

УДК 631.6:551.5

Громаченко С.Ю., аспірант, Корчик Н.М., к.т.н., доцент, Рокочинський А.М., д.т.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ОБҐРУНТУВАННЯ НОРМИ ВНЕСЕННЯ МЕЛІОРАНТУ-СОРБЕНТУ У КОМПЛЕКСІ ІНЖЕНЕРНО-МЕЛІОРАТИВНИХ ЗАХОДІВ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ

Розглянуто метод розрахунку норми внесення цеоліт-сметитового туфу у комплексі інженерно-меліоративних природоохоронних заходів.

Ключові слова: норма внесення, меліорант-сорбент, сміттєзвалища, полігони відходів, інженерно-меліоративні заходи.

Рассмотрен метод расчета нормы внесения цеолит-сметитового туфа в комплексе инженерно-мелиоративных природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: норма внесения, мелиорант-сорбент, свалки мусора, полигоны отходов, инженерно-мелиоративные мероприятия.

The method of calculation the adsorptive material (zeolite-smectite tuff) application rates in the complex of engineering land-reclamation measures have been considered.

Keywords: application rate, adsorptive material, waste dumps, sanitary landfills, engineering land-reclamation measures.

Проблема екологічно безпечного збереження відходів взагалі, зокрема твердих побутових відходів (ТПВ), у сучасних умовах лишається надзвичайно актуальною [1-7].

З урахуванням положень, викладених в [3-7], сміттєзвалища та полігони ТПВ, як технологічні та просторові об'єкти, відносяться до розповсюджених та складних природно-технічних систем (ПТС), а тому нерозривно пов'язані з об'єктами навколишнього природного середовища (НПС) та впливають насамперед на екологічний стан його компонентів: ґрунтів, підземних і поверхневих водних джерел, атмосферного повітря, біоти тощо.

Як свідчать дослідження Голованова А.І., Душкіна С.С., Сталінсько-го Д.В., Пантелят Г.С., Рубана М.С., Касімова О.М., Батішева В.В., Кияшкіна А.І., Довганя С.О., Слободяник М.С., Петренко О.В., Яцкова М.В., Варнавської І.В., Coles C.A., Yong R.N., Brown P.A., Wilmarth W. R. та інших вчених тривале накопичення побутових відходів на звалищах призводить до виникнення непередбачуваних фізико-хімічних та біохімічних процесів, продуктами яких є токсичні хімічні сполуки у рідкому, твердому та газоподібному станах [3-7, 9].

Поширення забруднення у НПС з об'єктів складування відходів визначається в основному водним режимом та процесами метаногенезу й адсорбції [8-9].

Результатом промивного водного режиму є виникнення та розповсюдження фільтрату (рідка фаза, що виділяється з відходів), а також поверхневих вод, які стікають з території сміттєзвалища або полігону ТПВ.

Детальний розгляд та аналіз принципів й підходів до прогнозування об'єму і режиму утворення фільтрату на основі водобалансових розрахунків у комплексі інженерно-меліоративних природоохоронних заходів при утилізації відходів показано в [2].

Результатом метаногенезу є викид в атмосферу численних сполук у газоподібному агрегатному стані (біогаз, аміак тощо) [3, 4]. У свою чергу, процеси адсорбції використовуються з метою забезпечення видалення забруднюючих речовин, що знаходяться як у рідкому, так і газоподібному стані. Оскільки штучні адсорбенти, такі як активоване вугілля, внаслідок високої вартості мають обмежену сферу використання, все більшу увагу науковців і практиків привертають відносно недорогі матеріали переважно природного походження, а саме торф, глинисті мінерали, латеритні, вапнякові ґрунти, природні цеоліти тощо [8, 11, 12].

У водогосподарсько-меліоративних дослідженнях вищезазначені речовини, поряд з традиційними меліорантами (вапно, гіпс), також використовуються для покращення водно-фізичних та фізико-хімічних властивостей насамперед системи ґрунт – ґрунтові води [11, 12].

Зрозуміло, що розробка на підставі досліджень практичних методів, у тому числі з використанням сорбційних технологій, очищення фільтраційного потоку, що розвантажується у ґрунтові води зі сміттєзвалищ та полігонів ТПВ, є завданням надзвичайно важливим та актуальним.

Оскільки наявні методи з визначення норм внесення меліорантів безпосередньо не можуть бути використані, тому що ґрунтуються на принципах аналітичної хімії, та через відсутність у традиційній меліорації усталеної практики застосування сорбційних технологій, що ґрунтуються на принципах колоїдної хімії, у розвиток наших досліджень [1, 2] щодо розробки комплексу інженерно-меліоративних заходів з метою запобігання забруднення природних екосистем, необхідно розробити метод розрахунку норми внесення меліоранту-сорбенту для нейтралізації забруднюючих речовин, що містяться у відвалах відходів та фільтраційному потоці.

При вирішенні даного завдання дисертаційного дослідження в якості меліоранту-сорбенту нами пропонується використання промислового відходу та побічного продукту видобутку базальту – цеоліт-смакитового туфу. Практично необмежені його запаси у Рівненсько-Волинському регіоні, невисока вартість, доволі високі адсорбційні, йонообмінні, фільтраційні властивості роблять економічно доцільним використання цього природного сорбенту в процесах очистки фільтрату, поверхневого стоку та дезодорації території скла-

дування відходів для запобігання забруднення природних екосистем [1, 2, 13].

Наукова новизна запропонованого підходу до екологічно безпечного збереження ТПВ полягає у заміні пасивного ізолюючого матеріалу, що традиційно використовується при захороненні відходів (грунт, глина тощо), на активний, що забезпечує локалізацію забруднення та його подальшу нейтралізацію шляхом поглинання (цеоліт-сметитовий туф).

Незважаючи на те що практичне використання природних сорбентів, а як наслідок і теоретичне фізико-хімічне обґрунтування їх раціонального використання у меліораціях, є питанням відносно новим, традиційним водогосподарсько-меліоративним залишається підхід щодо їх внесення у вигляді меліорантів.

Визначення норми внесення цеоліт-сметитового туфу у комплексі інженерно-меліоративних природоохоронних заходів вимагає створення розрахункової схеми, оскільки передбачає перерозподіл даного меліоранту-сорбенту за профілем об'єкта складування відходів. Такі розрахункові схеми необхідно розробити для двох типів природно-техногенних об'єктів, що розглядаються – для сміттєзвалища та полігону ТПВ.

Оскільки у складних ПТС чітко простежується структурний зв'язок виду *ефект – режим – технологія – конструкція*, то розробка комплексу інженерно-меліоративних заходів у цілому, та зокрема його складової частини щодо розробки методу розрахунку норми внесення меліоранту-сорбенту, має здійснюватися з урахуванням взаємозв'язку технологічних та технічних рішень на довготерміновій основі. За ознакою розподілу в часі між моментами прийняття і виникнення післядій таких рішень виділяють три взаємопов'язані «часових рівні» [14].

Створювані розрахункові схеми з визначення норми внесення цеоліт-сметитового туфу у комплексі інженерно-меліоративних заходів на сміттєзвалищах та полігонах ТПВ стосовно рівнів прийняття рішень у часі визначаються першими двома – проекту та експлуатації об'єктів складування відходів і розглядаються на довготерміновій основі (рис. 1).

Тут основною є схема розрахунку норми внесення меліоранту-сорбенту на стадії проекту сміттєзвалища від початку впровадження комплексу інженерно-меліоративних заходів до закриття об'єкту (рис. 2).

Виходячи зі складності задачі, що розглядається, вважаємо за доцільне розглядати норму внесення меліоранту-сорбенту як інтегральну характеристику, що визначається за формулою

$$m_c = \sum_{i=1}^3 m_i, \quad (1)$$

де m_c – загальна норма внесення цеолітового туфу у цілому для об'єкту складування відходів; m_i – складова загальної норми внесення цеолітового

ЧАСОВІ РІВНІ ПРИЙНЯТТЯ ТЕХНІЧНИХ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ
ПРИ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОМУ ЗБЕРЕЖЕННІ ТПВ
(розрахунок норми внесення меліоранту-сорбенту)

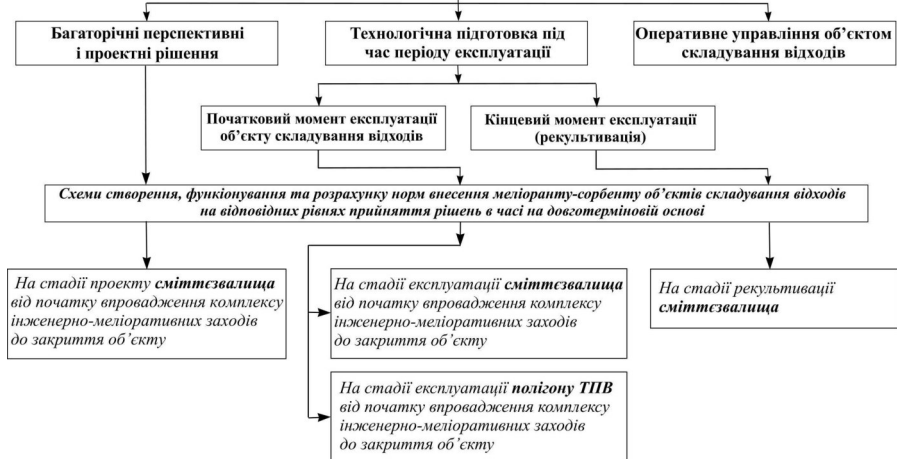


Рис. 1. Розрахункова схема з визначення норм внесення меліоранту-сорбенту у комплексі інженерно-меліоративних заходів стосовно рівнів прийняття рішень в часі

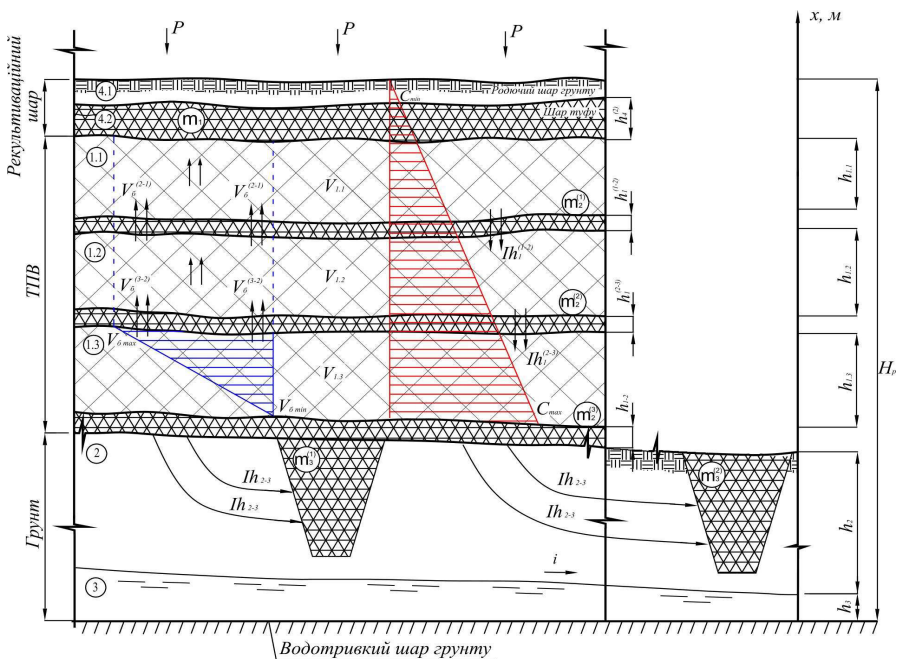


Рис. 2. Схема розрахунку норми внесення меліоранту-сорбенту на стадії проєкту сміттєзвалища

туфу для поглинання (очищення) біогазу та дезодорації повітря; m_2 – аналогічна складова норми внесення цеолітового туфу у шари сміття; m_3 – норма внесення цеолітового туфу у траншеї-поглиначі для очищення фільтраційного потоку.

Згідно [13] 1 кг цеоліту може адсорбувати до 100 г біогазу (CO_2 , NH_3 , CH_4) та до 400 г різних хімічних сполук.

Тому для поглинання цих газоподібних сполук, зокрема метану, у зоні розташування сміттєзвалища або полігону ТПВ норма внесення цеолітового туфу m_1 розраховується за удосконаленим нами виразом згідно [15]

$$m_1 = 0,7 \cdot 10 \cdot P_{ТПВ} \cdot K_{ОРГ} \cdot (1 - Z) \cdot K_P \cdot K_M, \quad \text{кг}, \quad (2)$$

де 0,7 – густина метану, кг/м^3 ; $P_{ТПВ}$ – загальна маса ТПВ, які складаються на полігоні, кг; $K_{ОРГ}$ – вміст органіки, що легко розкладається, в 1 т відходів ($K_{ОРГ} = 0,5 \dots 0,7$); Z – зольність органічної речовини ($Z = 0,2 \dots 0,3$); K_P – максимально можливий ступінь анаеробного розкладання органічної речовини за розрахунковий період ($K_P = 0,4 \dots 0,5$); K_M – вміст метану у біогазі ($K_M = 0,4 \dots 0,6$).

Норма внесення цеоліт-сметитового туфу для створення ефективних фільтраційно-акумулятивних екранів у вигляді дренажних траншей-поглиначів m_3 ґрунтується на механізмі адсорбції. Як правило цей механізм моделюється з використанням двохпараметричної ізотерми Г. Френдліха, яку можна представити у вигляді [8, 9, 10, 16]:

$$\frac{x}{m} = q_e = a \cdot C^{\frac{1}{n}}, \quad (3)$$

де $q_e = \frac{x}{m}$ – кількість речовини адсорбтиву x , що адсорбується масою m адсорбенту, C – залишкова концентрація розчину у рівноважному стані, a ,

n – константи, що визначають дослідним шляхом, причому $0 < \frac{1}{n} < 1$. Така ізотерма нелінійного вигляду Г. Фрейдліха широко використовується при геохімічних аналізах техноприродних ландшафтів, оскільки вважається найбільш достовірною при описі як багат шарової сорбції, так і сорбції на гетерогенних поверхнях [8, 9].

Дослідження з визначення ступеня очищення цеоліт-сметитовим туфом модельних розчинів з різними концентраціями забруднюючої речовини (кон-

центрації вибрані, орієнтуючись на аналізи реального фільтрату сміттєзвалища ТПВ) були проведені авторами на базі гідрохімічної лабораторії кафедри водопостачання та бурової справи НУВГП, а також хіміко-біологічної лабораторії Рівненської малої академії наук.

Підготовлені в ході досліджень модельні розчини в якості забруднювача містили йони Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Cr^{6+} . На нашу думку, поглинання йонів Cl^- здійснювалося активними центрами на поверхні адсорбенту за рахунок фізичної адсорбції, а поглинання йонів SO_4^{2-} за рахунок хемосорбції, оскільки останні здатні до комплексоутворення з групами різноманітної природи, зокрема Al^{3+} . Водночас спостерігалось незначне збільшення концентрації NO_3^- , що, мабуть, обумовлено йонообмінними властивостями цеоліт-сметитового туфу. Йони Cr^{6+} поглинаються туфом з модельного розчину при їх концентрації $3...5\text{мг} / \text{л}$, при цьому різниця початкової та залишкової концентрацій складає $\Delta C = 1...2\text{мг} / \text{л}$.

За результатами досліджень були встановлені залежності кількості речовини, яка адсорбується 1 г адсорбенту (цеоліт-сметитовий туф) від рівноважної концентрації при $T = const$ (рис. 3, 4).

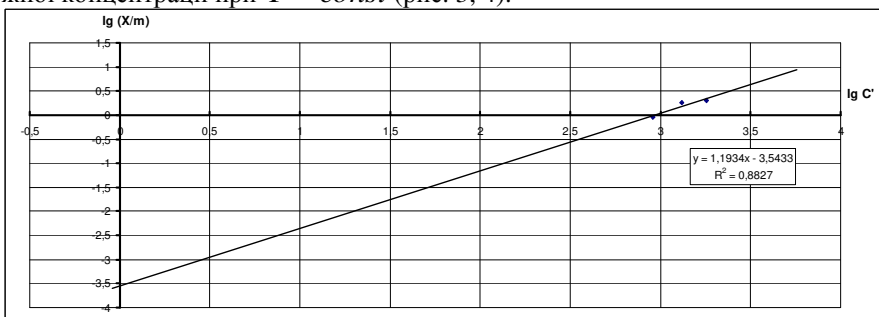


Рис. 3. Ізотерма адсорбції Cl^- у координатах $lg C' - lg \frac{X}{m}$

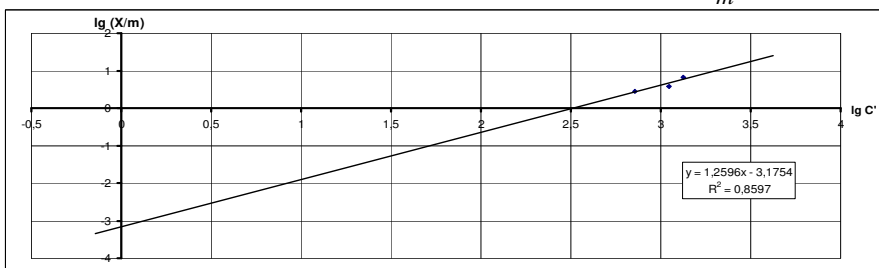


Рис. 4. Ізотерма адсорбції SO_4^{2-} у координатах $lg C' - lg \frac{X}{m}$

Аналіз літературних джерел [8-10, 16 та ін.] свідчить, що величини рівняння Г. Фрейндліха можуть визначатися у різних розмірностях, що створює певні труднощі у порівнянні значень параметру a .

Визначені емпіричні коефіцієнти рівняння Г. Фрейндліха, у відповідних розмірностях, отримані за результатами досліджень, наведені у таблиці.

Таблиця

Емпіричні коефіцієнти рівняння Г. Фрейндліха

	$a,$ $мг^{1-1/n} л^{1/n}$	$\frac{1}{n}$	$a,$ $мг^{1-1/n} кг^{-1} л^{1/n}$	$\frac{1}{n}$	$a,$ $ммоль^{1-1/n} кг^{-1} л^{1/n}$	$\frac{1}{n}$
	Cl^-	$2,86 \cdot 10^{-4}$	0,2586	3,4938	0,2309	$2,17 \cdot 10^{-3}$
SO_4^{2-}	$6,68 \cdot 10^{-4}$	0,2493	0,6677	0,5761	$1,312 \cdot 10^{-3}$	0,2679

Таким чином, норма внесення меліоранту-сорбенту у комплексі інженерно-меліоративних заходів для поглинання забруднюючих речовин із фільтраційного потоку m_3 може бути визначена наступним чином (на прикладі йонів Cl^-):

$$m_3^{Cl^-} = \frac{Vlh \cdot C}{1000 \cdot 2,86 \cdot 10^{-4} \cdot C^{0,2586}}, \text{ кг}, \quad (4)$$

де Vlh – об'єм фільтрату, л; C – рівноважна концентрація розчину (фільтрату), мг/л; 1000 – коефіцієнт переведення з мг/лг в мг/1кг; $2,86 \cdot 10^{-4}$ – параметр a , $мг^{1-1/n} л^{1/n}$; $0,2586 = 1/n$ – безрозмірний емпіричний коефіцієнт рівняння Г. Фрейндліха.

У зв'язку зі складністю процесів, що відбуваються у гетерогенному ґрунті масиву складування відходів, а також виходячи з умов експлуатації сміттєзвалищ та полігонів ТПВ, розрахунок норми внесення цеоліт-сметитового туфу у шари сміття m_2 у першому наближенні може бути здійснений на основі застосування екологічного правила 10% [17] та визначений як сума відповідних часток норм внесення m_1 та m_3 , тобто

$$m_2 = 0,1(m_1 + m_3), \text{ кг}. \quad (5)$$

Таким чином, норма внесення цеоліт-сметитового туфу в якості меліоранту-сорбенту у цілому для об'єкту складування відходів m_c розраховується як інтегральна характеристика, складовими якої є норми внесення відповідно для перехоплення біогазу m_1 , у шари сміття m_2 та у траншеї-поглиначі для очищення фільтраційного потоку m_3 .

Визначення емпіричних коефіцієнтів рівняння Г. Фрейндліха дало змогу

розрахувати величину m_3 , що, у свою чергу, сприяло визначенню m_c та вирішенню наукового завдання з розробки методу розрахунку норми внесення меліоранту-сорбенту у комплексі інженерно-меліоративних природоохоронних заходів при утилізації відходів. За результатами розрахунку для сміттєзвалища м. Остріг величина m_c складає 16,63 т/рік.

1. Рокочинський А. М., Громаченко С. Ю. Обґрунтування необхідності розробки комплексу інженерно-меліоративних заходів для запобігання забруднення природних екосистем полігонами та звалищами відходів // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. – Вип. 34. – Рівне: НУВГП, 2009. – 372 с.
2. Громаченко С. Ю. Водобалансові розрахунки природно-техногенних об'єктів // Еколого-збалансоване управління меліорованими ландшафтами: зб. мат. Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених. – Херсон: РВВ «Колос», 2010. – 160 с.
3. Голованов А. И., Пестов Л. Ф., Максимов С. А. Геохимия техноприродных ландшафтов. – М.: Изд. МГУП, 2006. – 203 с.
4. М. А. Попов. Инженерная защита окружающей среды на территории города. – М.: МГУП, 2005. – 231 с.
5. Сталинский Д. В., Пантелят Г. С., Рубан М. С. Технология обезвреживания сточных вод полигонов твердых бытовых отходов // Экология и промышленность. – 2004. – №1. – С. 38-39.
6. Касимов А. М., Семенов В. Т., Александров А. Н., Коваленко А. М. Твердые бытовые отходы. Проблемы и решения. – Харьков, ХНАГХ, 2006. – 301 с.
7. Яцков М. В., Варнаська І. В. Можливості застосування лужних реагентів для обробки фільтрату діючого полігону твердих побутових відходів // Вісник НУВГП. – Вип. 3(47). – Рівне, НУВГП, 2009. – С. 334-343.
8. Coles C. A., Yong R. N. Use of equilibrium and initial metal concentrations in determining Freundlich isotherms for soils and sediments // Engineering geology (85). – 2006. – Pp. 19-25.
9. Coles C. A. Estimating retardation from the Freundlich isotherm for modeling contaminant transport [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.engr.mun.ca/~ccoles/Publications/ICWEM-023.pdf>.
10. W. R. Wilmarth, J. T. Mills and V. H. Dukes. Desilication from DWPFF Recycle Using Ferric Flocculation // U.S. Department of Energy, Office of Scientific and Technical Information, P.O. Box 62, Oak Ridge, TN 37831-0062.
11. Клименко О. М., Мороз О. С. Особливості меліорації забруднених радіонуклідами ґрунтів Західного Полісся // Вісник УДАВГ. – Вип. №1 – Рівне: УДАВГ, 1997. – С. 73-76.
12. Веремеєнко С. І., Мороз О. С. Застосування суглинків, мергелів та туфів як меліорантів на землях, що забруднені радіонуклідами // Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний збірник. – Спецвипуск до V з'їзду агрохіміків та ґрунтознавців. – Харків, 1998. – С. 118-119.
13. Екологічно безпечне збереження твердих побутових та промислових відходів // Матеріали технологічного парку «Машинобудівні технології – Полісся». – Рівне, 2008. – 52 с.
14. Рокочинський А. М. Наукові та практичні аспекти оптимізації водорегулювання осушуваних земель на еколого-економічних засадах: монографія / за редакцією академіка УААН Ромашенка М. І. – Рівне: НУВГП, 2010. – 351 с.
15. ДБН В.2.4-2-2005. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування // Держбуд України. – К.: 2005. – 30 с.
16. Пebaлк В. Л., Варфоломеев Б. Г. и др. Адсорбционная доочистка буровых сточных вод // Химическая промышленность. – № 8. – М.: Химия, 1991. – С. 510-512.
17. Реймерс Н. Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы). – М.: Журнал «Россия молодая», 1994. – 367 с.

Рецензент: д.т.н., професор Ткачук М.М. (НУВГП)