

Попередні результати дослідження демонструють зворотну залежність між концентрацією забруднювачів та показниками біорізноманіття. На ділянках з високим рівнем забруднення спостерігається зниження кількості видів на 40-60% порівняно з контрольними ділянками. Найбільш чутливими до забруднення виявились представники сапрофагів та хижих членистоногих, тоді як окремі види мікроорганізмів демонстрували резистентність до певних типів забруднювачів. Структурні зміни у ґрунтових екосистемах призводять до порушення важливих екосистемних процесів, зокрема розкладу органічної речовини та кругообігу поживних елементів.

Хімічне забруднення ґрунтів становить значну загрозу для біорізноманіття і функціонування екосистем. Дослідження підтверджує необхідність комплексного підходу до оцінки екологічного стану територій з урахуванням як хімічних, так і біологічних показників. Подальше вивчення механізмів впливу забруднювачів на біорізноманіття дозволить розробити ефективні стратегії відновлення та охорони екосистем в умовах антропогенного навантаження.

Перелік використаних джерел

4. Edwards, C. A. (2002). Assessing the effects of environmental pollutants on soil organisms, communities, processes and ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, 38(3-4), 225-231.

5. Wang, X., Teng, Y., Wang, X., Xu, Y., Li, R., Sun, Y., ... & Luo, Y. (2022). Effects of combined pollution of organic pollutants and heavy metals on biodiversity and soil multifunctionality in e-waste contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 440, 129727.

6. Cristiano, W., Giacoma, C., Carere, M., & Mancini, L. (2021). Chemical pollution as a driver of biodiversity loss and potential deterioration of ecosystem services in Eastern Africa: A critical review. *South African Journal of Science*, 117(9-10).

УДК 543.632:620.3

Марич Тарас аспірант кафедри
технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці
Андрій Коцюбинський к.фіз-мат.н. доцент кафедри
технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці
Галина Грицуляк д.с-г.н. професор кафедри
технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТНИХ НАНОЧАСТИНОК ДЛЯ ДЕТЕКЦІЇ ЗАБРУДНЮВАЧІВ У ҐРУНТІ

Забруднення ґрунтів важкими металами та органічними сполуками становить серйозну загрозу для екосистем і здоров'я людини. Швидка та

точна детекція забруднювачів у ґрунті є важливим завданням сучасної екологічної аналітики. Магнітні наночастинки завдяки своїм унікальним властивостям (малий розмір частинок, велика питома поверхня, хороша дисперсність і сильна магнітна сприйнятливість) є перспективним інструментом для вирішення цього завдання.

Основні типи МНЧ, що застосовуються для детекції забруднювачів у ґрунті: Fe_2O_3 , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, а також модифіковані наночастинки з покриттями з оксиду алюмінію ($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$), діоксиду кремнію ($\text{Fe}_2\text{O}_3@\text{SiO}_2$), молекулярно імпринтованих полімерів (МІП) та іонних рідин. Методи підготовки МНЧ включають співсаджання, високотемпературний піроліз, мікроемульсійний метод та біоміметичну мінералізацію. Для детекції забруднювачів використовується магнітна твердофазна екстракція з подальшим аналізом методами хроматографії, атомно-абсорбційної спектроскопії або мас-спектрометрії.

Аналіз літературних даних показує, що МНЧ мають високу ефективність при детекції широкого спектру забруднювачів у ґрунті: важких металів (Pb, Cd, Cr, As), пестицидів (сульфонілсечовини, триазини), поліхлорованих біфенілів та інших органічних забруднювачів. Особливу увагу привертають біосенсиори на основі МНЧ, які дозволяють безпосередньо оцінювати біологічну токсичність забруднених ґрунтів. Технологія магнітних нанобіосенсорів ґрунтується на комбінації МНЧ з генетично модифікованими мікроорганізмами (наприклад, *Escherichia coli* ADPWH recA та люмінесцентними бактеріями).

Перевагою цього підходу є можливість виділення сенсора з ґрунтової суміші за допомогою магнітного поля без додаткових етапів центрифугування чи фільтрації, що зменшує вплив ґрунтових частинок та підвищує точність аналізу. Магнітні наночастинки мають значний потенціал застосування у детекції забруднювачів ґрунту завдяки таким перевагам: 1) висока ефективність адсорбції; 2) легке магнітне розділення; 3) можливість багаторазового використання; 4) високі коефіцієнти концентрування цільових аналітів.

Найперспективнішим напрямком є розробка комбінованих систем на основі МНЧ та мікроорганізмів, які дозволяють безпосередньо вимірювати біотоксичність забруднених ґрунтів. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку МНЧ з вищими показниками відновлення в ґрунті та удосконалення методів їх модифікації для підвищення специфічності та чутливості детекції.

Перелік використаних джерел

1. Lou, X.Y.; Boada, R.; Verdugo, V.; Simonelli, L.; Pérez, G.; Valiente, M. Decoupling the adsorption mechanisms of arsenate at molecular level on modified cube-shaped sponge loaded superparamagnetic iron oxide nanoparticles. *J. Environ. Sci.* 2022, *121*, 1–12.
2. Singh, A. et al. (2021). Fast removal of heavy metals from water and soil samples using magnetic Fe_2O_3 nanoparticles.

3. Guo, M.; Huang, K.; Xu, W. Third generation whole-cell sensing systems: Synthetic biology inside, nanomaterial outside. *Trends Biotechnol.* 2021, 39, 550–559.

УДК 628.4:691:504.05

Марцінковська Б.І., здобувачка 2 курсу
спеціальності «Екологія»
ВСП «Івано-Франківського фахового коледжу ЛНУП»
Федорко Н.Б., викладач
ВСП «Івано-Франківського фахового коледжу ЛНУП»

ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ В БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛАХ ЯК СПОСІБ ЗНИЖЕННЯ ВУГЛЕЦЕВОГО СЛІДУ

Будівельна галузь є одним із головних джерел викидів парникових газів, зокрема вуглекислого газу (CO₂), а також значним споживачем природних ресурсів. Будівництво, разом із експлуатацією будівель, спричиняє близько 40% глобальних викидів парникових газів. Значна частина цих викидів є результатом споживання енергії, яка використовується у процесах опалення, охолодження, вентиляції та освітлення будівель. У сучасних умовах стрімкого техногенного навантаження на довкілля актуальним постає питання впровадження інноваційних екологічних та енергоефективних рішень. Одним із таких напрямів є використання вторинної сировини у виробництві будівельних матеріалів, що дозволяє зменшити як обсяги відходів, так і загальну енергетичну вартість матеріалів. Тому дослідження можливостей зменшення вуглецевого сліду у будівництві шляхом заміни традиційної сировини вторинними матеріалами, які отримуються шляхом переробки промислових та побутових відходів є досить актуальним питанням сьогодення [1].

Встановлено, що такі відходи, як зола вугільних електростанцій, склобій, пластикові пляшки, полімерні пакування, а також уламки бетону, можуть ефективно використовуватись у виробництві цементу, цегли, блоків, плит та інших будівельних виробів. Сталь та бетон мають високий вуглецевий слід через енергоємні виробничі процеси. Використання вторинної сировини, такої як металевий брухт та альтернативні в'язучі, може значно зменшити ці викиди.

Наприклад, використання золи замість цементу дозволяє знизити викиди CO₂ на 30–40%. Одним з найбільш перспективних напрямків утилізації золошлакових відходів є виробництво з них пористих заповнювачів для легких бетонів. Дрібний заповнювач може бути замінений золою. Як великі заповнювачі застосовують щебінь з паливних шлаків, аглопорит на основі золи, зольний випалювальний і безвипалювальний гравій і глинозольний керамзит. Розроблено технологію виробництва високотемпературної