

## МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЗЕМЕЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ

*Андрусенко Максим, здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти факультету геодезії, землеустрою та агроінженерії, Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна*

*Науковий керівник: Мартинова Олена, к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій, Одеський державний аграрний університет, м. Одеса, Україна*

**Актуальність.** Дистанційне зондування землі (ДЗЗ) наразі є основним інструментом глобального моніторингу. Цей метод базується на реєстрації електромагнітного випромінювання, відбитого землею або поверхнею рослинності. Супутникові системи та датчики на безпілотних літальних апаратах (БПЛА) записують дані у видимому, інфрачервоному та мікрохвильовому діапазонах. Це дозволяє екологам оцінювати стан великих територій без фізичного відбору проб, значно знижуючи витрати. Основним показником є спектральні індекси, які дозволяють виявляти деградацію рослинності, ерозію ґрунту та навіть ранні стадії опустелювання задовго до того, як ці зміни стануть помітними неозброєним оком [3].

**Мета.** Впровадження фізичних методів у систему моніторингу екологічного стану земель є життєво важливим кроком у переході до моделі сталого землекористування. Використання дистанційного зондування, електромагнітного сканування та радіометрії дозволяє перетворити традиційний моніторинг з фрагментованого та трудомісткого процесу на інтелектуальну та безперервну систему управління.

**Матеріали і методи.** Традиційні хімічні методи моніторингу земель мають певні недоліки:

- 1) хімічні реагенти, які застосовують для аналізу ґрунтів, мають високу вартість, і відходи потребують в подальшому утилізації;
- 2) підготовка проб (відбір, транспортування, просіювання, екстракція) і виконання аналізів виконується вручну;
- 3) охоплення для аналізу невеликих площ внаслідок високої вартості реагентів і браку часу.

Визначено, що фізичний спектральний аналіз надає результати за лічені хвилини безпосередньо в польових умовах [4]. Це значно прискорює моніторинг.

Спектроскопія ближнього інфрачервоного (NIR) та середнього інфрачервоного (MIR) діапазонів дозволяє кількісно оцінити хімічний склад ґрунту за його фізичними властивостями. Кожна молекулярна сполука в ґрунті має свій унікальний «відбиток» поглинання енергії.

Аналізуючи ці спектри, фахівці можуть визначити рівень органічного вуглецю, вміст азоту та вологості.

**Основний виклад матеріалу.** Методи вимірювання електропровідності та опору є життєво важливими для діагностики засолення та ущільнення ґрунту. Основний фізичний принцип полягає в тому, що різні типи ґрунтів та рівень їх забруднення по-різному проводять електрику. Наприклад, вища концентрація солей на зрошуваних землях різко збільшує електропровідність. Використання безконтактних електромагнітних індукційних датчиків дозволяє створювати детальні карти неоднорідності ґрунту, що є основою для точного землеробства та виявлення прихованих зон антропогенного забруднення стічними водами [1].

Магнітна сприйнятливість ґрунту є унікальним фізичним показником промислового забруднення. Промислові викиди металургійних заводів, теплових електростанцій та автотранспорту містять магнітні мінерали (магнетит або магеміт), які накопичуються у верхньому шарі ґрунту. Вимірюючи магнітні параметри за допомогою каппа-метрів, дослідники можуть окреслити межі ареалів важких металів та інших токсинів. Це один із найшвидших методів екологічного картографування міських територій та промислових зон, оскільки він дозволяє локалізувати гарячі точки забруднення для більш детального аналізу [3].

Радіометричні методи моніторингу базуються на реєстрації природного та штучного гамма-випромінювання. У наземній екології це фундаментальний інструмент для районів, постраждалих від аварій на атомних електростанціях або видобутку урану. Сучасні гамма-спектрометри дозволяють не лише реєструвати рівні радіації, але й ідентифікувати специфічні радіонукліди (цезій-137, стронцій-90 тощо). Окрім радіоактивного забруднення, ці методи допомагають у вивченні генезису ґрунту, оскільки вміст природних радіоактивних елементів часто корелює з мінералогічним складом материнських порід [5].

Тепловий моніторинг (термографія) використовується для вивчення теплового режиму ландшафтів. Фізична суть методу полягає у реєстрації теплового випромінювання, що випромінюється поверхнею Землі. Аномальні зміни температури ґрунту можуть свідчити про порушення гідрологічного режиму, підземні пожежі в торфовищах або витoki в теплових мережах. У сільському господарстві теплові карти допомагають виявити зони стресу рослин, пов'язані з нестачею вологи, до появи видимих ознак в'янення, що дозволяє швидко коригувати стратегії зрошення та зберігати родючість ґрунту [5].

Впровадження фізичних методів у систему моніторингу екологічного стану земель є життєво важливим кроком у переході до моделі сталого землекористування.

**Висновки.** Головна перевага перелічених методів полягає в їхньому неруйнівному характері та здатності надавати дані в режимі реального часу. Останнє є вирішальним для оперативного реагування на антропогенні загрози. Завдяки фізичним методам можна не лише підтвердити забруднення або деградацію, але й передбачити розвиток негативних процесів на ранній стадії, мінімізуючи екологічні ризики та економічні витрати на рекультивацію земель.

Подальший розвиток галузі пов'язаний з інтеграцією фізичних сенсорів та алгоритмів штучного інтелекту, що дозволить створювати цифрових двійників ґрунтових екосистем для більш точного управління якістю навколишнього середовища.

### Список використаних джерел та літератури

1. Моніторинг довкілля. Аналітична записка щодо стану та перспектив розвитку державної системи моніторингу довкілля. / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. 2023. 119. URL: [https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/02/Monitoring-Green-Paper\\_15\\_02\\_2022.pdf](https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/02/Monitoring-Green-Paper_15_02_2022.pdf) (дата звернення 07.05.2026)
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. / Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. 2021. 514. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf> (дата звернення 07.05.2026)
3. Development of integrated geophysical/geocemical methods of soil and groundwater pollution assessment and control in problematic areas. URL: <https://eeagrants.org/en/fmo/areas-work/programmes-and-projects-information/archive/2009-2014/projects/pl12-0056> (дата звернення 09.05.2026)
4. Jennifer Hopwood, Stephanie Frischie, Emily May, Eric Lee-Mäder. Farming with Soil Life. A handbook for supporting soil invertebrates and soil health on farms. URL: <https://www.sare.org/wp-content/uploads/Farming-with-Soil-Life.pdf> (дата звернення 08.05.2026)
5. Stankevich, S. (2022). Accuracy of narrow-band spectral indices estimation by wide-band remote sensing data. *Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 9(1), 4–7. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2022.9.1.209> (дата звернення 09.05.2026)