

УДК 504.064

## ВПЛИВ ПРОЦЕСУ ФІЛЬТРАЦІЇ НА ЯКІСТЬ ҐРУНТОВИХ ВОД

Запорожець Ю.А.

## ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРАЦИИ НА КАЧЕСТВО ГРУНТОВЫХ ВОД

Запорожец Ю.А.

## INFLUENCE OF FILTRATION ON GROUNDWATER QUALITY

Zaporozhets J.

НТУУ «КПІ», м. Київ Україна

[kxtp@list.ru](mailto:kxtp@list.ru)

*У статті представляється фактори які впливають на параметри підземного масообміну, а саме на гідродисперсію, розглянуто модель фільтраційного процесу з незворотною хімічною реакцією першого порядку та отримано залежність коефіцієнта дисперсії від константи швидкості реакції.*

**Ключові слова:** фільтрація, ґрунтовий шар, ґрунтові води, математичне моделювання, фільтраційний процес, масообмін, кінетичні рівняння, забруднюючі речовини

*В статье представлены факторы, которые влияют на параметры подземного массообмена, а именно на гидродисперсию, рассмотрена модель фильтрационного процесса с необратимой химической реакцией первого порядка и получена зависимость коэффициента дисперсии от константы скорости реакции.*

**Ключевые слова:** фильтрация, грунтовый слой, грунтовые воды, математическое моделирование, фильтрационный процесс, массообмен, кинетические уравнения, загрязняющие вещества

*The article presents the factors that affect the parameters of the underground mass transfer, namely hydrodispersion, rasmotrina model of filtration process with an irreversible chemical reaction of the first order and the dependence of the dispersion coefficient of the reaction rate constant.*

**Keywords:** filtration, base coat (soil layer), groundwater, mathematical modeling, the filtration process, mass transfer, kinetic equation, the pollutants.

### Вступ

В останні роки в Україні відбулися значні зміни водного режиму як внаслідок дії багаторічних циклічних природно-кліматичних факторів, так і в результаті впливу несприятливих техногенних умов. Перш за все, ці зміни торкнулися гідродинамічного, фізико-хімічного, біохімічного і теплового режимів поверхневих і підземних вод, а також стану і складу ґрунтового шару.

Зміну режиму ґрунтових вод в ряді випадків стимулювало розвиток небезпечних гідрогеологічних процесів (підтоплення міських і сільських територій, промислових майданчиків та сільськогосподарських земель, забруднення ґрунтових вод і засолення родючих ґрунтів) і інженерно-геологічних процесів (таких як

просідання поверхні землі в результаті фільтраційної консолідації ґрунту, а також зсувні процеси, що провокуються надлишковим зволоженням і підтопленням ділянок схилу). Слід зазначити, що розвиток перерахованих явищ в густонаселених районах з високою концентрацією промислових об'єктів може привести до катастрофічних екологічних наслідків, які можуть проявитися в формі швидкоплинних процесів (практично миттєвих руйнувань) або протягом тривалого періоду часу у вигляді погіршення якості підземних вод (зміни їх складу), ґрунтового шару, що впливає на соціально-побутові умови проживання людей і становлять загрозу для їхнього здоров'я і життя.

### **1. Аналіз літературних даних і постановка задачі**

Починаючи з перших етапів вивчення особливостей руху рідини в пористому середовищі, присвячена значна кількість робіт. Також за останні десятиріччя збільшилась кількість робіт присвячених вивченню та дослідженню пористого середовища. Великий внесок в систематизацію інформації за геологічними та гідрогеологічними властивостями територій України зображено в роботах Абрамова І.Б. в яких автор представив розділення території України за основними схемами геофільтрації на чотири області і в середині них дев'ять районів [1].

Цілий ряд актуальних проблем державного значення пов'язаний з рухом рідин і газу в пористих середовищах. До таких проблем відносяться: водопостачання; видобуток енергетичної сировини (нафти і газу); проектування, будівництво та експлуатація гідротехнічних та гідромеліоративних споруд; боротьба з забрудненням та засоленням ґрунтовими водами сільськогосподарських площ і т.д. [2].

Рішення таких проблем вимагає розробки теорії фільтраційних процесів в моделях пористих середовищ, найбільш адекватних до природних умов. Процеси фільтрації нафти, газу, води відбуваються в пористих середовищах, які в залежності від своїх фізико-механічних властивостей відносяться до групи ізотропних або анізотропних ґрунтів. Ізотропним називаються ґрунти, фільтраційні властивості яких в кожній точці однакові в усіх напрямках. Анізотропними же називаються ґрунти, фільтраційні властивості яких в кожній точці різні в різних напрямках. Крім того, продуктивні природні пласти, що містять нафту і газ, проявляють не тільки ізотропні або анізотропні і однорідні або неоднорідності фільтраційні властивості, але вони майже завжди викривлені і мають змінну товщину. Саме тому дослідження математичних моделей двовимірної фільтрації в анізотропних, неоднорідних і багат шарових середовищах є актуальними. Використання таких моделей дасть змогу отримати об'єктивне уявлення про процес розповсюдження забруднених рідин в глибокозалегаючих горизонтах.

### **2. Математичне моделювання масообміну та мікрокінетики хімічних реакцій при фільтрації розчинів**

Задачі пов'язані з хімічним складом підземних вод часто зустрічаються при моделюванні процесів нафтовіддачі родовища нафти за допомогою закачування хімічних реагентів, а також при оцінці наслідків розповсюдження рідких забруднювачів в підземних водах.

Відмінною особливістю задач, пов'язаних з моделюванням міграції підземних флюїдів та супроводжуючих процесів, являється недолік геологічної та геохімічної інформації, а також важкі процеси які відбуваються в ґрунтовому шарі [3,4].

Для математичного моделювання процесу підземного масоперенесення, в тому числі процесу формування хімічного складу підземних вод має бути відома наступна інформація: механізм перебігу хімічних реакцій в системі; кінетичні коефіцієнти кожної реакції; фізичні та фізико-хімічні властивості порід та фільтруючих розчинів [5].

Метою даної роботи розглянути фактори які впливають на параметри підземного масообміну, а саме на гідродисперсію. Явище дисперсії домішок фільтраційним потоком аналогічно турбулентній дифузії. Хімічні реакції взаємодії потоку та пористого середовища мають свій вплив на дисперсію

В якості моделі пористого середовища приймаємо ланцюжок комірок ідеального перемішування. Основним є рівняння для ймовірності перебування частинки домішку в комірці. Припускається, що процеси в різних комірках незалежні одна від одної. Ефект дисперсії визначається результатом проходження частинкою досить великого числа комірок.

В межах описаних умов розглянемо математичну модель фільтраційного процесу з незворотною хімічною реакцією першого порядку  $A \rightarrow B$ . Ця модель являється розширенням моделі багатокомпонентної фільтрації [6,7]. Відмінною рисою цієї моделі є заміна рівняння матеріального балансу з урахуванням властивостей та процесів ґрунтового шару на рівняння з урахуванням хімічної кінетики.

Швидкість реакції  $\gamma$  описується рівнянням:

$$\gamma = -kC \quad (1)$$

де  $C$  – концентрація реагенту (речовини  $A$ ),  $k$  – константа швидкості реакції.

Рівняння конвективної дифузії з урахуванням хімічної кінетики:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \gamma \quad (2)$$

де  $D$  – коефіцієнт гідродисперсії,  $U = ql/V$  – середня швидкість течії в комірці,  $l$  – довжина комірки. Його рішення для випадку миттєвого точкового джерела на початку координат:

$$C(x, t) = \frac{M_0 l e^{-kt}}{V \sqrt{4\pi Dt}} \exp \left[ -\frac{(x - Ut)^2}{4Dt} \right] \quad (3)$$

де  $M_0$  – початкова кількість частинок, введених в першу комірку. Фізичний сенс співвідношення (3) наступний: в кожен момент часу домішок розподілено за нормальним законом, а множник  $e^{-kt}$  описує спад загального числа частинок за рахунок реакції.

В разі хімічної реакції першого порядку концентрація частинок, що виходять з  $n$ -ї комірки, зміняться з часом за законом:

$$C(n, T) = \frac{M_0 l e^{-kt}}{q \sqrt{2\pi n \sigma^2}} \exp \left[ -\frac{(t - \bar{t})^2}{2n \sigma^2} \right] \quad (4)$$

$$\sigma^2 = V^2 / (q + k)^2 \quad \bar{t} = V / (q + k)$$

де  $V$  – об'єм комірки;  $q$  – об'ємний потік, що проходить через комірку,  $\bar{t}$  – середній час перебування частки в комірці,  $\sigma^2$  – середньо квадратичне відхилення

$$D = \frac{ul}{2} \frac{1}{(1+k/q)^2} = \frac{D_0}{(1+k/q)^2}, \quad D_0 = \frac{ul}{2} \quad (5)$$

Співвідношення (5) показує, що протікання хімічної реакції в фільтруючому розчині призводить до зменшення коефіцієнта гідродисперсії.

Отже, вище показано, що включення в процес перенесення домішок фільтраційним потоком додаткового фактора – хімічної взаємодії – призводить до

ослаблення дисперсії. Фізично це означає, що флуктуації, що вносяться хімічними реакціями в поле концентрацій, корелюються з флуктуаціями, що вносяться випадковим полем швидкостей.

Для використання математичного моделювання фільтраційного процесу з урахуванням хімічної взаємодії більш високого порядку реакції потрібна велика кількість інформації, а саме більш детальний опис всіх процесів взаємодії між фільтруючим потоком та пористим середовищем та їхні фізичні та хімічні властивості, опис кінетичного рівняння з врахуванням всіх його факторів та властивостей.

### Висновки

Отже в роботі розглянуто фактори які впливають на параметри підземного масообміну, а саме на гідродисперсію. Виділено інформацію яка необхідна для математичного моделювання процесу підземного масоперенесення, в тому числі процесу формування хімічного складу підземних вод.

Виділено, що хімічні реакції взаємодії потоку та пористого середовища мають свій вплив на дисперсію. Розглянуто модель фільтраційного процесу з незворотною хімічною реакцією першого порядку  $A \rightarrow B$  та отримано залежність коефіцієнта дисперсії від константи швидкості реакції. Було математично доведено, що включення в процес перенесення домішок фільтраційним потоком додаткового фактора – хімічної взаємодії – призводить до ослаблення дисперсії.

А також виділено, що для використання математичного моделювання фільтраційного процесу з урахуванням хімічної взаємодії більш високого порядку реакції потрібно враховувати велику кількість інформації над якою ще потрібно працювати.

### Література

1. *Абрамов, И. Б.* Оценка воздействия на подземные воды промышленно-городских агломераций [Текст] / И. Б. Абрамов. — Харьков, 2007. — 285 с.
2. *Фрид, Ж.* Загрязнение подземных вод [Текст] / Ж. Фрид – М.: Недра, 1981.- 304с.
3. *Лаврик, В. И.* Математическое моделирование в гидроэкологических исследованиях [Текст] / В. И. Лаврик, Н. А. Никифорович. — Киев, 1998. — 287 с.
4. *Лаврик, В.И., Никифорович Н.А.* Вопросы математического моделирования процессов самоочищения подземных и поверхностных вод [Текст] / В.И. Лаврик // Гидромеханика. - Вып. 68.- К.: Наук. думка, 1994.- С. 36-40.
5. *Олійник, А. П.* Математичне моделювання фільтраційних процесів в задачах оцінки рівня та якості ґрунтових вод [Текст] / А. П. Олійник, Л. О. Штаєр, О. І. Клапоущак // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2013. — № 1/4(61). — С. 15–18.
6. *Бойко, Т. В.* Математичне моделювання міграції забруднюючих речовин у ґрунтах [Текст] / Т. В. Бойко, А. О. Абрамова, Ю. А. Запорожець // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2013. — № 6/4(66). — С. 14–16.
7. *Бойко, Т. В.* Моделирование массопереноса загрязняющих веществ в почвенном слое [Текст] / Т. В. Бойко, Ю. А. Запорожец // Технологический аудит и резервы производства — № 1/3(21), 2015, С. 8-11