

Я.М. Гумницький, В.В. Сабадаш, Л.О. Венгер
 Національний університет "Львівська політехніка",
 кафедра екології та охорони навколишнього середовища

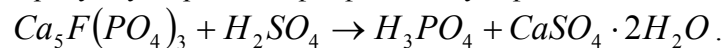
ДОСЛІДЖЕННЯ МІГРАЦІЇ МІНЕРАЛЬНИХ РЕЧОВИН У ҐРУНТОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ ЗА ПОСТІЙНОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ

© Гумницький Я.М., Сабадаш В.В., Венгер Л.О., 2009

Експериментально досліджено міграцію мінеральних речовин у ґрунтовому середовищі. Проведено узагальнення отриманих результатів дослідження.

Migration of mineral compounds in the soil environment is experimentally investigated. Generalization of the got results of research work is carried out.

Постановка проблеми. Україна належить до держав з високим рівнем негативних екологічних наслідків виробничої діяльності. Велику кількість мінеральних речовин, що є побічними продуктами гірничо-хімічного виробництва, складено у вигляді відвалів та зберігається у вигляді ропи у гідровідвалах та хвостосховищах. Під час виробництва фосфорної кислоти сірчанокислим способом як побічний продукт утворюється фосфогіпс – сульфат кальцію з домішками фосфатів:



На 1 т P₂O₅ у фосфорній кислоті залежно від сировини, що використовується, одержують від 3,6 до 6,2 т фосфогіпсу у перерахуванні на суху речовину (7,5–8,4 т у перерахуванні на двогідрат). Залежно від умов одержання фосфорної кислоти в осаді утворюється двогідрат CaSO₄ · 2H₂O, напівгідрат CaSO₄ · 0,5H₂O чи безводний сульфат кальцію, що й зумовлює відповідні назви продуктів – фосфогіпс, фосфонапівгідрат і фосфат-гідрит. Ці відходи являють собою сірий дрібнокристалічний порошок з вологістю близько 25–40 % (залежно від умов одержання фосфорної кислоти). У перерахуванні на суху речовину вони містять близько 94 % CaSO₄. Основними домішками у них є фосфати, що не відреагували, полуторні оксиди, сполуки фтору і стронцію, невідмита фосфорна кислота, органічні речовини. У них присутні сполуки стронцію, фтору, марганцю, молібдену, кобальту, цинку, міді, рідкоземельних та деяких інших елементів.

Основну масу фосфогіпсу, що утворюється, сьогодні скидають у відвали. Транспортування фосфогіпсу у відвали і його збереження пов'язані з великими капітальними й експлуатаційними витратами, що досягають 40 % від вартості спорудження й експлуатації основного виробництва, і ускладнюють роботу заводів. Сьогодні у відвалах підприємств колишнього СРСР знаходиться близько 275 млн. т фосфогіпсу і його кількість продовжує збільшуватися щорічно приблизно на 10 млн. т (у перерахуванні на двогідрат). За несприятливих умов та у разі аварійної ситуації є небезпека забруднення довкілля мінеральними речовинами. Важливим моментом є прогнозування масштабів та наслідків цієї ситуації для попередження розвитку екологічної катастрофи. Проблема боротьби з забрудненням ґрунтів набула глобального характеру, актуальна вона і для України. За структурою земельного фонду 2/3 території нашої країни зайнято землями сільськогосподарського призначення, з яких більш як 4,5 млн. га забруднені важкими металами і радіонуклідами. У зв'язку з цим постає необхідність організації і проведення ґрунтового моніторингу, тобто постійних спостережень, оцінки і прогнозування екологічного стану ґрунтів.

Мета роботи – дослідити механізм дифузії мінеральних речовин у ґрунтовому середовищі, а також визначити коефіцієнт дифузії компонента у дисперсній системі тверде тіло–рідина у стаціонарному режимі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У попередніх публікаціях наведено дані про міграцію компонентів мінеральних добрив та важких металів залежно від рН середовища, описано моделі масообмінного процесу у ґрунтовому середовищі за постійної концентрації компонента на поверхні ґрунту [2, 3]. Для оцінки міграції мінеральних добрив важливим моментом є математична інтерпретація процесу, що дає змогу реально розрахувати швидкість проникнення мінеральних добрив у докілья. Проникнення компонента з поверхні ґрунту по вертикальному профілю відповідає моделі процесу дифузії у напівнескінченному просторі [3, 4]. Процес дифузії мінеральних добрив за постійної концентрації компонента на поверхні ґрунту описано системою рівнянь (1):

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial \tau} = D\varepsilon \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2}; \\ C(0, \tau) = C_0; \\ \left(\frac{\partial C}{\partial Z}\right)_{Z \rightarrow 0} = 0; \\ C(Z, 0) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

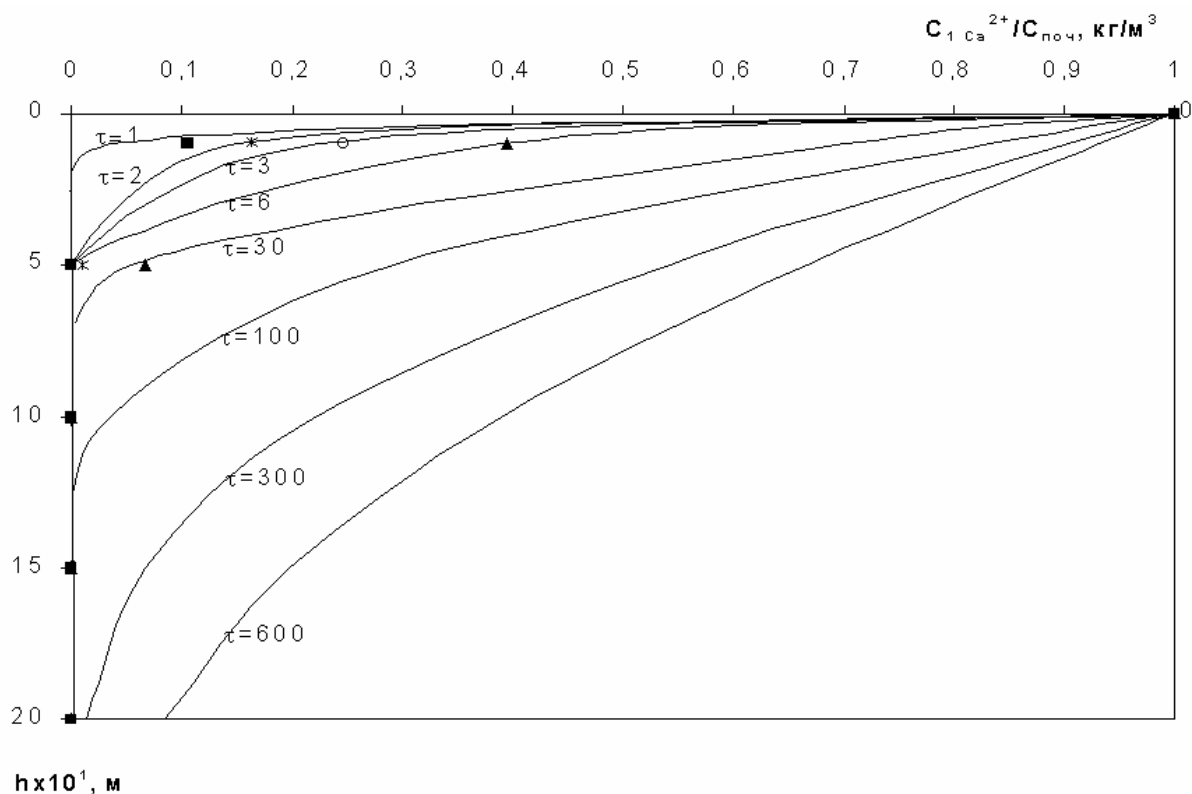
Розв'язком цієї системи буде рівняння [2]:

$$\frac{C}{C_n} = 1 - \operatorname{erf}\left(\frac{Z}{2D\varepsilon\sqrt{\tau}}\right). \quad (2)$$

Для дослідження механізму проникнення мінеральних речовин у ґрунтове середовище розглянемо таку ситуацію. За наявності на поверхні ґрунту компонента у порівняно великій кількості, особливо за умови малої його розчинності, спостерігатиметься поступове його проходження по профілю ґрунту [5, 6]. При цьому концентрація компонента на поверхні ґрунту буде постійною і дорівнюватиме концентрації насичення, тобто $C_n = C_s$. Для експериментального дослідження міграції компонента по профілю ґрунту на поверхню дисперсної системи, що імітувала ґрунт, вносили CaSO_4 в кількості 1 г/см^2 . Отже, враховуючи розчинність CaSO_4 $0,7 \text{ г/л}$, забезпечувалася постійна концентрація Ca^{2+} на поверхні ґрунту. Для визначення концентрації Ca^{2+} відбирали проби ґрунту на віддалі $Z = 0, 5, 10, 15$ та 20 см. Аналіз проводили комплексонометричним та іонометричним методами. Результати експериментальних досліджень наведено у вигляді графічної залежності (рис. 1). Беручи за основу розв'язок (2) цієї системи диференціальних рівнянь, було розраховано коефіцієнт дифузії Ca^{2+} у середовищі тверде тіло – рідина з пористістю $0,4 \text{ м}^3/\text{м}^3$ у стаціонарному режимі. Середнє значення коефіцієнта дифузії становило $1,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$. Побудувавши залежність $\frac{C}{C_n} = f(Z)$ за $\tau = \text{const}$, отримаємо розподіл

концентрації компонента на віддалі Z від поверхні ґрунту в момент часу τ (рис. 2). Процес масопередачі вивільненого компонента відбувається плавно, у вигляді так званого фронту дифузії, в зоні завдовжки $l = Z$, яка в умовах експерименту обмежується габаритними розмірами вимірювальної комірки. У початковий момент часу в усіх зонах вимірювальної комірки концентрація цільового компонента дорівнювала нулю.

Зміна фронту дифузії у часі являє собою криві розподілу концентрації вивільненого компонента в розчині, розміщеному в порах інертного середовища вздовж довжини l нерухомого шару вологого зернистого матеріалу, причому $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3 \dots < \tau_i$, де τ_i – час, що пройшов від початку експерименту. Отже, фронт дифузії компонента рухається в часі по усьому шарі інертного середовища. При цьому концентрація вивільненого компонента у міру віддалення від частинки плавно зменшується. Цей процес триватиме до вирівнювання концентрації вивільненого компонента безпосередньо біля частинки та на відстані l від неї, тобто до встановлення динамічної рівноваги системи.



Розподіл концентрації Ca^{2+} по профілю ґрунту за $t=const$: $\hat{\cdot}$ – $\tau=1$; * – $\tau=2$; \circ – $\tau=3$; Δ – $\tau=6$

Висновок. Важливим етапом цього процесу є те, що під час проходження фронту дифузії за значення критичної відстані від частинки, що характеризує зону поширення кореневої системи рослин, проходить так званий “проскок” вивільненого добрива, яке в подальшому буде вимите у підземні водоносні горизонти. Незважаючи на те, що згідно з експериментальними даними компонент доволі повільно проникає у підземні ґрунтові шари, у реальних умовах, крім молекулярної дифузії, існує конвективний масоперенос забруднювальних речовин та процес фільтрації ґрунтової води крізь мінеральну породу до підземних водоносних горизонтів.

Порівнюючи експериментальні та теоретичні дані та враховуючи значення середньоквадратичного відхилення $\delta=0$, %, можна говорити про задовільну збіжність результатів.

1. Атлас схем та технологій з дисципліни «Основи маловідходних технологій» для студентів спеціальності 8.090510 «Теплоенергетика» денної та заочної форм навчання / Укл. С.Х. Авраменко, В.М. Гуляев, О.Д. Горбунов. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007. – 82 с. 2. Люта О.В., Сабадаш В.В., Гумницький Я.М. Математичне прогнозування міграції компонентів у вертикальному профілі ґрунту // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції “Підвищення енергетичної ефективності харчових і хімічних виробництв”, м. Одеса. – Одеса. – 2007 – С. 202. 3. Гумницький Я.М., Люта О.В. Математичні моделі міграції компонентів добрив у ґрунтового середовищі // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2008. – Вип.32. – С.6–9. 4. Николаев Н.И. Диффузия в мембранах. – М.: Химия, 1980. – 232 с. 5. Akselrud G.A., Molczanow A.D. Rozpuszczanie ciał stałych. – Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. – 1981. – S.327 6. Аксельруд Г.А., Альциулер М.А. Введение в капиллярно-химическую технологию. – М.: Химия, 1983. – 264 с.