УДК 628.472.3

ОЦІНКА ГЕОХІМІЧНИХ ЗМІН ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ПОЛІГОНАХ ПРОМИСЛОВО-ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Я.М.Семчук, І.В.Павленко, В.С.Павленко

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42196
e-mail: public@nung.edu.ua

Для решения задач текущей и прогнозной оценки геохимических изменений среды рекомендуется ввести систему показателей, характеризующих техногенную геохимическую нагрузку, относительный уровень загрязнения среды и его изменчивость. Так как предложенные в работе показатели нуждаются в апробации и дополнении, целесообразно кроме геохимических показателей использовать систему косвенных показателей загрязнения геологической среды на основании дистанционных методов и данных наземной геофизики. Указывается на необходимость учета для прогнозов загрязнения геологической среды в районах размещения промышленно-бытовых отходов не только квазистационарных воздействий геохимических нагрузок, но и возможности так называемых выбросов загрязняющих веществ. Поэтому прогнозная оценка подобного риска должна стать обычной процедурой при проектировании полигонов любых масштабов.

To solve the problems of current and proposing estimation of geochemical changes of the environment it is recommended in the article to introduce the system of indices which characterize technogenic geochemical loading, relative level of contamination and its changeability. Since the indices suggested need testing it is advisable to use geochemical indices alongside with the system of indirect indices of contamination of geological environment on the basis of the distance methods and ground geophysical data. It is also recommended when prognosticating to take into account contamination of geological environment in the areas of placement industrial and domestic wastes must not only kvazistationary influences of geochemical loadings but also possibility of the so-called discharges of contaminating substances. Therefore the prognosing estimation of a such risk must become a normal procedure when projecting sites of any scale.

Актуальність проблеми захоронення промислових та побутових відходів пов'язана не лише з їх постійно зростаючим об'ємом (близько 5% щороку) – досі не вирішено багато питань контролю та, особливо, прогнозу змін середовища на ділянках полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) (тобто спеціального моніторингу), в тому числі прогноз ризику так званих викидів забруднюючих речовин. Загалом розробка багатьох питань оцінки та прогнозу змін геологічного середовища під впливом інженерно-господарської діяльності людини знаходиться на початкових етапах – тут є багато незрозумілих та нерозв'язаних задач [1].

Розглянемо деякі з цих питань стосовно задач створення та функціонування полігонів промислово-побутових відходів. У більшості, випадків проблеми, які викликані складуванням відходів – це загальні проблеми техногенного впливу на природне середовище, але для полігонів частина їх є специфічною, пов'язаною з їх особливостями як природно-технічних систем. Тут переважає геохімічний вплив на навколишнє середовище, і у багатьох випадках існує реальний ризик раптового різкого зростання геохімічних навантажень. Зупинимося на цих двох аспектах.

Вибір місця під полігони промислово-побутових відходів та оцінка (поточна і прогнозна) їх впливу передбачають вивчення та врахування різних сторін природної та техногенної динаміки і властивостей геологічного середовища, включаючи характеристики (параметри) самого середовища, їх зміни в просторі та часі, характеристики розповсюдження забруднень їх складу та стану. Всі ці дані повинні визначати параметри полігону розміщення відходів та режими його експлуатації. Крім того, необхідно мати низку стандартних якісних та кількісних показників впливу полігонів на навколишнє середовище.

Це, окрім можливості оцінити інтенсивність впливу у кожному конкретному випадку, давало б змогу порівнювати окремі вогнища техногенного забруднення середовища, розв'язувати задачі класифікації, а також значно конкретизувало би задачі екологічного прогнозу, пов'язаного із створенням полігонів промислово-побутових відходів.

Як відомо, загальна методика прогнозу передбачає виконання низки операцій, в тому числі створення вихідної (базової) моделі, яка є системою показників та параметрів, що відображають характер та структуру об'єкта прогнозу [2].

Для ідентифікації ступеня забруднення геологічного середовища навколо полігонів промислово-побутових відходів, необхідно ввести і стандартизувати групи показників, серед яких, на наш погляд, найважливішими є такі групи:

1) часткові та загальні показники техногенного геохімічного навантаження;

2) модулі техногенного геохімічного забруднення;

3) градієнти техногенного геохімічного забруднення.

Часткові показники техногенного геохімічного навантаження – це нормалізовані по ГДК концентрації C_j основних компонентів забруднення, які містяться у тілі полігону,

$$P_i = \frac{C_i}{ГДК_i}. \quad (1)$$

Задача встановлення ГДК для різних ґрунтів і забруднюючих компонентів та їх стандартизації («гостування») розв'язана лише частково, тому пропонується у даному випадку використовувати однакові ГДК для води.

Загальний показник техногенного геохімічного навантаження визначається як

$$P_Г = \sum P_i \ . \quad (2)$$

Модуль техногенного геохімічного забруднення ґрунту визначається як

$$M_Г = \frac{\sum P_i \ell_n}{L}, \quad (3)$$

де: $\sum P_i$ – сумарний показник техногенного геохімічного навантаження за основними компонентами забруднення; ℓ_n – середні лінійні розміри полігону (у плані); L – середні лінійні розміри зони інтенсивного забруднення ґрунтів навколо полігону захоронення відходів.

Для звалищ «звичайного» складу ми пропонуємо визначати зону інтенсивного забруднення і оцінювати параметр по ізолініях концентрацій мікроелементів у ґрунті, що перевищують фонові значення більш ніж удвічі; залежно від типу звалищ не виключені й інші підходи до такої оцінки.

Градієнт техногенного геохімічного забруднення території визначається співвідношенням

$$J_Г = \frac{\Delta \sum C}{\Delta L}, \quad (4)$$

тобто є зміною концентрації основних компонентів забруднення $\sum C$ у пробах ґрунту, віднесену до відстані між точками опробування $\Delta \ell$.

У загальному випадку він змінюється у часі та з відстанню від границь полігону. Як показує досвід наших робіт, доцільно стандартизувати величину $\Delta \ell$, прийнявши її рівною 50 м, щоб врахувати випадкові варіації концентрацій забруднюючих речовин; з цією ж метою $\sum C$ визначається як середнє із 5-7 проб, відібраних на відстані декількох метрів одна від одної.

Вказані показники достатньо прості та наочні, і в той же час вони дозволяють підійти до розв'язку такої складної задачі, як кількісна оцінка чутливості середовища до техногенних геохімічних навантажень. Чутливість можна виміряти характерним лінійним розміром середовища або відрізком часу в межах якого показники забруднення змінюються в n раз (маючи на увазі математичне моделювання, зручно в якості n прийняти основу натуральних логарифмів e). Але це питання потребує спеціального перегляду з використанням теорії вимірювань, що виходить за рамки даної статті.

Як засвідчує вивчення полігонів промислово-побутових відходів України (табл. 1), для середніх і великих полігонів площею від 10 до 50 га, з потужністю шару відходів 10-30 м і радіусом зони інтенсивного геохімічного впливу до 800-1000 м модулі техногенного геохімічного забруднення складають зазвичай 7-10 од.

Для порівняно невеликих номіналів характерні модулі геохімічного забруднення порядку 4-5 од. Градієнти забруднення найбільше коливаються на різних ділянках в межах найближчої до тіла полігона зони – на відстані до 100-200 м. Тут ці градієнти складають від 0,07 до 0,15 мг/кг·м, іноді вони вищі, причому вони не залежать від величини звалища.

Починаючи з 300-500 м від меж середніх і великих полігонів, показники $J_Г$ поступово вирівнюються по різних полігонах і знижуються до 0,05-0,07 мг/кг·м, але все ще залишаються на 1-2 порядки вищими за звичайні фонові значення.

Наведені значення модулів техногенного геохімічного забруднення є порівняно невисокими: достатньо порівняти їх з даними по низці великих полігонів, розташованих на території США, де проблема забруднення середовища в багатьох районах набуває масштабів екологічної катастрофи. Так, для полігону Гренд-Айленд в штаті Небраска модуль геохімічного забруднення $M_Г$ становить близько 34,0 од; по звалищах Мідлекс (штат Нью-Джерсі) і Ніагара –ще більше – від 75 до 90 од. Це більш ніж в 7 раз вище, ніж на найбільших полігонах відходів України, і здебільшого за рахунок високотоксичних промислових відходів [3].

Проблеми, пов'язані з таким потужним геохімічними впливом на навколишнє середовище, настільки серйозні, що для подібних звалищ запропонований термін "екологічна бомба".

Враховуючи різноманітні масштаби і характер розподілу забруднюючих речовин між різноманітними компонентами і фазами геохімічного середовища, показники $M_Г$ і $J_Г$ необхідно відповідним чином диференціювати. Крім того, розглянута вище система показників техногенного геохімічного забруднення геологічного середовища володіє відомою "статичністю" і повинна бути доповнена показниками, що характеризують мобільність геохімічної обстановки. При цьому слід враховувати, що хоча положення фронту забруднення в вертикальному перерізі можна грубо апроксимувати рівнянням параболи, в зоні аерації переважає вертикальний масоперенос, а в зоні насичення – горизонтальний, переважно зумовлений адвекцією в підземному потоці.

Завдання розробки цієї групи показників найбільш складна, оскільки міграція забруднюючого компонента в геологічному середовищі (попри інтенсивність дисперсійного і адвектичного переносу) визначається інтенсивністю низки фізико-хімічних процесів, що призводять до зв'язування і деградації забруднюючих речовин. Врахування таких факторів доволі складне, тому, на нашу думку, тут більш перспективний "феноменологічний" підхід. Для оцінки змін техногенного забруднення в часі (перш за все для ґрунтів) доцільно використовувати, крім геохімічних, показники, що базуються на даних інших методів дослідження –

Таблиця 1 — Характеристика полігонів промислово-побутових відходів

Полігон	Кількість досліджених полігонів, шт.	Площа, га	Склад складованого матеріалу	Вік, років	Потужність відходів, м	Зона розповсюдження		Зона впливу полігонів ТПВ на			Орієнтовна зона впливу полігонів на навколишнє середовище
						гнильного запаху, км	диму при пожежах, км	поверхневі води, км	підземні води, км	ґрунти та рослинність, км	
Великий	6	до 50	Промислово-побутові	20-25	20-40	1,0-1,5	5-6	до 1,5	0,4-0,5	до 1,5	1,0-1,5
Середній	18	5-16	Промислово-побутові	10-15	5-10	0,2-0,5	1-1,5	до 1,0	0,2-0,5	до 0,5	0,5-1,0
Дрібний	40	0,5-4,0	1. Побутові відходи 2. Будівельні матеріали 3. Металургічні шлаки та інші промислові відходи	5-8	1-5	0,1-0,15	0,1-0,8	до 0,5	0,1-0,15	до 0,2	0,1-0,5

геофізичних [2] та дистанційних. Як свідчать дослідження, що проводились в ПГО «Аерогеологія», ґрунтово-рослинний покрив навколо звалищ володіє аномальними спектральними характеристиками; обробка матеріалів, багатозональних аерофотозйомок різних років дає змогу прослідкувати мобільність геохімічних техногенних ореолів.

Судячи з усього, доцільно, крім геохімічних, розробити систему комплексних показників забруднення геологічного середовища, використовуючи дистанційну інформацію та дані наземної геофізики.

Спільно аналізовані дані періодично (щоквартально) виконуваних хіманалізів ґрунтів та підземних вод, аерофотозйомок і наземних геофізичних вимірювань в межах спеціального моніторингу дають можливість достатньо повно оцінювати динаміку масопереносу маси в ґрунтах та підземній гідросфері на територіях складування промислово-побутових відходів, а також прогнозувати розповсюдження забруднень.

Однак подібні прогнози зазвичай виходять з припущення про нормальне функціонування полігону складування відходів; однак існують ситуації, пов'язані з ризиком порушення нормального функціонування полігонів і так званими викидами забруднюючих речовин в навколишнє середовище. Це в більшості випадків може призвести до серйозних порушень екологічної рівноваги і соціально-економічних збитків. Такі ситуації можуть виникнути, наприклад, тоді, коли полігон не відповідає своєму призначенню – слугує ізолятором шкідливих компонентів антропогенної активності, внаслідок прорахунків при виборі місця проектування і експлуатації полігона; і, зрештою, нормальний режим функціонування полігона може виявитися порушеним внаслідок природних (ерозія, зсуви, підтоплення і т.д.) або техногенних впливів.

Аналіз наявних в літературі даних про «аварії» на полігонах ТБО і ділянках складування відходів показує, що викиди найчастіше викликані неправильним вибором місця і порушенням правил експлуатації полігонів. При цьому адекватний вибір ділянки має вирішальне значення для безпечного функціонування звалища (чудовий приклад ілюстрації цих тез – відомий «викид» в Майлі-Сае. Існуюча методика пошуку для обґрунтування полігонів ТБО повинна бути доповнена роботами геохімічного характеру та дистанційними спостереженнями, що дають змогу спрогнозувати забруднення геологічного середовища і оцінити можливість «викиду».

Прогноз зараження геологічного середовища з врахуванням різноманітних впливів проводиться на базі спеціальної процедури, яку можна назвати «оцінка ризику». За кордоном в останні роки розробляються нормативи проектування звалищ, що включають в себе оцінку ризику їх руйнування з викидами забруднюючих речовин у навколишнє середовище. Зазвичай ця процедура (відповідно до загальної типової методики прогнозування) включає в себе ряд етапів:

1) Визначення об'єкта, мети і завдань оцінки ризику руйнування або серйозного порушення функцій системи, що вивчається – в даному випадку полігону розташування та ізоляції відходів;

2) Визначення компонентів системи, що вивчається, та взаємодії між ними та навколишнім середовищем;

3) Побудова схеми можливих аварій системи;

4) Оцінка ймовірності різноманітних аварійних ситуацій;

5) Визначення можливих наслідків аварії;

6) Оцінка результатів аварії в термінах «прийнятного ризику» та визначення можливості зниження його рівня;

7) Економічна і екологічна оцінка передбачуваних заходів, що можуть понизити ризик «викидів» та/або його наслідків.

Така процедура повинна бути звичною при оцінці ділянок захоронення як побутових, так і промислових відходів, а особливо – токсичних. Але, що стосується полігонів побутових і «звичайних» промислових відходів, то на сьогодні ці полігони (особливо стихійно виникаючі, «дикі») від викидів майже не захищені або захищені дуже слабко – оцінка ризику і належний захист не були передбачені вже на стадії вибору ділянки складування відходів.

Судячи з усього, при оцінці ризику викидів забруднюючих речовин в навколишнє середовище слід виходити з того, що абсолютно надійна ізоляція відходів неможлива, тому розраховувати слід лише на мінімізацію наслідків викидів. При цьому рівні порушення нормального функціонування полігону можна визначити так: I рівень – умовно надійна ізоляція відходів; II – наявність викидів з інтенсивністю менше ГДК, III рівень – наявність викидів з інтенсивністю більше ГДК.

В США використовуються такі оцінки частоти викидів (що відповідають в теорії надійності так званій частоті відмов) для кожного із вказаних вище рівнів безпечного функціонування звалищ:

I рівень – частота викидів $10^{-3} – 10^{-4}$, год$^{-1}$;

II рівень – частота викидів $10^{-4} – 10^{-5}$, год$^{-1}$;

III рівень – частота викидів $10^{-5} – 10^{-6}$, год$^{-1}$.

При оцінці ризику визначають ймовірність відмов системи, що розглядається, зумовлені технічними факторами (помилки проектування, обладнання та експлуатації полігонів) та природною обстановкою (можливість підтоплення, ерозії, просідань, зсувів, сейсмічних пошкоджень, змін властивостей порід, насичення ємності природних геохімічних бар'єрів тощо). Визначення цих ймовірностей ґрунтується на статистичній обробці експериментальних даних, на досвіді експлуатації, на аналізі аварій подібних систем, на результатах режимних спостережень (моніторингу), а також експертних оцінках.

Хоча при проектуванні полігонів за кордоном зазвичай рахують, що "відмови" (руйнування) окремих елементів системи (елементів ізоляції, екранування, дренажу) є незалежними, все ширше починає застосовуватися концепція умовних ймовірностей. В найбільш відповідальних випадках при проектуванні полігонів розташування небезпечних хімічних та радіоактивних відходів кількість розрахункових параметрів при оцінці ризику перевищує декілька десятків (включаючи кліматичні фактори, гідравлічні та теплофізичні характеристики порід, наявність та ємність геологічних, біологічних та геохімічних бар'єрів тощо). Однак, незважаючи на жорсткі вимоги законів про охорону навколишнього середовища, орієнтуються зазвичай на зручність обраної ділянки з технічної точки зору і низьку вартість захоронення відходів.

Особливе місце в процедурі оцінки ризику займає економічний аналіз, у якому співставляються альтернативні підходи до організації полігону складування відходів, порівнюються можливі екологічні та соціальні збитки і вартість заходів із забезпечення надійної ізоляції відходів. Зазвичай порівнюють 4-5 варіантів відносно збитків та затрат, у тому числі «нульовий» варіант (не передбачається ніякий захист від можливих викидів), найбільш надійний варіант (передбачені всі можливі заходи захисту від викидів та ліквідація їх наслідків), варіант з переносом полігону та низку інших варіантів, які забезпечують ту чи іншу ступінь локалізації забруднення геологічного (і навколишнього) середовища та дають можливість знизити витрати на природоохоронні заходи і технічну меліорацію ділянок звалищ.

Здавалося б, що повний прогноз змін геохімічної обстановки навколо полігону складування відходів (включаючи ситуації з монотонним та різким, у вигляді "викиду", зростанням геохімічних навантажень) повинен стати звичною процедурою при проектуванні полігонів будь-яких масштабів. Звичайно, що для таких прогнозів необхідно використовувати ЕОМ та різноманітні моделі зміни геологічного середовища, засновані або на експериментально отриманих функціях розповсюдження змін, або на теоретично виведених рівняннях стану геологічного середовища і масопереносу. Багато моделей вже розроблено, необхідна лише їх систематизація.

Висновки

У зв'язку з проектуванням і експлуатацією полігонів розташування промислово-побутових відходів для розв'язання задач поточної та прогнозної оцінки геохімічних змін середовища необхідно ввести систему показників, що характеризують техногенне геохімічне навантаження, відносний рівень забруднення середовища та його мінливість, розроблених на базі концептуальних або феноменологічних моделей. Запропоновані у роботі показники потребують апробації та доповнення. Отже, доцільно, окрім геохімічних, використовувати систему непрямих показників забруднення геологічного середовища на основі дистанційних методів і даних наземної геофізики.

Прогнози забруднення геологічного середовища у районах розташування промислово-побутових відходів повинні враховувати не лише квазістаціонарні впливи геохімічних навантажень, але і можливість так званих викидів забруднюючих речовин.

Прогнозна оцінка подібного ризику повинна стати нормальною процедурою при проектуванні полігонів будь-яких масштабів.

Література

1 Жигалин А.Д., Кофф Г.Л. и др. Проблемы техногенного физического загрязнения геологической среды больших городов // Инж. геология. — 1994. — № 6. — С.74-82.

2 Сидорова И.Я. и др. Географические методы при контроле за загрязнениями водоемов и подземных вод // Разв. геофизика. — 1995. — 28 с.

3 Трофимов В.Т. О ряде вопросов комплексной оценки и прогноза изменений геологической среды под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности человека // Комплексные оценки и прогноз техногенных изменений геологической среды. — М.: Наука. 1996. — С. 7-10.