

УДК 631.481:504

**АНАЛІЗ МОРФОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ ТА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ
ЕДАФОТОПІВ ПОСТТЕХНОГЕННИХ ТЕРИТОРІЙ СІРЧАНИХ
КАР'ЄРІВ****В. П. ОЛІФЕРЧУК**, кандидат біологічних наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-2800-2254>

E-mail: victorijaoliferchuk@gmail.com;

І. В. ШУКЕЛЬ, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
<https://orcid.org/0000-0002-9331-1523>

E-mail: shukel@ukr.net;

С. Б. МАРУТЯК, кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
<https://orcid.org/0000-0002-0509-8604>

E-mail: msofiya@ukr.net

*Національний лісотехнічний університет України***У. М. ТАРАС**, кандидат сільськогосподарських наук

E-mail taras.ulyana@ukr.net

*Львівська обласна військова адміністрація***О. І. НАУМОВСЬКА**, кандидат сільськогосподарських наук,<https://orcid.org/0000-0002-5938-8471>

E-mail: naumovska@nubip.edu.ua

Національний університет біоресурсів і природокористування України[https://doi.org/10.31548/dopovidi2\(102\).2023.021](https://doi.org/10.31548/dopovidi2(102).2023.021)

Анотація. Наведено результати досліджень особливостей формування морфологічної структури та хімічних показників в едафотопіх ембріоземів і техноземів на посттехногенних територіях Яворівського та Подороженського сірчаних кар'єрів. Впродовж 30 років після припинення видобування сірки і закриття родовищ за впливу різних екологічних і антропогенних чинників відбулися істотні зміни у основних характеристиках порушених ґрунтів у межах території сірчаних кар'єрів. Встановлено, що ґрунтовий покрив посттехногенних територій представлений просторовими комбінаціями різних типів ембріоземів (ініціальні, органо-акумулятивні, гумусово-акумулятивні та дернові). Найпоширенішими є ембріоземи органо-акумулятивні, які перебувають на стадії нагромадження органічної речовини у поверхневому шарі. Ембріоземи і техноземи Яворівського кар'єру належать до ущільненого типу ґрунту з показниками густини ґрунту (d_1) 0,96–1,57 г/см³. Густина твердої фази (d_2) становить 2,21–2,60 г/см³, що відповідає малогумусним мінеральним горизонтам з оголеним горизонтом і наближається за значеннями до природного фону зональних ґрунтів непорушених ландшафтів. Ґрунти ембріоземів за водневим показником рН (8,0–8,2) є лужними, техноземи з рН 7,6 – слаболужними. Рівень значень показників гідролітичної кислотності ґрунтів посттехногенних територій є високим (0,185–0,615 мг-екв/100 г), що в майже 1,6 рази вище, ніж у зональних ґрунтах. Унаслідок природних процесів вміст гумусу в ембріоземах збільшився до 0,29–0,61%, у техноземах – 0,83–1,47%. Вміст рухомих форм азоту в едафотопіх Яворівського та

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

Подорожненського сірчаних кар'єрів коливається від 18,9 до 112,3 мг/кг ґрунту та від 13,7 до 54,5 мг/кг ґрунту відповідно. Впродовж 2011–2021 р. фіксували підвищення вмісту та накопичення основних макроелементів в ембріогемах і технозомах обох кар'єрів.

Ключові слова: трансформаційні процеси в едафотонах, ембріоземи, техноземи, видобування корисних копалин, ґрунтовий покрив, фізико-механічні властивості, агрохімічні показники, гумус

Вступ. Серед низки екологічних проблем західного регіону України важливе місце займає відновлення ґрунтів і ландшафтів, які зазнали деструкційних процесів унаслідок діяльності людини, зокрема інтенсивного видобутку корисних копалин [1, 2]. Ці питання є актуальні для Львівщини [2, 3], де впродовж кількох десятиліть проводилось масштабне видобування сірки відкритим та підземним способами. Внаслідок цього на території області нині налічується близько 13 тис. га девастрованих земель [1–5].

Порушені під час видобутку самородної сірки ландшафти трансформуються внаслідок зміни основних показників ґрунтового покриву: фізичного (деформації мезорельєфу, зміна ґрунтової структури при гідромеханізації), механічного (складування сірковмісних і розкритих порід, облаштування хвостосховищ) та хімічного (забруднення викидами та відходами на підземної виплавки сірки, флотації сірковмісних порід тощо) [1–10].

Важливо визнати, що після припинення гірничодобувних робіт минуло понад 30 років, а екологічна

ситуація все ще залишається критичною і потребує постійного системного моніторингу, комплексних досліджень для попередження надзвичайних ситуацій та ефективного відновлення посттехногенних територій [4, 11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гірничодобувний сектор має ключове значення для світової економіки, оскільки забезпечує сировиною важливі галузі народного господарства. Дані світової статистики свідчать, що щороку підприємства гірничої промисловості добувають понад 100 млрд. т сировини [5, 6], а дохід 40 провідних світових гірничодобувних компаній, які представляють переважну більшість усієї галузі, у 2021 р. склав близько 925 млрд дол. США [8]. Водночас лише близько 10% видобутої сировини використовується ефективно, а екологічні і соціальні наслідки діяльності таких підприємств набувають глобальних масштабів [1, 8].

Екологічні проблеми у зоні видобутку корисних копалин починаються вже на етапі розвідувальних робіт і посилюються

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

під час безпосереднього видобутку та після припинення гірничодобувних робіт. Унаслідок перебудови геологічної структури земної поверхні, що може сягати глибини декількох сотень метрів, під час гірничодобувних робіт відбуваються значні, а інколи незворотні, зміни ландшафтів [9, 10]. Змінюється рельєф та гідрологічний режим. Змін зазнають морфологічні властивості ґрунтового покриву, повністю втрачаються його фізичні, хімічні та біологічні властивості.

Руйнування ландшафтів спричиняє фрагментацію [2, 10] та втрату осередків існування для біологічних видів [11], негативно впливає на міграційні маршрути тварин [12] і призводить до збіднення біорізноманіття [1, 10–12]. Негативного впливу зазнають прилеглі до об'єктів видобування корисних копалин екосистеми через забруднення ґрунтів [11], поверхневих і підземних вод [13], атмосферного повітря [5], що може поширюватися на значні відстані і тим самим завдавати значної шкоди здоров'ю людей та добробуту місцевих громад [1, 2]. Серед низки екологічних наслідків видобутку корисних копалин окреме місце займає питання викидів парникових газів, що загострює проблему через вплив на зміни клімату [5].

У Західному регіоні України з середини ХХ ст. активно велися роботи з видобутку корисних

копалин, зокрема сірки, що призвело до руйнування значних площ ландшафтів, трансформації ґрунтового і рослинного покриву [5]. Ці посттехногенні території потребують відновлення девастрованих земель, у т.ч. поліпшення їх властивостей, відновлення родючості ґрунтів та екосистемних послуг [3, 11, 14]. Нажаль, природне відновлення деградованих земель відбувається повільно [3, 10], може займати тривалий період часу і залежить від природно-кліматичних умов і ступеня порушення ландшафтів [10].

Дослідження посттехногенного періоду розвитку відвалів сірчаних кар'єрів, екологічних наслідків забруднення навколишнього природного середовища, екологогеохімічних процесів та формування ґрунтового покриву, екологічних особливості флористичної та мікологічної структури девастрованих земель проводили М. Копій з колегами, У. Тарас, О. Марискевич та ін. вчені [1, 4, 10, 14–25]. Окрему групу досліджень присвячено мікроорганізмам забруднених екотопів, сукцесійним змінам ґрунтового мікробіому сірчаних кар'єрів, участі мікобіоти у відтворенні ґрунтової родючості [18–20]. А також аналізу природних сукцесійних процесів та оцінки процесу самовідновлення рослинного

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

покриву на девастрованих землях [11, 22–24].

Наразі сучасні дослідження орієнтовані на поглиблене дослідження чинників, що визначають вибір та застосування різних технологічних підходів рекультиваційних робіт, у т.ч. за використання біоагентів та фітомеліорації, на посттехногенних територіях колишніх сірчаних кар'єрів [1, 25].

Отже, питання дослідження трансформації едафотопів посттехногенних антропогенного навантаження на стан поверхневих вод західного регіону України є надзвичайно актуальним.

Мета дослідження – дослідити особливості морфологічної структури та зміну агрохімічних показників посттехногенних територій Яворівського та Подорожненського сірчаних кар'єрів.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження природного процесу ґрунтоутворення на посттехногенних територіях

колишніх сірчаних кар'єрах Яворівського ДГХП «Сірка» проводили впродовж 2011–2021 рр. Зразки ґрунту відбирали на посттехногенних територіях Яворівського та Подорожненського сірчаних кар'єрів (Львівська обл.), на яких видобуток сірки було припинено у 1995–1998 рр. згідно з Постановою КМ України від 21.06.1995 р. № 442 і від 02.03.1998 р. № 258.

Серед моніторингових точок були обрані ембріоземи (Е), техноземи (Т) та зональні (ЗГ) ґрунти. Для едафотопів Яворівського сірчаного кар'єру це моніторингові точки ЗГ1, ЗГ2, Е3, Е4, Е5, Е7, Т6, для Подорожненського сірчаного кар'єру – це ЗГ4, ЗГ7, Е1, Е2, Е3, Т5, Т6. Моніторингові точки ембріоземів (Е) розміщені біля берегових смуг кар'єрів, техноземи (Т) – біля кар'єрів у місцях зберігання техніки та палива (колишні склади), зональні ґрунти (ЗГ) – біля населених пунктів (віддаленість від кар'єрів біля 2,5 км) (Табл. 1, Рис. 1).

1. Координати моніторингових ділянок сірчаних кар'єрів

Яворівський кар'єр		Подорожненський кар'єр	
№ моніторингових точок	Пн ш Сх д	№ моніторингових точок	Пн ш Сх д
ЗГ1	49.916013, 23.477243	Е1	49.245874, 24.187057
ЗГ2	49.928807, 23.467802	Е2	49.245503, 24.190462
Е3	49.939110, 23.455414	Е3	49.249022, 24.193583
Е4	49.942938, 23.454617	ЗГ4	49.249763, 24.209188
Е5	49.946451, 23.450109	Т5	49.253838, 24.211175
Т6	49.948008, 23.446654	Т6	49.256060, 24.207770
Е7	49.940318, 23.461888	ЗГ7	49.238170, 24.234651



А



Б

Рис. 1. Карта просторового розміщення моніторингових точок у межах Яворівського (А) і Подорожненського (Б) сірчанних кар'єрів

Зональні ґрунти в районі Яворівського сірчаного кар'єру представлені у більшості дерново-підзолистими ґрунтами. Ці ґрунти приурочені до розчленованих вододільних горбистих денудаційно-структурних височин і сформувалися в умовах надлишкового зволоження на безкарбонатних породах під лісовими біоценозами внаслідок доміантного підзолистого та

слабкого дернового процесів ґрунтоутворення. Профіль диференційовано за елювіально-ілювіальним типом, де виділяють гумусово-елювіальний НЕ, елювіальний Е, ілювіальний І горизонти та ґрунтозна порода Р. Ґрунти здебільше зв'язно-піщаного і супіщаного гранулометричного складу, трапляються піщані та суглинкові відміни. Вміст фізичної

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

глини зв'язно-піщаних ґрунтів у горизонті НЕ сягає 6,4–9,0, супіщаних – 10,4–19,5 %. Характерна слабовиражена нетривка грудкувата структура або ж безструктурні [26, 27]. Уміст гумусу в горизонті НЕ зв'язно-піщаних відмін сягає 0,96–1,17 %, супіщаних – 1,15–2,30 %. Вміст гумусу в горизонті НЕ та в товщі 0–20 см ґрунтів становлять 31,1–58,0 т/га і оцінюють як дуже низькі і низькі. У складі гумусу горизонту НЕ переважають фульвокислоти, кількість яких сягає 37,87–48,38 %. Відношення С_{гк} : С_{фк} у горизонті НЕ 0,64–0,83, що свідчить про гуматно-фульватний тип гумусу [27]. Ґрунти характеризуються сильно-кислою, середньо-кислою та слабо-кислою реакцією ґрунтового розчину в горизонті НЕ, величина рН сольового у межах 3,58–5,10. Величина гідролітичної кислотності сягає 1,80–6,83 ммоль/100 г ґрунту, ступінь їх кислотності оцінюється від дуже низького до дуже високого. Сума ввібраних основ у горизонті НЕ 1,40–12,22 ммоль/100 г ґрунту і оцінюється як дуже низька, низька та середня [28, 29].

Зональні ґрунти в районі Подорожнянського сірчаного кар'єру представлені у більшості світло-сірими лісовими ґрунтами, які приурочені до плакорів, вододілів та їх схилів, окремих горбів, припіднятих розчленованих рівнин. Ґрунти формуються під широколистяними лісами внаслідок

поєднання підзолистого, дернового та глейового процесів ґрунтоутворенням за умов періодично промивного типу водного режиму. Глибина залягання рівня ґрунтових вод в автоморфних відмінах понад 6 м, зволожуються ґрунти за рахунок атмосферних опадів. Щільні ілювіальні горизонти, слугують локальним водоупором і спричиняють поверхневе оглеєння ґрунтів. Профіль ґрунтів має горизонти – гумусово-ілювіальний НЕ, ілювіальний слабо-гумусований І_h, ілювіальний І та ґрунтоутворна порода Р. Потужність орного горизонту окультурених відмін сягає 28–32 см, інколи 40 см. Горизонт відзначається сірим однорідним забарвленням, порохувато-грудкувато-зернистої, зернисто-грудкуватої, грудкувато-пилуватої структури, з мучнистою присипкою SiO₂. Слабкі ознаки оглеєння в автоморфних сірих лісових ґрунтах проявляються з глибини 124–143 см у перехідному горизонті Р_i та ґрунтоутворній породі Р. У глеюватих ґрунтах оглеєння проявляються в ілювіальному або ілювіальному перехідному горизонті під лісовою рослинністю з 78 см, в окультурених ґрунтах – з 97 см. Е поверхнево-оглеєних відмінах під лісовою рослинністю оглеєння з поверхні, в окультурених ґрунтах простежуються в підорному горизонті. За гранулометричним складом ґрунти належать до грубо-пилувато- та піщанисто-легкосуглинкових.

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

Фракція фізичної глини в горизонті НЕ становить 20,40–24,94 % [26, 29]. Світло-сірі лісові ґрунти характеризуються невисоким вмістом і запасами гумусу. Вміст гумусу у горизонті НЕ цілинних відмін становить 1,38–3,20 % та оцінено як дуже низький і низький. У сірих лісових ґрунтах під ріллею, відношення С_{гк} : С_{фк} становить 0,82–3,0, тип гумусу гуматно-фульватний, фульватно-гуматний і гуматний. В складі гумусу переважають фульвокислоти, в оглеєних відмінах – частіше гумінові кислоти [29, 30]. Реакція ґрунтового розчину ґрунтів під лісовою рослинністю сильно-кисла, величина рН_{сол.} у горизонті НЕ –3,4–4,1. Величина гідролітичної кислотності в горизонті цілинних ґрунтів 9,6–11,1 ммоль/100 г ґрунту, ступінь кислотності ґрунтів дуже високий. Ступінь насиченості

ґрунтового вбирного комплексу основами від дуже низького до високого. Ґрунти не належать до категорії особливо цінних, не відзначаються високою природною родючістю. Окультурення неоднозначно позначається на властивостях цих ґрунтів [29, 30].

Досліджувані території Яворівського і Подорожненського сірчаних кар'єрів характеризувалися підвищеним вмістом сірки з перевищенням ГДК у ґрунті еմбріоземів у 4,1–7,6 і 2,1–9,1 раза, техноземів – у 41,0–48,6 і 4,2–9,1 раза відповідно (табл. 1, 2). На всіх моніторингових ділянках з часом спостерігається зменшення вмісту сульфат-іонів (SO₄²⁻) у ґрунті. Проте ці значення ще не відповідають вимогам гігієнічних регламентів допустимого вмісту [31].

2. Вміст сульфат-іонів (SO₄²⁻) на моніторингових ділянках сірчаних кар'єрів за даними 2011 р. і 2021 р., М±m, мг/кг

№ монітор. точок	Яворівський кар'єр		№ монітор. точок	Подорожненський кар'єр	
	2011 р.	2021 р.		2011 р.	2021 р.к
ЗГ1	243,94±13,63	243,94±13,63	Е1	417,81±68,13	417,81±68,13
ЗГ2	275,24±14,48	275,24±14,48	Е2	1420,84±122,36	1420,84±122,36
Е3	633,51±7,01	633,51±7,01	Е3	610,47±17,50	610,47±17,50
Е4	886,32±34,67	886,32±34,67	ЗГ4	162,32±2,57	162,32±2,57
Е5	7714,37±219,46	7714,37±219,46	Т5	1457,82±62,09	1457,82±62,09
Т6	6618,52±253,89	6618,52±253,89	Т6	652,00±25,10	652,00±25,10
Е7	1246,04±97,45	1246,04±97,45	ЗГ7	183,87±7,24	183,87±7,24

Примітка. ГДК H₂SO₄ у ґрунті – 160 мг/кг [31].

Вивчення морфологічної структури та властивостей ґрунту

проводили методом закладання прикопок та ґрунтових розрізів.

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

Зразки ґрунту у 4-х кратній повторності відбирали з верхнього шару (0–5 см) згідно з ДСТУ 4976:2008, в яких визначали основні фізико-механічні, фізико-хімічні та агрохімічні показники за чинними державними стандартами [32–36].

Оброблення отриманих результатів експериментів здійснювали методами статистичного аналізу за використання програми Excel 2013 Microsoft Office [37].

Результати та їх обговорення.

У результаті видобування сірки на яворівському та подорожненському кар'єрах відбулися значні зміни ландшафтів, які і досі мають значну низку невирішених екологічних і соціальних проблем. Зокрема ґрунтовий покрив зазнав масштабних змін, верхній шар різних типів ґрунтів був повністю розпорошений і захоронений в товщі відвалів та гідровідвалів, а на поверхню винесені четвертинні та неогенові відклади третинного віку та глини [16, 38, 39].

Формування рослинності та природний процес ґрунтоутворення впродовж 30 років після припинення

активного видобування сірки і закриття кар'єрів сприяли розвитку ембріоземів, в яких відбувається поступове структурування верхніх шарів і означення ґрунтових генетичних горизонтів.

За результатами морфологічного обстеження посттехногенних територій сірчаних кар'єрів встановлено, що едафотопи досліджуваних територій біогенно нерозвинуті, утворюються на рихлих породах, сформованих третинними глинами, належать до ембріоземів, які сформувалися в наслідок природного самовідновлення ґрунтів та рослинного вкриття.

Ґрунтовий покрив посттехногенних територій представлений просторовими комбінаціями різних типів ембріоземів, таких як ембріоземи ініціальні, органо-акумулятивні, гумусово-акумулятивні та дернові. Основними діагностичними ознаками, які свідчать про класифікаційну приналежність, є наявність у профілях відповідних діагностичних горизонтів (табл. 3).

3. Морфологічна структура ембріоземів сірчаних кар'єрів [40]

Ембріозем	Діагностичні горизонти	
	Тип	Ознаки
Ініціальний	Відсутні	Неоднорідний субстрат
Органо-акумулятивний	Органогенний НО	Фронтальний або фрагментарний потужністю 0–1(3) см
	Перехідний hD	Окремі темно-сірі плями
Дерновий	Дерновий Hd	Фрагментарний або фронтальний
Гумусово-акумулятивний	Гумусовий Н	Фронтальний потужністю 0–3 см
	Перехідний Н(h)D	Фрагментарний потужністю 3–6 см

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

Для дернового ембріозему характерна наявність фрагментарного або фронтального дернового горизонту Hd, для органо-акумулятивного ембріозему – типовим є фронтальний органогенний горизонт HO з оторфованих напіврозкладених решток рослин, для гумусово-акумулятивного ембріозему – виражений фронтальний гумусовий горизонт H потужністю 0–3 см і перехідний фрагментарний горизонт H(h)D потужністю 3–6 см.

Найпоширенішими на територіях техногенних ландшафтів є ембріоземи органо-акумулятивні. Через тридцять років після

завершення видобутку сірки на території кар'єрів цей тип ґрунту перебуває на стадії нагромадження органічної речовини у поверхневому шарі. Органогенний горизонт HO потужністю 0–1(3) см характеризується незначним діапазоном вмісту гумусу від 0,27 до 1,47%, який морфологічно візуалізується фрагментарно, під ним формується горизонт H(h)D, де також виявляли темно-сірі плями.

Про мозаїчність ембріоземів сірчаного кар'єру свідчать показники фізичних властивостей верхнього шару ґрунту на території Яворівського сірчаного кар'єру (табл. 4).

4. Фізико-механічні показники верхнього шару ґрунту (0–5 см) Яворівського сірчаного кар'єру з

Моніторингова ділянка	Густина ґрунту (d_1), г/см ³	Густина твердої фази (d_2), г/см ³	Пористість ($V_{пор.}$), %	Аерація ґрунту ($V_{аер.}$), %
ЗГ1	1,45	2,61	44,46	29,97
ЗГ2	1,37	2,60	48,90	30,46
Е3	1,57	2,51	41,11	9,69
Е4	1,31	2,61	48,87	34,00
Е7	1,23	2,60	60,20	49,89
Т5	1,21	2,21	46,84	13,89
Т6	0,96	2,58	61,78	45,49

Примітка. Рівень достовірності експериментальних даних 95%.

Важливим фізико-механічним показником є густина ґрунту (d_1), яка на досліджуваних територіях Яворівського кар'єру варіює в широких межах від 0,96 г/см³ до 1,57 г/см³. Найнижчий рівень показника d_1 фіксували в технозомах (Т5, Т6), найвищий – в ембріоземі (Е3). Отримані дані свідчать, що ембріоземи належать до ущільненого

типу ґрунту, суглинисті та глинисті з показником густини ґрунту у середньому 1,37 г/см³. За таких умов на ембріоземах формуються сприятливі для росту і розвитку рослинності умови. Такі ґрунти пропускають і утримують вологу та повітря, що свідчить про відносну забезпеченість рослин вологою. За показника густини ґрунту

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

1,6–1,7 г/см³ коріння деревних порід практично в землю та нижні шари не проникає.

Значення показників густини твердої фази (d_2) посттехногенних едафотопів сірчаного кар'єру коливалися в межах 2,21–2,60 г/см³ і у середньому становило 2,50 г/см³, що відповідає малогумусним мінеральним горизонтам з оголеним горизонтом і наближається до природного фону густини твердої фази ґрунту зональних ґрунтів непорушених ландшафтів (2,60–2,61 г/см³).

Пористість ($V_{пор}$) ґрунту характеризує форму та величину пор усередині структурних відмін між ними. Визначено, що величина пористості ґрунту на території сірчаного кар'єру коливається в межах 41,11–61,78%, що також свідчить про значну різноманітність фізичних характеристик посттехногенних територій. При цьому середній показник пористості ембріоземів на досліджуваних моніторингових ділянках (Е3, Е4, Е7) становить 50,06 % техноземів (Т5, Т6) – 54,31 %, що вище ніж у зональних ґрунтах на 7–16 %. Такий доволі високий показник пористості ґрунту характерно для оструктурених суглинкових і глинистих різновидах ґрунту. Висока пористість верхніх

горизонтів є важливим чинником продуктивності ґрунту, що позитивно впливає на ріст і стійкість рослинних угруповань.

Здатність ґрунту втримувати за певного фізичного стану ту чи іншу кількість повітря визначається показником аерації ґрунту ($V_{аер.}$). Значення цього показника, аналогічно як і пористість ґрунту, коливається в доволі широких межах 9,69–49,89 %, що також свідчить про значну різноманітність фізичних характеристик ембріоземів і техноземів на території сірчаного кар'єру. У середньому значення показника аерації у ґрунті посттехногенних територій становить 30,59 %, що свідчить про дефіцит кисню для рослин. У ґрунті ембріозему (Е3) фіксували найнижчий показник аерації 9,69 %, що визначається як критичний. Загалом значних змін у фізичних властивостях досліджуваних територій за останні майже 10 років не відбулось [15].

Строкатість фізичних властивостей ґрунтів ембріоземів і техноземів сірчаних кар'єрів та вплив різних екологічних та антропогенних чинників відображається на хімічних властивостях новоутворених ґрунтів. Про що свідчать результати стан кислотності ґрунту та накопичення гумусу (табл. 5).

5. Кислотність та вміст гумусу у верхньому шарі (0–5 см) ґрунті території Яворівського сірчаного кар'єру, 2011 р.

Моніторингова ділянка	Актуальна кислотність, рН	Потенційна кислотність		Гумус, %
		обмінна, рН _{KCl}	гідролітична Нг, мг-екв/100 г	
ЗГ1	8,0	7,9	0,183	1,13
ЗГ2	8,1	7,9	0,264	0,98
Е3	8,1	7,9	0,185	0,49
Е4	8,2	7,8	0,205	0,29
Е7	8,0	7,7	0,445	0,61
Т5	7,6	7,1	0,615	1,47
Т6	7,6	7,5	0,358	0,83

Примітка. Рівень достовірності експериментальних даних 95%.

Встановлено, що актуальна кислотність рН у зональних ґрунтах непорушених ландшафтів і ембріоземів знаходиться на одному рівні 8,0–8,2 і є лужними. У ґрунті техноземів актуальна кислотність є дещо нижчою і визначається як слаболужна. Аналогічно фіксували і за показником обмінної кислотності. Показники гідролітичної кислотності ґрунтів посттехногенних територій знаходяться в межах від 0,185 до 0,615 мг-екв/100 г, що в майже 1,6 раза вище, ніж у зональних ґрунтах.

Порушені внаслідок гірничодобувних робіт ґрунти як правило характеризується відсутністю гумусових сполук та поживних елементів. Це підтверджують і наші результати досліджень. Варто відмітити, що накопичення органічних речовин у едафотопях колишніх сірчаных кар'єрів відбувається повільно. За майже 30-річний період унаслідок природних процесів, зокрема діяльності ґрунтової мікробіоти і рослин, вміст гумусу в ембріоземах

зріс до 0,29–0,61 %, у техноземах – 0,83–1,47 %. Глинисто-мергельні ембріоземи вирізняються низьким вмістом гумусу порівняно з фоновими світло-сірими лісовими та слабо-дерново-підзолистими ґрунтами і належать до дуже бідних ґрунтів. Вміст рухомих форм азоту в едафотопях посттехногенних ландшафтів сірчаных кар'єрів має строкатий характер і коливається від 1,89 до 11,23 мг/кг ґрунту в Яворівському кар'єрі та від 1,37 до 5,45 мг/кг ґрунту – в Подорожненському кар'єрі. Середній показник для Яворівського кар'єру становить 4,59 мг/кг ґрунту, для Подорожненського – 2,83 мг/кг ґрунту. Рухомі сполуки фосфору в ґрунті варіює від 0,14–15,89 до 0,43–17,01 мг/кг ґрунту в едафотопях Яворівського кар'єру та від 0,11–18,56 до 0,48–20,11 мг/кг ґрунту в едафотопях Подорожненського кар'єру.

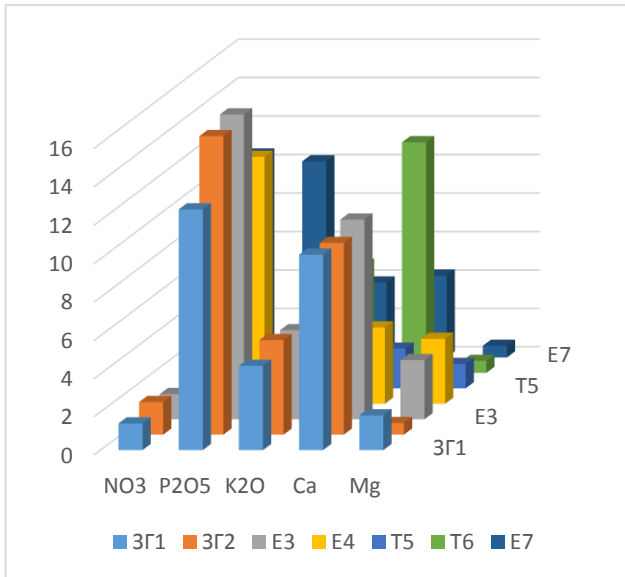
Водорозчинний калій – як легко доступний рослинам з водорозчинних солей мінеральних і органічних

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

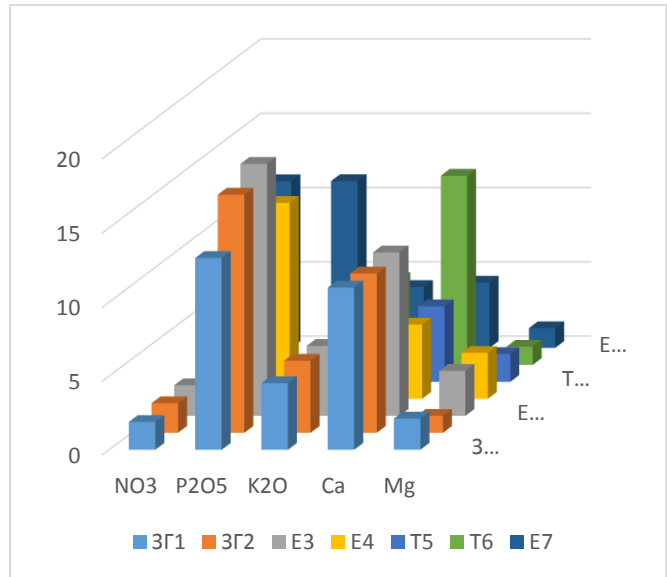
кислот, та такий, що переходить у водорозчинну форму з ґрунтово-вбирного комплексу і калієвмісних мінералів під час взаємодії з водою. Вміст рухомих сполук калію варіює від 4,11 до 7,21 мг/кг ґрунту в едафотобах Яворівського кар'єру, від 1,26 до 3,82 мг/кг ґрунту – едафотобах Подорожненського кар'єру. Середній

вміст K_2O у ґрунті для Яворівського кар'єру становить 5,22 мг/кг ґрунту, а для Подорожненського кар'єру – 2,64 мг/кг ґрунту.

Також досліджували зміни основних агрохімічних показників за період 2011–2021 рр., а саме основних макроелементів, які є важливими для росту і розвитку рослин (Рис. 2, 3).

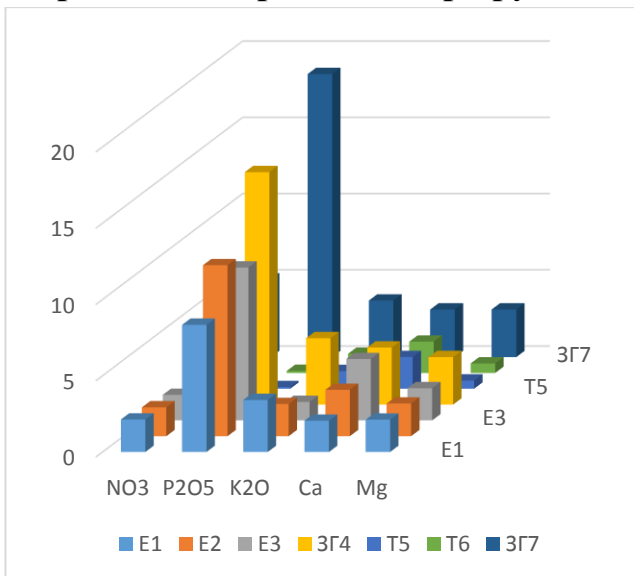


2011 р.

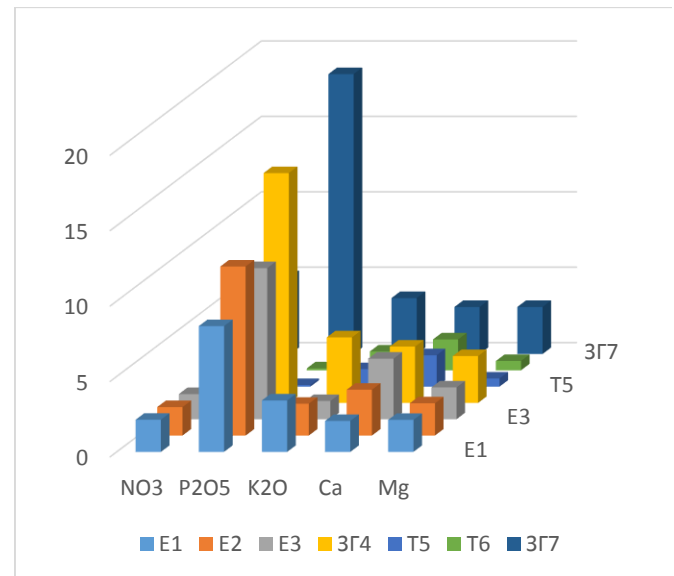


2021 р.

Рис. 2. Вміст хімічних елементів у верхньому шарі (0–5 см) ґрунту Яворівського сірчаного кар'єру, мг/кг



2011 р.



2021 р.

Рис. 3. Вміст хімічних елементів у верхньому шарі (0–5 см) ґрунту Подорожненського сірчаного кар'єру, мг/кг

Встановлено, що на посттехногенних територіях Яворівського сірчаного кар'єру за останні десять років уміст нітратного азоту в едафотобах ембріоземів (Е3, Е4) зріс на 35–36 %, лише на 6 % в ембріоземі Е7 і на 17–27 % у техноземах, що свідчить про накопичення в ґрунтах мінерального азоту та активність процесів нітрифікації. Цей показник свідчить про інтенсивність окультурення ґрунту. В умовах Подорожненського сірчаного кар'єру спостерігається повільніше накопичення нітратного азоту в ґрунті ембріоземів і техноземів – відповідно на 13 % і 7 %.

Накопичення сполук рухомого фосфору і калію в ґрунтах ембріоземів обох кар'єрів було також незначним – у середньому за 2011–2021 рр. уміст P_2O_5 зріс на 5 і 6 %, K_2O – на 5 і 21 % відповідно у едафотобах Яворівського і Подорожненського кар'єрах. Крім того, на моніторинговій ділянці ембріозему Е2 фіксували зниження рухомих сполук калію на 23%.

У техноземах обох кар'єрів спостерігали накопичення рухомих сполук фосфору на рівні 27–67 % і 73–80 % та підвищення вмісту рухомих сполук калію – 1,5–2,5 % і 1–16 % відповідно для Яворівського і Подорожненського кар'єрів.

Визначено, що в едафотобах Яворівського кар'єру середній вміст обмінного кальцію становить 8,59 мг-

екв/100 г ґрунту, обмінного магнію – 1,99 мг-екв/100 г ґрунту. Відповідно для Подорожненського кар'єру ці показники становили 3,12 мг-екв /100 г ґрунту і 2,05 мг-екв/100 г ґрунту. У засолених ґрунтах, які є характерні для досліджуваних територій, кальцій трапляється частіше у вигляді гіпсу $CaSO_4 \times 2H_2O$ або ж хлориду $CaCl \times 6H_2O$, а магній – у вигляді простих хлоридів і сульфатів та їх подвійних солей.

Інтенсивніше накопичення кальцію і магнію у ґрунті відбулось у техноземах Яворівського сірчаного кар'єру – за 10 років їх уміст зріс у середньому на 33–41 %. У ґрунті ембріоземів уміст кальцію зріс майже на 10 %. Накопичення в ґрунті магнію фіксували лише на моніторинговій ділянці Е7, на інших ділянках (Е3, Е4) – відбувалось зниження вмісту в середньому на 5 %.

На посттехногенних територіях Подорожненського сірчаного кар'єру накопичення в едафотобах цих важливих для рослин і мікробіоти елементів проходило повільніше. Фіксували зростання вмісту Са на 15 % і Mg на 7 % в техноземах і відповідно на 1,2 % і 5 % – в ембріоземах.

Висновки

Після 30-річного припинення видобутку сірки ґрунтовий покрив посттехногенних територій Яворівського і Подорожненського сірчанних кар'єрів представлений

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

просторовими комбінаціями різних типів ембріоземів (ініціальні, органо-акумулятивні, гумусово-акумулятивні та дернові).

Найпоширенішими є ембріоземи органо-акумулятивні, які перебувають на стадії нагромадження органічної речовини у поверхневому шарі. Ембріоземи і техноземи Яворівського кар'єру належать до ущільненого типу ґрунту з показниками густини ґрунту (d1) 0,96–1,57 г/см³. Густина твердої фази (d2) становить 2,21–2,60 г/см³ та відповідає малогумусним мінеральним горизонтам з оголеним горизонтом і наближається за значеннями до природного фону зональних ґрунтів непорушених ландшафтів. Ґрунти ембріоземів за водневим показником рН (8,0–8,2) є лужними, техноземи з рН 7,6 – слаболужними. Значення показників гідролітичної кислотності ґрунту посттехногенних територій є високим (0,185–0,615 мг-екв/100 г), що майже у 1,6 рази вище, ніж у зональних ґрунтах. Вміст гумусу в ембріоземах

збільшився до 0,29–0,61 %, а у техноземах – 0,83–1,47 %. Вміст рухомих форм азоту в едафотопях Яворівського та Подорожненського сірчанних кар'єрів коливається від 18,9 до 112,3 мг/кг ґрунту та від 13,7 до 54,5 мг/кг ґрунту відповідно. Впродовж періоду досліджень 2011–2021 роках фіксували підвищення вмісту та накопичення основних макроелементів в ембріоземах і техноземах кар'єрів.

За впливу різних екологічних чинників відбувається поступова трансформація ембріоземів і техноземів, поліпшення їх фізико-механічних та агрохімічних показників верхнього шару ґрунту, накопичення гумусу. На посттехногенних територіях сірчанних кар'єрів, де ґрунтоутворювальна порода представлена лесовидними суглинками формуються дернові ембріоземи, а їх агрохімічні та фізичні властивості створюють сприятливі умови для росту і розвитку рослинного покриву.

References

1. Prykhodko, M.M. (2012). Ekologichni ryzyky zabrudnennia heosystem v rehioni ukrainskykh Karpat i prylehlykh terytorii [Environmental risks of geosystem pollution in the Ukrainian Carpathian region and adjacent territories]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu – Scientific bulletin of the University of Chernivtsi*, 614–615, 95–104 [in Ukrainian]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvchnu_2012_614-615_24.
2. Kravtsiv, V.S. (2013). Karpatskyi rehion: aktualni problemy ta perspektyvy rozvytku. Ekologichna bezpeka ta pryrodno-resursnyi potentsial: monohrafiia u 8 tomakh [The Carpathian region: current problems and development prospects. Ecological safety and natural resource potential: a monograph in 8 volumes]. Lviv, T. 1 [in Ukrainian]. URL: <http://ird.gov.ua/irdp/p20130001.pdf>.
3. Kopii, M.L., Honchar, V.M., Kopii, S.L., ta in. (2019). Fitomelioratyvna rol roslynnoho pokryvu u vidtvorenni devastovanykh zemel v mezhakh sirchanykh rozrobok Zakhidnoho Lisostepu: monohrafiia [Phytomeliorative role of plant cover in the reproduction of devastated lands within the limits of sulfur development of the Western Forest Steppe: monograph]. Rivne: NUVHP

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

[in Ukrainian]. URL:

<http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/18251>

4. Savchuk, L.V., Doskich, S.V. (2020). Revitalizatsiia terytorii vidpratsovanykh Yazivskoho ta Nemyrivskoho rodovyshch sirchanykh rud [Territory revitalization of the spent yazivsky and nemyrivsky sulfur ore deposits]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky Scientific notes of the Tavra National University named after V.I. Vernadskyi. Series: Technical sciences*, 31(70), 4, 273–278 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.4/41>.

5. Cox, B., Innis, S., Kunz, N.C. et al. (2022). The mining industry as a net beneficiary of a global tax on carbon emissions. *Commun Earth Environ*, 3, 17 [in English]. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00346-4>.

6. Hodge, R.A., Ericsson, M., Lof, O. et al. (2022). The global mining industry: corporate profile, complexity, and change. *Miner Econ*, 35, 587–606 [in English]. <https://doi.org/10.1007/s13563-022-00343-1>.

7. Henckens, T. (2021). Scarce mineral resources: Extraction, consumption and limits of sustainability. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105511 [in English]. URL: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105511>.

8. Mining industry worldwide – statistics & facts. URL: <https://www.statista.com/topics/1143/mining/#topicOverview> [in English].

9. Haddaway, N.R., Cooke, S.J., Lesser, P. et al. (2019). Evidence of the impacts of metal mining and the effectiveness of mining mitigation measures on social–ecological systems in Arctic and boreal regions: a systematic map protocol. *Environ Evid*, 8, 9 [in English]. URL: <https://doi.org/10.1186/s13750-019-0152-8>.

10. Rudko, G.I. (2006). Resursy heolohichnoho seredovyshcha ta ekolohichna bezpeka tekhnopryrodnykh system [Resources of the geological environment and ecological safety of techno-natural systems]. Kyiv [In Ukrainian].

11. Olyferchuk, V., Kendzora, N., Hotsii, N. et al. (2023). Changes in the Structure of Soil Microscopic Fungi in the Territories of Yavoriv and Podorozhenie Sulfur Quarries. *Ecological*

Engineering & Environmental Technology, 3, 120–134 [in English]. URL: <https://sci.ldubgd.edu.ua/jspui/handle/123456789/11616>.

12. Mudrak, O., Demyanyuk, O., & Mahdiichuk, A. (2022). Hirnycho-promyslovi landshafty Pravoberezhnoho Lisostepu yak potentsiini strukturni elementy rehionalnoi ekomerezhi [Mining and industrial landscapes of the right-bank forest-steppe as potential structural elements of the regional eco-network]. *Ekolohichni nauky – Environmental sciences*, 4(43), 149–153 [in Ukrainian]. doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.24.

13. Kopii, M.L., Marutiak, S.B., Kopii, L.I. (2016). Analiz morfolohichnoi struktury ta khimichnoho skladu porushenykh gruntiv u mezhakh Novorozdilskoho DHKhP «Sirka» [Analysis of the morphological structure and chemical composition of disturbed soils within the boundaries of the Novorozdilsk DHHP “Sirka”]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of UNFU*, 26(4), 212–219 [in Ukrainian]. doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.4-43.24.

14. Zakon Ukrainy «Pro Osnovni zasady (strategiiu) derzhavnoi ekolohichnoi polityky Ukrainy na period do 2030 roku» [Law of Ukraine. On the Key Principles (Strategy) of the State Environmental Policy of Ukraine for the Period till 2030]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text> [in Ukrainian].

15. Taras, U.M. (2013). Problemy rekultyvatsii sirchanoho kar'ieru v zoni diialnosti Yavorivskoho derzhavnoho hirnycho-khimichnoho pidpriemstva «Sirka» [The revegetation problems of sulphuric pit during activity of the Yavoriv state mines-chemical enterprise «Sirka»]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of UNFU*, 23(2), 154–158 [in Ukrainian].

16. Taras, U.M., Marytjak, S.B. (2013). Doslidzhennia fizyko-khimichnoho stanu gruntu na devastovanykh zemliakh u zoni diialnosti Yavorivskoho derzhavnoho hirnycho-khimichnoho pidpriemstva «Sirka» [Investigation of physico-chemical soil condition on devastated lands in activity zones of Yavoriv State Mining Chemical Plant “Sirka”]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy –*

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

Scientific bulletin of UNFU, 23 (14), 56–62 [in Ukrainian]. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/problemi-rekultivatsiyi-sirchanogo-kareru-v-zoni-diyalnosti-yavorivskogo-derzhavnogo-girnicho-himichnogo-pidpriemsta-sirka>.

17. Maryshevych, O.H., Shpakivska, I.M. (2001). Osoblyvosti formuvannya gruntovoho pokryvu na vidvalakh Rozdil'skoho DHKhP "Sirka" [Peculiarities of the formation of soil cover on the dumps of the Rozdil'sky DHHP "Sirka"]. *Naukovi zapysky Derzhavnoho pryrodoznavchoho muzeiu – Scientific notes of the State Natural History Museum*, 16, 147–152 [in Ukrainian]. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/doslidzhennya-fiziko-himichnogo-stanu-gruntu-na-devastovanih-zemlyah-u-zoni-diyalnosti-yavorivskogo-derzhavnogo-girnicho-himichnogo>.

18. Maryshevych, O.H., Shpakivska, I.M., Didukh, O.I. (2005). Formuvannya gruntiv u mezhakh tekhnogennoho landshaftu Yavorivskoho DHKhP "Sirka" [Formation of soils within the man-made landscape of the Yavorivsk DHHP "Sirka"]. *Naukovyi visnyk Chernivetskoho un-tu. Seriya Biologiya – Scientific bulletin of the University of Chernivtsi. Biology series*, 251, 175–185 [in Ukrainian].

19. Kopii, M.L., Oliferchuk, V.P. (2016). Mikolohichna struktura gruntu v mezhakh sformovanykh ekotopiv porushenykh landshaftiv Yavorivskoho sirchanoho kar'ieru [Mycological structure of the soil within the formed ecotopes of disturbed landscapes of the Yavoriv sulfur quarry]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of UNFU*, 26(1), 174–181 [in Ukrainian]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mikologichna-struktura-gruntu-v-mezhah-sformovanih-ekotopiv-porushenih-landshaftiv-yavorivskogo-sirchanogo-kareru>.

20. Kopii, M.L., Oliferchuk, V.P., Kopii, L.I. (2017). Porivnialna kharakterystyka mikolohichnoi struktury tekhnozemiv sirchanykh kar'ieriv Lvivshchyny [Comparative characteristics of the mycological structure of technozems of sulfur quarries in Lviv Oblast]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of UNFU*, 27(3), 99–104 [in Ukrainian]. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/porivnyalna-kharakteristika-mikologichnoyi-strukturi-tekhnozemiv-sirchanih-kareriv-lvivshchiny>.

21. Oliferchuk, V., Shukel, I. (2022). Struktura kompleksiv mikromitsetiv u ekotopakh sirchanykh kar'ieriv zakhidnoho rehionu Ukrainy [The structure of micromycetes complexes in the ecotopes of sulfur quarries in the western region of Ukraine]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Balanced nature management*, 4, 129–140 [in Ukrainian].

22. Kopii, M.L. (2018). Vplyv suktesiinykh protsesiv na vidtvorennia porushenykh zemel v mezhakh Yavorivskoho sirchanoho kar'ieru Lvivskoi oblasti [The influence of successional processes on the reproduction of disturbed lands within the Yavoriv sulfur quarry of Lviv region]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of UNFU*, 28(8), 45–50 [in Ukrainian].

23. Nazarovets, U.R., Oliferchuk, V.P., Kopii, L.I., Kopii, M.L. (2017). Suktsesii fitotsenoziv u mezhakh Podorozhnenskoho sirchanoho kar'iera [Successions of phytocenoses within the Podorozhnensky Sulfur Quarry]. *Ahroekolohichnyi zhurnal – Agroecological journal*, 1, 121–127 [in Ukrainian].

24. Kopii, M.L., Kopii, L.I. (2016). The influence of vegetation on the redistribution of organic substances and chemical elements in technozems of the Yavorivsk sulfur quarry. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of UNFU*, 26.5, 194–204 [in Ukrainian].

25. Henyk, Ya.V. (2010). Soil revitalization as a basis for landscape restoration. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific bulletin of UNFU*, 20.13, 93–98 [in Ukrainian].

26. Nazaruk, M.M. (2018). *Natural conditions and natural resources of Lviv region: monograph*. Lviv: Vydavnytstvo Staroho Leva [in Ukrainian].

27. Pidkova, O.M., Kit, M.H. (2010). *Lithogenic and genetic conditions of soil cover formation in Roztochchi: monograph*. Lviv: Vydavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian].

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

28. Lutsyshyn, O., Haskevych, V. (2016). *Soils of the Nadsyan plain: monograph*. Lviv: LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian].
29. Pavliuk, N.M., Haskevych, V.H. (2011). *Gray forest soils of Opillia*. Lviv: LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian].
30. Romaniv, P.V., Pozniak, S.P. (2010). *Geographical and genetic features of the physical condition of the soils of Precarpathia*. Lviv: Vydavnychiy tsentr LNU imeni Ivana Franka [in Ukrainian].
31. *Order of the Ministry of Health of Ukraine dated 14.07.2020 No. 1595. On the approval of the Hygienic Regulations on the permissible content of chemical substances in the soil*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0722-20#Text> [in Ukrainian].
32. DSTU ISO 10390:2007 (2012). *Soil quality. Determination of pH*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
33. DSTU 4289:2004 (2005). *Soil quality. Methods for determination of organic matter*. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].
34. DSTU 7945:2015 (2016). *Soil quality. Determination of calcium and magnesium ions in aqueous extract*. Kyiv: DP "UkrNDNTs" [in Ukrainian].
35. DSTU 4729:2007 (2008). *Soil quality. Determination of total nitrogen in the modification of the NSC IHA named after O.N. Sokolovskiy*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
36. DSTU 4115-2002 (2002). *Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Chiricov modified method*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
37. Bovt, V.D., Horokhovskiy, Ye.Yu., Zolotarenko-Horbunova, L.M. (2011). *Basics of statistical analysis in ecology for the biological faculty of the specialty "Ecology and environmental protection". Educational and methodological manual*. Zaporizhzhia: ZNU [in Ukrainian].
38. *Mining and chemical industry of Lviv region. History. The present day. Future. Ecology*. (2002). Lviv: VAT "Hikhirprom" [in Ukrainian].
39. *Yavoriv State Mining and Chemical Enterprise "Sirka"*. (2001). Novoiavorivsk [in Ukrainian].
40. Taras, U.M. (2016). *Restoration of plant communities on the devastated lands of the Yavoriv sulfur quarry: autoref. thesis on of science candidate degree agricultural sciences*. Lviv [in Ukrainian].

ANALYSIS OF MORPHOLOGICAL STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION OF EDAPHOTOPES OF POST-TECHNOGENIC AREAS OF SULFUR QUARRIES

V. P. Olinerchuk, I. V. Shukel, S. B. Marutyak, U. M. Taras, O. I. Naumovska

Abstract. *The results of the research of the peculiarities of morphological structure development and change in chemical indicators of edaphotopes of embriozems and technozems on the post-technogenic lands at the Yavoriv and Podorozhnie sulfur quarries were described in the article. During 30 years after intensive sulfur mining was stopped and mines closure under the influence of various environmental and human-caused factors significant changes of disturbed soils characteristics occurred within the sulfur quarries. It was established that soil cover of post-technogenic areas was represented by special combinations of various types of embriozem soils (initial, organic and accumulative, humus and accumulative, and dernozem). The most widespread embriozem soils are organic and accumulative, which are developing at the organic substances accumulation stage in the surface layer. Embriozem and technozem soils of the Yavoriv quarry belong to the dense type of soil with soil density index of (d_1) 0,96–1,57 g/cm³. Solid phase density (d_2) is 2.21–2.60 g/cm³, which corresponds to low-humus mineral horizons with bare horizon and*

Оліферчук В. П., Шукель І. В., Марутяк С. Б., Тарас У. М., Наумовська О. І.

its values are close to the natural background of zonal soils of the disturbed landscapes. Based on the hydrogenous index pH (8.0–8.9) embiozem soils are alkaline; and technozem soils with pH7.6 are regarded as slightly alkaline. The level of values of indicator of hydrolytic acidity of soils on post-technogenic areas is high (0,185–0,615 mg-CaCO₃/100 g), which is 2.6 times higher than in zonal soils. During almost 30 years period, as a result of natural processes humus content in embriozem soils increased up to 0.29–0.61%, in technozem soils – 0.83–1.47%. The content of mobile forms of nitrogen in edaphotopes of the Yavoriv and Podorozhnie sulfur quarries fluctuates from 18.9 to 112.3 mg/kg of soil and from 13.7 to 54.5 mg/kg of soil, respectively. During 2011–2021, the increased content and accumulation of main macroelements in embriozem and technozem soils of the both quarries were recorded.

Key words: *transformational processes in edaphotopes, embriozem soils, technozem soils, mining, soil cover, physical and chemical properties, agrochemical indicators, humus*