

ВІТРОВА ЕРОЗІЯ ТЕХНОГЕННО-ПОРУШЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ПІВДЕННОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

Оцінено процеси вітрової ерозії техногенно-порушених поверхонь Південного регіону України (на прикладі шламосховища червоних шламів Николаївського глиноземного заводу) та встановлено математичну залежність інтенсивності вітрової ерозії від швидкості вітру для різних фракцій червоного шламу за гранулометричним складом.

Ключові слова: Николаївський глиноземний завод, вітрова ерозія, кліматичний фактор, шламосховище, червоний шлам, навколишнє середовище.

Оценены процессы ветровой эрозии техногенно-нарушенных экосистем (на примере шламоохранилища красных шламов Николаевского глиноземного завода) и установлено математическую зависимость интенсивности ветровой эрозии от скорости ветра для разных фракций красного шлама по гранулометрическому составу.

Ключевые слова: Николаевский глиноземный завод, ветровая эрозия, климатический фактор, шламоохранилище, красный шлам, окружающая среда.

Evaluated the processes of wind erosion of disturbed ecosystems, man-caused (for example, red mud slurry pits Nikolaev Alumina Plant) and established a mathematical dependence of the intensity of wind erosion on the wind speed for different fractions of red mud on the grain composition.

Key words: Nikolaev Alumina Plant, wind erosion, the climatic factor, sludge, red mud, the environment.

Постановка проблеми. Збереження екосистем навколишнього середовища від руйнівного впливу промислових технологій є найважливішою проблемою екологів і, зокрема, радіоекологів. В Україні існують потужні підприємства кольорової металургії, в яких відходи з видобутку та переробки сировини становлять 1,5 млн м³/рік, а загальна кількість вироблених – 20 млн тонн [1-3]. Це Запорізький алюмінієвий комбінат, Дніпродзержинський хімзавод з відходами уранового виробництва, Дніпровський алюмінієвий завод, Николаївський глиноземний завод.

Надзвичайну небезпеку становлять хвостосховища цих підприємств, які несуть загрозу виникнення техногенної катастрофи, аналогічної аварії на металургійному підприємстві з виготовлення алюмінію Ajka Timföldgyar Zrt (Угорщина), жовтень 2010. Модернізація даних підприємств не проводилась вже багато років, а відходи від їх виробництв (зокрема, червоні шлами Николаївського глиноземного заводу – 1,2 млн тонн/рік) накопичуються і складаються в шламосховищах (відношення сухих відходів підприємства до рідких – 50/50 %) [5].

Найбільший внесок у забруднення прилеглої до шламосховищ території здійснює вітрова діяльність пилоутворюючих поверхонь (80 %) з пляжів і відкосів, що призводить до перенесення екополютантів (за добу з 1 га – від 2 до 5 т пилу). У забрудненні довкілля від техногенно-порушених екосистем основний внесок (80 %) припадає саме на вітрову ерозію. Вітрова

ерозія – це перенесення часточок ґрунту (чи часточок іншої поверхні) під дією вітру [6]. Вітрова ерозія призводить до видування з поверхневого шару частинок, які можуть переноситись на значну відстань і осідати в місцях, де послаблюється підйомна сила вітру. Необхідною умовою прояву дефляції є наявність вітру зі швидкістю, достатньою для перенесення ґрунтових часток. Максимальний проявлення вітрової ерозії спостерігається під час ураганних вітрів, коли в повітря піднімається велика маса пилоподібних часток.

З роками внутрішні греблі техногенно-порушених поверхонь нарощуються, що впливає на дальність розповсюдження поширення пилу з їх поверхні. Це призводить до: необхідності збільшення розмірів санітарно-захисної зони шламосховища; можливості погіршення санітарно-гігієнічної обстановки; можливості виникнення екологічно-небезпечної ситуації не лише в місці розташування шламосховища, а через підвищені рівні вмісту важких металів у рослинності – до міграції екополютантів за біологічними ланцюгами, а також – до пригнічення життєдіяльності більшості рослин і тварин [2; 6].

Мета статті. Екологічні проблеми вітрової ерозії техногенно-порушених поверхонь пов'язана, зокрема, з високою лужністю червоних шламів (рН = 10-12). Існує багато нез'ясованих питань у галузі дослідження та моделювання розповсюдження вітрової ерозії полютантів при різних способах утримання пилу.

Матеріали та обговорення. Визначення інтенсивності вітрової ерозії екополютантів проводили на

території шламосховища № 1 Миколаївського глиноземного заводу у період з грудня 2008 р. до вересня 2010 р.

Відбір проб атмосферного повітря з приземного шару над шламосховищем для визначення кількості пилу внаслідок вітрової ерозії здійснено аспіраційним методом. Проби відбиралися у 4-х точках – кутах периметра шламосховища МГЗ №1.

Проби повітря відбирали 2-3 рази на місяць. При кожному відборі враховували наявні метеорологічні умови, напрямок та швидкість вітру за даними метеослужби м. Миколаїв. Проби повітря відбирались за допомогою пересувної аспіраційної установки, потужність складала 2 кВт.

Величина розвитку дефляції поверхні залежить від метеорологічних умов, у першу чергу: кількості опадів (зі зволоженням поверхні), температури, а також від сили вітру та гранулометричного складу поверхні.

Залежність вітрової ерозії на шламосховищі від гранулометричного складу визначали за моделлю Догілевича М. І. та Чеппіла У. [4]:

$$Q = C \cdot \frac{P}{g} \cdot v^3,$$

де C – коефіцієнт гранулометричного складу червоного шламу Миколаївського глиноземного заводу, P – щільність повітря, g – сила гравітації, v – швидкість вітру.

Вітрова ерозія техногенно-порушених поверхонь (червоний шлам Миколаївського глиноземного заводу). Для зони розташування шламосховища № 1 Миколаївського глиноземного заводу при середній кількості атмосферних опадів 472 мм/рік та відносній вологості повітря 73 %/рік індекс зволоженості складає 0,793. Отже, за [4] шламосховище знаходиться в поясі сильно вираженої дефляції.

Більшість матеріалу (до 90 %) переноситься у приземному шарі повітря на висоті до 0,5-1,0 м. Значимим фактором підйому частинок пилу є діаметр частинки (\varnothing , мм) та її питома маса (m , г/кг). Визначення цих показників для червоного шламу здійснено гранулометричним методом [2]. У результаті визначено, що червоний шлам являє собою суміш трьох фракцій частинок за гранулометричним складом (табл. 1).

Таблиця 1

Гранулометричний склад червоного шламу

Фракція червоного шламу	Діаметр \varnothing фракції, мм	Питома кількість фракції у шламі, %	Питома маса частинок фракції у шламі, г/кг
1	$\varnothing > 0,315$ мм	2	76 ± 3
2	$0,064 < \varnothing < 0,315$ мм	14	164 ± 17
3	$\varnothing < 0,064$ мм	84	760 ± 14

Для червоного шламу шламосховища № 1 МГЗ, який складається з трьох фракцій, розраховано критичну швидкість вітру $v_{крит}$ – мінімальну швидкість вітру для території півдня України, за якої починається відривання і перенесення в повітряному потоці частинок ґрунту (шламу) – за формулою [4]:

$$v_{крит} = 0,249d_e + 3,79,$$

де d_e – середній діаметр агрегатів.

$$d_e = \frac{d_1 P_1 + d_2 P_2 + \dots + d_n P_n}{\sum P},$$

де $d_1, d_2 \dots$ – середній діаметр агрегатів, $P_1, P_2 \dots$ – питома кількість фракцій у червоному шламі шламосховища № 1 МГЗ.

Результати показали, що критична швидкість вітру $v_{крит}$ для шламу складала 3,8 м/с.

Показник Q визначали для різних фракцій червоного шламу: варіант 1 – для фракції 1, варіант 2 – для фракції 2, варіант 3 – для фракції 3. Кількість перемішуваного червоного шламу (Q) під дією вітру різних швидкостей протягом року представлено на рис. 1.

З графіку видно, що для великих фракцій червоного шламу з $\varnothing > 315$ мм відбувається збільшення дефляції пилових частинок зі зростанням швидкості вітру (v): при $v = 4,0-6,0$ м/с переносилась майже однакова кількість пилу – 16 ± 3 кг/(м·с), максимальне перенесення пилу (до 66 ± 3 кг/(м·с) та більше) спостерігалось при швидкостях вітру, які перевищували 8,0-10,0 м/с.

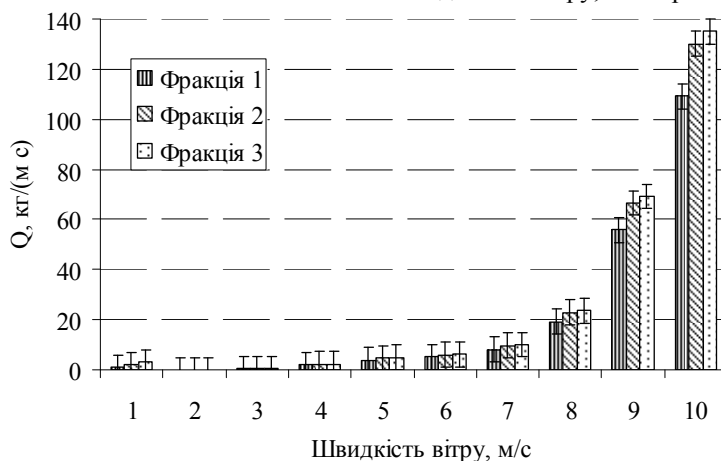


Рис. 1 Переміщення червоного шламу при дії вітрової ерозії (для різних фракцій гранулометричного складу шламу)

Із гістограми для фракції 2 на рис. 1 видно, що перенесення максимальної кількості пилу відбувалось з підвищенням швидкості вітру до 7,0-8,0 м/с. Постійна дефляція спостерігалась при середній швидкості вітру $4,0 \pm 0,5$ м/с з винесенням пилу в середньому, $7,6 \pm 0,2$ кг/(м*с).

Для малих фракцій червоного шламу з $\varnothing < 0,064$ мм (фракція 3 на рис. 1) максимальне переміщення пилових частинок відбувалось при $v = 5-6$ м/с. Постійна вітрова ерозія спостерігалась при середній швидкості вітру 4 м/с з винесенням пилу, в середньому – $10,2 \pm 0,3$ кг/(м*с).

Порівнюючи отримані результати (фракції 1, 2, 3 на рис. 1), можна констатувати, що для різних фракцій червоного шламу за гранулометричним складом мінімальна кількість переміщуваного пилу складала

$1,3 \pm 0,03$ кг/(м*с) при $v = 3,5-4,5$ м/с, а максимальна – при швидкості вітру 8-10 м/с – $63,8-124,7 \pm 4,3$ кг/(м*с). Постійна вітрова ерозія відбувалася при $v = 4$ м/с з переміщенням пилових частинок $5,4 \pm 0,03$ кг/(м*с).

За результатами визначення Q для різних фракцій (табл. 1) за гранулометричним складом визначено рівняння регресії, які встановлюють залежність між швидкістю вітру і інтенсивністю дефляції (рис. 2).

$$Q_1(v) = 1,38 \cdot e^{0,7v} \quad (1)$$

$$Q_2(v) = 1,64 \cdot e^{0,7v} \quad (2)$$

$$Q_3(v) = 1,71 \cdot e^{0,7v} \quad (3)$$

Ці рівняння отримано з коефіцієнта детермінації $R^2 = 0,96$.

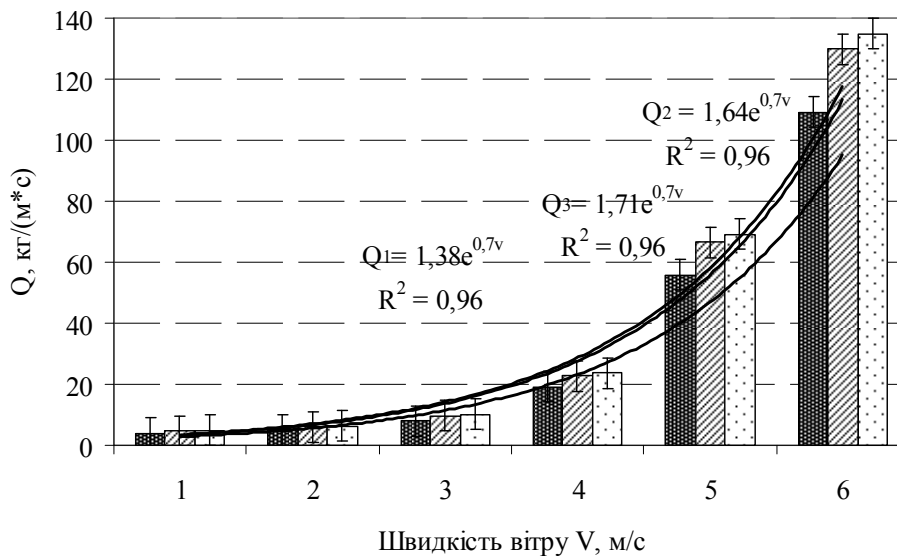


Рис. 2. Залежність інтенсивності вітрової ерозії від швидкості вітру (для різних фракцій гранулометричного складу шламу)

Кількість пилу, що підіймається на шламосховищі МГЗ при різних швидкостях вітру, які характерні для Миколаївської області [6]: мінімальна 1,5 м/с, середня модальна – 3,8 м/с та максимальна – 8,4 м/с (для різних фракцій шламу – табл. 1) – зображено на рис. 3.

При мінімальній швидкості вітру 1,5 м/с для різних фракцій червоного шламу за гранулометричним складом

майже не відбувалось ($Q = 0,44 \pm 0,02$ кг/(м*с)) перенесення пилу зі шламосховища (рис. 3). Зі збільшенням v до 3,8 м/с (середня модальна швидкість вітру протягом року) та більше відбувалось значне підняття пилових частинок у повітря: так для фракції 1 – 67 ± 3 кг/(м*с), для фракції 2 – 77 ± 2 кг/(м*с), для фракції 3 – 80 ± 2 кг/(м*с).

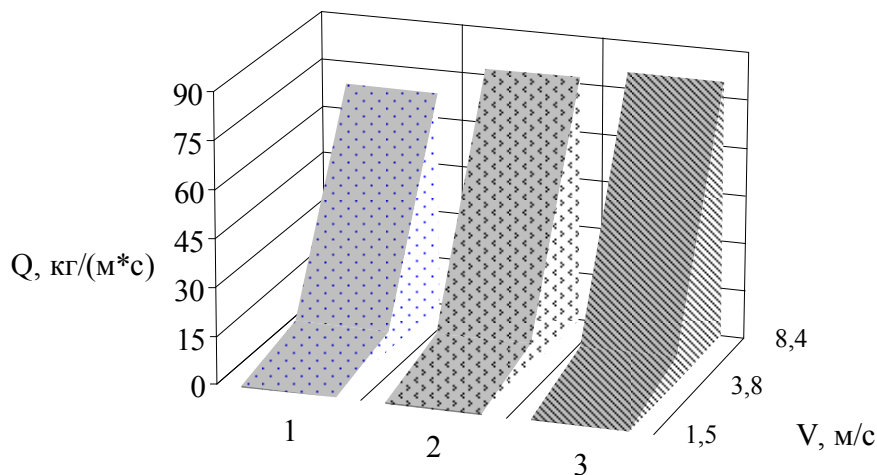


Рис. 3. Кількість піднятого пилу з поверхні шламосховища при різних швидкостях вітру (для різних фракцій шламу)

Максимальна кількість пилових частинок на шламосховищі підіймається при так званих пилових бурях [3], коли швидкість вітру досягає 8,4 м/с та більше – від 67 ± 7 до 80 ± 8 кг/(м·с).

За цими результатами визначення Q для різних фракцій червоного шламу та відносним вмістом кількості певної фракції у шламі визначено інтегральний показник інтенсивності вітрової ерозії червоного шламу $Q_{ч.ш.}$ (за усіма фракціями):

$$Q_{ч.ш.} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 k_i \cdot Q_i, \quad (4)$$

де $Q_{ч.ш.}$ – інтенсивність вітрової ерозії червоного шламу (за усіма фракціями), кг/(м·с); k_i – відносний показник кількості фракції i у шламі ($i = 1 \div 3$): $k_1 = 0.84$, $k_2 = 0.14$, $k_3 = 0.02$; Q_i – інтенсивність вітрової ерозії фракції i червоного шламу, кг/(м·с).

При мінімальній швидкості вітру 1,5-2,0 м/с перенесення червоного шламу з поверхні майже не

відбувалось ($Q = 0,68 \pm 0,02$ кг/(м·с)). Зі збільшенням v до 3,8 м/с (середня модальна швидкість вітру протягом року) та більше відбувалось значне підняття шламу у повітря: $2,5 \pm 0,2$ кг/(м·с). Максимальна кількість шламу переміщується при $v = 6,0-10,0$ м/с з виносом від 22 ± 5 кг/(м·с) до 43 ± 5 кг/(м·с) червоного шламу.

Прогнозування величини об'ємної концентрації пилу C , мг/м³ в приземному шарі атмосферного повітря за рахунок дефляційних процесів на шламосховищі здійснено для наступних умов: пилова поверхня складає 10 % від площі поверхні шламосховища; населений пункт знаходиться на відстані 5 км від шламосховища №1 МГЗ; тривалість дефляції t дорівнює 6 год; рівень захищеності хвостосховища від зовнішніх впливів: прийнято 4-бічну просторову відкритість хвостосховища; рівень вологості шламу не перевищує 1 %.

Результати прогнозування з урахуванням розмаху варіювання даних відображено на рис. 4.

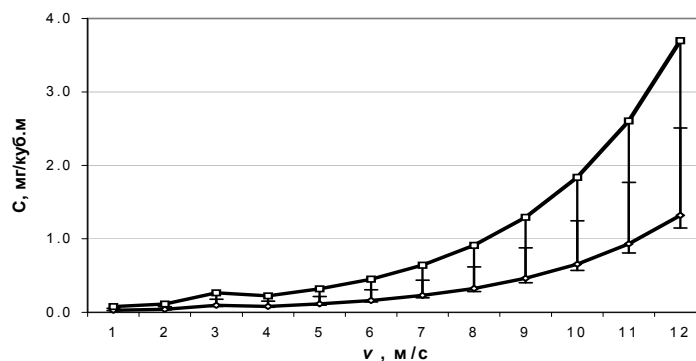


Рис. 4. Прогнозування поля об'ємної концентрації пилу C , мг/м³ у приземному шарі атмосферного повітря на відстані 5 км від хвостосховища МГЗ

Як видно з рисунку, величина гранично-допустимої концентрації пилу у повітрі населених пунктів ($0,5$ мг/м³) може досягатися вже при швидкості вітру $v = 6$ м/с.

Таким чином, за достатньо консервативними оцінками (при пиловій поверхні всього 10 % від усієї площі поверхні шламосховища та розташування населеного пункту за 5 км від шламосховища) простежується тенденція щодо формування небезпечної ситуації через забруднення пилом та екополутантами шламосховища приземного шару атмосферного повітря у районі прилеглих населених пунктів, що, в свою чергу, є джерелом потрапляння до людей надмірної кількості пилу зі шламосховища як інгаляційним, так і через харчовий шляхи внаслідок осідання пилу на поверхні сільськогосподарських угідь і подальшого переміщення за трофічним ланцюгом.

Висновки

Повсякденна вітрова ерозія в Південному регіоні України виникає при швидкостях вітру 3,5-6,0 м/с. При цьому протікає вона непомітно, проте є досить шкідливою, оскільки повільно і постійно руйнує поверхню. Наслідком цього є руйнування техногенно-порушених поверхонь, розповсюдження полутантів на прилеглі території.

За основними факторами, які визначають розвиток вітрової ерозії: індекс зволоженості поверхні – 0,793, кліматичний фактор території – 0,4-2,7 (максимум

восени і взимку), територія шламосховища знаходиться в поясі сильно вираженої дефляції. При критичній швидкості вітру для підйому червоного шламу 3,8 м/с кількість переміщуваного шламу складає $2,5 \pm 0,2$ кг/(м·с).

Розраховано, що для фракції $\varnothing < 0,064$ мм постійна вітрова ерозія спостерігається при середній швидкості вітру $4,0 \pm 0,5$ м/с з винесенням пилу 10 ± 3 кг/(м·с), для фракції $0,064 < \varnothing < 0,315$ мм постійна дефляція спостерігається при середній швидкості вітру $5,0 \pm 0,5$ м/с з винесенням пилу $7,6 \pm 0,2$ кг/(м·с), для фракції $\varnothing > 0,315$ мм при середній швидкості вітру $6,0 \pm 0,2$ м/с винесення пилу складає $16,5 \pm 0,3$ кг/(м·с). При максимальній (за час спостережень) швидкості вітру 10 м/с кількість піднятого пилу становила 136 ± 12 кг/(м·с).

Прогнозування об'ємної концентрації пилу в приземному шарі атмосферного повітря на відстані 5 км від шламосховища №1 червоних шлаків Миколаївського глиноземного заводу за рахунок дефляційних процесів на шламосховищі показало, що за достатньо консервативними оцінками (при пиловій поверхні всього 10 % від усієї площі поверхні шламосховища та розташування населеного пункту за 5 км від шламосховища) об'ємна концентрація пилу склала $0,08 - 3,7$ мг/м³, а рівень ГДК пилу у повітрі населених пунктів може досягатися вже при швидкості вітру 6 м/с.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бересневич П. В. Охрана окружающей среды при эксплуатации хвостохранилищ / Бересневич П. В., Кузменко П. К., Неженцева Н. Г. – Москва : Недра, 1993. – 123 с.
2. Гальперин А. М. Техногенные массивы и охрана окружающей среды. Изд. 2-е / Гальперин А. М., Ферстер В., Шеф Х. Ю. – Москва : МГГУ, 2001. – 534 с.
3. Мазур В. А. Екологічні проблеми землеробства / Мазур В. А., Горщар В. І., Конопльов О. В. – Київ : Центр наукової літератури, 2010. – 456 с.
4. Нохрина О. И. Образование пыли, окалины, шлама и их утилизация на металлургических заводах Германии / Нохрина О. И., Прошунин И. Е., Рожихина И. Д. // Stahl und Eisen. – 2006. – № 9. – С. 25-32.
5. Пашкевич М. А. Техногенные массивы и их воздействие на окружающую среду / М. А. Пашкевич. – СПб. : СПГТИ, 2000. – 230 с.
6. Смирнова Л. Ф. Ветровая эрозия почв / Л. Ф. Смирнова. – Москва : МГТУ, 1985. – 135 с.

Рецензенти: **Кутлахмедов Ю. О.**, д.б.н., професор;
Томілін Ю. А., д.б.н., професор.

© Огородник А. М., Григор'єва Л. І., 2012

Дата надходження статті до редколегії: 05.03.2012 р.

ОГОРОДНИК Анна Миколаївна – викладач кафедри біології та екологічної безпеки Чорноморського державного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: екологічна безпека, промислові хвостосховища, радіємність екосистем, дефляція поверхні техногенно-порушених екосистем.

ГРИГОР'ЄВА Людмила Іванівна – д.б.н., проф., зав. кафедри біології та екологічної безпеки, Чорноморський державний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: екологія людини, моделювання розповсюдження шкідливих речовин у навколишньому середовищі, міграція радіонуклідів у природних та штучних екосистемах.