УДК 504.064
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.5-62.1.12

КОНТРОЛЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТА ТЕМПЕРАТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИТЯЖКИ ҐРУНТУ ІМПЕДАНСНИМ МЕТОДОМ

Босюк А.С., Себко К.В.
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків
Alona.Bosiuk@mit.khpi.edu.ua, Kiril.Sebko@mit.khpi.edu.ua

У статті представлено результати дослідження імпедансного метода для оцінювання електрофізичних параметрів ґрунтових витяжок у зонах техногенного навантаження. Розроблено алгоритм обчислення параметрів опору, індуктивності та фазового кута зсуву у моделях, що описують поведінку електричних сигналів у витяжці ґрунту 1:5. Запропоновано послідовність розрахункових процедур, що базується на визначенні частоти струму f, питомого опору ρ та температури t. Отримані залежності дозволяють визначати зміну параметра x у діапазоні від 1 до 4, що забезпечує точність спільного визначення фізико-хімічних параметрів витяжки. Порівняння теоретичних і експериментальних даних підтвердило кореляцію між електропровідністю, добротністю та фазовим зсувом сигналу, що свідчить про адекватність моделі. Дослідження включає аналіз впливу техногенного забруднення на електрофізичні характеристики ґрунтів, зокрема в регіонах із високим рівнем промислової активності. Отримані результати можуть бути використані для створення систем оперативного контролю стану ґрунтів, оптимізації процесів очищення стічних вод і моніторингу екологічної безпеки промислових територій. Запропонований підхід забезпечує неінвазивний аналіз у реальному часі, що є особливо актуальним для регіонів із підвищеним техногенним навантаженням, таких як Харків, де воєнні дії сприяють накопиченню токсичних речовин у ґрунтах. Перспективи подальших досліджень передбачають удосконалення алгоритмів обробки даних для підвищення чутливості методу до низькоконцентрованих забруднювачів, а також інтеграцію отриманих моделей у геоінформаційні системи для просторового аналізу забруднення. Подальше застосування включає створення бази електрофізичних еталонів для ґрунтів України та розробку автоматизованих систем моніторингу для оцінки ефективності технологій очищення. Запропонований метод може бути адаптований для інших типів природних середовищ, таких як водні об'єкти чи осадові породи, що розширює його практичне значення. *Ключові слова:* імпедансний метод, електропровідність, ґрунтова витяжка, техногенне забруднення, фазовий зсув, індуктивність, електричний опір, моніторинг ґрунтів, очищення стічних вод.

Control of electrical and temperature parameters of soil extraction by the impedance method. Bosiuk A., Sebko K.
The article presents the results of research into the impedance method for evaluating the electrophysical parameters of soil extracts in areas of technogenic load. An algorithm has been developed for calculating the parameters of resistance, inductance and phase shift angle in models describing the behaviour of electrical signals in a 1:5 soil extract. A sequence of calculation procedures based on the determination of current frequency f, specific resistance ρ and temperature t is proposed. The obtained dependencies allow determining the change in parameter x in the range from 1 to 4, which ensures the accuracy of the joint determination of the physicochemical parameters of the extract. A comparison of theoretical and experimental data confirmed the correlation between electrical conductivity, quality factor and phase shift of the signal, which indicates the adequacy of the model. The study includes an analysis of the impact of anthropogenic pollution on the electrophysical characteristics of soils, particularly in regions with high levels of industrial activity. The results obtained can be used to create systems for operational control of soil condition, optimisation of wastewater treatment processes, and monitoring of environmental safety in industrial areas. The proposed approach provides non-invasive real-time analysis, which is particularly relevant for regions with high technogenic loads, such as Kharkiv, where military operations contribute to the accumulation of toxic substances in the soil. Prospects for further research include improving data processing algorithms to increase the sensitivity of the method to low-concentration pollutants, as well as integrating the resulting models into geographic information systems for spatial analysis of pollution. Further applications include the creation of a database of electrophysical standards for Ukrainian soils and the development of automated monitoring systems to evaluate the effectiveness of purification technologies. The proposed method can be adapted for other types of natural environments, such as water bodies or sedimentary rocks, which expands its practical significance. *Key words:* impedance method, electrical conductivity, soil extract, anthropogenic pollution, phase shift, inductance, electrical resistance, monitoring, wastewater treatment.

Постановка проблеми. В сучасних умовах зростання техногенного навантаження на довкілля особливої актуальності набувають методи контролю стану ґрунтів. Під впливом промислових підприємств, транспорту та сільськогосподарської діяльності у ґрунтовому середовищі відбувається накопичення важких металів, органічних сполук і токсичних речовин, що суттєво змінює його фізико-хімічні властивості. Для своєчасного виявлення таких змін необхідні ефективні, інформативні та недеструктивні методи аналізу. Забруднення ґрунтів в результаті антропогенного впливу – одна з актуальних екологічних проблем сучасності. Особливо гостро вона проявляється у регіонах, що зазнали

впливу внаслідок бойових дій, де відбувається руйнування інфраструктури, викиди токсичних речовин, а також пошкодження промислових об'єктів створюють умови для накопичення в ґрунті шкідливих компонентів. Харків, як великий промисловий і транспортний центр України, унаслідок військових дій має підвищений ризик техногенного забруднення ґрунтів, що загрожує екологічній безпеці регіону. Одним із перспективних підходів є використання імпедансних методів, які ґрунтуються на вимірюванні електричного опору та реактивних складових струму у зразках ґрунтів або їхніх водних витяжках. На відміну від традиційних хімічних методів, імпедансні технології не потребують тривалої підготовки проб і дозволяють проводити оперативний моніторинг у лабораторних або польових умовах. Перевагою імпедансного аналізу є його висока чутливість до змін концентрації іонів, вологості, структури порового простору та температури середовища. Це дає змогу встановлювати залежності між електрофізичними параметрами ґрунтових розчинів і рівнем їх забруднення, визначати ефективність технологій очищення та прогнозувати подальший стан ґрунтової системи. Традиційні методи контролю забруднення ґрунтів є трудомісткими, потребують значних витрат часу та реагентів, а також передбачають руйнування зразків під час аналізу [1–4]. Це ускладнює проведення оперативного моніторингу, особливо в зонах підвищеного техногенного ризику. У зв'язку з цим виникає науково-практична проблема – розробити та обґрунтувати застосування ефективних недеструктивних методів контролю стану ґрунтів, здатних відображати їх електрофізичні властивості й реагувати на зміни концентрації іонів у ґрунтових витяжках. Використання багатопараметрових і багаточастотних вимірювальних схем забезпечує більш повну характеристику досліджуваних зразків і дозволяє одночасно оцінювати фізико-хімічні параметри витяжки. Імпедансні методи контролю відкривають нові можливості для неінвазивної діагностики стану ґрунтів, підвищення ефективності систем очищення та забезпечення екологічної безпеки територій у зонах техногенного навантаження.

Актуальність дослідження. У сучасних умовах зростання техногенного навантаження на довкілля проблема забруднення ґрунтів набуває критичного значення, особливо в промислових регіонах, таких як Харків. Імпедансний метод забезпечує швидкий і недеструктивний контроль електрофізичних параметрів ґрунтових витяжок, що дозволяє оперативно виявляти зміни, спричинені важкими металами та токсичними речовинами. Розробка таких методів є актуальною для забезпечення екологічної безпеки та прогнозування деградації природних ресурсів.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження авторів сприяє розвитку неінвазивних методів моніторингу стану ґрунтів, що є важливим для вирішення екологічних проблем у зонах техногенного впливу. Запропонований алгоритм імпедансного аналізу дозволяє одночасно оцінювати електропровідність, температуру та фазові характеристики, що підвищує ефективність діагностики забруднень і оптимізації процесів очищення стічних вод. Отримані результати створюють основу для створення автоматизованих систем контролю, які можуть бути застосовані в лабораторних і польових умовах для забезпечення екологічної безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні наукові праці [5–9] демонструють значний прогрес у застосуванні імпедансних методів для оцінки стану ґрунтів і ґрунтових витяжок у зонах техногенного навантаження. У роботі [5] розроблено модель електрохімічного імпедансу з використанням скінченно-елементного методу для аналізу ґрунтових характеристик, що дозволяє підвищити точність вимірювань. Автори [6] досліджують діелектричний аналіз вологості ґрунту за допомогою об'ємної електричної томографії, акцентуючи на чутливості до іонного складу. В дослідженні [7] узагальнюють прогрес у сенсорних технологіях для виявлення забруднень, зокрема важких металів, за допомогою імпедансних методів. Автори [8] презентують прототип сенсора електропровідності, підтверджуючи його ефективність для in-situ моніторингу. У дослідженні [9] застосовують нейронні мережі для аналізу імпедансних спектрів, що забезпечує точну оцінку концентрації нітратів у ґрунті, демонструючи чутливість методу до забруднювачів. Ці дослідження доводять, що імпедансна спектроскопія є потужним інструментом для контролю вологості, солоності та вмісту важких металів, а також створення моделей і сенсорних систем для моніторингу стану ґрунтів у лабораторних і польових умовах. Вітчизняні дослідження [10, 11] сприяють розвитку практичного застосування імпедансних методів для контролю стану ґрунтів у реальних умовах. У роботі [10] розглядається використання електричної імпедансної томографії для картирування електропровідності ґрунту, акцентуючи увагу на впливі вологості та іонного складу порового простору, що є ключовим для оцінки ґрунтових витяжок. Автори [11] досліджують просторову варіацію електропровідності в міських парках, враховуючи вплив рельєфу, вологості та температури, і пропонують підходи до побудови електрофізичних моделей із температурними поправками для підвищення точності вимірювань.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Однак, у більшості робіт вітчизняних та закордонних авторів відсутня системна оцінка впливу комплексних факторів (температура, концентрація іонів, частотна залежність) на параметри імпедансу в широкому діапазоні частот. При цьому, більшість моделей не враховує нелінійність поведінки систем у зонах сильного забруднення; не поєднано елек-

тричні, індуктивні та фазові параметри в єдину модель. Недостатньо розроблені алгоритми для оцінювання комплексного параметра, який би враховував і температуру, і концентрацію забруднювачів; мало уваги приділено калібруванню методів під конкретні типи ґрунтів України. Отже, попередні дослідження заклали основу для розвитку імпедансних методів, проте залишили невирішеними питання узагальнення результатів і створення багатопараметрових моделей, здатних оцінювати стан ґрунтових витяжок за комплексом електричних та температурних характеристик. Саме ці аспекти становлять наукову новизну подальших робіт у цьому напрямі.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є експериментальний контроль електропровідності та температури витяжки ґрунту 1:5 за допомогою імпедансного методу при фіксованій частоті магнітного поля. Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

– навести схему вимірювального пристрою для високочастотного контролю;

– здійснити вимірювання електропровідності при різних температурах;

– провести аналіз залежності електропровідності від температури.

Новизна. Наукова новизна роботи полягає у впровадженні високочутливого імпедансного методу контролю витяжки ґрунту 1:5, що дозволяє точно вимірювати електропровідність, фазовий кут та узагальнений параметр x. Розроблено алгоритм, який враховує внутрішню та зовнішню індуктивність досліджуваного середовища, а також можливість компенсації ємності, що підвищує точність визначення електрофізичних характеристик.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання розробленого імпедансного методу для швидкого та недеструктивного контролю стану ґрунтів у лабораторних і польових умовах. Розроблений алгоритм, який передбачає компенсацію ємності, дозволяє підвищити точність вимірювань електропровідності та фазових характеристик.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні частотного діапазону вимірювань для підвищення чутливості та точності імпедансного контролю ґрунту. Застосування розробленого методу для польових умов у зонах підвищеного техногенного та воєнного навантаження, включаючи оперативний контроль ефективності технологій очищення ґрунтів.

Методика експерименту. Дослідження проводили на витяжках ґрунту у співвідношенні 1:5 (ґрунт: дистильована вода). Імпеданс вимірювали на частоті 28 МГц за допомогою багатопараметрової вимірювальної системи із вихорострумовим перетворювачем (ВП) радіусом a = 60 мм. Температура контрольованого середовища змінювалася у межах t = 0–30 ºС.

Результати та обговорення. У ході експерименту встановлено, що електропровідність витяжки ґрунту σ зростає лінійно зі збільшенням температури. Це узгоджується з теоретичними уявленнями про підвищення рухливості іонів у рідкому середовищі при нагріванні. Після температурної корекції значення електропровідності при t = 15 ºС, дозволяють оцінити реальний рівень іонної концентрації, пов'язаної з наявністю розчинних солей важких металів. Отримані дані свідчать, що в пробах із ділянок, наближених до зони воєнних дій, електропровідність у 1,5–2 рази перевищує показники фонових зразків, що підтверджує наявність техногенного забруднення.

Параметр x вимірюється у діапазоні від 1 до 4. Алгоритм розрахункових процедур наступний. Спочатку задають величину x, яка виражається за формулою 1:

$$x = a\sqrt{\frac{2\pi\mu_0\mu_r f}{\rho}}, \qquad (1)$$

де μ_0 – магнітна стала, $\mu_0 = 4\pi\cdot10^{-7}$ Гн/м; μ_r і ρ – відносна магнітна проникність і питомий електричний опір водної витяжки; f – частота зміни струму в пробниці; a – його радіус.

Потім задають значення a; μ_r; ρ, струму I, довжини l пробниці з рідиною (значення μ_r і ρ беруться при температурі, тобто при 10 ºС).

Після цього на основі (1) знаходять значення частоти f за формулою 2:

$$f = \frac{x^2\rho}{2\pi a^2\mu_0\mu_r} \qquad (2)$$

Потім визначають опір R_0 стержня постійного струму, тобто при $f = 0$ за формулою 3:

$$R_0 = \rho\frac{l}{S}, \qquad (3)$$

де S – площа поперечного перерізу стержня.

Далі знаходять електричний опір R стержня при частоті $f > 0$ за формулою 4:

$$R = R_н \cdot R_0, \qquad (4)$$

де $R_н$ визначається з табл. 1 для заданого x.

Для того ж значення x, користуючись залежністю $L_{ін}$ від x, знаходять значення $L_{ін}$, а за ним визначають величину внутрішньої індуктивності L, виходячи із співвідношення 5:

$$L = L_i + L_e, \qquad (5)$$

де L_e – зовнішня індуктивність стержня, зумовлена магнітним потоком поза стержнем.

Величину L_e визначають за формулою 8:

$$L_e = \frac{\mu_0 l}{2\pi}\left(\ln\frac{2l}{a} - 1\right) \qquad (8)$$

На практиці користуються величиною L_i, оскільки параметр L_e можна скомпенсувати компенсуючою ємністю $C_к$, яка включається послідовно з сумарною індуктивністю і розраховується за формулою 9:

Таблиця 1

Залежності параметрів $R_н$ и $L_{ін}$ від x

x	$R_н$	$L_{ін}$	x	$R_н$	$L_{ін}$
0,2	1,0000085	0,9999958	5	2,0430805	0,5558596
0,4	1,0001347	0,9999327	5,2	2,1138828	0,5349568
0,6	1,0006791	0,9996604	5,4	2,1842315	0,5155657
0,8	1,0021404	0,9989299	5,6	2,2542759	0,4975512
1	1,0052074	0,9973972	5,8	2,3241446	0,4807808
1,2	1,0107430	0,9946324	6	2,3939385	0,4651299
1,4	1,0197491	0,9901386	6,2	2,4637304	0,4504857
1,6	1,0333095	0,9833831	6,4	2,5335678	0,4367483
1,8	1,0525054	0,9738424	6,6	2,6034768	0,4238298
2	1,0783055	0,9610626	6,8	2,6734678	0,4116542
2,2	1,1114428	0,9447247	7	2,7435404	0,4001553
2,4	1,1522980	0,9247080	7,2	2,8136871	0,3892756
2,6	1,2008186	0,9011327	7,4	2,8838974	0,3789649
2,8	1,2564961	0,8743704	7,6	2,9541596	0,3691789
3	1,3184180	0,8450145	7,8	3,0244628	0,3598786
3,2	1,3853844	0,8138140	8	3,0947974	0,3510288
3,4	1,4560642	0,7815862	8,2	3,1651558	0,3425981
3,6	1,5291554	0,7491267	8,4	3,2355323	0,3345580
3,8	1,6035155	0,7171356	8,6	3,3059229	0,3268825
4	1,6782422	0,6861713	8,8	3,3763249	0,3195479
4,2	1,7527019	0,6566324	9	3,4467369	0,3125322
4,4	1,8265139	0,6287648	9,2	3,5171579	0,3058156
4,6	1,8995078	0,6026831	9,4	3,5875876	0,2993796
4,8	1,9716683	0,5784007	9,6	3,6580259	0,2932072

$$C_к = \frac{1}{\omega^2 L_e} \tag{9}$$

де ω – циклічна частота, ω = 2π*f*.

Величину $C_к$ можна скомпенсувати у схемі на рис. 1.

До схеми входить генератор–Г; Частотомер–Ч; Амперметр–А; катушка взаємоіндуктивності–КВ; компенсуюча ємність–$C_к$; фазометр–Ф; вихорострумовий перетворювач–ВП (умовно позначений послідовним включенням опору та індуктивності).

Знаходимо напругу на пробниці $U_{пк}$ при наявності компенсації за формулою 10:

$$U_{пк} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L_i\right)^2} \cdot I \tag{10}$$

А фазовий кут φ$_к$ зсуву між I і $U_{пк}$, знаходимо за формулою 11:

$$tg\varphi_к = \frac{\omega L_i}{R} \tag{11}$$

Якщо компенсації немає, то напругу на кінцях пробниці визначаємо, виходячи із співвідношення 12:

$$U_п = \sqrt{R^2 + \left(\omega L\right)^2} \cdot I \tag{12}$$

А фазовий кут між I і $U_п$ визначаємо з виразу 13:

$$tg\varphi = \frac{\omega L}{R} \tag{13}$$

Питому електричну провідність витяжки, знаходимо із співвідношення 14:

$$\sigma_t = x^2 / \left(2\pi a^2 \mu_0 f\right) \tag{14}$$

Температуру рідини знаходимо із співвідношення 15:

$$\sigma_t = \sigma_1 \cdot \left(1 + \alpha \cdot \left(t - 10\right)\right) \tag{15}$$

Результати визначення питомої електричної провідності σ та параметрів ВП наведено у табл. 2. Температуру витяжки вимірювали за допомогою термопари ТХК.

Згідно з даними табл. 2, спостерігається закономірне зростання електропровідності та зниження опору зразків зі збільшенням параметра x, що відповідає підвищенню концентрації іонів у витяжці. Одночасно зі збільшенням частоти струму змінюються реактивні складові імпедансу, що свідчить

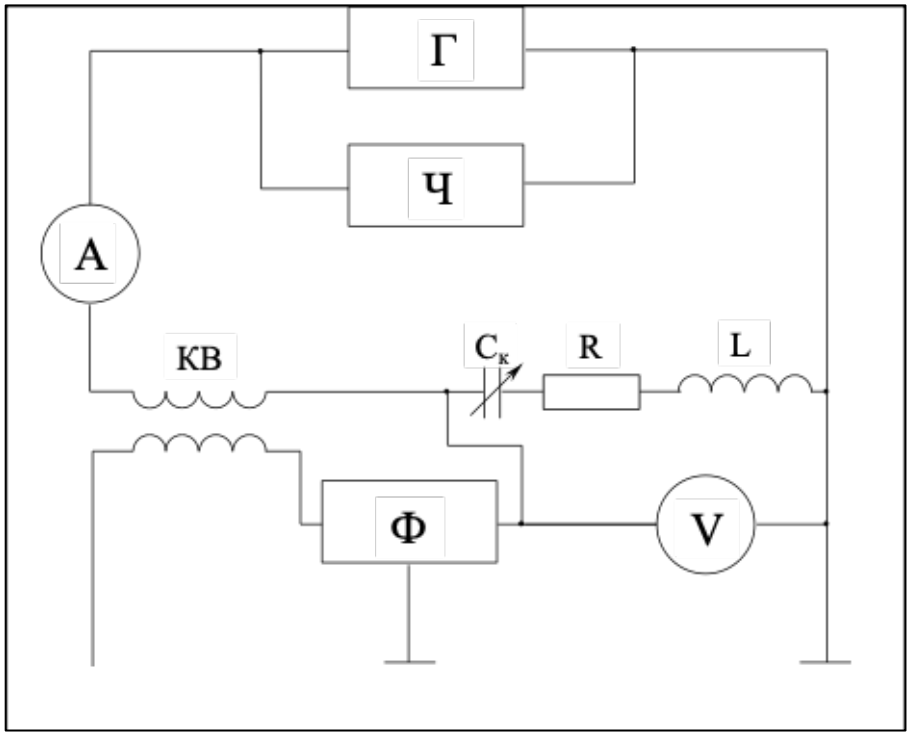

Рис. 1. Схема реалізації імпедансного методу з пробницею рідини

Таблиця 2

Результати визначення параметрів витяжки та ВП:
t_0 = 15ºС; f = 28 МГц; α = 1,69·10^{-2} 1/ºС; t = [15 … 30ºС]

t, °C	R_0, Ω	R, Ω	x	Rн	Lін
10	0.1167	8.57	1.0	1.0052	0.9974
12	0.1200	8.33	2.0	1.0783	0.9611
14	0.1233	8.11	2.5	1.1394	0.9320
16	0.1266	7.90	3.0	1.3184	0.8450
18	0.1299	7.70	3.5	1.4561	0.7816
20	0.1332	7.51	4.0	1.6782	0.6862
22	0.1365	7.33	4.0	1.6782	0.6862
24	0.1398	7.15	4.0	1.6782	0.6862
26	0.1431	6.99	4.0	1.6782	0.6862
28	0.1464	6.83	4.0	1.6782	0.6862
30	0.1497	6.68	4.0	1.6782	0.6862

про перерозподіл струмів провідності та поляризації в середовищі. Це підтверджує адекватність вибраної моделі та ефективність багатопараметрового підходу. Застосування імпедансного підходу на базі вихорострумового перетворювача (ВП), забезпечує високу точність вимірювань, швидкість аналізу та можливість автоматизації процесу контролю.

Головні висновки. Таким чином, в ході виконання дослідження досягнуто поставленої мети – експериментально оцінено електрофізичні параметри ґрунтових витяжок та проаналізовано вплив температурних чинників на результати імпедансних вимірювань. Реалізований алгоритм розрахунків дозволив встановити залежності між параметрами електропровідності, температури і узагальненого параметра x. Отримані результати дають змогу зробити висновок, що імпедансний метод контролю є чутливим і надійним інструментом для оцінки стану ґрунтів у зонах техногенного забруднення. Його застосування дозволяє визначати зміни у фізико-хімічному складі ґрунтових розчинів без руйнування зразків, а також оптимізувати процеси очищення. У перспективі доцільним є розширення частотного діапазону вимірювань, удосконалення алгоритмів розрахунку узагальненого параметра x і використання отриманих результатів для створення бази електрофізичних еталонів ґрунтів різного типу та ступеня забруднення. Це сприятиме підвищенню ефективності екологічного моніторингу та розробці нових методів неінвазивного контролю природних середовищ.

Перспективи використання результатів дослідження. Розроблений імпедансний метод відкриває можливості для створення автоматизованих систем оперативного моніторингу стану ґрунтів у зонах техногенного та воєнного навантаження. Результати дослідження можуть бути використані для формування бази електрофізичних еталонів ґрунтів України, що сприятиме точній оцінці забруднень і ефективності технологій очищення. Подальше розширення частотного діапазону та вдосконалення алгоритмів підвищить чутливість методу, забезпечуючи його застосування в польових умовах для прогнозування екологічних ризиків.

Література

1. Sun F., He B., Han P. Assessment and modelling of soil moisture content in silty loess using electrochemical impedance spectroscopy. *CATENA*. 2025. Vol. 259. P. 109408. DOI: 10.1016/j.catena.2025.109408
2. Shuquan P., Fan W., Ling F. Study on Electrochemical Impedance Response of Sulfate Saline Soil. *International Journal of Electrochemical Science.* 2019. Vol. 14(9). P. 8611–8623. DOI: 10.20964/2019.09.30
3. Ma M., Fang L., Zhao N., Ma X. Detection of Cadmium and Lead Heavy Metals in Soil Samples by Portable Laser-Induced Breakdown Spectroscopy. *Chemosensors.* 2014. Vol. 12(3). P. 40. DOI: 10.3390/chemosensors12030040
4. Cao X., Li Z., Yao S. Analysis on the Phase Frequency Characteristic of Soil Impedance. *Energy and Power Engineering.* 2018. Vol. 10(04). P. 17–24. DOI: 10.4236/epe.2018.104b003
5. Abbas Y., van Smeden L., Verschueren A. R. M., Zevenbergen M. A. G., Oudenhoven J. F. M. Modeling Electrochemical Impedance Spectroscopy Using Time-Dependent Finite Element Method. *Sensors.* 2024. Vol. 24(22). P. 7264. DOI: 10.3390/s24227264
6. Muhammad M., Almushfi S. Dielectric Analysis Model for Measurement of Soil Moisture Water Content Using Electrical Capacitance Volume Tomography. *Modern Applications of Electrostatics and Dielectrics.* 2020. DOI: 10.5772/intechopen.89057
7. Singha R., Singha S., Ruben V. M., Haokip A. D. Advances in Sensor Technologies for Detecting Soil Pollution. *Sensors for Environmental Monitoring, Identification, and Assessment.* 2024. P. 218–230. DOI: 10.4018/979-8-3693-1930-7.ch014
8. Song R., Zhang M. Design and Performance Evaluation of an In Situ Online Soil Electrical Conductivity Sensor Prototype Based on the High-Performance Integrated Chip AD5941. *Applied Sciences.* 2024. Vol. 14(17). P. 7788. DOI: 10.3390/app14177788
9. Ma X., Bifano L., Fischerauer G. Evaluation of Electrical Impedance Spectra by Long Short-Term Memory to Estimate Nitrate Concentrations in Soil. *Sensors.* 2023. Vol. 23(4). P. 2172. DOI: 10.3390/s23042172
10. Поплавський В. М., Нікорич В.А., Гуцул Т.В. Аналіз методів виявлення наземних мін та значення вивчення ґрунтових властивостей для їх ефективного застосування. *Науковий вісник Чернівецького університету. Біологія (Біологічні системи).* 2024. Том. 16. №1. С. 160–167. DOI: 10.31861/biosystems2024.01.160
11. Kunakh O. M., Yorkina N. V., Zhukov O. V., Turovtseva N. M., Bredikhina Y. L., Logvina-Byk T. A. Recreation and terrain effect on the spatial variation of the apparent soil electrical conductivity in an urban park. *Biosystems Diversity.* 2020. Vol. 28(1). P. 3–8. DOI: 10.15421/012001

Дата першого надходження рукопису до видання: 27.10.2025
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 28.11.2025
Дата публікації: 15.12.2025