

## Study of the physicochemical and agrochemical properties of the soil of reclaimed areas disturbed by ilmenite mining

O. Shomko ✉

### Article info

#### Correspondence Author

O. Shomko

E-mail:

[div@ztu.edu.ua](mailto:div@ztu.edu.ua)

Zhytomyr Polytechnic  
State University,  
103 Chudnivska Str.,  
Zhytomyr, 10005,  
Ukraine

**Citation:** Shomko, O. (2024). Study of the physicochemical and agrochemical properties of the soil of reclaimed areas disturbed by ilmenite mining. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (1), 74–81. doi: 10.31210/spi2024.27.01.13

The article presents the results of research on the physicochemical and agrochemical properties of soil in the reclaimed areas after ilmenite mining. This study investigated the impact of reclamation on the forest vegetation potential of the disturbed soils at different stages, including the 1st year after the start of technical reclamation, 10 th, 20th and 30th years after the start of biological reclamation. Restoration of the ecosystem and forest vegetation potential of the soil using forest reclamation is carried out using a variety of methods, including planting trees, restoring soil composition and stimulating the natural recovery process. The application of these measures can contribute not only to the restoration of vegetation, but also to the preservation of biodiversity and improvement of soil quality in the mining areas. For this reason, the research is aimed at studying the effectiveness of reclamation measures and restoring the forest vegetation potential of the soil. The study location was the operation area affected by the mining activities of the United Mining and Chemical Company (a branch of the Irshansk Mining and Processing Plant) in Zhytomyr region. The following were studied: exchangeable acidity ( $pH_{kcl}$ ), mobile phosphorus ( $P_2O_5$ ), mobile potassium ( $K_2O$ ), easily hydrolyzable nitrogen ( $N_k$ ), exchangeable calcium (Ca) and magnesium (Mg) cations, humus content and the amount of absorbed bases. We analyzed the results and evaluated the changes in those parameters over time and their interaction using statistical analysis. In general, the soil of the research areas has high acidity, low content of humus and low amount of absorbed bases. The content of micro- and macroelements such as phosphorus, potassium, nitrogen, calcium, and magnesium varies from area to area. The conducted research is aimed at studying the effectiveness of reclamation measures to restore the forest vegetation potential of the soil and indicates the need for such research in this sphere. The results obtained can be used to optimize reclamation measures and preserve the stability of soil cover in areas disturbed by mining activities (specifically ilmenite mining) in the future.

**Keywords:** forest vegetation potential, agrochemical properties of the soil, reclamation.

## Дослідження фізико-хімічних та агрохімічних властивостей ґрунту рекультивованих територій порушених видобутком ільменіту

О. М. Шомко

Державний університет  
«Житомирська  
політехніка»,  
м. Житомир,  
Україна

У статті представлені результати досліджень фізико-хімічних та агрохімічних властивостей ґрунту на рекультивованих територіях після видобутку ільменіту. Досліджено вплив рекультивації на лісорослинний потенціал ґрунтів порушених територій на різних етапах, включаючи 1-й рік від початку технічної рекультивації, 10-й, 20-й та 30-й роки від початку біологічної рекультивації. Відновлення екосистеми та лісорослинного потенціалу ґрунту застосовуючи лісову рекультивацію здійснюється за допомогою різноманітних методів, включаючи посадку дерев, відновлення ґрунтового складу та стимулювання природного процесу відновлення. Застосування цих заходів може сприяти не лише відновленню рослинності, але й збереженню біорізноманіття та покращенню якості ґрунту на видобувних територіях. У зв'язку з цим, проведені дослідження спрямовані на вивчення ефективності рекультиваційних заходів та відновлення лісорослинного потенціалу ґрунту. Місцем дослідження було обрано територію порушену видобувною діяльністю акціонерного товариства «Об'єднана гірничо-хімічна компанія» (філія «Іршанського гірничо-збагачувального комбінату») Житомирської області. Досліджено: обмінну кислотність ( $pH_{kcl}$ ), рухомий фосфор ( $P_2O_5$ ), рухомий калій ( $K_2O$ ), нітроген легкогідролізний ( $N_k$ ), обмінні катіони кальцію (Ca) та магнію (Mg), вміст гумусу та суму увібраних основ. Проаналізовано результати та проведено оцінку зміни даних параметрів з часом після проведення рекультивації та їх взаємодію між собою за допомогою статистичного аналізу. Загалом ґрунти дослідних територій мають підвищену кислотність, низький вміст гумусу та суми увібраних основ. Вміст мікро- та макроелементів, таких як фосфор, калій, нітроген, кальцій та магній, змінюється в залежності від конкретної території. Проведені дослідження мають на меті вивчення ефективності рекультиваційних заходів на відновлення лісорослинного потенціалу ґрунту та вказують на необхідність досліджень у цьому напрямку. Отримані результати можуть бути використані для оптимізації рекультиваційних заходів та збереження стійкості ґрунтового покриву на територіях порушених видобувною діяльністю (а саме видобутком ільменіту) в майбутньому.

**Ключові слова:** лісорослинний потенціал, агрохімічні властивості ґрунту, рекультивація.

**Бібліографічний опис для цитування:** Шомко О. М. Дослідження фізико-хімічних та агрохімічних властивостей ґрунту рекультивованих територій порушених видобутком ільменіту. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (1). С. 74–81.

## Вступ

Проблеми рекультиватії порушених територій внаслідок антропогенної діяльності, що не відповідають нормам екологічної безпеки, є актуальними для України, яка має на меті вступ до Європейського союзу. У зв'язку із задекларованим політичним курсом одним із завдань є гармонізація державного природоохоронного законодавства із законодавством Європейського Союзу та налаштування якісного взаємозв'язку технологій, практик, механізмів і стратегій у сфері безпечної антропогенної діяльності [1]. Видобування корисних копалин, таких як ільменіт, може спричинити серйозні порушення ґрунтового покриву, що є перешкодою для досягнень цілей сталого розвитку [2]. Дослідження лісорослинного потенціалу ґрунтів проводились на території видобутку ільменіту в Житомирській області, а саме в Коростенському районі, який розташований у Центральному Поліссі. На території Житомирського Полісся діє Іршанський гірничо-збагачувальний комбінат, що здійснює свою діяльність на площі поширення розсипів ільменіту. Район відрізняється значною строкатістю ґрунтового покриву через різноманітні процеси ґрунтоутворення (такі як підзолисті, дернові та болотні). Дерново-підзолисті, дерново-підзолисті глеєві, і дернові ґрунти, які займають домінуюче положення, характеризуються низькою родючістю, вмістом гумусу (1,31 %), підвищеною кислотністю, високою водопроникністю, або, навпаки, постійною перезволоженістю, недостатньою забезпеченістю елементами живлення, легким гранулометричним складом. Більшість цих ґрунтів потребує вапнування, перезволожені ділянки – осушення [3].

На території Житомирського Полісся виокремлюються щільні силікатні породи, такі як граніти, гнейси та габро, які складають верхній шар ґрунту. Елювіальні відклади цих порід виступають у ролі ґрунтоутворних порід для ранкерів, зокрема дерново-літогенних ґрунтів. В окремих випадках, дерново-підзолисті ґрунти в зоні Мішаних лісів формуються на двочленних породах, коли зональні водно-льодовикові відклади до глибини 2 м підстилаються іншими породами. Найчастіше водно-льодовикові відклади підстелені щільними карбонатними породами (2,8 % від площі ґрунтів у Волинському і Чернігівському Поліссі), а також масивно-кристалічними породами (0,3 % у Житомирському Поліссі). Це призводить до значної неоднорідності хімічного і гранулометричного складу ґрунтоутворних порід. Мезо- і мікрорельєф території виявляються добре вираженими, незважаючи на загальну рівнинність. Високий рівень залягання ґрунтових вод і пульсаційний водний режим, різноманіття рослинних формацій і великий вплив господарської діяльності призводять до формування неоднорідного і строкатого ґрунтового покриву в зоні Мішаних лісів. Лісові острови на Лівобережжі та Словечансько-Овруцькому кряжі (Житомирське Полісся) характеризуються сірими лісовими та опідзоленими ґрунтами, сформованими на лесовидних суглинках [4].

Лісові ґрунти забезпечують переважно диференційовану ґрунтову структуру, що є основою їх високої екологічної функціональності [5]. Лісова

рослинність, насамперед хвойна, сприяє розвитку підзолистого процесу ґрунтоутворення у вологих кліматичних умовах, особливо інтенсивний розвиток відбувається на безкарбонатних материнських породах. Даний процес проходить при активному руйнуванні (гідролізі) мінеральної частини ґрунту переважно під впливом органічних кислот (фульвокислот) та у результаті виносу продуктів руйнування з верхніх у нижні горизонти або за межі профілю ґрунту в умовах промивного водного режиму. Це призводить до утворення ґрунтів з різним ступенем опідзолення, де елювіальні горизонти бідні на вміст колоїдів, обмінних основ, зокрема  $\text{Ca}^{2+}$ , в деякій мірі збагачені кремнеземом. Ці ґрунти характеризуються підвищеною кислотністю та несприятливими фізико-механічними властивостями [6, 7].

Ріст і розвиток соснових лісових культур пов'язані з особливостями ґрунту, а саме з його лісорослинним потенціалом. рН ґрунту має величезний вплив на біогеохімічні процеси ґрунту. Таким чином, рН ґрунту описується як «основна змінна ґрунту», яка впливає на безліч біологічних, хімічних і фізичних властивостей ґрунту та процесів, які впливають на ріст та розвиток лісорослинного шару [9]. Зміна рН на кислу чи лужну реакцію супроводжується пригніченням росту та розвитку (у більш лужному середовищі процес пригнічення сильніше виражений). Також рН в ґрунті може як запобігати так і прискорювати поширення забруднюючих речовин [10].

Одним з головних показників ґрунтової родючості є сума ввібраних основ, оскільки вона відображає кількість ґрунтових колоїдів – найважливіших носіїв ґрунтової родючості, а допоміжними – ємність поглинання та кількість рухливих форм фосфору та калію [11]. Для нормального розвитку деревостанів необхідний нітроген. Фосфор сприяє розподілу енергії, особливо під час формування та розвитку кореневої системи [12]. Калій необхідний для процесу розподілу води та ферментативних процесів. Для формування клітинних стінок потрібен кальцій, магній, який у свою чергу, бере участь у фотосинтезі та також у процесі росту рослин [13].

## Мета дослідження

Основною метою цього дослідження було оцінити лісорослинний потенціал ґрунту на територіях порушених видобутком ільменіту після рекультиватії. Використовуючи багатомірні методи дослідження (аналіз основних показників та статистичний аналіз), ми змогли показати залежність впливу багаторічної рекультиватії на фізико-хімічні та агрохімічні властивості ґрунтів.

## Матеріали і методи

Вимірювання фізико-хімічних і агрохімічних показників ґрунтових зразків проводилися за наступними методами в лабораторних умовах:

1. Обмінна кислотність відповідно до ДСТУ ISO 10390:2022. Іони гідрогену та алюмінію можуть витіснятися розчинними солями з ґрунту та перетворюватись на розчин, що змінює обмінну кислотність, яка забезпечує рН розчину. Цей метод базується на обробці зразка ґрунту розчином  $\text{KCl}$ , для визначення обмінної кислотності, використовуючи

комбінований електрод (або два електроди скляний і хлорсрібний) для визначення рН витяжки [14].

2. Рухомий фосфор ( $P_2O_5$ ) та рухомий калій ( $K_2O$ ) відповідно до ДСТУ 4405:2005 (метод Кірсанова). Основою є отримання рухомих сполук фосфору і калію з ґрунту за допомогою розчину соляної кислоти молярної концентрації ( $HCl$ ) = 0,2 моль/дм<sup>3</sup> (для мінеральних горизонтів співвідношення ґрунту до розчину складає 1 : 5, а для органічних горизонтів – 1 : 50). Фосфор визначається за допомогою фотоелектроколориметра або спектрофотометра у вигляді синього фосфорномолібденового комплексу, а калій – за допомогою полуменевого фотометра [15].

3. Нітроген легкогідролізний ( $N_K$ ) відповідно до ДСТУ 7863:2015. Метод оснований на гідролізі органічних сполук ґрунту за допомогою розчину луґу молярної концентрації  $c(NaON) = 1$  моль/дм<sup>3</sup>. Процес відбувається в термостаті за температури 28 °С ( $\pm 5$  °С) у чашці Конвея з пришліфованою кришкою. У процесі гідролізу нітроген вивільняється з ґрунту у вигляді  $NH_3$ , який потрапляє у внутрішнє відділення чашки (процес дифузії) і поглинається розчином борної кислоти. Потім розчин сірчаної кислоти (молярна концентрація  $c(1/2 H_2SO_4) = 0,02$  моль/дм<sup>3</sup>) титрують та визначають кількість аміаку [16].

4. Обмінні катіони кальцію ( $Ca$ ) та магнію ( $Mg$ ) відповідно до ДСТУ 7604:2014. Метод базується на комплексометричному титруванні іонів кальцію за рН від 12,5 до 13,0, а також сумі іонів  $Ca$  та  $Mg$  (за рН 10,0). При цьому мурексид і хромоген чорний використовують як індикатори [17].

5. Вміст гумусу відповідно до ДСТУ 4289:2004 [18]. Оксидиметричний метод ґрунтується на окисненні органічних речовин ґрунту розчином двохромово-кислого калію в сірчаній кислоті. Після окиснення вміст органічного вуглецю визначають через ідентифікацію двохромовокислого калію за

допомогою методів титриметрії або спектрофотометрії. Термічний метод – це сухе спалювання органічної речовини у потоці кисневмісного газу, який очищений від діоксиду вуглецю за високих температур (900 °С). Виділений при спаленні, діоксид вуглецю можна визначити титруванням, гравіметрично, кондуктометрично та хроматографічно з використанням інфрачервоної спектрофотометрії. Для визначення вуглецю органічних сполук спочатку обробляють соляну кислоту, щоб видалити карбонати. Коли відома кількість карбонатів у ґрунті, вміст органічного вуглецю можна розрахувати за допомогою різниці між загальним вмістом органічного вуглецю та вмістом карбонатів.

6. Сума ввібраних основ за ДСТУ 4362:2004 (метод Каппена). Метод заснований на реакції поглинених основ ґрунту із соляною кислотою, надалі, залишок кислоти, який не вступив у реакцію, проходить процес титрування гідроксидом натрію. Сума ввібраних основних є числом показників родючості ґрунту, оскільки вона показує кількість ґрунтових колоїдів, які є основними носіями родючості, а також додаткові показники, такі як ємність поглинання та кількість рухливих форм  $P_2O_5$  та  $K_2O$  [19].

Для візуалізації місць відбору проб, було використано програмне забезпечення QGIS 3.28.14 для геоінформаційних систем, де зібрано безліч інструментів для створення, редагування, перегляду, аналізу та візуалізації географічної інформації, а також Excel для статистичного аналізу даних.

## Результати та їх обговорення

Досліджено територію і зони мішаних лісів, що мають відношення до Іршанських родовищ ільменіту – найбільшого джерела титанових руд у Європі (рис. 1).

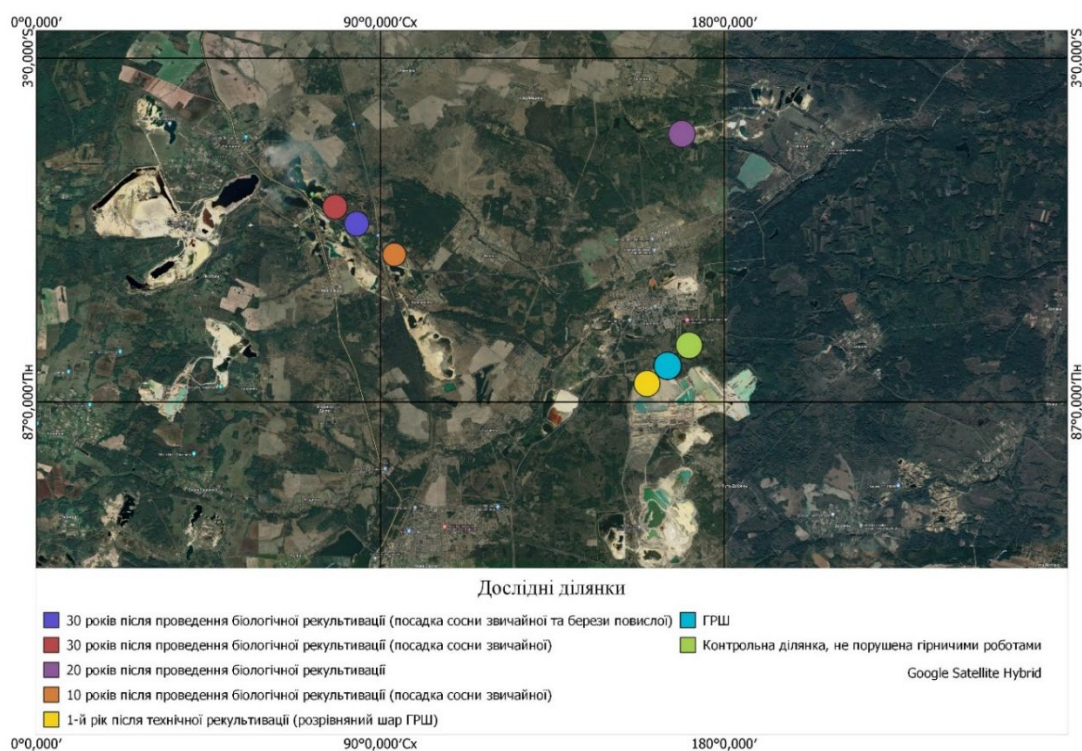


Рис. 1. Мапа розташування ділянок відбору проб ґрунту (територія діяльності філії «Іршанського гірничо-збагачувального комбінату» ПАТ «ОГХК»)

Видобуток ільменітового концентрату розпочато в 1956 році, а рекультивация земель – з 1971 року та триває до сьогодні. Досліджено ефективність лісової рекультивациі як природоохоронного заходу у контексті сприяння поверненню земель, порушених видобутком ільменіту, у продуктивний кругообіг. Зважаючи на те, що Іршанське родовище ільменіту є одним із найбільших в Україні та займає значну територію Житомирського Полісся, було обрано саме цю територію для дослідження.

У процесі дослідження використовувались стандартні методи визначення фізико-хімічних та агрохімічних показників ґрунту таких як: обмінна кислотність ( $pH_{kcl}$ ), рухомий фосфор ( $P_2O_5$ ), рухомий калій ( $K_2O$ ), нітроген легкогідролізний ( $N_K$ ), обмінні катіони кальцію (Ca) та магнію (Mg), вміст гумусу та сума ввібраних основ. Таблиця 1 містить результати вимірювань проб ґрунтів контрольної проби та проб на різних етапах рекультивациі.

**Таблиця 1**

Дослідження фізико-хімічних та агрохімічних властивостей ґрунтів дослідних ділянок

№ з/п	№ проб	$pH_{kcl}$ , од.pH	$P_2O_5$	$K_2O$	$N_K$	Ca	Mg	Сума увіб. основ	Гумус, %
			мг/кг			ммоль/100 г		мг-екв/100	
Контрольна проба									
1	1	3,23	11	9	36,4	0,44	0,20	0,8	1,02
	2	3,46	46	14	40,6	0,50	0,25	0,4	1,93
	3	3,26	57	12	42,0	0,38	0,25	0,6	1,37
ґрунти на відвалі ГРШ									
2	1	3,74	40	39	75,6	0,56	0,63	0,7	1,80
	2	3,71	35	33	75,6	0,75	0,50	0,7	1,30
	3	3,62	39	37	56,0	0,78	0,66	0,8	1,53
ґрунти 1-го року технічної рекультивациі									
3	1	3,29	39	37	103,6	1,00	0,88	1,0	0,47
	2	3,55	42	24	58,8	0,75	0,50	0,7	0,12
	3	3,64	50	35	74,2	0,63	0,63	0,7	0,17
ґрунти на територіях, що були рекультивовані 10 років тому (зростання сосни звичайної)									
4	1	4,56	16	12	22,4	0,63	0,13	0,8	0,09
	2	4,55	14	10	21,0	0,50	0,16	0,6	0,06
	3	4,85	15	10	22,0	0,50	0,13	0,7	0,11
ґрунти на територіях, що були рекультивовані 20 років тому (зростання сосни звичайної)									
5	1	4,45	38	46	28,0	4,10	0,85	5,2	0,36
	2	4,17	63	45	32,2	3,13	0,72	4,6	0,78
	3	4,56	70	36	30,2	4,13	1,06	5,5	0,62
ґрунти на територіях, що були рекультивовані 30 років тому (зростання сосни звичайної)									
6	1	4,50	23	9	19,6	0,38	0,13	0,4	0,25
	2	4,46	20	8	16,8	0,38	0,25	0,6	0,08
	3	4,37	17	8	18,2	0,38	0,25	0,4	0,15
ґрунти на територіях, що були рекультивовані 30 років тому (сосна звичайна та береза повисла)									
7	1	4,33	12	7	21,0	0,32	0,25	0,6	0,20
	2	4,33	21	9	22,4	0,25	0,20	0,6	0,21
	3	4,40	19	10	15,6	0,50	0,06	0,6	0,09

Джерело: [20].

ґрунтуючись на результатах, можна зробити певні висновки: найнижчі значення pH спостерігаються у контрольній пробі, найвище – на ділянках, що були рекультивовані 10 років тому. Це вказує на те, що кислотність ґрунту зменшується з часом після рекультивациі. Коли кислотність ґрунту висока, його капілярність, проникність і фільтраційна здатність погіршуються. Коли ґрунт дуже лужний, коренева

система засвоює молібден, фосфор, калій, сірку, кальцій, магній та більшість мікроелементів у недостатній кількості [21, 9]. Під час видобутку ільменіту або збагачення, може відбуватися кілька взаємодій, що впливають на кислотність ґрунту. Сам по собі ільменіт не є кислотним, але в процесі видобутку можуть утворюватися сульфідні мінерали, які можуть окислюватися і створювати кислі умови.

Це явище відоме як кислотний шахтний дренаж, і воно може призвести до потрапляння сірчаної кислоти в ґрунт. Так же взаємодія ільменіту з вологою та іншими компонентами ґрунту впливає на рівень рН [22].

Найнижче значення нітрогену спостерігається на 2-х ділянках, що були рекультивовані 30 років тому. Найвище значення нітрогену спостерігається у ґрунтах 1-го року технічної рекультивації.  $K_2O$  у досліджених зразках становив від 7 до 39 мг/кг ґрунту, тобто вміст обмінного калію у верхньому шарі ґрунту був дуже низьким на ділянках контрольної проби, ґрунтах на рекультивованих територіях 10 та 30 років тому (зростання сосни звичайної, сосна звичайна та береза повисла). Водночас, щодо вмісту  $P_2O_5$  у верхньому шарі ґрунту на окремих ділянках спостерігали значну відмінність. На територіях, які були рекультивовані 20 років тому, його вміст становив від 38 до 70 мг/кг ґрунту, тоді як на територіях, які були рекультивовані 10 років тому, вміст  $P_2O_5$  становив від 14 до 16 мг/кг ґрунту. Це може вказувати на те, що вміст нітрогену, фосфору та калію на цих ділянках зменшилась з часом після рекультивації. Дана тенденція може пояснюватись кращою вбирною здатністю кореневої системи на даній території.

Найнижче значення кальцію спостерігається у контрольній пробі та на ділянці 30-ти років рекультивації (сосна звичайна). Найвище значення кальцію спостерігається після 20 років рекультивації. Низький вміст магнію спостерігається у контрольній пробі та ділянках, що були рекультивовані 10 років тому. Найвище значення цього елемента на ділянках, що були рекультивовані 20 років тому.

Вбирна здатність ґрунту характеризує його властивість впливати на родючість і характер процесів ґрунтоутворення. Вона забезпечує і контролює поживний режим ґрунту, сприяє накопиченню більшості мінеральних речовин

у рослинах, контролює реакцію ґрунтового середовища та водно-фізичні властивості ґрунту. Найнижче значення спостерігається у ґрунтах, рекультивованих 30 років тому (сосна звичайна). Найвище – на ділянках, що були рекультивовані 20 років тому.

Ступінь забезпечення ґрунту гумусом дуже низький на рекультивованих ділянках 10, 20 та 30 річного періоду, порівнюючи з контрольною ділянкою та відвалом ГРШ. Це можна пояснити здатністю кореневої системи соснового лісу скріплювати ґрунти, збільшуючи щільність. Також з ростом дерев зменшується освітленість території, що перешкоджає прогріванню ґрунтів, що разом з специфічною підстилкою даних лісів (вміст фітонцидів) сповільнює процес гумус утворення.

Як відомо, катіонообмінна ємність є мірою того, як катіони можуть утримуватися на поверхні ґрунтових поверхні частинок ґрунту. Катіонообмінна ємність визначається як кількість позитивного заряду, який може бути обміняний на масу ґрунту, зазвичай вимірюється в мМоль /100 г ґрунту. 30–35 мМоль /100 г у чорноземах звичайних. 35 мМоль /100 г у чорноземах південних. Але у ґрунтах із дослідних рекультивованих територій ця характеристика набагато менша, катіонообмінна ємність варіювалась по Ca від 0,25 мМоль /100 г до 4,13 мМоль /100 г, по Mg від 0,06 мМоль /100 г до 1,06 мМоль /100 г. Важливо зазначити, що в природних ґрунтах 75–80 % катіонообмінна ємність припадає на кальцій, а 15–25 % на магній. Як показують результати наших досліджень, що найбільший вміст кальцію та магнію в ґрунтах території рекультивованої 20 років назад (сосна звичайна). У деяких ґрунтах кількість кальцію була більшою порівняно з магнієм [4].

Для більш повного розуміння результатів дослідження фізико-хімічних та агрохімічних властивостей даних ґрунтів проведений статистичний аналіз, а саме двофакторний дисперсійний аналіз (табл. 2).

**Таблиця 2**

Фізико-хімічні та агрохімічні властивості досліджуваних ґрунтів

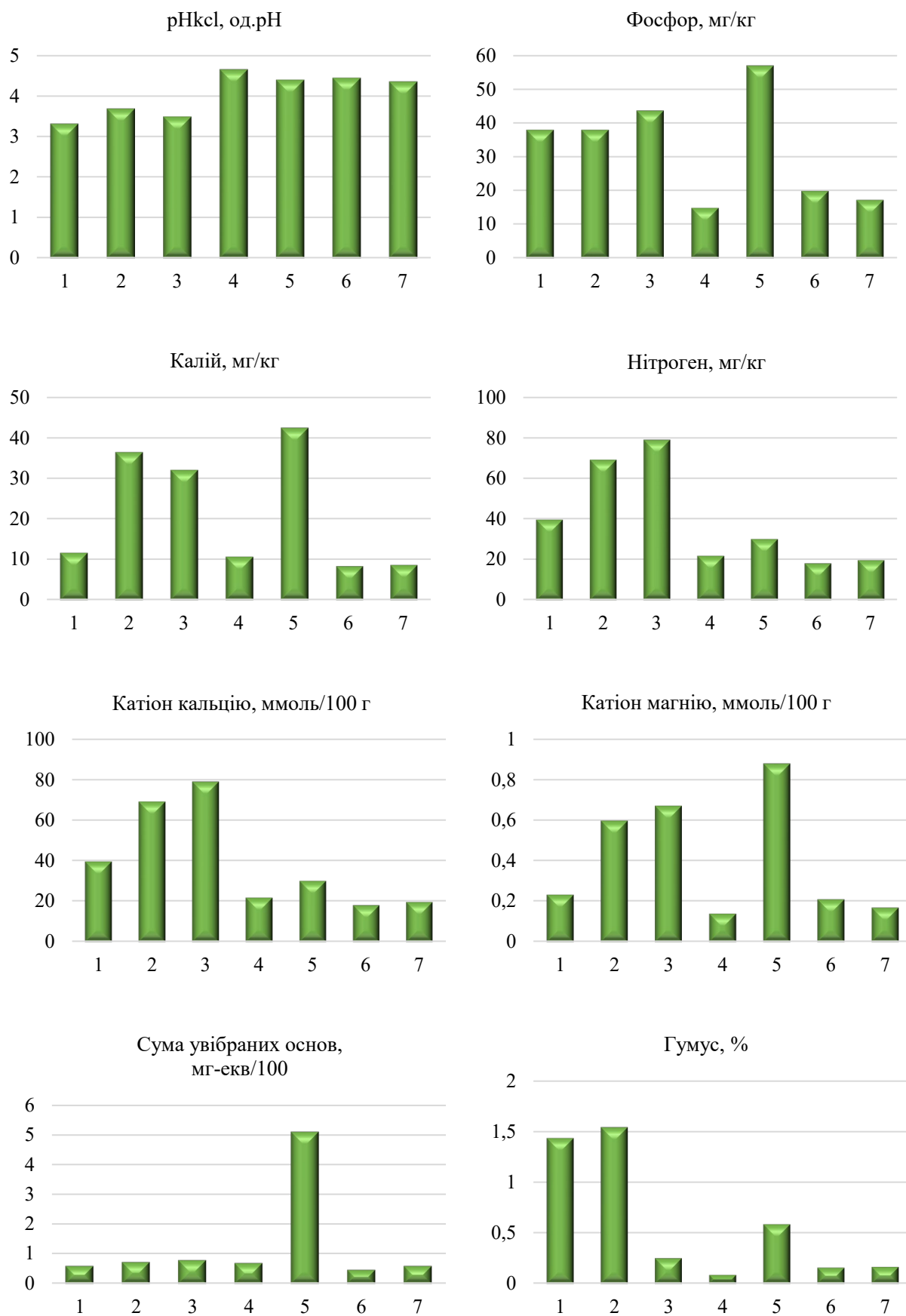
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Sample	5628,322	6	938,0537	30,78497	1,32E-21	2,180564
Columns	38664,08	7	5523,44	181,2678	5,01E-58	2,092381
Interaction	13862,06	42	330,049	10,83152	5,29E-24	1,493427
Within	3412,769	112	30,47116			
Total	61567,23	167				

*ANOVA, двофакторний дисперсійний аналіз.*

На **рисунок 2** подані діаграми середніх значень за дослідними показниками.

Контрольна ділянка (1) має показники, які загалом знаходяться у межах норми. На рекультивованих ділянках після 20 років (5) відзначається збільшенням вмістом фосфору, калію, катіонів кальцію, а також суми увібраних основ порівняно зі всіма показниками та вищим вмістом гумусу порівняно з ґрунтами на

всіх рекультивованих територіях. Високий вміст катіонів магнію спостерігається лише на рекультивованій ділянці після 30 років (сосна звичайна) (6). Різноманітність показників вказує на різницю у стані ґрунтів на різних ділянках, що впливає на їх лісорослинний потенціал. Оскільки хвойні ліси насичені органічними кислотами, опади не призводять до накопичення гумусу.



**Рис. 2** Результати середніх значень обмінної кислотності ( $pH_{kcl}$ ), рухомого фосфору ( $P_2O_5$ ) та калію ( $K_2O$ ), нітрогену легкогідролізованого ( $N_K$ ), обмінних катіонів кальцію ( $Ca$ ) та магнію ( $Mg$ ), вмісту гумусу та суми увібраних основ, де 1-7 це дослідні ділянки, номери яких співпадають з номерами в таблиці 1

Різниця середніх значень між дослідними ділянками (sample) та властивостями (columns) є статистично значущими. Параметри F значно вищі за критичне значення, що підтверджує вплив цього фактора. Взаємодія між факторами (вплив рядків та стовпців) є великою так як високий параметр F підтверджує важливість взаємодії між рядками та стовпцями, а отже ми можемо сказати, що типи рекультиваций та час після їх проведення значно впливають на лісорослинний потенціал ґрунтів.

Усі три джерела варіації (Sample, Columns, Interaction) мають дуже низький P-value, що свідчить про те, що вони статистично значущі. Існують також відмінності між групами в залежності від параметрів. Взаємодія між дослідними ділянками та дослідженими фізико-хімічними та агрохімічними властивостями ґрунтів є важливою в контексті даного дослідження.

## Висновки

У статті розглянуто вплив біологічної рекультиваций на фізико-хімічні та агрохімічні характеристики ґрунту, порушеного видобутком ільменіту. В процесі дослідження було виявлено, що кислотність зменшується після рекультиваций, сприяючи поліпшенню фізичних та хімічних властивостей. Вміст макро- та мікроелементів у ґрунті змінюється в залежності від території та часу рекультиваций. Досліджені ґрунти мають низький вміст гумусу та суми увібраних основ, що вказує на низький лісорослинний потенціал даних ґрунтів. Вміст нітрогену, фосфору та калію у ґрунті зменшується з часом після рекультиваций, ймовірно, через покращену вбирну здатність кореневої системи. Вбирна здатність, яка впливає на родючість та ґрунтоутворення, найнижча на ділянках рекультивованих 30 років тому, і найвища – на ділянках рекультивованих 20 років тому. Катіонообмінна ємність значно нижча на досліджуваних територіях порівняно з природними ґрунтами, особливо на ділянках рекультивованих 20 років тому. Двофакторний дисперсійний аналіз підтверджує статистичну значущість різниць у властивостях ґрунту між дослідними ділянками та важливість взаємодії параметрів ґрунту.

Отже, рекультивовані території після видобутку ільменіту характеризуються низьким рівнем забезпеченості ґрунтів поживними речовинами. Дослідження підтверджує, що рекультивацийні заходи суттєво впливають на фізико-хімічні та агрохімічні властивості ґрунтів, порушених видобуванням ільменіту. Найбільш помітне покращення спостерігається через 30 років після початку рекультиваций, зокрема, збільшення рівня гумусу та покращення рівноваги макроелементів. Рекомендовано проведення розширених досліджень лісорослинного потенціалу ґрунту на рекультивованих територіях, використовуючи інноваційні методи, так як ефективна рекультивация важлива для відновлення

фізико-хімічних та агрохімічних властивостей порушених ґрунтів для оптимізацій цих процесів.

## Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів щодо викладу та результатів досліджень.

## References

1. Grechanik, R., Malovanyy, M., Mariia, M., Petrushka, K., Luchyt, L., Boyko, R., Synelnikov, S., & Bordun, I. (2023). Environmentally safe reclamation of solid waste landfills. *Journal Environmental Problems*, 8 (1), 47–54. <https://doi.org/10.23939/ep2023.01.047>
2. Fresco, L. O. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*, 2 (1), 111–128.
3. Makarenko, V. V. (2016). Vplyv antropohennoho navantazhennia na stan rodiuchosti gruntiv na prykladi Korostenskoho raionu Zhytomyrskoi oblasti. *Molodyi Vchenyi*, 5, 314–317. [in Ukrainian]
4. Pankiv, Z. P. (2017). *Gruntvy Ukrainy: navchalno-metodychnyi posibnyk*. Lviv : LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian]
5. Wilpert, K. von. (2022). Forest soils – what’s their peculiarity? *Soil Systems*, 6 (1), 5. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6010005>
6. Polupan, M. I., & Velychko V. A. (2014). *Nomunklatura ta diahnozytyka ekoloho-henetychnoho statusu gruntiv Ukrainy dlia yikhnoho velykomasshtabnoho doslidzhennia*. Kyiv: Ahrarna nauka [in Ukrainian]
7. Loza, I. M., Pakhomov, O. Y., & Chorna, V. I. (2018). Evaluation of remediation efficiency of manganese quarry lands after open-cut mining: ecosystem approach. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, 122–128. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-4/16>
8. Savosko, V. M., Lykholat, Y. V., Bielyk, Y. V., & Lykholat, T. Y. (2019). Ecological and geological determination of the initial pedogenesis on devastated lands in the Kryvyi Rih Iron Mining & Metallurgical District (Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 28 (4), 738–746. <https://doi.org/10.15421/111969>
9. Neina, D. (2019). The role of soil ph in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
10. Barrow, N. J., & Hartemink, A. E. (2023). The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. *Plant and Soil*, 487 (1–2), 21–37. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>
11. Pohrebniak, P. S. (1993) *Lisova ekolohiia i typolohiia lisiv: vybrani pratsi*. Kyiv: Vydavnytstvo «Naukova dumka» [in Ukrainian]
12. Rodionov, A., Bauke, S. L., von Sperber, C., Hoeschen, C., Kandeler, E., Kruse, J., Lewandowski, H., Marhan, S., Mueller, C. W., Simon, M., Tamburini, F., Uhligh, D., von Blanckenburg, F., Lang, F., & Amelung, W. (2020). Biogeochemical cycling of phosphorus in subsoils of temperate forest ecosystems. *Biogeochemistry*, 150 (3), 313–328. <https://doi.org/10.1007/s10533-020-00700-8>
13. Horáková, E., Pospíšilová, L., Vlček, V., & Menšík, L. (2020). Changes in the soil’s biological and chemical properties due to the land use. *Soil and Water Research*, 15 (4), 228–236. <https://doi.org/10.17221/44/2019-swr>
14. DSTU ISO 10390:2022 *Grunt, obrobleni bio-vidkhody ta osad. Vyznachennia pH (ISO 10390:2021, IDT)*. Chynnyi vid 2022-05-09. (2022). Kyiv [in Ukrainian]
15. DSTU 4405:2005 *Yakist gruntu. Vyznachennia rukhomykh spoluk fosforu i kaliuu za metodom Kirsanova v modyfikatsii NNTs IHA*. Chynnyi vid 2006-07-01. (2005). Kyiv [in Ukrainian]
16. DSTU 7863:2015 *Yakist gruntu. Vyznachennia lehkohidroliznoho azotu metodom Kornfilda*. Chynnyi vid 2016-07-01. (2005). Kyiv [in Ukrainian]
17. DSTU 7604:2014 *Yakist gruntu. Vyznachennia obminnoho kaltsiiu ta obminnoho mahniuu u karbonatnykh gruntakh metodom Tiuryna*. Chynnyi vid 2015-07-01. (2015). Kyiv [in Ukrainian]
18. DSTU 4289:2004 *Yakist hruntu. Metody vyznachennia orhanichnoi rechovyny*. Chynnyi vid 2004-04-30. (2004). Kyiv [in Ukrainian]

19. DSTU 4362:2004 *Yakist gruntu. Pokaznyky rodiuchosti gruntiv. Chynnyi vid 2006-01-01.* (2006). Kyiv [in Ukrainian]
20. Shomko, O. M., & Davydova, I. V. (2022) Study of physicochemical and agrochemical indicators of soil after reclamation of territories disturbed by ilmenite mining. *Abstracts of the XVIII All-Ukrainian scientific on-line conference of higher education applicants and young scientists with international participation «Modern problems of ecology», (October 06, 2022).* (pp. 103–104). Zhytomyr: Zhytomyr Polytechnic.
21. Vedmid, M. M., Raspopina, S. P., & Zborovska, O. V. (2013). Lisoroslynniy potentsial dernovo-pidzolystrykh gruntiv u zoni Skhidnoho ta Tsentralnoho Polissia. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Lisivnytstvo ta Dekoratyvne Sadivnytstvo*, 187 (3), 176–184. [in Ukrainian]
22. Parbhakar-Fox, A., & Lottermoser, B. (2016). Principles of sulfide oxidation and acid rock drainage. *Environmental Indicators in Metal Mining*, 15–34. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42731-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42731-7_2)

#### ORCID

O. Shomko  <https://orcid.org/0000-0003-2418-0985>



2024 Shomko O. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.