

УДК 504.05:447.63

І.О. Садовенко, д.т.н., проф.

П.Н. Петриченко, інж.

Тішков, асист.

Національний гірничий університет

М.Є. Опанасенко, к.с.-г.н.

Нікіцький ботанічний сад

## РЕАБІЛІТАЦІЯ ПОВЕРХНІ ШАХТНИХ ВІДВАЛІВ

Представлені результати геохімічних та агрохімічних досліджень шахтних порід, що складаються. Динаміка макро- і мікрокомпонентів простежена в експериментах і моделюванням. Розроблена технологія утворення активного реабілітаційного шару ґрунту на основі шахтної породи.

## Агрохімічне обґрунтування рослинного шару

Упродовж 1998–2001 років у ДХК “Павлоградвугілля” проведені дослідницькі роботи з метою створення штучних ґрунтів для реабілітації рослинності шахтних відвалів. Ця робота за участю Національної гірничої академії України, Нікіцького ботанічного саду, ДХК “Павлоградвугілля” як промислового партнера увійшла складовою до спільного міжнародного науково-дослідницького проекту під егідою Єврокомісії.

Програма спільних досліджень складалась з семи узгоджених між партнерами завдань і мала завершитися промисловим впровадженням штучного ґрунту, який за властивостями нейтралізує процеси негативного впливу шахтних порід на природне середовище та відновлює рослинність. Є сенс зупинитись на деяких аспектах, які відображають одержані нами результати.

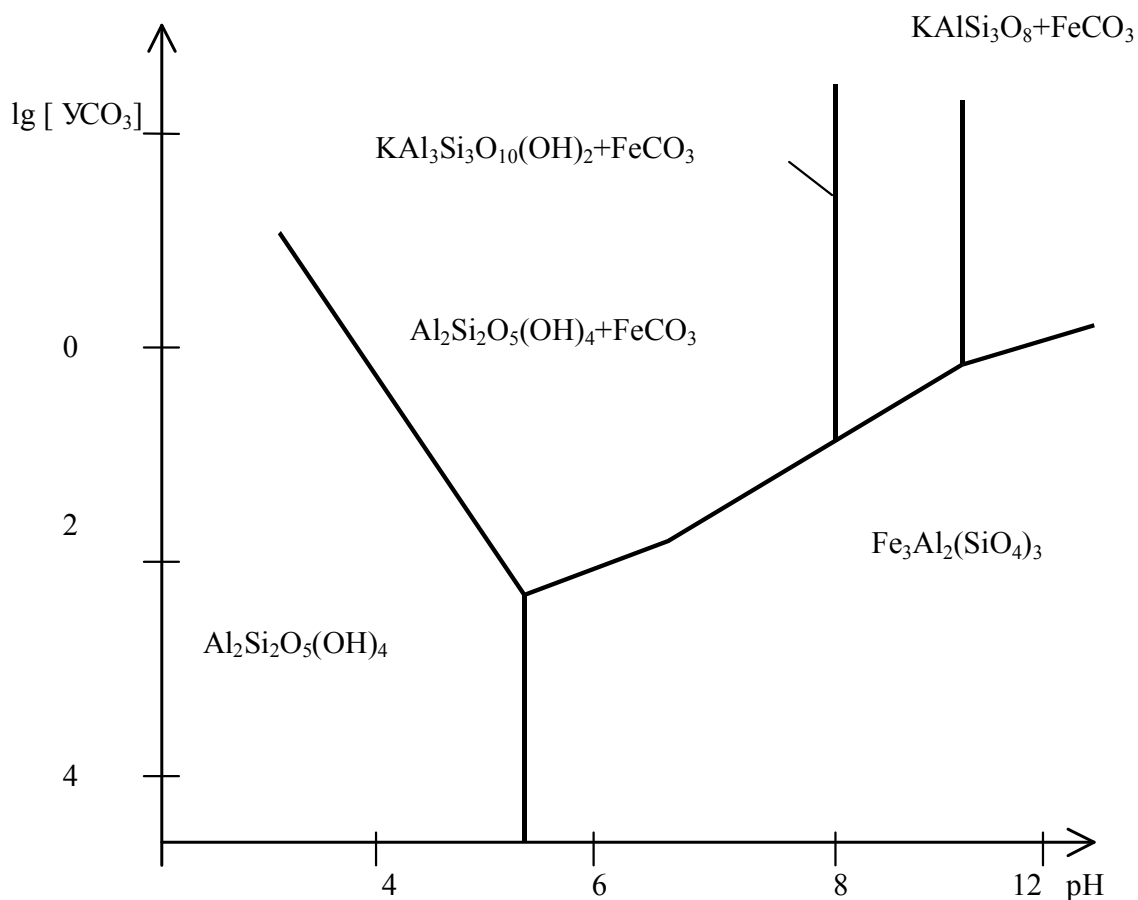


Рис. 1. Зони фазової рівноваги у системі  $K_2O-FeO-Al_2O_3-SiO_2-CO_2-H_2O$  для стандартних умов  $[K^+] = [Fe^{2+}] = 10^{-3}$

Основна ідея, що відрізняла науковий підхід українських партнерів полягала в тому, що штучний ґрунт не повинен бути покриттям, що механічно ізолює шахтний відвал від навколишнього ландшафту.

© І.О. Садовенко, П.Н. Петриченко, Тішков, М.Є. Опанасенко, 2002

Навпаки його геохімічні та біохімічні властивості повинні узгоджуватись зі складом та геохімічними особливостями шахтних порід, пригнічувати негативні процеси та підсилювати позитивні.

Дотримуючись цієї ідеї, проведені детальні дослідження хімічного складу шахтних порід, а також термодинамічні перетворення, що супроводжують геологічне вивітрювання на поверхні відвалів. Приклад термодіаграми, розрахованої за методикою Р.М. Гарелса, показаний на рис. 1.

Видно, що фазові співвідношення карбонатів та алюмосилікатів виникають у діапазоні водневого показника (рН), що складає 4...10.

Виявилось, що хімічна рухливість та концентрації алюмінію, заліза та сірки утворюють основний фітотоксичний фон, який пригнічує рослинність поряд з позитивною динамікою вуглецю. Вуглець у складі шахтних відвалів сягає за вмістом 8 %, але його доступність для рослин обумовлена тривалим переходом у стан, що екстрагується. Хімічні засоби вивчення цієї динаміки трудомісткі й тривалі за часом. Тому в дослідженнях застосували оригінальне обладнання для експресного визначення вмісткості та стану вуглецю у шахтних відвалах методом парамагнітного аналізу [1]. На рис. 2 відображені результати випробувань за означеним методом на експериментальній ділянці шахти "Першотравнева".

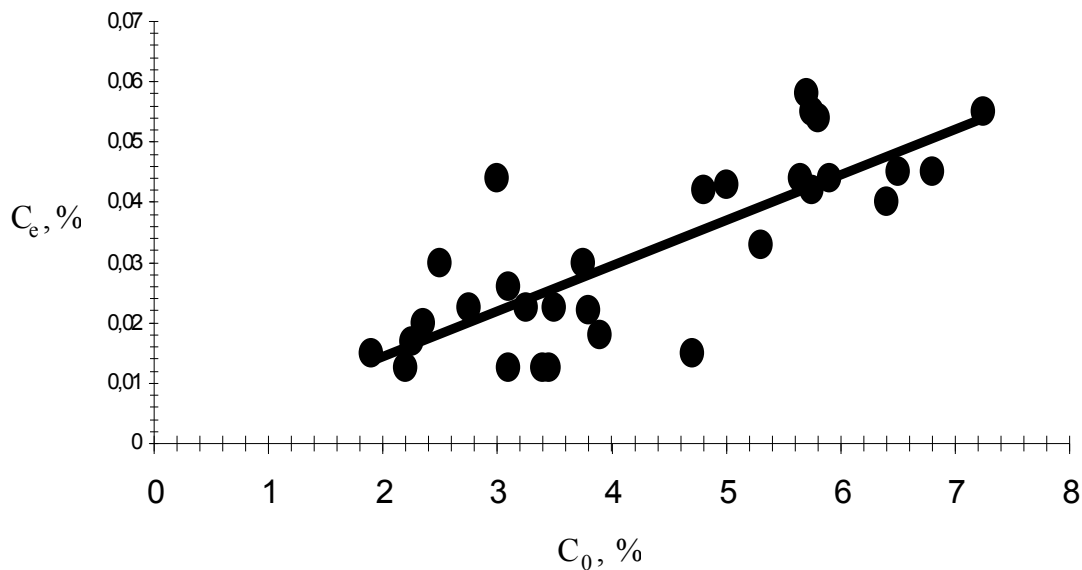


Рис. 2. Співвідношення загального ( $C_0$ ) та такого, що екстрагується ( $C_e$ ) вуглецю

Зрозуміло, що вивчення геохімічних особливостей процесів, що супроводжують перетворення шахтних відвалів недостатнє для того, щоб зробити ґрунтовні висновки про агрохімічні засоби надання шахтній породі рослинних якостей.

Для цього треба простежити біометричні співвідношення між рослинами, що засвоюють шахтні відвали. У ході досліджень зареєстровано 70 видів вищих судинних рослин, які розподілені у 22 сімей.

Аналіз систематичної структури видів рослин розкриває в цілому зональний тип організації флори, що властивий Присамаррю. Характерним виявився досить значний розвиток розовоквіткових, гречкових та маревих сімей, що пов'язано з їх антропогенним походженням. Підтвердилось, що фітотоксичний комплекс макрокомпонентів утворюється хімічно рухомими алюмінієм, залізом та сіркою. Постає питання про міграційну динаміку цих компонентів та керування нею в напрямку екологічності та корисності для рослин.

#### **Модельні та експериментальні випробування штучних ґрунтів.**

Геохімічні та біологічні дослідження дозволили скласти оптимальні співвідношення компонентів штучного рослинного ґрунту для реабілітації шахтних відвалів. При цьому виходили з того, що треба використовувати господарські відходи та відходи гірничого виробництва. Далі були утворені дві експериментальні ділянки – в умовах діючого шахтного відвалу та площинного складування шахтної породи на підробленій гірничими роботами долині річки Самари, що зазнає підтоплення внаслідок виймання вугілля. У цьому випадку алювіальні ґрунти долини втрачають родючість. Для її збереження верхній рослинний шар (0,6 м) необхідно знімати. Дослідження більш глибокого шару алювію показало, що в інтервалі 0,6...2,0 м вміст вапняку сягає 13 %. Це дуже важливий компонент для пригнічення кислотного комплексу в суміші з шахтною породою.

Отже основа експериментальної ділянки у долині річки Самари складалася з шестиметрового шару шахтної породи, покладеної на площі, де попередньо зняли алювіальний родючий ґрунт і суглинок до глибини 2,0 м. На поверхні шахтної породи в означеному варіанті (ділянка № 1) та на відвалі (шахта За-

хідно-Донбаска, ділянка № 2) були розташовані варіанти суміші компонентів штучного ґрунту (ATS) за схемою на рис. 3.

Склад			
Шахтна порода (контроль)			10 м
ATS 1. Шахтна порода + алювіальний суглинок (4:1)			10 м
ATS 2. Шахтна порода + алювіальний суглинок + відклади господарських стоків (3,5:1:0,5)			10 м
ATS 3. Шахтна порода + алювіальний суглинок + алювіальний родючий ґрунт (3:1:1)			10 м
ATS 4. Шахтна порода + алювіальний суглинок + відходи деревообробки (3,9:1:0,1)			10 м
10 м, озимий ячмінь	10 м, кормова трава	10 м, дика трава	20 м, кущі
Склад рослин			

Рис. 3. Схема утворення експериментальних ділянок

Компоненти ATS на ділянках № 1 і № 2 вкладали шарами, а потім змішували з шахтною породою на глибині 0,6 м шляхом чотириразового зорювання. На схил ділянки № 2 заготовлена суміш перемішувалась бульдозером, а поверхня схилу попередньо терасувалась.

Протягом двох років проводились агрохімічні та біологічні дослідження ґрунту. Одночасно складалась математична модель міграційних процесів [9].

Складність процесів міграції у відвалах шахтних порід обумовлена багатьма факторами, а саме: 1) багатокомпонентністю порового розчину; 2) одночасним протіканням у ньому декількох хімічних реакцій; 3) зміною в часі водно-фізичних і сорбційних властивостей порід унаслідок кольматації пор мілкоземом, що утворюється на поверхні, та внесення меліорантів при проведенні рекультивациі. Тому загальна математична модель багатокомпонентної міграції усіх взаємодіючих елементів досить громіздка і включає велику кількість параметрів, достовірне визначення яких не завжди можливе. Варто враховувати, що більшість хімічних сполук звичайно є природним у породах у концентраціях, близьких до фонові. У таких умовах найбільш важливим стає прогноз перерозподілу у верхньому шарі відвалів тих компонентів, що найбільшою мірою визначають умови виростання рослин, використовуваних для рекультивациі територій складування шахтних порід.

Модель міграції рухливих форм заліза, алюмінію і сульфатів ґрунтується на таких положеннях: 1) область міграції формується умовно миттєво, відразу після відсіпання відвалів; 2) перерозподіл речовин відбувається переважно у вертикальному напрямку; 3) приймаються середні багаторічні значення швидкості вертикального вологопереносу; 4) швидкість утворення сульфатів і рухливих форм заліза визначається інтенсивністю розкладання піриту, що зменшується з глибиною внаслідок уповільнення там швидкості повітрообміну й окисних процесів; 5) інтенсивність переходу алюмінію в рухливі форми зростає в кислому середовищі, що формується з утворенням сірчаної кислоти при розкладанні піриту; 6) приймається лінійна ізотерма рівноважної сорбції.

Вертикальна міграція рухливих форм заліза, алюмінію і сульфатів у верхньому шарі відвалів може бути описана рівняннями масопереносу виду:

$$D_z \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} - v_z \frac{\partial C_i}{\partial z} - \gamma_i C_i + q_i = n_{e,i} \frac{\partial C_i}{\partial t}, \quad (1)$$

де  $C_1, C_2, C_3$  – концентрація відповідно рухливих форм заліза, алюмінію і сульфатів у поровому розчині;  $D_z$  – коефіцієнт дифузії;  $v_z$  – швидкість вертикального вологопереносу;  $\gamma_i$  – параметри швидкості осадження речовини (переходу в нерухомі форми);  $n_{e,i}$  – коефіцієнти ефективної пористості.

Найбільш важливим з погляду рекультивациі відвалів є перерозподіл речовин у приповерхньому шарі шахтних порід. Прогноз такого перерозподілу можна виконати на основі моделі міграції в напівнескінченній області  $0 \leq z < \infty$ , у якій вісь Oz спрямована вниз. У початковий момент часу концентрації всіх компонентів сталі з глибиною:  $C_i(z,0) = C_{i,0}$ . При  $z \rightarrow \infty$  вихідна концентрація залишається незмінною в часі  $\partial C_i / \partial z = 0$ . Через незначні концентрації мігруючих речовин в атмосферних опадах їх масопотік через денну поверхню приймається нульовим:

$$-D_z \frac{\partial C_i}{\partial z} + v_z C_i = 0 \quad (2)$$

Розв'язок задачі (1)–(2) отримано методом джерел у вигляді інтегральних функцій. Розрахунки виконані в програмному середовищі MathCad 2001 із застосуванням стандартних процедур чисельного інтегрування і графічної обробки результатів обчислень.

З використанням розробленої методики було виконане моделювання міграції рухливих заліза, алюмінію і сульфатів у приповерхневому шарі шахтної породи, відсипаної в 1997 р. (ділянка № 1), і в штучних родючих ґрунтах, створених на її основі в 1998 році. Розглянуто три варіанти реалізації штучного родючого шару ATS 1, 2, 3. Результати розрахунку порівнювалися з наявними даними експериментальних досліджень вмісту зазначених компонентів у породах.

Результати моделювання, що відповідають розподілу концентрацій розглянутих компонентів декількох розрізів у 2000 р. і визначені експериментальним шляхом співпадають та вказують на істотну неоднорідність вертикального розподілу компонент. Можна відзначити деякі тенденції, підтверджені моделюванням:

– максимум концентрації алюмінію в шахтній породі приурочений до поверхні, де найбільш інтенсивно протікає окислювання піриту і найбільш висока обмінна кислотність, що обумовлює рухливість алюмінію;

– максимум концентрації заліза в шахтній породі спостерігається на деякій глибині від поверхні, що може бути наслідком його спадної міграції з потоком атмосферних опадів;

– концентрація сульфатів у шахтній породі розподілена нерівномірно, при цьому спостерігається невелика тенденція до її зменшення з глибиною, що також пов'язано з більш інтенсивним окислюванням піриту поблизу даної поверхні;

– розподілу концентрації сульфатів у ATS 1 і 3 у цілому подібні: низькі значення у верхній частині розрізу, обумовлені утворенням гіпсу при змішанні породи з карбонатним суглинком і високі концентрації в нижній частині, викликані, очевидно, обмеженою глибиною переорювання при створенні ATS;

– концентрація сульфатів у ATS 2 істотно підвищена порівнянні з ATS 1 і 3 внаслідок більш інтенсивного окислювання сірки в присутності відкладів господарських стоків і більш високого початкового вмісту сульфатів у них.

Слід зазначити, що вміст сульфатів у всіх ATS істотно нижчий, ніж у контрольній шахтній породі.

Запропонований метод прогнозу дозволяє враховувати нерівномірність окислювання піриту по глибині, а також переривчастий характер міграції (при створенні ATS). Метод дає можливість виконувати прогнозні оцінки перерозподілу фітотоксичних компонентів при різному вмісті карбонатів у ATS і різних термінах його відсипання, з погрешністю 10–20% (у середньому).

Агрохімічні та біометричні випробування на експериментальних ділянках показують, що ATS є задовільним рослинним шаром (табл. 1), у якому пригнічений кислотний комплекс (рН-коливается в межах 7,9...8,3), концентрації корисних речовин з азотом, фосфором та калієм зросли від декількох до десятків разів.

Простежена приживлюваність кущів у штучних рослинних ґрунтах склала 60...97%. За цим показником та показниками у табл. 1 визначаються найбільш перспективними ATS № 2 та № 3.

Важливим при випробуваннях було засвідчити, що штучні ґрунти безпечні з точки зору накопичення мікрокомпонентів у шкідливих концентраціях. (табл. 2).

Таблиця 1

## Середня біопродуктивність ATS

Варіант дослідження		Вага повітряно-сухих рослин, г		Відношення довжини надземної до підземної частин, см
		Надземна частина	Підземна частина	
Ділянка № 1	Шахтна порода, озима пшениця	12,1	3,2	4,5/1,6
	Шахтна порода, озимий ячмінь	26,2	5,3	9,4/2,1
	ATS 1, озимий ячмінь	168,0	19,3	3,6/5,2
	ATS 2, озима пшениця	181,3	25,2	33,7/5,8
	ATS 3, озимий ячмінь	240,0	26,0	58,3/5,7
Ділянка № 2	ATS 1, еспарцет	32,0	10,0	28/11
	ATS 2, еспарцет	40,0	13,0	38/16
	ATS 3, еспарцет	38,0	14,0	37/16
	ATS 4, еспарцет	50,0	13,0	30/14
	ATS 1, яровий ячмінь	44,0	19,0	34/14
	ATS 2, яровий ячмінь	127,0	44,0	67/20
	ATS 3, яровий ячмінь	68,0	28,0	45/25
	ATS 4, яровий ячмінь	59,0	29,0	40/24

Таблиця 2

## Контрольний вміст мікрокомпонентів

Варіант ATS	Найменування проби	Склад, мг/кг								
		Pb	Zn	Co	Ni	Mo	Cu	Cr	V	Mn
ATS 1	шахтна порода	25	100	20	63	1	15	120	120	400
	ATS 1	25	100	15	50	1,2	20	120	100	500
	еспарцет	1	4,3	0	1	2,8	4,3	1	0,17	87
	ячмінь	3,7	37	0	4,6	1,7	9,2	5,7	3,7	115
ATS 2	ATS 2	30	120	12	50	1,2	20	100	120	630
	еспарцет	0,85	2,1	0	0,68	2,7	5,3	1,3	0,21	53
	ячмінь	3,4	28	0,34	1,29	1,3	6,9	2,8	0,54	69
ATS 3	ATS 3	15	130	12	40	1,2	20	100	100	500
	еспарцет	0,65	2	0	0,81	3,3	4,1	1	0,16	41
	ячмінь	2,1	27	0,53	3,4	1,6	8,5	4,3	1,6	85
ATS 4	ATS 4	15	100	12	40	1,2	20	100	100	500
	еспарцет	0,84	2,1	0,53	0,84	1,3	4,2	1,3	0,21	53
	ячмінь	4,9	4,9	0	6,2	1,5	12,3	7,7	4,9	154

Дані табл. 2 свідчать про те, що вміст мікрокомпонентів не тільки не перевищує недопустимі концентрації, а взагалі добре співпадає з фоновими показниками.

Додатковий варіант виготовлення основної складової ATS зі свіжої шахтної породи є ефективним, якщо до неї додати 25 % відкладень ставка-накопичувача шахтної води. Хімічний склад відкладень ідентичний шахтній породі, тому його додаток є необхідною частиною мілкозему у ґрунті.

Для підвищення стійкості штучного рослинного ґрунту на поверхні схилу шахтного відвалу були сформовані поглиблення до 0,5 м за сіткою розміром 5×5 м. У поглибленнях ґрунтоутворення більш інтенсивне, ніж на пагорбах. Це враховується розподілом видів рослин, а дизайн схилу набуває привабливого розмаїття.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Поляшов А.С., Садовенко І.А., Петриченко П.Н. Процессы техногенного преобразования пород Западного донбасса // Сб. научн. трудов НГАУ. – 2001. – № 11, – Т 1. – С. 21–25.

САДОВЕНКО Іван Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри гідрології та інженерної геології Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:

- гідрогеомеханіка техногенних та природних об'єктів;
- керування станом техногенного середовища.

ПЕТРИЧЕНКО Петро Миколайович – інженер-пошукувач Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:

- рекультивация геологічного середовища, порушеного гірничим виробництвом.

ТІШКОВ Володимир Володимирович – асистент Національного гірничого університету.

Наукові інтереси:

- рекультивация геологічного середовища, порушеного гірничим виробництвом.

ОПАНАСЕНКО Микола Євдокимович – кандидат сільськогосподарських наук, завідувач лабораторії Нікіцького ботанічного саду.

Наукові інтереси:

- керування станом техногенного середовища.

Подано 15.10.2002

**Реабилитация поверхности шахтных отвалов /И.О. Садовенко, П.Н. Петриченко, Тишков, М.Э. Опанасенко/**

Представлены результаты геохимических и агрохимических исследований шахтных пород, которые складировались. Динамика макро и микрокомпонентов прослежена в экспериментах и моделированием. Разработана технология образования активного реабилитационного слоя почвы на основе шахтной породы.

**Rehabilitation of a surface mining dumps /I.O. Sadovenko, P.N. Petrichenko, Tishkov, M.E. Opanasenko/**

The results of geochemical and agrochemical researches of mine breeds which are stored are submitted. Dynamics of macro and microcomponents in experiments and modeling is watched. The technology of formation of active rehabilitation layer of soil on the basis of mine breed is developed.