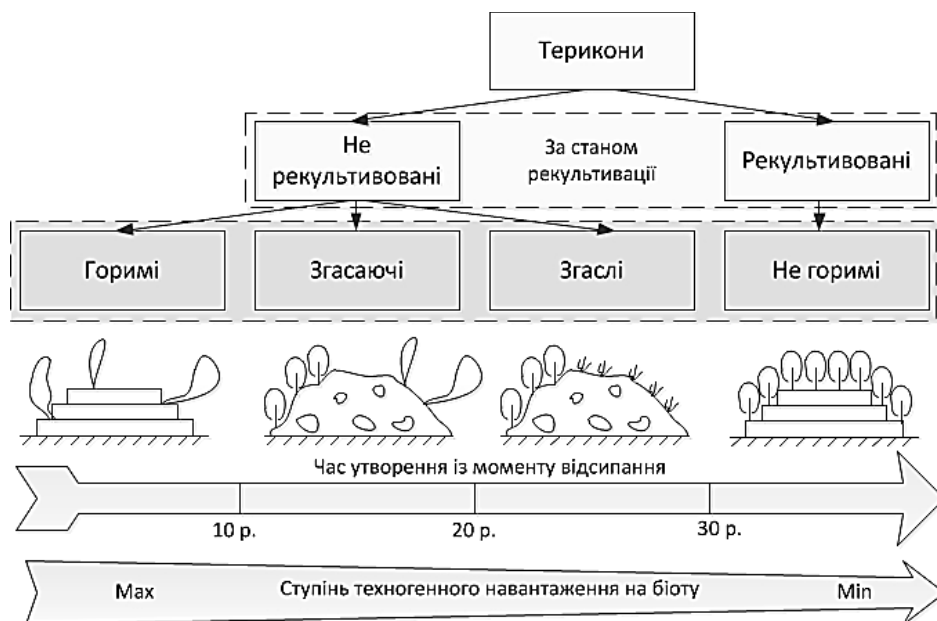


Рисунок 2 – Типологія териконів за наявністю процесів горіння

Найбільш небезпечними є терикони, які горять. Їхнє горіння супроводжується виділенням небезпечних парів та газів по усій поверхні. Горіння таких териконів активізується при потраплянні води та кисню повітря у шар породи. Найбільш яскравим представником цієї групи териконів є відвал ПАТ «Львівська вугільна компанія» (Центральна збагачувальна фабрика «Червоноградська»), який розташований у с. Сілець Сокальського району Львівської області. Слід зазначити, що такі терикони є і на діючих шахтах, на яких ще не проведено рекультивацію. На териконі «Шахти Бужанська» нами спостерігалися процеси горіння у 2007-2009 роках.

Окрім териконів, які горять, забруднення довкілля відбувається і через згасаючі терикони діючих шахт. У Нововолинському гірничопромисловому районі експлуатуються 4 шахти, які розміщують відвальну породу на 8 териконах (4 терикони діючі та 4 терикони згасаючі недіючі). Об'єм породи, яка складається у відвали діючих шахт перевищує проектні норми (за даними паспортів на породні відвали). Також з плином часу збільшуються геометричні параметри відвалів (рис. 3, 4).

Згасаючі терикони викидають у довкілля значну кількість небезпечних речовин. Відомості про стан териконів діючих шахт та рівень викидів забруднюючих речовин наведено у таблиці 1.

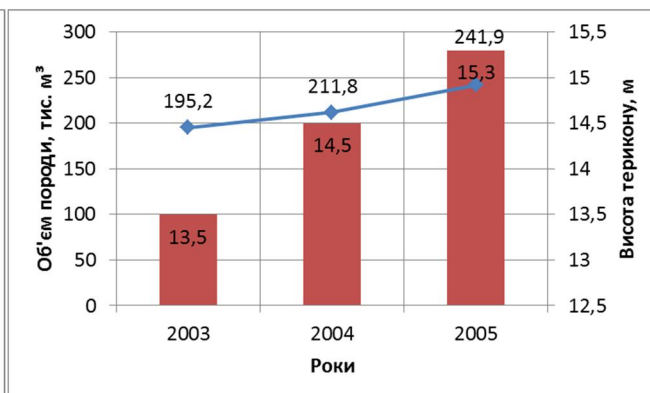
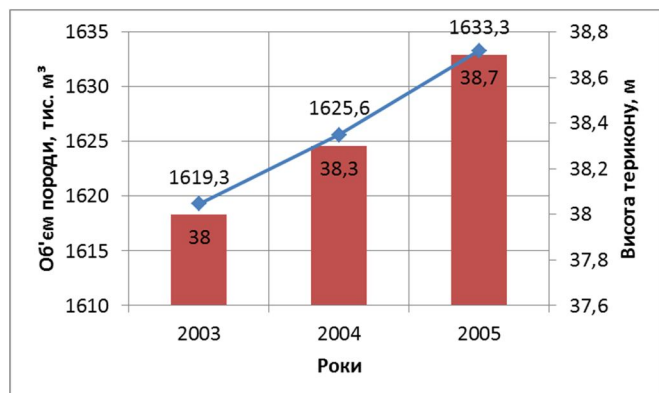


Рисунок 3 – Нагромадження відвальної породи на териконі №4 «Шахти №5 Нововолинська»*

Рисунок 4 – Нагромадження відвальної породи на териконі «Шахти Бужанська»*

*За даними паспортів на породні відвали

Таблиця 1

Стан згасаючих і діючих териконів та рівень викидів забруднюючих речовин діючих шахт*

Номер терикону	Параметри					Період експлуатації		Стан терикону	Кількість викидів забруднюючих речовин, т/рік
	Форма	Висота, м	Площа основи, м ²	Об'єм породи, м ³	Річний об'єм породи, м ³	Рік початку експлуатації	Рік закінчення експлуатації		
Шахта №1 «Нововолинська»									
1	плоский	22,0	129000	2000	8,2	1954	-	діючий, не горить	1,951
Шахта №5 «Нововолинська»									
1	конічний	56,7	24400	330,6	-	1955	1966	не діючий, не горить	-
2	плоский	29,8	35500	437,9	-	1956	1981	не діючий, не горить	-
3	плоский	30,0	21500	530,0	-	1966	1975	не діючий, не горить	-
4	плоский	38,7	58000	1645,2	11,9	1976	-	діючий, не горить	12,034
Шахта №9 «Нововолинська»									
1	конічний	59,8	47100	1050	-	1981	-	діючий, не горить	-
2	плоский	24,2	56000	1360	11	1961	1982	не діючий, не горить	8,183
Шахта «Бужанська»									
1	плоский	16,6	14400	260,1	19,1	1992	-	діючий, не горить	0,117

*За даними ДП «Волиньвугілля»

На териконах м. Нововолинська процес самозаймання виникає переважно у літню пору року. Самозаймання ліквідують шляхом розбирання породи за допомогою бульдозерів. Спостерігаються часті зсуви поверхні. Терикони, на яких відвальна порода червоного кольору не самозаймаються, а на териконах із чорною породою самозаймання можливе.

Важливою хімічною характеристикою породи териконів вугільних шахт є зольність (вміст золи). Зольність – залишок після згоряння твердого палива. Слід зазначити, що чим менша зольність, тим вища якість палива. Вміст золи у породі териконів діючих шахт м. Нововолинськ становить 84,0-98,025%. Густина породи становить 2,42-2,55 кг/м³ (рис. 5).

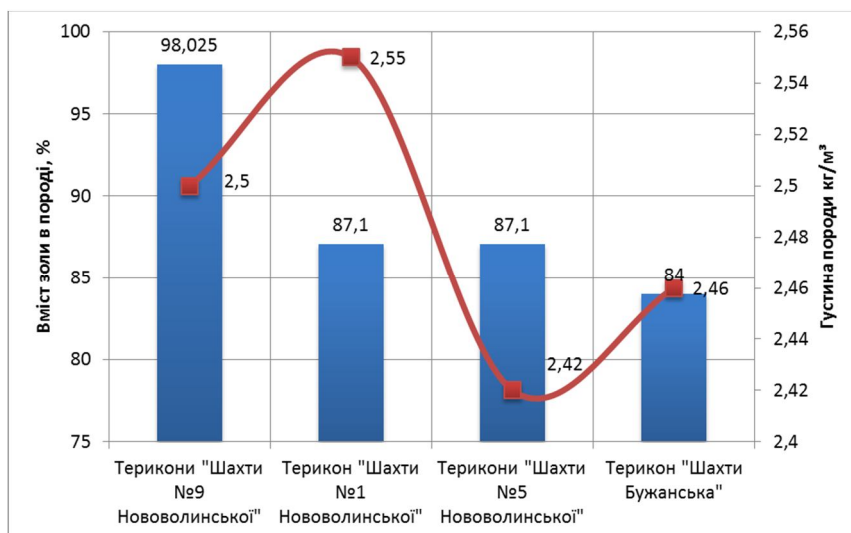


Рисунок 5 – Вміст золи та густина діючих териконів (за даними паспортів на породні відвали)

Науковці у роботі [5] доводять, що тепловий стан териконів залежить від вмісту сірки у відвальній масі. Ними було досліджено 866 породних відвалів Донецького і Львівсько-Волинського вугільних басейнів. За даними цих досліджень ми побудували графік залежності відносної кількості териконів, що горять від вмісту сірки у їх породі (рис. 6).

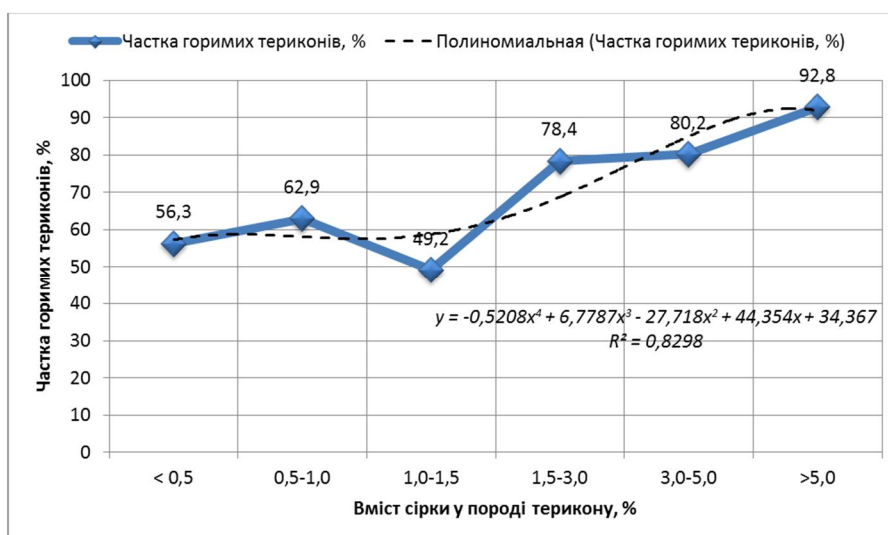


Рисунок 6 – Залежність відносної кількості горимих териконів від вмісту сірки у породі

Вміст сірки у териконах Нововолинського гірничопромислового району становить 0,26-3,2%. Таким чином, відповідно до графіка на рис. 5, у регіоні можуть горіти до 80,2% териконів. Математична модель залежності відносної кількості горимих териконів від вмісту сірки у породі описується як:

$$N_T = -0,5208V^4 + 6,7787V^3 - 27,718V^2 + 44,354V + 34,367;$$

де, V – вміст сірки у породі терикону, %.

У відповідності до «Проекту організації робіт при формуванні плоского породного відвалу шахти №9 «Нововолинська»» для запобігання самозайманню породи у відвалі проводиться ізоляція відкосів відвалу ізолюючим матеріалом. Товщина ізолюючого матеріалу для відкосів становить 0,8 м. По контуру породного відвалу пропонується відсипати через кожен метр висоти шар ізолюючого матеріалу шириною 3 м та висотою 0,25-1,0 м. Ущільнення ізолюючого матеріалу здійснюється одночасно із ущільненням породи.

З метою виявлення можливих осередків горіння та своєчасних запобіжних заходів щодо самонагрівання породи необхідно контролювати тепловий стан відвалів. Вимірювання температури породи необхідно проводити 3 рази на рік (травень, липень, вересень). Точки замірів температури розташовуються на горизонтальній частині відвалу у вершинах умовно утворених квадратів з довжиною сторін 20 м. Окрім цього точки повинні бути розташовані на відстані 5 м від відкосу. Додаткові точки заміру розташовуються у видимих осередках самозаймання. Тут вимірювання температури здійснюється на глибині 0,5 м від поверхні.

Для породних відвалів встановлюється захисна механічна зона мінімальною шириною 20 м. По контуру захисної зони встановлюються знаки із написом про заборону входу. Механічна захисна зона встановлюється, щоб убезпечити людей від можливих зсувів та обвалів породи із схилів. В межах механічної захисної зони заборонено розміщення житлових та виробничих будівель та споруд. Для доставки ізолюючого матеріалу на терикон слід передбачити в'їзну дорогу шириною 4 м і узбіччя – 1 м. Дорога насипається із перегорілої породи.

Згаслі терикони притаманні шахтам, які вичерпали свій ресурс вугілля та перебувають у стадії ліквідації. Ці відвали характеризуються природними фітомеліоративними процесами на поверхні. При виникненні значних опадів на відвалах відбуваються зсуви та завали. Нерідко перегоріла порода використовується для будівництва доріг та як добавка до будівельних матеріалів (терикон «Шахти №4 Нововолинська») (рис. 7).



Рисунок 7 – Розбирання згаслого терикону для потреб будівництва

На території Львівсько-Волинського вугільного басейну у стадії ліквідації перебувають 8 шахт, які накопичили відвальну породу на 20-ти згаслих териконах. За формою згаслі терикони є конічні, з усіченим конусом, плоскі та хребтоподібні. Така різна форма зумовлена як порядком відсипання породи, так і намаганнями провести гірничотехнічний етап рекультивативної роботи. Загалом згаслі терикони займають площу 95,2 га та накопичують 16589300 м³ породи. Найвищу висоту над рівнем моря мають терикони «Шахти №2 "Нововолинська"» (59,8 м) та «Шахти №8 "Нововолинська"» (66 м). Загальна характеристика згаслих териконів наведена у таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристика згаслих териконів ліквідованих шахт у межах
Львівсько-Волинського вугільного басейну*

№ д/п	№ відвалу	Баланс	S, га	Форма	Дані згідно проекту (сумісні з фактичними)		
					Об'єм, тис.м ³	Площа, га	Висота, м
1	ш.№1 "Червоноградська"	м. Червоноград	4,5				
1.1	№1	Порода вивезена		усічений конус	360	4,5	35
2	ш.№5 "Великомосківська"	с. Волсвин	24				
2.1	№1			конічна	402	3,6	34
2.2	№2			плоска	2296,8	11,85	33
2.3	№3			плоска	157,5	3,03	12
3	ш.№2 "Нововолинська"	ЗУВДЛШ	5,66				
3.1	№1	ЗУВДЛШ	5,66	конічна	640	3,2	59,8
3.2	№2	м. Нововолинськ		плоска	610	3,7	24,2
4	ш.№3 "Нововолинська"	м. Нововолинськ	12,8				
4.1	№1			плоска	784	6,46	30
4.2	№2,3			плоска	995	6,34	24
5	ш.№4 "Нововолинська"	ЗУВДЛШ	6,95				
5.1	№1			конічна	407	2	53
5.2	№2			конічна	1150	5	57
6	ш.№6 "Нововолинська"	ЗУВДЛШ	16,63				
6.1	№1			хребтовий	1040	4,21	29
6.2	№2			конічна	965	5,01	37,5
6.3	№3			плоска	802	7,41	17,2
7	ш.№7 "Нововолинська"	ЗУВДЛШ	11,24				
7.1	№1			плоска	108	3,36	21
7.2	№2			усічений конус	1072	5,1	43,5
7.3	№3			хребтовий	230	2,78	27
8	ш.№8 "Нововолинська"	Іваничівський р-н, с. Гряда	17,68				
8.1	№1			конічна	1600	7,18	66
8.2	№2			плоска	400	2,61	24
8.3	№3			плоска	970	6,22	24
8.4	№4			плоска	1600	1,67	8

*За даними Західно-Української дирекції з ліквідації шахт

Висновки. Отже, у результаті проведених досліджень встановлено, що на території Львівсько-Волинського вугільного басейну функціонують 4 типи териконів – що горять, згасаючі, згаслі, що негорять. Об'єм породи, яка складається у відвали діючих шахт, перевищує проектні норми (за даними паспортів на породні відвали). З плином часу збільшуються геометричні параметри відвалів. Вміст золи у породі териконів становить 84,0-98,025%; густина породи – 2,42-2,55 кг/м³. Вміст сірки у териконах Нововолинського гірничопромислового району становить 0,26-3,2%. Таким чином, відповідно до розробленої залежності, у регіоні можуть піддаватися горінню до 80,2% териконів, що становить екологічну небезпеку. Найбільш оптимальним методом ліквідації горіння на териконах вугільних шахт є переформатування їх у відвали плоскої форми.

Список літератури:

1. Сухаревский В. М. Деформации породных отвалов / В. М. Сухаревский, А. П. Стельмах, И. С. Фридман – К.: Техника, 1970. – 108 с.
2. Книш І. В. Геохімія мікроелементів у породах терикону копальні Межирічанська Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну / Іван Книш, Василь Карабин // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2010.– № 3-4. – С. 85-100.
3. Богма А. С. О гранулометрическом составе и технической ценности свежесыпанных на терриконники шахтных пород Прокопьевского месторождения / А. С. Богма // Известия Томского ордена трудового красного знамени политехнического института им. С.М. Кирова. – 1959. – Т. 97. – С. 163-167.
4. Максимович Н. Г. Экологические последствия ликвидации Кизеловского угольного бассейна / Н. Г. Максимович // Географический вестник. – 2006. – №2. – С. 128-134.
5. НПАОП 10.0-5.21-04 «Інструкція із запобігання самозапалюванню, гасіння та розбирання породних відвалів» (до п. 8.5.6 «Правила безпеки у вугільних шахтах»).
6. Uncontrolled coal fires and their environmental impacts: Investigating two arid mining regions in north-central China [Claudia Kuenzer, Jianzhong Zhang, Anke Tetzlaff, Paul van Dijk, Stefan Voigt, Harald Mehl, Wolfgang Wagner] / Applied Geography. – 2007. – Vol. 27, Issue 1. – P. 42-62.
7. Девятова А. Ю. Газо-аэрозольные выбросы при горении угольных отвалов / А. Ю. Девятова // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – №3 – С.147-152.
8. Леонов П.А., Сурначев Б.А. Породные отвалы угольных шахт. – М.: Недра, 1970. – 112 с.
9. Терещук О. Вплив відвалів гірничодобувної промисловості на навколишнє середовище Нововолинського гірничопромислового району / О. Терещук // Вісник Львівського університету.– Сер.: Географічна. – 2007. – С. 279-285.
10. Башуцька У.Б. Антропогенно-природні сукцесії рослинності деастрованих ландшафтів Червоноградського гірничопромислового регіону : дис. ... канд. с.-г. наук: спец. Об.03.01 "Лісові культури та фітомеліорація" / Башуцька Уляна Богданівна. – Львів, 2004. – 214 с.
11. Попович В. В. Характеристика осередків самозаймання породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового регіону / В. В. Попович // Наук. вісник Нац. лісотех. ун-ту України: зб. наук.-техн. праць. – 2009. – Вип. 19. – С. 77-82.
12. Попович В. В. Фітомеліорація згасаючих териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну / В. В. Попович // Монографія.–Львів: вид-во ЛДУБЖД. – 2014. – 174 с.
13. Попович В. В. Моделирование температурного поля згасаючих териконів / В. В. Попович, А. Д. Кузик, О. О. Карабин, О. Ю. Чмир // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – 2010. – № 17. – С. 64-70.
14. Попович В. В. Дослідження едафотопів териконів у місцях горіння / В. В. Попович // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2010. – Вип. 20.4. – С. 63-69.

References:

1. Sukharevsky V.M., Stelmach A.P., Friedman I.S. Warp dumps / – K. : *Technology*, 1970. – 108 p. (in Russ.).
2. Knysh I.V. Geochemistry of trace elements in the rocks of mine heap Mezhyrichanska Lviv-Volyn Coal Basin / Ivan Knysh, Vasyl Karabyn // *Geology and Geochemistry of Combustible Minerals*. – 2010. – № 3-4. – P. 85-100. (in Ukr.).
3. Bogma A. About the particle size distribution and technical value fresh on mine waste heaps of rocks Prokopyevsky deposit / *Bulletin of the Tomsk Red Banner of Labor Polytechnic Institute them. CM. Kirov*. – 1959. – V. 97. – P. 163-167. (in Russ.).
4. Maksimovich N.G. Ecological consequences liquidation Kizel coal basin / *Geographical Bulletin*. – 2006. – №2. – P. 128-134. (in Russ.).
5. NPAOP 10.0-5.21-04 "Instructions to prevent spontaneous combustion, fire and waste heaps" (to p. 8.5.6 "Safety in Coal Mines"). (in Ukr.).
6. Uncontrolled coal fires and their environmental impacts: Investigating two arid mining regions in north-central China [Claudia Kuenzer, Jianzhong Zhang, Anke Tetzlaff, Paul van Dijk, Stefan Voigt, Harald Mehl, Wolfgang Wagner] / *Applied Geography*. – 2007. – Vol. 27, Issue 1. – P. 42-62.
7. Devyatova A.Y. Gas-aerosol emissions from burning coal dumps / *Interexpo Geo-Siberia*. – 2013. – №3 – P.147-152. (in Russ.).
8. Leonov P.A., Surnachev B.A. Waste dumps of coal mines. – M. : *Nedra*, 1970. – 112 p.
9. Tereshchuk O. The influence of mining dumps on the environment Novovolynsk mining region / *Bulletin of Lviv university. : Geographic*. – 2007. – P. 279-285. (in Ukr.).
10. Bashutska U.B. Anthropogenic-natural succession of vegetation disturbed landscapes Chervonograd mining region: *Dis. ... Candidate. Agricultural Sciences specials. 06.03.01 "Forest planting and phytomelioration"*. – Lviv, 2004. – 214 p. (in Ukr.).
11. Popovich V.V. Characteristics of cells spontaneous dumps of coal mines Novovolynsk mining region / *Science. Journal Nat. forestry. Univ. Ukraine: Coll. nauk.-Tech. works*. – 2009 – Vol. 19. – P. 77-82. (in Ukr.).
12. Popovich V.V. Phytomelioration fading heaps Lviv-Volyn Coal Basin / *Monohrafiya. Lviv: publishing house LDUBZHD*. – 2014. – 174 p. (in Ukr.).
13. Popovich V.V., Kuzyk A.D., Karabyn O.O., Chmyr A.Y. Simulation of temperature field heaps fading / *Fire safety: Coll. Science. works*. – 2010. – № 17. – P. 64-70.
14. Popovich V.V. Research edaphotops burning heaps of places / *Scientific Journal NLTU Ukraine: Coll. nauk.-Tech. works. - Lviv: RIO NLTU Ukraine*. – 2010 – Vol. 20.4. – P. 63-69.

