

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГУМІНОВИХ КИСЛОТ НА ЗАКРІПЛЕННЯ ПИЛЮЧИХ ПОВЕРХОНЬ

Яковенко Л.О.<sup>1</sup>, Засельський В.Й.<sup>2</sup>, Кормер М.В.<sup>2</sup>, Сагалай Д.В.<sup>2</sup>, Бобров М.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, 03035, м. Київ

<sup>2</sup>Технологічний інститут  
Державного університету економіки і технологій  
вул. Степана Тільги, 5, 50006, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл.  
[deaohoronapraci@gmail.com](mailto:deaohoronapraci@gmail.com), [kminmetau@gmail.com](mailto:kminmetau@gmail.com)

Сьогодні у хвостосховищах гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу накопичено понад 3 млрд. т шламів, що займають сумарну площу понад 5000 га. Наявні технології складування відходів збагачення, а також специфічні умови експлуатації хвостосховищ створюють реальну небезпеку забруднення атмосфери пилом.

З часом зневоднення хвостів призводить до їх пересихання й під впливом вітряної ерозії мікрочастинки переносяться на значні відстані, забруднюючи житлові масиви, сільськогосподарські угіддя, повітря та водойми. Питанням боротьби з пиловиділенням присвячено багато різноманітних робіт, що засвідчують: синтетичні латекси – найбільш ефективний продукт для захисту навколишнього природного середовища від забруднення. Проте стримуючим фактором їх використання є висока собівартість.

Розглянуто питання щодо використання для пилоподавлення мікрочастинок хвостосховищ вуглепального реагенту – ВЛР, який можна виготовити на основі бурого вугілля. Його достатньо в Україні, він має незначну вартість. Мета роботи – вивчення механізму фізико-хімічної взаємодії гумінових кислот і пилових частинок, а також здатності мінерального субстрату визначення оптимальної кількості зв'язуючої речовини, яка під час висихання утворювала б міцне покриття. Надано визначення механічної міцності покриттів залежно від концентрацій вуглепального реагенту й витрат на його закріплення. Оцінювання механічної міцності здійснювали приладом, основним елементом якого була голка-штир діаметром 3 мм за методикою. Проведені дослідження свідчать, що водні розчини ВЛР утворюють на пилячих поверхнях механічно міцні захисні покриття, які запобігають винесенню пилу з поверхонь та ефективно протистоять водній ерозії. Для закріплення поверхонь доцільно застосовувати водні розчини ВЛР концентрацією 10 мас. %, оскільки вони за умови витрати розчину 5 л/м<sup>2</sup> забезпечують міцність пилючого покриття понад 1,5 МПа, що буде достатньо для запобігання винесенню пилу з поверхонь. *Ключові слова:* гумінові кислоти, субстрат, виділення пилу, хвости, дисперсні частинки, концентрація розчину ВЛР.

### **Study of the influence of humic acids on the fixing of dust surfaces. Zasel'skiy V., Yakovenko L., Kormer M., Sahalai D., Bobrov M.**

Today, more than 3 billion tons have been accumulated in the tailings of the Kryvbas mining and processing plants. Sludge, occupying a total area of over 5,000 hectares. Existing technologies for storage of beneficiation waste, as well as specific operating conditions of tailings poses create a real danger of dust pollution. Over time, dehydration of the tailings leads to their drying and under the influence of wind erosion microparticles are transported over long distances, polluting residential areas, agricultural land, air and water. Many different works have been devoted to the issue of dust control: synthetic latexes are the most effective product for protecting the environment from pollution. However, the restraining factor in their use is the high cost.

Purpose – to study the mechanism of physical-chemical interactions of humic acids and dust particles as well as the ability of mineral substrate determine the optimal amount of binder, which is formed during the drying by tough coating. The mechanical strength of coatings was determined depending on the concentrations of carbon alkali reagent and its costs for fixing. Evaluation of mechanical strength was carried out with a device, the main element of which was a needle-pin with a diameter of 3 mm according to the method. Studies show that aqueous solutions of VLR form on dusty surfaces mechanically strong protective coatings that prevent the removal of dust from surfaces and effectively resist water erosion. For fixing of surfaces it is expedient to apply aqueous solutions of VLR with a concentration of 10 wt. %, because they, provided the consumption of a solution of 5 l/m<sup>2</sup> provide the strength of the dust coating over 1.5 MPa, which will be sufficient to prevent the removal of dust from the surfaces. *Key words:* humic acids, substrate, dust release, tailings, dispersed particles, VLR solution concentration.

**Постановка проблеми й актуальність дослідження.** Нині, за даними робіт [1; 2], у хвостосховищах усіх гірничо-збагачувальних комбінатів Кривого Рогу накопичено понад 3 млрд т. шламів, що займають сумарну площу понад 5000 га. По закінченні наливу і складування пульпи на окремих ділянках хвостосховищ утворюються зневоднені площі («пляжі») – слабконахильна площину

в бік ставка-відстійника, а так само зовнішні укоси дамб, які при пересиханні є джерелом пилоутворення. Зневодненням і просушуванням хвостів є піщаний матеріал, між частинками якого немає стійких зв'язків. Їх фракційний склад знаходиться в діапазоні від 0 до 30 мкм, який під впливом вітряної ерозії пилить і забруднює прилеглі території, а також атмосферу.

Питоме пиловиділення  $\omega$  ( $\text{мг/с}\cdot\text{м}^2$ ) з пилючих поверхонь можна визначити за формулою [3]:

$$\omega = aV^b, \quad (1)$$

де  $a$ ,  $b$  – емпіричні коефіцієнти, що залежать від типу порід; для дрібнодисперсних скельних порід –  $a = 0,00087$ ,  $b = 4,19$ ;  $V$  – швидкість вітрового потоку,  $\text{м/с}$ .

Середньорічна швидкість вітру в Кривому Розі, згідно з кліматичним атласом, наведеним на рисунку 1, становить  $5 \text{ м/с}$ . Тоді розрахунки за формулою (1) показують, що інтенсивність пиловиділення при  $V = 5 \text{ м/с}$  становлять у середньому  $\omega = 5 \text{ мг/с}\cdot\text{м}^2$ , а маса пилу, що здіймалася в атмосферу з  $1 \text{ м}^2$ , становитиме –  $0,432 \text{ кг/добу}$ , або винесеться за рік з одного гектара в розмірі  $230 \text{ т}$ .

**Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями.** Дослідження виконано в рамках НДР «Розроблення екологічно прийнятних технологій поводження з відходами гірничорудної та металургійної промисловості» за номером Державної реєстрації 0120U101148.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пил, здіймаючись із поверхні, поширюється в атмосферне повітря на великі відстані, забруднюючи житлові масиви, сільськогосподарські угіддя, водойми. Отже, необхідна розробка спеціальних способів і засобів для закріплення поверхонь, що пилять. Питанням боротьби з пилом присвячено багато різноманітних робіт [3; 4; 5]. Вони засвідчують, що синтетичні латекси – найбільш ефективний продукт для захисту навколишнього середовища від забруднення. Проте, по-перше, потужні заводи з їх виробництва знаходяться за межами України, по-друге, вони коштують недешево, що є стримуючим фактором широ-

кого їх використання для пилоподавлення піщаного матеріалу хвостосховищ. У роботі [6] зазначається можливість використання вуглежужного реагенту (далі – ВЛР). Однак питання його пилов'язуючої здатності й пилоподавляючих властивостей маловивчені та потребують подальших досліджень.

Мета роботи – вивчити механізм фізико-хімічної взаємодії гумінових кислот і пилових частинок, а також здатність мінерального субстрату на визначення оптимальної кількості зв'язуючої речовини, яка під час висихання утворювала б міцне покриття.

**Виклад основного матеріалу.** Хвости – це подрібнені кварцити, близькі за своїми властивостями до природних пісків, з умістом в основному діоксиду кремнію.

На рисунку 2 – фото висушеного субстрату, зроблене з мікроскопу МБС-1, з якого видно, що поверхня частинок досить шорстка. Під час збагачення розмір фракцій досягає  $20 \text{ мкм}$ , які досить легко піднімаються в атмосферу.

Для визначення механізму фізико-хімічної взаємодії гумінових кислот і пилових частинок гірничих порід необхідно знати структурну формулу гумінових кислот. Проте сьогодні структурна формула гумінової кислоти не виведена через досить складну її будову.

Склад хімічних елементів гумінових кислот, що наявні в продуктах природного походження, наведені в таблиці 1.

Саме наявність у гумінових кислотах таких функціональних груп, як  $\text{OH}$ ,  $\text{COOH}$ , можливо, аміногрупа й азот, зумовлюють здатність гумінових кислот взаємодіяти з поверхнею пилових частинок порід, у складі яких – оксиди металів ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ).

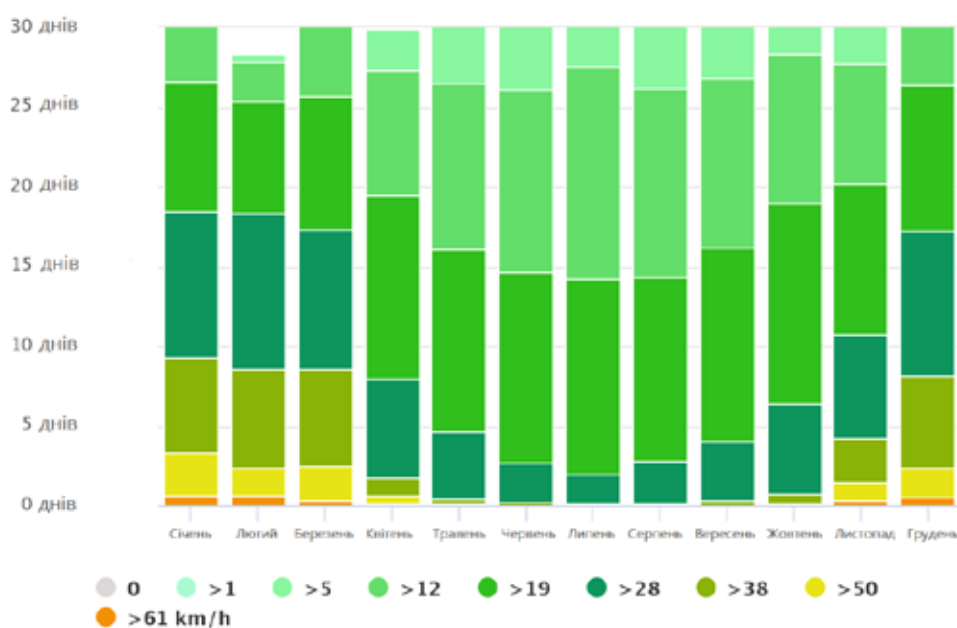


Рис. 1. Щомісячна швидкість вітру в м. Кривий Ріг за 2019 рік

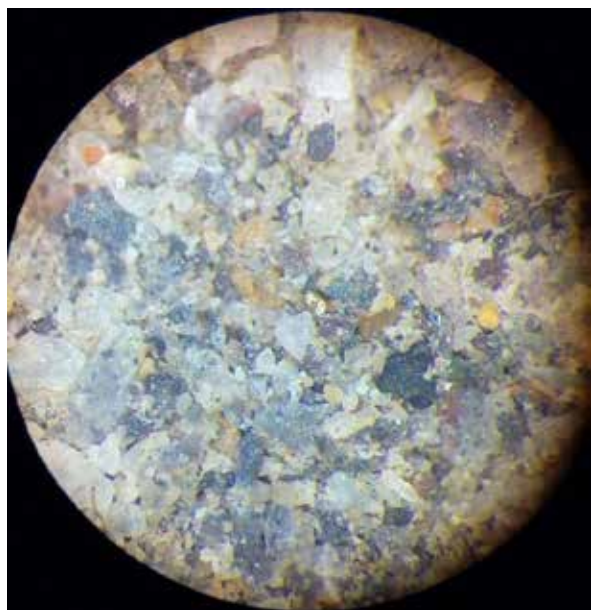
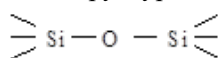
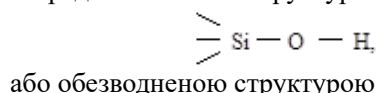


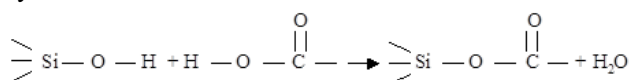
Рис. 2. Висушений субстрат

Досліджуємо механізм взаємодії гумінових кислот з породними частинками на прикладі SiO<sub>2</sub>.

Поверхня силікагелю в пилових частинках може бути представлена або структурами



Фізико-хімічна взаємодія між карбоксильною групою гумінової кислоти та групою SiOH може відбуватися за такою схемою:



На поверхні пиловидних частинок також може відбуватися сорбція неіонних органічних сполук під час утворення ними міцел у водному розчині.

Міцели органічних сполук, прагнучи відокремитися з водного середовища, можуть закріплюватися полярними ділянками на поверхні пилових частинок, що перешкоджає їх викиду в атмосферу. На рисунку 3 представлена схема розташування гумінових кислот на силікаті.

Розглядаються й інші механізми взаємодії гумінових кислот із пиловими частинками порід. Так, із катіонами важких металів гумінові кислоти можуть

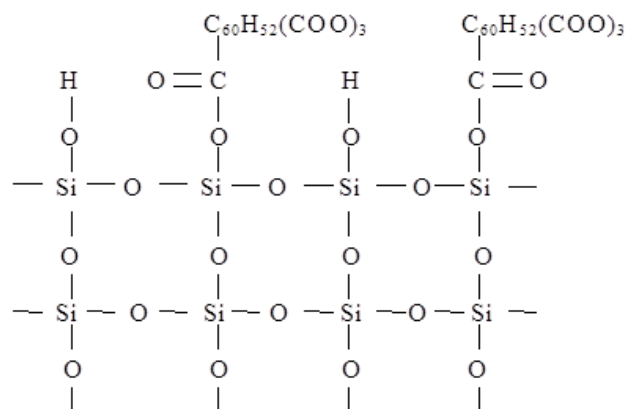


Рис. 3. Схема розташування гумінових кислот на силікаті

утворювати малорозчинні солі. Наприклад, розчинність гумату кальцію становить 1 г на 2000 г води. Можливе також утворення малорозчинних комплексних сполук гумінових кислот з алюмінієм і залізом, що входять у незначній кількості до складу шламів.

Усі органічні кислоти здатні взаємодіяти з твердими частинками порід у результаті протікання між ними реакції поліконденсації.

На рис. 4 наведений мінеральний субстрат, оброблений розчином ВЛР. Покриття, що утворилося після обробки мінерального субстрату вуглежним реагентом, як полідисперсна система має мінеральну, органічну, водну та газову підсистеми. Мінеральна система виконує роль каркасу покриття й разом з адгезійними властивостями органічної частини забезпечує механічну міцність. Водна підсистема складається з капілярної та гігроскопічної вологи, разом із газовою визначають теплофізичні характеристики покриття. У свою чергу, мінеральна та органічна підсистеми виконують структуроутворюючу функцію. Саме такі властивості й визначають експлуатаційні характеристики покриття, а саме: механічну міцність, стійкість до температурних коливань, газо- та водонепроникність, здатність локалізувати забруднення.

У подальшому проведено визначення механічної міцності покриттів залежно від концентрацій вуглежного реагенту й витрат його на закріплення. Оцінювання механічної міцності здійснювали приладом, основним елементом якого була голка-штир діаметром 3 мм за методикою [7].

Під голкою на майданчику встановлювали в б'юксах випробовувані породи, закріплені ВЛР. Інша частина голки зміцнювалася на верхньому май-

Таблиця 1

Склад хімічних елементів гумінових кислот

Природний продукт	Уміст гумінових кислот, %	Склад хімічних елементів гумінових кислот, %				
		С	Н	Н	COOH-	OH-
Буре вугілля	35,0–70,0	62,0–69,0	4,5–5,5	0,5–1,5	7,5–18,0	6,6–9,5
Торф	10,0–30,0	54,0–60,0	4,0–6,0	1,5–3,5	8,0–12,5	7,0–10,5
Лігніти (кам'яне вугілля)	17,0–70,0	62,0–67,0	4,9–6,0	-	7,0–9,0	7,0–9,0

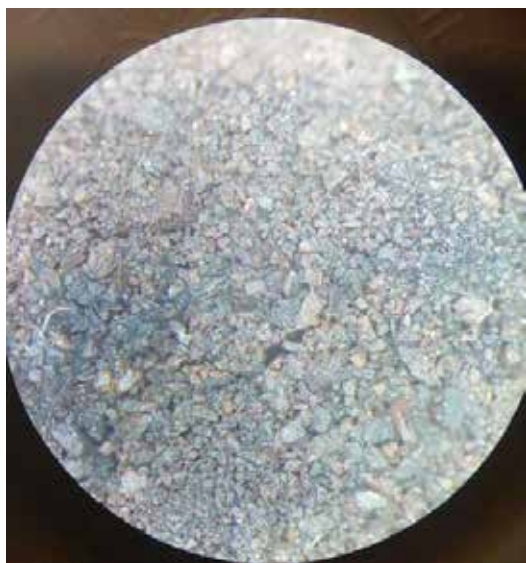


Рис. 4. Мінеральний субстрат, оброблений розчином ВЛР

данчику, на яку встановлювали посудину з водою. Здійснюючи дозовану заливку води в посудину, візуально визначали момент руйнування кірки закріпленої поверхні. Межа міцності на руйнування закріпленої поверхні визначали з виразу (МПа):

$$P = \frac{P_H}{0,785 \cdot d^2}, \quad (4)$$

де  $P_H$  – маса води, при якій сталося руйнування поверхні покриття, кг;  $d$  – діаметр голки, см.

Закріплені зразки поверхонь занурювали у воду на 24 години, потім виймали з води, висушували при температурі 300 °С і знову визначали їх механічну міцність. Результати досліджень представлені на графіку (рис. 5):

Результати досліджень засвідчують, що водні розчини ВЛР утворюють на пилючих поверхнях механічно міцні захисні покриття, що запобігають винесенню пилу з поверхонь та ефективно протистоять водній ерозії. Наведена залежність (рис. 5) свідчить: за концентрації розчину 5% і його витраті 5 л/м<sup>2</sup> міцність покриття – приблизно 1,2 МПа.

Отже, з економічного й технічного критеріїв для закріплення поверхонь доцільно застосовувати водні

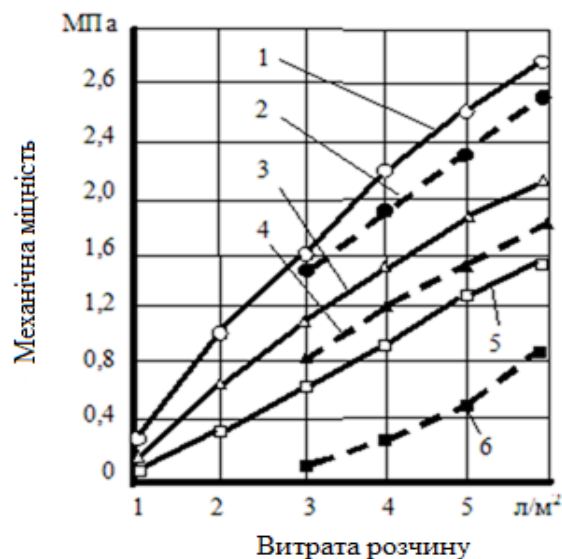


Рис. 5. Графік залежності механічної міцності покриттів, утворених вуглелужним реагентом, від його витрати й концентрації:

1 – концентрація розчину – 20%; 2 – концентрація розчину (після перебування у воді) – 20%; 3 – концентрація розчину – 10%; 4 – концентрація розчину (після перебування у воді) – 10%; 5 – концентрація розчину – 5%; 6 – концентрація розчину (після перебування у воді) – 5%

розчини ВЛР концентрацією 10 мас. %, оскільки вони за умови витрати розчину 5 л/м<sup>2</sup> забезпечують міцність покриття пилу понад 1,5 МПа, що буде достатньо для запобігання винесенню пилу з поверхонь.

**Головні висновки.** Дослідження засвідчують: вуглелужний реагент у взаємодії з дисперсними частинками мінерального субстрату здатний закріплювати поверхневий шар, отже, зупиняти повітряну ерозію субстрату. У роботі розглянуто механізм фізико-хімічної взаємодії гумінових кислот і пилових частинок, а також здатність мінерального субстрату визначати раціональну кількість зв'язуючої речовини, яка під час висихання утворювала б міцне покриття. Так, за концентрації розчину ВЛР 10% і його витраті 5 л/м<sup>2</sup> міцність покриття становить більше ніж 1,5 МПа.

### Література

1. Вилкул Ю.Г., Азарян А.А., Колосов В.А. Переработка и комплексное использование минерального сырья техногенных месторождений. *Гірничий Вісник Криворізького національного університету*. 2013. № 96. С. 3–10.
2. Переработка железосодержащих шламовых отходов горнодобывающей и металлургической промышленности. Переработка шламовых отходов обогащения железной руды / А.Д. Учитель, В.П. Соколова, Н.В. Сусли, Н.А. Дац. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2018. № 1. С. 32–37.
3. Тыщук В.Ю. Борьба с пылью на отвалах железорудных карьеров с применением латексов : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.26.02. Кривой Рог, 1989. 21 с.
4. Состав для связывания пыли : авт. свид. СРСР. № SU 1767195. Бюл. № 37 (71). 3 с.
5. Подображин С.Н. Научное обоснование и разработка методологии снижения пылевыведения при добыче угля : автореф. дисс. ... докт. техн. наук : 25.00.20. Москва, 2013. 42 с.
6. Тыщук В.Ю., Ковальова І.Б. Способи пилоподавлення при підготовці вугілля до коксування. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2017. № 52. С. 376–382.
7. Ревут І.Б., Масленкова Г.Л., Романов І.А. Химические способы воздействия на испарение и эрозию почвы. Ленинград : Гидрометеоздат, 1973. 151 с.