

## ГЕОЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

УДК 504.06:662

### ПРОГНОЗ МІГРАЦІЇ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У ПІДЗЕМНІ ВОДИ З ХВОСТО- ТА ШЛАМОСХОВИЩ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

*Г. М. Ришов, канд. техн. наук, Н. А. Сидоренко, асп. (НТУУ "КПІ")*

*В статті определена концепція максимального використання даних натурних спостережень для прогнозу міграції забруднюючих речовин. Предложена модель прогнозу распространения забруднюючих речовин в зоні впливу хвосто- та шламосховищ. Розроблена математическая модель нестационарного планового масопереноса, оснований на методах конвективного масопереноса, молекулярной диффузии, гидродисперсии.*

Захист підземних вод від поверхневих забруднювачів є однією з найважливіших задач як в нашій країні, так і за кордоном.

Ця задача набуває особливої актуальності в районах накопичення стічних вод, якими є хвосто- та шламосховища гірничих підприємств. Як відомо, відповідальними за міграцію розчинних у воді забруднюючих речовин є процеси конвективної дифузії, що відбуваються у водоносних горизонтах [1]. Складовими частинами цього процесу є конвективний та дифузійний перенос забруднених ґрунтовими водами (з урахуванням гідродинамічної дисперсії). Таким чином, для прогнозу оцінки перерозподілу забруднювачів у зоні інфільтрації стічних вод у ґрунтові води потрібно визначити швидкість фільтрації, початковий стан розповсюдження забруднення, інтенсивність та щільність джерела забруднення. Слід відзначити, що розрахункова оцінка цих характеристик пов'язана з певними труднощами, обумовленими відсутністю повної і детальної картини гідрогологічної та гідрохімічної обстановки у зоні впливу джерела забруднення. Оскільки склад ґрунтових вод формувався в районі дослідження протягом багатьох років, то задача його розрахунку є досить проблематичною з точки зору достовірності результатів [1].

Тому для одержання достовірних результатів для прогнозу міграції забруднюючих речовин слід максимально використовувати наявні дані натурних спостережень, накопичені спеціалістами гірничих підприємств протягом кількох останніх років. Ця концепція може бути реалізована таким чином:

1) для складання короткострокового часового прогнозу вмісту забруднювачів у контрольованих свердловинах будуються регресійні моделі зміни за часом концентрації забруднювачів в окремих свердловинах з подальшою екстраполяцією на короткий період;

2) визначається детальна карта ізогіпс у зоні впливу гірничого підприємства шляхом двовимірної інтерполяції даних натурних спостережень за рівнями ґрунтових вод у свердловинах, розташованих у напрямку найбільш інтенсивного руху ґрунтових вод;

3) отримані дані використовуються для визначення швидкості фільтрації ґрунтових вод та міграції забруднювачів;

4) шляхом інтерполяції результатів вимірювання вмісту забруднювачів у свердловинах на всій території гірничого підприємства обчислюється поле концентрацій забруднювачів у певні моменти часу;

5) отримані результати розподілу забруднювачів у зоні впливу гірничого підприємства використовуються для визначення продуктивності джерела надходження забруднювачів у водоносний горизонт;

6) розрахунково-експериментальні дані про потужність і якість водоносного горизонту, швидкість фільтрації, початковий стан забруднень та продуктивність джерела забруднення використовуються як вхідні дані нестационарної моделі масопереносу забруднювачів, побудованої на базі рівняння конвективної дифузії. На основі цієї моделі складається довгостроковий прогноз міграції забруднюючих речовин.

Суттєвий вплив на результати та характер прогнозу розповсюдження забруднюючих речовин здійснює продуктивність джерела забруднення. Для його оцінки застосовуємо метод інтегрального балансу маси забруднювача у шламосховищі за певний проміжок часу  $(t_0, t)$ .

Тоді кількість забруднювача можна оцінити за формулою

$$f \approx \frac{1}{t-t_0} \int_{\Omega} [C(x, y, t) - C(x, y, t_0)] d\Omega + \int_S v_n C dS + \int_{\Omega} \lambda C d\Omega, \quad (1)$$

де  $C(x, y, t)$  – концентрація забруднювачів у момент часу  $t$ ;  $C(x, y, t_0)$  – концентрація забруднювачів у момент часу  $t_0$ ;  $\Omega$  – область масопереносу (ділянка шламосховища);  $S$  – межа області  $\Omega$ ;  $v_n$  – складова вектора швидкості фільтрації, нормальна до межі  $S$ .

Аналіз зміни з часом концентрації забруднювачів у водоносному горизонті у зоні впливу хвостосховища свідчить про те, що вказана часова залежність має немонотонний характер з вираженим максимумом і мінімумом. Оскільки джерело забруднення діє постійно, то часові коливання вмісту забруднювачів у ґрунтових водах, особливо в інтервалі його зменшення, можна пояснити впливом сезонних та випадкових коливань.

Перенос забруднювачів із поверхневого шламозбірника у ґрунтові води та їх розповсюдження за межі гірничого підприємства обумовлюється дією сукупності фізичних процесів, в першу чергу конвективного переносу, молекулярної дифузії та фільтраційної дисперсії.

Головним чинником переносу є конвективний перенос мігранта безпосередньо потоком ґрунтових вод.

Молекулярна дифузія – це молекулярно-кінетичний процес перемішування молекул внаслідок їх теплового руху і описується законом Фіка [2]:

$$q_{d,s} = -D_M \text{grad}C, \quad (2)$$

де  $C$  – концентрація мігранта;  $q_{d,s}$  – дифузійний потік у напрямку  $s$ ;  $D_M$  – коефіцієнт молекулярної дифузії у пористому середовищі.

Коефіцієнт  $D_M$  визначається такими залежностями:

$$D_M = \chi m D_M^0 \text{ (для піщаних порід);}$$

$$D_M = \chi \eta m D_M^0 \text{ (для глинистих порід),}$$

де  $\chi$  – параметр, що характеризує звивистість шляхів фільтрації у пористому середовищі ( $\chi = 0,25 \dots 0,7$ );  $m$  – ефективна пористість;  $D_M^0$  – коефіцієнт молекулярної дифузії у вільному середовищі, що має порядок  $10^{-4}$  м/добу;  $\eta$  – поправковий коефіцієнт для глинистих порід ( $\eta = 0,2 \dots 0,5$ ).

Фільтраційна дисперсія (конвективна дифузія, гідродисперсія) являє собою механічне розсіювання асоційованих із рідиною речовин при фільтрації в пористих середовищах.

Оскільки фільтраційна макродисперсія також підлягає закону Фіка (2), то потік можна описати за допомогою цього закону. При цьому коефіцієнт  $D$  конвективної дифузії залежить від швидкості фільтрації і має вигляд

$$D = D_M + \alpha_L V, \quad (3)$$

де  $V$  – модуль швидкості фільтрації;  $\alpha_L$  – поздовжня дисперсія пористого середовища.

Транспорт мігруючої речовини на фоні планової усталеної фільтрації з урахуванням впливу перерахованих вище факторів описується рівнянням [1, 2]:

$$\Theta \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial C}{\partial x} - v_x C \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial C}{\partial y} - v_y C \right) + f, \quad (4)$$

де  $\Theta$  – ефективна пористість;  $D_x, D_y$  – коефіцієнти конвективної дифузії у напрямку осей  $x$  і  $y$ ;  $f$  – питома продуктивність надходження забруднювачів до водоносного горизонту.

## Висновки

1. Розроблено концепцію максимального використання наявних даних натурних спостережень для прогнозу міграції забруднювачів.

2. Виконано оцінку факторів, які можуть суттєво впливати на результати і характер прогнозу розповсюдження забруднюючих речовин у ґрунтових водах у районі шламосховища з використанням просторово-часової інтерполяційної моделі.

3. Запропоновано модель прогнозу розповсюдження забруднень у зонах впливу хвосто- та шламосховищ.

4. Розроблено математичну модель нестационарного планового масопереносу, що ґрунтується на методах конвективного масопереносу, молекулярної дифузії, гідродисперсії.

1. *Ляшко И. И., Демченко Л. И., Мистецкий Г. Е.* Численное решение задач тепло- и массопереноса в пористых средах. – К.: Наук. думка, 1991. – 264 с.

2. *Бэр Я., Заславски Д., Ирмей С.* Физико-математические основы фильтрации воды. – М.: Мир, 1971. – 451 с.