

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ МЕТОДИ РЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТУ ТА ҐРУНТОВИХ ВОД

Ю.І. Посудін, доктор біологічних наук

Розглядаються електрофізичні методи ремедіації ґрунту та ґрунтових вод. Надається критичний аналіз існуючих методів. Доведено, що електрофізичні методи характеризуються незаперечними перевагами, які обумовлюють їх широке застосування.

Ремедіація – це процес виведення забруднювачів з навколишнього середовища, зокрема з ґрунту, підземних, поверхневих вод та атмосфери з метою захисту здоров'я людини та довкілля. Слово *remedy* (від латин. *remedium* – лікувати) означає застосовувати щось, що знімає біль, лікує, або позбавляє порушень [1].

Є два підходи до ремедіації довкілля – *in situ* та *ex situ*. Перший підхід передбачає очищення середовища на місці; він більш дешевий та позбавлений ризику для персоналу, який реалізує цю технологію. Другий підхід ґрунтується на транспортуванні забрудненого середовища у спеціальні місця, де воно обробляється з метою очищення [3].

Ґрунт містить надзвичайно велику кількість металів та радіонуклідів, які знаходяться у розчинах завдяки різноманітним процесам сорбції або іон-обмінним реакціям. Основними забруднюючими речовинами є нафта, азбест (більш ніж 1 %), пестициди, діоксин, компоненти ракетного палива (перхлорати), леткі органічні сполуки, важкі метали.

Розчинені забруднюючі речовини мігрують у підземних водах, поступають у рослини чи водні організми. Найбільш поширеними неорганічними речовинами у ґрунті та підземних водах є свинець, хром, цинк, арсен, кадмій. На відміну від органічних забруднюючих речовин та короткоіснуючих радіонуклідів, метали вважаються консервативними речовинами, які не розпадаються у ґрунті. Хоча є метали, такі як миш'як та кадмій, які завдяки процесам перетворення та сорбції можуть змінювати свої рухливості та відносну токсичність.

Забруднення ґрунту призводить до руйнування екосистем, зменшення продуктивності сільського господарства, порушення харчових ланцюгів, захворюванням людей та тварин.

Незважаючи на користь, яку можна отримати від очищеного ґрунту, процедура ремедіації ґрунту часто сповільнюється через високу вартість та трудомісткість. Ґрунтові компоненти та забруднюючі речовини, які взаємодіють завдяки силам електричного притягання, дуже важко роз'єднати. Крім того, ґрунт є механічно густим середовищем, що ускладнює та здорожчує процес розкопування та транспортування ґрунту з метою подальшого очищення. Саме через це увага звертається до технології фіторемедіації.

Поширеним підходом є викопування забрудненого ґрунту. Але цей метод передбачає контакт робітників з забрудненим ґрунтом; він є коштовним, оскільки вимагає подальшої обробки ґрунту; він може застосовуватися для невеликих ареалів забруднення.

Недоліки: небезпека для робітників, що працюють з забруднюючими речовинами; забруднений ґрунт вимагає обробки, що характеризується високою вартістю; ця технологія може бути застосована для невеликих та неглибоких ділянок.

Дуже сумно, але близько 400 робітників гинуть щорічно та тисячі отримують поранення у США через інциденти з викопуванням ґрунту. Не слід забувати, що густина сухого ґрунту становить близько 1300 кг/м^3 ; отже 1 кубометр важить 1350 кг!

Поширеним є також метод накачування та обробки забруднених ґрунтових вод. Забруднена вода відкачується для подальшої обробки, тоді як замість неї у забруднену зону накачується чиста вода.

Замість води у ґрунт може накачуватися повітря; оскільки в'язкість повітря менша, ніж води, такий метод вимагає менше енергії та є менш коштовним.

Недоліки методу накачування та обробки:

1. Метод не завжди ефективний; рівень віддалення забруднюючих речовин залежить від хімічної природи цих речовин та геології простору, що обробляється; оптимальними умовами для застосування методу є мобільність та розчинність забруднень, мінімальна сорбція до оточення;

2. Серйозну проблему являє наявність у ґрунтових водах *рідин неводної фази (Non-Aqueous Phase Liquids або NAPL)*, густина яких перевищує густина води та які не змішуються та не розчинюються у воді. До цих рідин слід віднести ВТЕХ (скорочення термінів benzene, toluene, ethylbenzene та xylene) – суміш легких органічних сполук, що знайдені у нафтопродуктах та бензин, які менш густі, ніж вода; а також трихлороетан та хлорбензол, густина яких більша, ніж у води. Ці рідини захоплюються порами ґрунту та розглядаються як довготривалі джерела забруднення. Всі ці сполуки знайдено у багатьох водоносних шарах США;

3. Забруднення, що знаходяться у вадозній (ненасиченій) зоні не підлягають відкачуванню; після припинення відкачування води мігрують у водоносний шар.

Вартість методу відкачування та обробки варіює від 50000 до 5 мільйонів доларів США, хоча в екстремальних випадках витрати можуть бути більшими.

У цілому, варто зазначити, що ефективність методу не дуже висока: лише дві третини рідин неводної фази вилучаються з водоносного шару; навіть прискорена промивка підвищує ефективність цього процесу до 50 – 80 %.

Мета дослідження – розгляд основних принципів і технічної реалізації ремедіації ґрунту та ґрунтових вод на основі електрофізичних методів становить основну мету даної роботи.

Матеріали та методика дослідження. *Метод електричного нагрівання ґрунту.* В основі цього методу лежить нагрівання забрудненого ґрунту або ґрунтових вод, що призводить до руйнування летких органічних сполук, а також густих та легких рідин неводної фази [3].

З метою інтенсифікації десорбції (фізичного відділення від ґрунту), звітрювання (утворення летких речовин) та випаровування забруднюючих речовин використовують нагрівання забрудненої зони електричним або радіочастотним способом.

Електричний спосіб передбачає використання теплоти, що виділяється у провіднику у процесі проходження ним електричного струму. Ця кількість теплоти пропорційна квадрату сили струму, опору провідника та часу проходження струму. Нагрівання забезпечується електродами, що занурюються у ґрунт навколо центрального електрода. Отже, вся ділянка ґрунту пронизується електричними струмами, направленими від периферійних електродів до центрального. Температура ґрунту при цьому підвищується до 100-150 °С. Слід зазначити, що такий спосіб забезпечує швидку (менш ніж 40 днів) ремедіацію ґрунту, хоча вимагає витрат на енергію, через що є більш коштовним.

Радіочастотне нагрівання забезпечується вертикально розташованими електродами, що оточують забруднену зону та утворюють конденсатор. Прикладання напруги до електродів викликає нагрівання до 300 °С.

Переваги:

- метод може бути застосований для будь-яких ґрунтів;
- можливість проводити ремедіацію під будівлями;
- після закінчення процесу нагрівання, ґрунт залишається нагрітим довгий час (місяці або роки), що сприяє біоремедіації.

Електрокінетичний метод. В основі електрокінетичних методів лежить збільшення рухливості забруднюючих речовин за рахунок прикладання електричних полів: у забруднену зону занурюються металеві електроди, до яких прикладена напруга 50 – 150 В (рис. 1). Відрізняють такі електрокінетичні методи як [2, 4, 5,6, 7]: *електроосмос* – це рух води (вологи) у ґрунті під впливом прикладеного електричного поля; *електрофорез* – це рух твердих частинок або краплин, завислих у електроліті, під впливом прикладеного електричного поля; *електроміграція* – це перенесення іонів або іонних комплексів до електроду протилежного заряду.

Електрокінетичні методи застосовуються для очищення ґрунту від важких металів, радіонуклідів, нітратів та сульфатів, залишків нафтопродуктів.

Ці методи успішно використовуються для очищення ґрунтів з високим рівнем вологості, глини; вони характеризуються невисокою собівартістю.

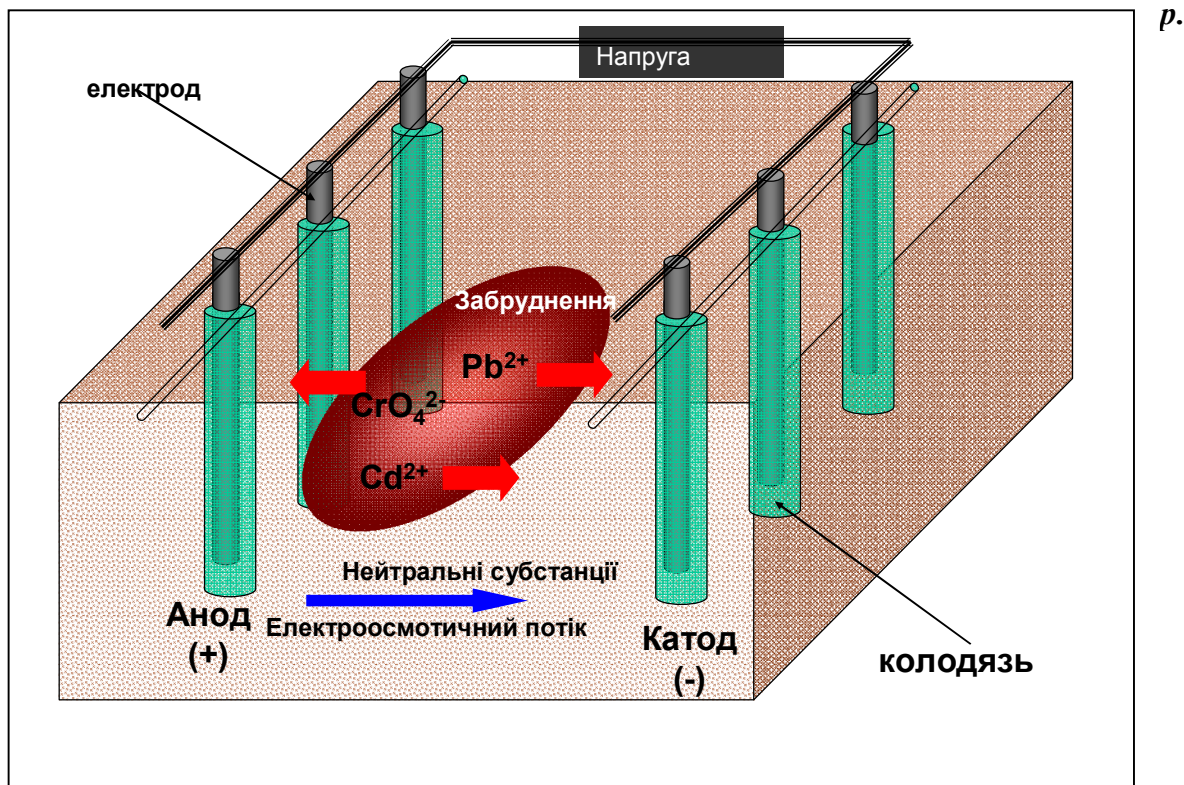


Рис. 1. Електрокінетичний метод ремедіації

Метод електрокінетичної ремедіації дає можливість віддаляти з ґрунту такі забруднювачі як важкі метали, радіоізотопи (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{60}Co , уран), токсичні аніони (нітрати та сульфати), рідини неводної фази, ціаніди, вуглеводні нафтопродуктів (дизельне паливо, бензин, керосин), вибухові матеріали.

Переваги:

- характеризується високою ефективністю;
- віддаленню підлягає багато різних забруднюючих речовин;
- можливість обробляти ґрунти з низькою проникністю (глину);
- можливість застосування як у насиченій, так і в ненасиченій зонах;
- невисока собівартість.

Висновки

Електрофізичні методи ремедіації ґрунту і ґрунтових вод характеризуються незаперечними перевагами, які обумовлюють застосування цих методів для позбавлення ґрунту і ґрунтових вод від таких забруднюючих речовин, видалення яких неможливо за допомогою традиційних методів.

Список літератури

1. Посудін Ю.І. Моніторинг довкілля з основами метрології. Підручник. – К.: Printline, 2012.–432 с. <http://www.ekmair.ukma.kiev.ua/handle/123456789/1568>

2. Acar, Y. B., and Alshawabkeh, A. N. (1993). "Principles of electrokinetic remediation." *Environ.Sci.Technol.*, 27(13), 2638.

3. Artiola J.F. *Environmental Monitoring and Characterization/* Artiola J.F., Pepper I.L., Brusseau M.L. Elsevier Academic Press, San Diego, 2004. – 410 p.

4. De Battisti, A., and Ferro, S. (2007). Electrokinetic remediation. *Electrochem Acta.* 52(10), 3345.

5. Pacific Northwest Laboratory., (U.S.), and United States. (1994). "In situ soil remediation using electrokinetics." Pacific Northwest National Laboratory (U.S.) ;distributed by the Office of Scientific and Technical Information, U.S. Dept. of Energy, Richland, Wash. :Oak Ridge, Tenn.. – 34 p.

6. Reddy, K. R., Cameselle, C., (2009). *Electrochemical remediation technologies for polluted soils, sediments and groundwater.* Wiley, Hoboken, N.J.

7. Virkutyte J. Electrokinetic soil remediation – critical overview/ Virkutyte J., Sillanpää M. *Sci Total Environ.* 2002. – Apr 22. – 289(1-3). – P.:97 – 121.

The electrophysical methods of soil and groundwater remediation are discussed. A critical analysis of existing methods is proposed. It is shown that electrophysical -methods have undeniable advantages that lead to their widespread use.

Рассматриваются электрофизические методы ремедиации почвы и грунтовых вод. Предоставляется критический анализ существующих методов. Показано, что электрофизические методы характеризуются неоспоримыми преимуществами, которые обуславливают их широкое применение.