



Environmental evaluation of suitability of recultivated land in a manganese quarry for the existence of soil biota

I. M. Loza*, V. I. Chiorna**

*Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

**Dnipro State Agrarian-Economic University, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 19.04.2017

Received in revised form
07.05.2017

Accepted 10.05.2017

Oles Honchar Dnipro National
University, Gagarin ave., 72,
Dnipro, 49010, Ukraine.
Tel.: +38-056-760-84-38

E-mail: irinaloza23@gmail.com

Dnipro State
Agrarian-Economic University,
Sergiy Yefremov st., 25,
Dnipro, 49027, Ukraine.
Tel.: +38-097-268-38-71.

Loza, I. M., & Chiorna, V. I. (2017). Environmental evaluation of suitability of recultivated land in a manganese quarry for the existence of soil biota. Biosystems Diversity, 25(4), 318–322. doi:10.15421/011748

The challenge of degradation of natural ecosystems because of human activity is considered by the world community to be the most serious problems facing mankind. As a result of mineral extraction, man-made landscapes and environmentally ruined areas replace natural habitats and agroecosystems; a whole spectrum of man-made processes are typical for such landscapes, which leads to a decrease in species richness and biological diversity within such areas. Degraded territories formed in the process of coal mining are often partially restored through remediation measures. During the implementation of the technical stage of remediation, substrates with different potential fertility having different environmental properties and quality are used. However, in quality assessment of remediated soils insufficient attention is paid to restoration of the environmental properties of the soils, namely their suitability for the existence of soil biota, which ensures the soil's sustainability and vitality. The main indicators determining the productivity of remediated lands and the degree of their suitability for the existence of soil biota are values of actual acidity and degree of salinity. An assessment of the quality of reclaimed lands of the Ordzhonikidzevsky ore mining and processing enterprise was carried out on the example of the Zaporizhsky open-cast mine with the aim of assessing the possibility of their economic use and suitability for the existence of soil biota, as well as to make recommendations for further rational use. It was found that main characteristics of the study area (capacity of bulk humic layer, content of humus in the bulk layer, content of physical clay in the bulk humic layer and in the subsoil, average soil density in the meter bulk layer, salinity of the bulk humic layer and subsoil, composition and properties of subsoil), of the Zaporizhzhya quarry's reclamation is suitable for the further settlement and successful existence of the soil biota. It is concluded that as a result of the technical stage of reclamation, an artificial reclaimed soil was obtained, which according to its characteristics is similar to the primary zonal soils that were located in this area prior to mining; the recultivated soil has somewhat lower fertility and greater salinity at the lower horizons, but is capable of performing ecological functions and can not only be used for economic purposes, but also perform ecological functions, serving as an environment for the existence of soil biota.

Keywords: soil invertebrates; soil bonitet; extraction industry; ecosystem assessment; technogenesis

Екологічне оцінювання якості рекультивації земель кар'єру видобутку марганцевої руди щодо можливості існування ґрунтових безхребетних

I. M. Лоза*, В. І. Чорна**

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

**Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна

Проблему деградації природних екосистем унаслідок техногенної діяльності людини визнала світова спільнота за найактуальнішу проблему людства. Порушені території, утворені у процесі вуглевидобутку, частково відновлюють шляхом рекультивації, під час якої використовують субстрати з різною потенційною родючістю, що мають різні екологічні властивості та якість. Але у процесі оцінювання якості рекультивованих ґрунтів недостатню увагу приділяють відновленню їх екологічних властивостей, тобто їх придатності до існування ґрунтової біоти, яка забезпечує стійкість та життєвість ґрунтів. У статті проведено оцінювання якості рекультивованих земель Запорізького кар'єру Орджонікідзевського гірничо-збагачувального комбінату на можливість їх господарського використання та придатності для існування ґрунтової біоти, а також надано рекомендації щодо подальшого раціонального використання. За основними фізико-хімічними характеристиками досліджена територія рекультивації придатна для подальшого заселення та успішного існування ґрунтової біоти. У результаті технічного етапу рекультивації одержано штучний рекультивований ґрунт, який за характеристиками подібний із первинними зональними ґрунтами, що були на цій ділянці до проведення гірничих робіт. Рекультивований ґрунт має меншу родючість та

більшу засоленість нижніх горизонтів, однак здатний виконувати екологічні функції та може не тільки використовуватися для господарських цілей, а й виконувати екологічні функції, слугуючи середовищем для існування ґрунтової біоти.

Ключові слова: ґрунтові безхребетні; видобувна промисловість; бонітування ґрунтів; екосистемна оцінка; техногенез

Вступ

Діяльність людини, яка викликає надмірне споживання природних ресурсів, спричинює деградацію земель в усьому світі; у такі процеси залучені практично всі екосистеми Землі (Jachimko, 2012; Khaledian et al., 2012, 2016; Brevik et al., 2015, 2016; Keesstra et al., 2016). Одним з основних екологічних проблем у країнах, що розвиваються, вважається серйозна деградація екосистем (Pereira et al., 2016), яка посилюється тенденціями зростання індустріалізації та урбанізації в цих регіонах. Ґрунти у межах промислових зон, а також районів, що оточують ці об'єкти, часто сильно забруднені різними хімічними речовинами, зокрема, важкими металами (Beniston et al., 2016; Marín et al., 2016; Rodríguez-Seijo et al., 2016). У результаті видобутку корисних копалин із використання вилучаються землі господарського призначення. На їх місці формуються техногенні ландшафти (відвали та кар'єри), а також деструктивні території, для яких характерні просідні явища, підйом і вихід на денну поверхню високомінералізованих ґрунтових вод, а також кислих шахтних вод, забруднення токсичними сполуками, зниження видового багатства та біологічного різноманіття угруповань таких ділянок (Kul'bachko et al., 2011). Порухені території, утворені в процесі вугледобутку, частково відновлюють шляхом рекультиваци (Pecharová et al., 2011). В Україні найпоширеніша модель рекультиваци сульфідних порід шляхом їх засипання суглинками, глиною, піском із потужністю шару 1,0–1,5 м із подальшим нанесенням на ці екрани шару родючого ґрунту потужністю 0,6–0,8 м. Заключний етап відновлення порушених земель – біологічний. Його різновиди – різні способи фіторекультиваци з використанням трав'янистих, деревних і чагарникових насаджень (Lovinska, 2016), спрямовані на формування екологічно збалансованих ландшафтів. На цьому етапі рекультиваци важливу роль у створенні механізмів стійкості екосистем відіграє ґрунтова мезофауна, зокрема, представники її сапротрофного комплексу – дощові черви, енхітреїди, двопарноногі багатоніжки тощо. Ці безхребетні в результаті трофометаболічної активності вносять значний екологічний внесок у перетворення ґрунтових властивостей (Eisenhauer, 2010). Доведено зростання ефективності відновлення рекультивемів у разі збагачення їх копролітами дощових червів та одночасне поліпшення якості насипних ґрунтів (Kul'bachko et al., 2011, 2015, 2016).

Нікопольський марганцевий басейн – найбільше родовище марганцевих руд у світі. Басейн розташований на півдні України, у Дніпропетровській і Запорізькій областях. Частка України у світовому виробництві марганцевої руди становить декілька десятків відсотків, що дозволяє не тільки забезпечити внутрішні потреби, а і забезпечити експортні надходження. Запас руди басейну становить 2,1 млрд т. Потужність рудоносного пласта – 1,5–5,0 м, глибина залягання – 15–140 м. Об'єкти Нікопольського марганцевого басейну Орджонікідзевського гірничо-збагачувального комбінату (ОГЗК) вважаються прикладом успішного проведення рекультивацийних заходів (Halperyn et al., 2016). В умовах Нікопольського марганцевого басейну переважає напрям сільськогосподарського використання рекультивованих земель. До основних технологічних процесів входять планування поверхні відвалу після гірничих заходів, покриття спланованої поверхні відвалу шаром суглинку (1,5 м) із подальшим його розрівнюванням, покриття суглинку шаром чорнозему (приблизно 0,5 м) і розрівнювання його поверхні, терасування бортів та відкосів, будова дренажної мережі, меліоративна та агрохімічна підготовка рекультовуваних земель, біологічна рекультиваци земель. Але у процесі оцінювання якості рекультованих ґрунтів недостатню увагу приділяють відновленню їх екологічних властивостей, тобто придатності до існування ґрунтової біоти, яка забезпечує стійкість та життєвість ґрунтів.

Методика рекультиваци техногенно порушених земель наразі узагальнена та добре вивчена. Однак у більшості рекультиваций-

них схем екологічного відновлення техногенних територій не врахована повнота натуралізації та функціонування рекультивованих екосистем, оскільки більшість рекультивацийних заходів зосереджені лише на стані рослинності та наземної макрофауни. Серед біоти важливу роль у створенні механізмів стійкості агросистем відіграє ґрунтова мезофауна, зокрема, представники її сапротрофного комплексу (Lumbricidae, Diplopoda тощо).

Ці тварини завдяки своїй трофометаболічній діяльності вносять значний екологічний внесок у перетворення ґрунтових властивостей, виступаючи як ґрунтозахисний біологічний фактор органічного землеробства. Можливість існування безхребетних у ґрунтах екосистем тісно пов'язана з екологічними характеристиками (зволоженість, засоленість ґрунту, його механічний склад, наявність підстилки тощо (Вругадуєнко, 2016). Ґрунтови тварини впливають на педогенез, родючість і структурованість ґрунту, регуляцію водного режиму та клімату, кругообіг речовин тощо. Але при цьому роль тварин у відновленні екосистем і специфіка впливу окремих видів вивчені недостатньо. Незважаючи на високу екологічну значущість, екологічні сервіси, які забезпечуються ґрунтовими тваринами, залишаються мало вивченими. Особливо це стосується території гірничих розробок. Особливу актуальність має питання, як і в якому масштабі окремі види тварин здатні оптимізувати порушені властивості екосистем (Albrecht et al., 1998; Luck et al., 2009). Експериментально доведено, що екскреції дощових червів мають вищу кислотно-основу буферну ємність порівняно з буферністю вихідних ґрунтів. Рекультивемі, збагачені копролітами дощових червів, стають стійкішими до негативного впливу техногенезу (Atiyeh et al., 2002; Blouin et al., 2013). На ділянках рекультиваци активність дощових червів позитивно впливає на екологічні властивості насипних ґрунтів, підвищуючи їх буферну здатність (Kul'bachko et al., 2011; 2016).

Також наявні відомості щодо позитивного впливу продуктів життєдіяльності представників Lumbricidae (*Eisenia fetida* Savigny, 1926) на агрохімічні характеристики орних земель (Ivanova, 2014). Шестимісячна експансія ґрунту представниками Lumbricidae викликала зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів агроценозів, а також гранулометричного складу на користь збільшення кількості корисних фракцій і зменшення відсотка крупних та пилюватих часток. В умовах експерименту в контрольованих умовах зовнішнього середовища зафіксовано, що дощові черви сприяли зменшенню сполук кальцію та хлору у ґрунті приблизно на 34%, а натрію – на 50% від початкової кількості. Показники карбонату іона та сульфату-іона водної витяжки залишились на незмінному рівні. Також відзначено, що кількість органічної речовини у ґрунті після експерименту збільшилась в 1,3 рази. Автори зазначають, що під час розгляду можливості використання Lumbricidae як об'єкта біологічної меліораци ґрунтів нестійких агроценозів, слід урахувувати мінливість умов довкілля (Ivanova, 2014).

Порушення ґрунтового покриву в результаті діяльності людини спричиняє майже повне знищення ґрунтової мезофауни. На рекультованих ділянках щільність мезофауни приблизно в 2–43 рази нижча, ніж на фонових ділянках. Згідно з даними Zhuravel et al. (2013), щільність дощових червів залишилась дуже низькою навіть після п'яти років рекультиваци. Під час рекультиваци відбувається перемішування незасолених шарів ґрунту з підстиляючими породами – червоно-бурими глинами, для яких часто характерне засолення, що може спричинити також засолення верхніх горизонтів рекультованих ґрунтів. У цьому випадку будуть спостерігатися негативні екологічні наслідки, оскільки засолення ґрунтів пригнічує розвиток ґрунтових бактерій, грибів, викликає негативні зміни комплексів ґрунтової біоти. Засолені ділянки найшвидше заселяють личинки Diptera та Coleoptera (Elateridae). Дощові черви здатні витримувати лише слабе засолення ґрунту (Karaca, 2011).

Бонітування ґрунтів – порівнянне оцінювання їх родючості, визначення ступеня придатності ґрунтів для вирощування сільсько-

господарських культур. Під час проведення оцінювання не порушені земель за оціночною одиницю приймають агропробничу групу ґрунтів єдиного для країни номенклатурного списку. Стосовно рекультивованих ґрунтів, виділяють подібні оціночні групи та складають єдиний список, проте параметри фактичної рекультивації не завжди відповідають проектним параметрам. Згідно з проектними даними, у складі рекультивованих земель має бути насипний гумусований шар потужністю 50 см, який підстиляється незасоленими лесоподібними суглинками на глибину 150 см. Збирання даних щодо властивостей рекультивованих земель здійснюється по ділянках виконаної рекультивації. Дані щодо фізико-хімічних характеристик одержують із застосуванням методів ґрунтово-агрохімічного дослідження. Властивості ґрунтів, що корелюють із врожайністю, виражають у балах.

Мета цієї статті – оцінити якість рекультивованих земель Орджонікідзевського гірничо-збагачувального комбінату на прикладі Запорізького кар'єру (Нікопольський район Дніпропетровської області) щодо можливості їх господарського використання та придатності для існування ґрунтової біоти, а також надання рекомендацій щодо подальшого раціонального використання. Предмет досліджень – оцінка якості проведення рекультивації ґрунтів із метою виявлення умов для існування представників зооценологічного блоку. Досліджено фізико-хімічні властивості рекультивованих ґрунтів ОГЗК Олександрівського кар'єру: потужність насипного гумусованого шару, вміст гумусу в насипному шарі, вміст фізичної глини в насипному гумусованому шарі та у підстиляючій породі, середня щільність складу в метровому насипному шарі, засолення насипного родючого шару та підстиляючої породи, склад і властивості підстиляючих порід.

Матеріал і методи досліджень

Обстежена територія рекультивації Запорізького кар'єру розташована на території Покровської сільської ради, вона займає площу 8,9 га та призначається для використання в орних угіддях. Територія належить до Апостолівського природно-сільськогосподарського району, провінція Степова посушлива Правобережна. Нахил поверхні обстеженої ділянки не перевищує 1°. Мікроснижень та інших деформацій поверхні від просядок ґрунту не виявлено. Обстежена площа рекультивації представлена однією ділянкою. Для проведення досліджень у межах цієї ділянки закладено два ґрунтові розрізи. Нанесений шар гумусованої чорноземної маси являє собою суміш гумусового та перехідних горизонтів чорнозему звичайного. Потужність чорноземного шару дорівнює 56–60 см. У середньому глибина насипного родючого шару становить 58,0 см. Чорноземний шар частини території не несе ознак засолення. Нижче плужної підшви чорнозем уцільнений. По всьому профілю наявні карбонати кальцію у вигляді білуватих крапель. Породи, що підстиляють чорноземний шар, представлені сумішшю лесових суглинків і червоних глин. На території рекультивації Запорізького кар'єру досліджені породи не містять водорозчинні солі вище порога токсичності та належать до незасолених. На рекультивованих землях Запорізького кар'єру Орджонікідзевського ГЗК виявлено наявність впливу підстиляючих порід на продуктивність рекультивованих земель, причому коефіцієнт впливу дорівнює 0,97 (табл. 1). Механічний склад рекультивованих ґрунтів Запорізького кар'єру характеризують як склад шару насипного чорнозему та склад підстиляючих порід. Дослідження ґрунтових умов проводили шляхом закладання серії ґрунтових розрізів. Збирання та обробку даних проведено за такими показниками: 1) потужність насипного гумусованого шару (см); 2) вміст гумусу в насипному шарі (%); 3) вміст фізичної глини в насипному гумусованому шарі та у підстиляючій породі (%); 4) гранулометричний склад насипного шару метрової товщини; 5) засолення насипного родючого шару та підстиляючих порід (ступінь); 6) склад і властивості підстиляючих порід.

Вміст гумусу визначали за ДСТУ 4289:2004 «Якість ґрунту. Метод визначання органічної речовини». Аналіз водної витяжки

проводили згідно з ГОСТ 26425-85 «ґрунти. Методи визначення іона хлориду в водній витяжці», ГОСТ 26426-85 «ґрунти. Методи визначення іона сульфату у водній витяжці», ГОСТ 26427-85 «ґрунти. Метод визначення натрію та калію у водній витяжці», ГОСТ 26428-85 «ґрунти. Методи визначення кальцію та магнію в водній витяжці». Гранулометричний склад насипного шару ґрунту визначали згідно з ГОСТ 12536-79 «ґрунти. Методи лабораторного визначення зернового (гранулометричного) складу».

Під час бонітування склали шкалу балів бонітету, причому за 100 балів приймали найкращий (найродючіший) ґрунт району бонітування. Для врахування ґрунтових процесів, які значуще впливають на врожайність, але недостатньо виявляються з використанням кількісних показників, застосовують коригувальні коефіцієнти, специфічні для конкретних територій. Для розрахунку балів бонітування рекультивованих земель на перших етапах використовують три перші показники, інші показники родючості застосовують як поправкові коефіцієнти. ґрунтова карта рекультивованих земель складається з чотирьох картограм (засолення ґрунтосумішей, потужності насипного гумусованого шару, підстиляючих порід і механічного складу ґрунтосумішей) і відзначається значною строкатістю. Розраховані бали бонітету порівнюють із балами еталонного зонального ґрунту та роблять висновки щодо цінності цього ґрунту з позиції вирощування сільськогосподарських культур, а також використовують для проведення економічних розрахунків грошової оцінки земель. Розраховували стандартні відхилення (SD) та середні значення. За кожним показником фізико-хімічних властивостей проаналізовано 50 зразків.

Результати

Механічний склад верхнього насипного шару рекультивованого ґрунту – важкосуглинковий, переважають частинки діаметром менше 0,01 мм (табл. 1). Механічний склад підстиляючих порід – важкосуглинковий та глинистий. У середньому по кар'єру в шарі 0–100 см вміст фізичної глини (частки розміром менше 0,01 мм) становить 52,9%. Вміст гумусу в орному шарі варіює (2,0–2,3%) і характеризується як низький (Arinushkina, 1970). У підстиляючій материнській породі гумус міститься у залишковій кількості, що обумовлено перемішуванням ґрунтових горизонтів чорнозему звичайного під час технічного етапу рекультивації.

Аналіз водних витяжок продемонстрував, що у складі катіонів домінуюча роль належить кальцію та магнію. Катіони натрію наявні в низькій концентрації та в орному шарі сягають максимального значення 1,07 мг-екв./100 г ґрунту на глибині 23–30 см рекультизему. Але це значення одиничне, і у більшості випадків концентрація катіонів натрію в орному шарі не перевищує 0,32 мг-екв./100 г ґрунту. У складі аніонів переважають сульфати, а хлориди та карбонати займають підпорядковане положення (табл. 2). На глибині 90–100 см обох ґрунтових профілів спостерігали підвищення концентрації натрію до 0,25 і 0,79 мг-екв./100 г ґрунту, але на цій глибині токсична дія натрію не виявляється.

Згідно з показниками сухого залишку засолення в орному шарі рекультизему не спостерігається, оскільки ці показники не перевищують 0,30% на глибині 0–10 см обох ґрунтових розрізів (Arinushkina, 1970). У підстиляючій породі розрізу 1 на глибині 90–100 см показник сухого залишку сягає 0,30%, що характеризує породу на цій глибині як слабозасолену, однак це у подальшому не вплине на генез рекультизему, оскільки в умовах вододілу майже відсутній вплив підґрунтових вод на ґрунтовий профіль. Результати аналізу водної витяжки ґрунтового розрізу 2 продемонстрували відсутність засолення по всьому профілю рекультизему.

Також у ході аналізу водних витяжок рекультивованих ґрунтів не спостерігалась наявність водорозчинних солей вище порогу токсичності у насипному чорноземному шарі на всій території ділянки. Для визначення балу бонітету рекультивованих ґрунтів Запорізького кар'єру були використані наведені показники їх властивостей (в середньому по ділянці) (табл. 4).

Таблиця 1

Фізичні властивості рекультивованих ґрунтів ПАТ ОГЗК, Запорізький кар'єр (2016 р., n = 5; x ± SD)

Номер розрізу	Індекс горизонтів	Глибина відбирання зразка, см	Гіроскопічна вода, %	Вміст гумусу, %	Механічний склад, %						
					діаметр частинок > 0,25 мм	діаметр частинок 0,25–0,05 мм	діаметр частинок 0,05–0,01 мм	діаметр частинок 0,01–0,005 мм	діаметр частинок 0,005–0,001 мм	діаметр частинок < 0,001 мм	діаметр частинок < 0,01 мм
1	H+Hp+Ph	0–10	3,82 ± 0,21	2,10 ± 0,110	0,10 ± 0,01	5,20 ± 0,20	44,40 ± 1,50	8,30 ± 0,39	12,00 ± 0,58	30,00 ± 1,01	50,30 ± 2,35
	H+Hp+Ph	20–30	4,25 ± 0,18	2,00 ± 0,120	0,20 ± 0,01	3,52 ± 0,20	32,45 ± 1,62	7,65 ± 0,26	10,00 ± 0,40	33,00 ± 1,00	50,05 ± 3,37
	H+Hp+Ph	40–50	3,92 ± 0,15	2,00 ± 0,110	0,10 ± 0,01	0,12 ± 0,01	50,25 ± 1,25	6,95 ± 0,30	8,85 ± 0,25	33,95 ± 1,49	49,60 ± 2,03
	H+Hp+Ph	56–62	3,56 ± 0,12	0,90 ± 0,010	0,10 ± 0,01	0,10 ± 0,01	42,55 ± 2,85	7,29 ± 0,42	8,90 ± 0,28	34,60 ± 1,65	52,55 ± 4,01
	Pk	90–100	3,62 ± 0,11	1,00 ± 0,020	0,20 ± 0,01	3,95 ± 0,11	39,90 ± 2,63	7,70 ± 0,25	13,00 ± 0,62	35,30 ± 1,65	56,00 ± 2,25
2	H+Hp+Ph	0–10	4,33 ± 0,30	2,20 ± 0,110	0,20 ± 0,01	3,85 ± 0,10	45,50 ± 2,58	7,30 ± 0,32	10,45 ± 0,51	32,85 ± 1,36	50,55 ± 1,85
	H+Hp+Ph	20–30	4,46 ± 0,25	2,30 ± 0,120	0,20 ± 0,01	4,60 ± 0,20	40,20 ± 1,60	6,55 ± 0,26	11,55 ± 0,45	33,50 ± 1,26	50,45 ± 1,45
	H+Hp+Ph	40–50	4,25 ± 0,12	1,50 ± 0,080	0,30 ± 0,01	11,10 ± 0,20	38,65 ± 1,95	5,25 ± 0,20	12,45 ± 0,48	32,40 ± 0,98	50,00 ± 2,12
	H+Hp+Ph	56–63	4,11 ± 0,14	1,20 ± 0,050	0,30 ± 0,01	12,85 ± 0,18	38,90 ± 1,92	7,20 ± 0,26	11,70 ± 0,39	35,45 ± 0,86	52,25 ± 2,26
	Pk	90–100	4,30 ± 0,16	1,00 ± 0,050	0,20 ± 0,01	12,50 ± 0,15	39,50 ± 1,84	11,20 ± 0,12	9,30 ± 0,32	39,85 ± 1,53	60,30 ± 1,98

Таблиця 2

Хімічні властивості рекультивованих ґрунтів ПАТ ОГЗК, Запорізький кар'єр (2016 р., n = 5; x ± SD)

Номер розрізу	Глибина відбору зразка, см	Індекс горизонтів	Водна витяжка						
			сухий залишок, %	аніонно-катионний склад, мг-екв/100 г ґрунту					
				HCO ³⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
1	0–10	H+Hp+Ph	0,076 ± 0,012	0,06 ± 0,01	0,73 ± 0,03	0,44 ± 0,02	0,73 ± 0,05	0,42 ± 0,02	0,08 ± 0,01
	20–30	H+Hp+Ph	0,110 ± 0,011	0,83 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,62 ± 0,02	0,83 ± 0,03	0,72 ± 0,03	0,07 ± 0,01
	40–50	H+Hp+Ph	0,338 ± 0,015	0,58 ± 0,04	0,58 ± 0,02	4,16 ± 0,16	2,91 ± 0,06	2,29 ± 0,05	0,12 ± 0,01
	56–62	H+Hp+Ph	0,196 ± 0,025	0,58 ± 0,01	0,62 ± 0,03	1,64 ± 0,05	1,14 ± 0,02	1,66 ± 0,03	0,04 ± 0,01
	90–100	Pk	0,300 ± 0,012	0,58 ± 0,03	0,60 ± 0,03	3,23 ± 0,14	1,98 ± 0,01	2,18 ± 0,04	0,25 ± 0,01
2	0–10	H+Hp+Ph	0,208 ± 0,010	0,69 ± 0,03	0,69 ± 0,02	1,75 ± 0,03	1,56 ± 0,02	1,25 ± 0,02	0,32 ± 0,01
	20–30	H+Hp+Ph	0,275 ± 0,032	0,71 ± 0,02	0,73 ± 0,03	2,75 ± 0,05	1,98 ± 0,02	1,14 ± 0,01	1,07 ± 0,02
	40–50	H+Hp+Ph	0,218 ± 0,003	0,44 ± 0,02	0,73 ± 0,02	2,10 ± 0,04	1,98 ± 0,02	1,25 ± 0,01	0,04 ± 0,01
	56–63	H+Hp+Ph	0,178 ± 0,001	0,48 ± 0,03	0,69 ± 0,01	1,71 ± 0,02	1,56 ± 0,02	1,25 ± 0,02	0,07 ± 0,01
	90–100	Pk	0,187 ± 0,002	0,58 ± 0,04	0,73 ± 0,03	1,46 ± 0,01	0,94 ± 0,01	1,04 ± 0,01	0,79 ± 0,03

Таблиця 3

Фізико-хімічні властивості рекультивованих ґрунтів (x ± SD)

Показники	Значення показника
Товщина насипного гумусового шару, см	58,0 ± 2,31
Вміст гумусу у шарі 0–10 см, %	2,2 ± 0,12
Вміст фізичної глини у шарі 0–100 см, %	52,9 ± 1,84
Поправкові коефіцієнти на:	
підстилення порід, ум. од.	0,97
засолення ґрунтів, ум. од.	1,00

Обговорення

Одержані в результаті рекультивації штучні ґрунти за балом бонітету схожі із зональними чорноземами звичайними малогумусними неглибокими важкосуглинковими. Остаточний бал бонітету рекультивованих ґрунтів становить 43, у той час як бал природних ґрунтів дорівнює 41. Цей факт свідчить про те, що рекультивационні роботи на дослідженій території гірничих розробок

ПАТ ОГЗК (на прикладі Запорізького кар'єру) проведені на належному рівні. Як результат проведення гірничих робіт родючий шар рекультивованого ґрунту збіднюється на поживні для рослин речовини, стає більш карбонатним та містить у 1,5–2,0 раза менше гумусу, ніж орний шар первинного ґрунту (Mueller et al., 2016). Потужність гумусованого шару в середньому становить 58 см порівняно з 54 см для зональних ґрунтів. Уміст гумусу в насипному шарі в середньому становить 2,2% порівняно зі значенням 3,5 см для зональних ґрунтів. Нижче орного шару ґрунт ущільнений. Механічний склад підстиляючого шару – важкосуглинковий та глинистий (табл. 1). Засолення водорозчинними солями вище порога токсичності в орному шарі досліджених ґрунтів не виявлено (показники сухого залишку становлять 0,076–0,110%), та нижче орного шару засоленість дещо підвищується, але не сягає значного рівня (Arinushkina, 1970). Аналіз водних витяжок не виявив наявних водорозчинних солей вище порогу токсичності у підстиляючих породах (Moebius-Clune et al., 2016) (табл. 2). По всьому профілю ґрунту містяться карбонати кальцію.

Таблиця 4

Результати розрахунків балів бонітету за властивостями рекультивованих ґрунтів Запорізького кар'єру ПАТ ОГЗК

Назва ґрунту	Властивості ґрунтів та їх оцінка в балах										Бал за властивостями ґрунтів	Поправкові коефіцієнти на підстилення засолення	Остаточний бал	
	глибина гумусових горизонтів		вміст гумусу в орному шарі		вміст фізичної глини		Бал за властивостями ґрунтів	Поправкові коефіцієнти на підстилення засолення	Остаточний бал					
	фактична, середнє, см	бал	фактична, середнє, %	бал	фактична, середнє, %	бал								
Чорнозем звичайний малогумусний неглибокий важкосуглинковий	54	НЗ	НЗ	3,5	НЗ	НЗ	54,8	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	НЗ	84	41
Рекультивовані ґрунти (у середньому по ділянці)	58	107	89	2,2	63	47	52,9	100	55	90	0,97	1,00	87	43

Примітка: НЗ – не застосовується.

Зважаючи на одержані дані, рекультивовані ґрунти мають фізико-хімічні властивості, частково сприятливі для існування угруповань еврибіонтних ґрунтових безхребетних. Ґрунти не мають надмірного засолення у верхньому (орному) шарі, однак для них

характерний низький вміст гумусу, важкосуглинковий або глинистий механічний склад, який ускладнює пересування тварин у межах горизонтів рекультивованих ґрунтів. Для рекультивованих ґрунтів характерна менша кількість гумусу, але слід очікувати, що

під час проведення біологічного етапу рекультивациі вони поступово збагатяться на органічну речовину, в результаті чого кормова база для ґрунтових тварин у подальшому поліпшиться. Також відбудеться поліпшення окремих екологічних характеристик ґрунту, зокрема, збільшиться його шпаруватість, що важливо для оптимізації властивостей ґрунту важкого механічного складу. Ці ж положення стосуються майбутнього сільськогосподарського використання дослідженої ділянки. Можна прогнозувати, що після проведення біологічного етапу рекультивациі, тобто після засівання рекультивованих ґрунтів екологічно стійкими багаторічними травами (люцерна жовта (*Medicago falcata* L.), стоколос безостий (*Bromus inermis* L.), пирій повзучий (*Elytrigia repens* L.), люцерна синьогібридна (*Medicago varia* Mart.)), відбудеться подальше поліпшення екологічних властивостей ґрунту.

Лімітуючими факторами для розповсюдження ґрунтових безхребетних у межах дослідженої території можуть виступати недостатнє ґрунтове зволоження та надмірна температура верхніх горизонтів ґрунту в літній період, але це припущення потребує подальших досліджень.

Висновки

У результаті реалізації технічного етапу рекультивациі одержано штучні рекультивовані ґрунти, які за характеристиками схожі з первинними зональними ґрунтами, розташованими на даній ділянці до проведення гірничих робіт. Незважаючи на те, що такий ґрунт має дещо меншу родючість та більшу щільність і карбонатність нижніх горизонтів, його можна використовувати для господарських цілей. Поправкові коефіцієнти на підстилення та засолення майже не впливають на результати оцінювання ґрунту, що свідчить про близькість його основних фізичних та хімічних характеристик до зонального природного ґрунту. Одержані результати свідчать про те, що у штучно створеному ґрунті території рекультивациі Запорізького кар'єру ОГЗК у майбутньому складуться екологічні умови, сприятливі для існування ґрунтових безхребетних. Можна прогнозувати, що після проведення біологічного етапу рекультивациі, який полягає у засіванні рекультивованих ґрунтів екологічно стійкими багаторічними травами відбудеться подальше поліпшення екологічних властивостей ґрунту, зокрема, збільшиться його шпаруватість і насиченість органічною речовиною. Після цього складуться оптимальні умови для існування угруповань безхребетних тварин, притаманних природним зональним ґрунтам, що спричинятиме їх подальший натуралізаціі та підвищенню стійкості до дії антропогенних чинників.

Дослідження проведено у НДІ біології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Матеріали – частина досліджень у рамках держбюджетних тем Міністерства освіти і науки України № 1-325-17 «Екологічні основи зооперинентного впливу тварин на процеси оптимізаціі природних і порушених екосистем в умовах сучасного природокористування», № 1-290-15 «Зоогенні механізми екосистемних сервісів та розробка екологічних принципів їх збереження і відновлення», а також доєвірної роботи з ДП «Дніпропетровський науково-дослідний та проектний інститут землеустрою». Автори висловлюють подяку інженерам С. С. Назімову, А. О. Неклесі, провідному спеціалісту Л. В. Міщенко за допомогу та співробітництво в науково-дослідницькій роботі.

References

Albrecht, A., Angers, D. A., Beare, M. H., & Blanchart, E. (1998). Soil aggregation, soil organic matter and soil biota interactions: Implications for soil fertility recaptalization in the tropics. *Cahiers Agricultures*, 7(5), 357–363.

Arinushkina, E. V. (1970). *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochvy* [Manual to soils chemical analysis]. Moscow State University, Moscow (in Russian).

Atiyeh, R. M., Lee, C., Edwards, A., Arancon, N. Q., & Metzger, J. D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*, 84(1), 7–14.

Beniston, J. W., Lal, R., & Mercer, K. L. (2016). Assessing and managing soil quality for urban agriculture in a degraded vacant lot soil. *Land Degradation and Development*, 27(1), 996–1006.

Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *Journal of European Soil Science*, 64(1), 161–182.

Brevik, E. C., & Sauer, T. J. (2015). The past, present, and future of soils and human health studies. *Soil*, 1(1), 35–46.

Brygadyrenko, V. V. (2016). Influence of litter thickness on the structure of litter macrofauna of deciduous forests of Ukraine's steppe zone. *Visnik Dnipropetrovsk University. Biology, Ecology*, 24(1), 240–248.

Eisenhauer, N. (2010). The action of an animal ecosystem engineer: Identification of the main mechanisms of earthworm impacts on soil microarthropods. *Pedobiologia*, 53(1), 343–352.

Halperyn, A. M., Ferster, V., & Shef, K.-Y. (2016). *Tekhnohenni masyvy ta okhorona pryrodnykh resursiv* [Technogenic massives and protection of natural resources]. Moscow State University, Moscow (in Ukrainian).

Ivanova, K. V. (2014). *Introduktsiya Eisenia fetida na fone biologicheskogo zagryazneniya i izmeneniya agrokhimicheskikh kharakteristik pochvy pshe-nichnogo polya* [Introduction of *Eisenia fetida* under condition of biological contamination and changes in agrochemical characteristics of the wheat field]. *Omskiy Nauchnyy Vestnik*, 128(1), 178–182 (in Russian).

Jachimko, B. (2012). The influence of lignite mining on water quality. In: *Voudouris, K., & Voutsas, D. (Eds.). Water quality monitoring and assessment*. InTech, Croatia, 373–390.

Karaca, A. (2011). *Biology of earthworms*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Keesstra, S. D., Bouma, J., Wallinga, J., Tittone, P., Smith, P., Cerda, A., Montanarella, L., Quinton, J. N., Pachepsky, Y., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., Moolenaar, S., Mol, G., Jansen, B., & 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.

Khaledian, Y., Kiani, F., & Ebrahimi, S. (2012). The effect of land use change on soil and water quality in Northern Iran. *Journal of Mountain Science*, 9(6), 798–816.

Khaledian, Y., Kiani, F., Ebrahimi, S., Brevik, E. C., & Aitkenhead-Peterson, J. (2017). Assessment and monitoring of soil degradation during land use change using multivariate analysis. *Land Degradation and Development*, 28(1), 128–141.

Kul'bachko, Y. L., Didur, O. O., Loza, I. M., Pakhomov, O. E., & Bezrodnova, O. V. (2015). Environmental aspects of the effect of earthworm (Lumbricidae, Oligochaeta) tropho-metabolic activity on the pH buffering capacity of remediated soil (Steppe zone, Ukraine). *Biology Bulletin*, 42(10), 899–904.

Kul'bachko, Y., Loza, I., Pakhomov, O., & Didur, O. (2011). The zoological remediation of technogen faulted soil in the industrial region of the Ukraine Steppe zone. *Sustainable Agricultural Development, Springer Science + Business Media, New York*, pp. 115–123.

Kulbachko, Y. L., Didur, O. A., Loza, I. M., & Kryuchkova, A. I. (2016). Effects of saprophages (Earthworms, Lumbricidae, and Millipedes, Diplopoda) on ecosystem services implementation: Optimization of some ecological functions in remediated soil. In: *Issues of the ecosystem services provided by animals under anthropogenic pressure within Ukrainian steppe*. East West Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, pp. 62–87.

Lovinska, V., Sytnyk, S., Kharytonov, M., & Loza, I. (2016). Features of pine stands function in Dnieper North Steppe, Ukraine. *The Journal Agriculture and Forestry*, 62(1), 155–163.

Marín, A., Andrades, M., Iñigo, V., & Jiménez-Ballesta, R. (2016). Lead and cadmium in soils of La Rioja vineyards, Spain. *Land Degradation and Development*, 27(1), 1286–1294.

Moebius-Clune, B. N., Moebius-Clune, D. J., Gugino, B. K., Idowu, O. J., Schindelbeck, R. R., Ristow, A. J., van Es, H. M., Thies, J. E., Shaylor, H. A., McBride, M. B., Kurtz, K. S. M., Wolfe, D. W., & Abawi, G. S. (2016). *Comprehensive assessment of soil health*. Cornell University, Geneva, NY.

Mueller, L., Sheudshen, A. K., & Eulenstein, F. (2016). Novel methods for monitoring and managing land and water resources in Siberia. *Springer Water*, 75–110.

Pecharová, E., Martis, M., & Kašparová, I. (2011). Environmental approach to methods of regeneration of disturbed landscapes. *Journal of Landscape Studies*, 4(2), 71–80.

Pereira, P., Ferreira, A., Pariente, S., Cerda, A., Walsh, R. P. D., & Keesstra, S. (2016). Preface: Urban soils and sediments. *Journal of Soils and Sediments*, 16(11), 2493–2499.

Rodríguez-Sejjo, A., Alfaya, M. C., Andrade, M. L., & Vega, F. A. (2016). Copper, chromium, nickel, lead and zinc levels and pollution degree in firing range soils. *Land Degradation and Development*, 27(1), 1721–1730.

Zhuravel, N. Y., Lezhnenina, I. P., Klochko, P. V., & Yaremenko, V. V. (2013). Monitoring pochvennoy mezofauny na rekul'tivirovannykh zemlyakh Ignat'yevskogo gazoneftyanogo mestorozhdeniya (Ukraina, Poltavskaya oblast') [Monitoring of soil mesofauna on recultivated lands of Ignatievsky gas and petroleum mine (Ukraine, Poltava region)]. *The Journal of V. N. Karazin Kharkiv National University. Biology*, 1056, 109–116 (in Russian).