



Original researches

**Physical-Chemical and Biological Testing
of Phytomeliorated Rocks
of the Pokrov Land Reclamation Station**

Received: 16 August 2018
Revised: 27 August 2018
Accepted: 29 August 2018

Dnipro State Agrarian and Economic
University, Dnipro, Sergey Efremov str., 25,
49600, Ukraine

Oles Honchar Dnipro National University,
Dnipro, Gagarin av., 72, 49010, Ukraine

Tel.: +38-097-345-62-27
+38-056-760-83-06
E-mail: kharytonov.m.m@dsau.dp.ua
nadiamart.bg@gmail.com

Cite this article: Kharytonov, M. M.,
Babenko, M. H., Mytsyk, O. O.,
Gavryushenko, O. O., Pashova, V. T.
& Martynova, N. V. (2018). Physical-chemical
and biological testing of phytomeliorated
rocks of the Pokrov land reclamation station.
Agrology, 1(3), 300–305.
doi: 10.32819/2617-6106.2018.13010

M. M. Kharytonov¹, M. H. Babenko¹, O. O. Mytsyk¹,
O. O. Gavryushenko¹, V. T. Pashova¹, N. V. Martynova²
¹Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine
²Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Abstract. The physical and chemical properties of the phytomeliorated overburden rocks of the Pokrov land reclamation station of the Nikopol manganese ore deposit and two types of technogenic substrates were studied: loess-like loam, red-brown clay, grey-green clay, dark-grey schist clay and black soils placed on layers of sand and loess-like loam. Samples were taken from each type of technosol at a depth of 10–20 cm (plough layer) and 20–40 cm (sub-plough layer). Identification of the suitability of these technosols for growing crops was carried out by phytotest method. It was revealed that the main clay mineral of dark-grey schist and red-brown clays is the illite. Grey-green clay predominantly consists of montmorillonite, and in loess-like loam and black soil, the content of kaolinite, illite and montmorillonite is more or less the same. The maximal hygroscopicity level was observed in grey-green clay (20.5%). The minimal level was fixed in red-brown clay (7.6%). Phytomeliorated mining rocks are weakly humus; the humus content in them does not exceed 1.25%. Technogenic substrates contain 2.5–3.3% of humus and belong to low-humus soils. All studied technosols belong to slightly alkaline substrates in which the pH varies from 7.34 to 7.86 in the plough layer and from 6.6 to 7.91 in the sub-plough layer. In two of the investigated mining rocks (grey-green and dark-grey schist clays), weak sulfate-chloride salinity was observed. In grey-green clay, the concentration of soluble salts was increased both in plough layer (0.214%) and in the sub-plough layer (0.202%). In the dark-grey schist clay, salinity was observed only in the sub-plough layer, but it was stronger than in the grey-green clay (0.281%). The concentration of chlorides and sulfates in these technosols exceeded the toxicity threshold by 7–8 and 1.5–1.7 times, respectively. The sub-plough layer of dark-grey schist clay and both layers of grey-green clay are phytotoxic. The inhibitory action on the growth and development of plants is caused by the cumulative effect of a soil acid-base imbalance, salinity and low fertility of these technosols. Cultivation of agricultural plants on them is expedient and economically justified only under the condition of carrying out a number of meliorative measures aimed at improving the physical and chemical properties of these substrates.

Keywords: technosols, edaphic factors, arable and subsurface layer, phytotoxicity.

**Фізико-хімічне та біологічне тестування
фітомеліорованих гірничих порід
Покровського стаціонару рекультивації земель**

M. M. Харитонов¹, М. Г. Бабенко¹, О. О. Мицик¹, О. О. Гаврюшенко¹, В. Т. Пашова¹, Н. В. Мартинова²
¹Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна
²Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

Анотація. З'ясовано властивості розкривних гірничих порід Покровського стаціонару рекультивації земель Нікопольсько-го марганцеворудного родовища, а також два види техногенних субстратів. Проби відбирали з кожного типу технозему на глибині 10–20 см (орний шар) та 20–40 см (підорний шар). Придатність техноземів для вирощування сільськогосподарських культур виявляли методом фітотестування. Основними глинистими мінералами темно-сірої сланцевої та червоно-бурої глини є група гідрослюди. Сіро-зелена глина складається переважно з монтморілоніту, а в лесоподібному суглинку та чорноземі вміст каолініту, гідрослюди та монтморілоніту більш-менш однаковий. Найменший рівень максимальної гігроскопічності властивий лесоподібному суглинку (7,6%), а найвищий – сіро-зеленій глині (20,5%). Фітомеліоровані гірничі породи є слабогумусними, вміст гумусу в них не перевищує 1,25%. Техногенні субстрати містять 2,5–3,3% гумусу і належать до малогумусних ґрунтів. Більшість техноземів є слаболужними субстратами зі значенням рН від 7,34 до 7,86 в орному шарі та від 6,6 до 7,91 – у підорному. У двох з досліджених техноземів (сіро-зелена та темно-сіра сланцева глини) виявлено слабе сульфатно-хлоридне засолення. Концентрація розчинних солей у сіро-зеленій глині була підвищеною як в орному (0,214%), так і в підорному (0,202%)

шарі. У темно-сірій сланцевій глині засолення спостерігалось тільки в підорному шарі, але воно було більш значним, ніж у сіро-зеленій глині (0,281%). Концентрація хлоридів та сульфатів у цих технозомах перевищувала поріг токсичності у 7–8 та 1,5–1,7 раза відповідно. Виявлено фітотоксичність у підорному шарі темно-сірої сланцевої глини та обох шарах сіро-зеленої глини. Визначено пригнічуючу дію на ріст та розвиток рослин, викликану кумулятивним впливом кислотно-лужним дисбалансом ґрунту, підвищеною мінералізацією та низькою родючістю цих техноземів. Вирощування на них сільськогосподарських рослин доцільно та економічно доцільно, але за умов проведення низки меліоративних заходів, спрямованих на поліпшення фізичних та хімічних властивостей цих субстратів.

Ключові слова: техноземи, едафічні фактори, орний та підорний шари, фітотоксичність.

Вступ

У процесі видобутку корисних копалин земельний покрив зазнає значних пошкоджень, особливо за відкритих способів робіт на кар'єрах. Технологічні процеси відкритих розробок родовищ супроводжуються порушенням ґрунтового покриву, зміненням гідрогеологічного та гідрологічного режимів, утворенням техногенного рельєфу, іншими якісними змінами, що погіршують стан навколишнього середовища. У результаті території, що залишаються після видобутку мінеральної сировини, зазвичай являють собою пустища з ділянками оголеної землі, пухкими купами порушеного ґрунту та великими об'ємами відвалів вивезених на поверхню гірничих порід (Masyuk, 1974; Sheoran et al., 2010; Menendez & Loreda, 2018). Ураховуючи, що високоякісні руди вичерпуються, а вміст корисних компонентів у них знижується, частка відходів і пустих порід постійно зростає. Більшість гірничих відходів вступають в активну взаємодію з навколишнім середовищем (літосферою, атмосферою, гідросферою і біосферою). Тривалість "агресивного" (активно-го) існування відходів залежить від їх складу (Androkhanov et al., 2000). Під час збереження усі відходи гірничорудного виробництва піддаються змінам, які обумовлені й внутрішніми фізико-хімічними процесами, й впливом зовнішніх факторів. Як наслідок у місцях складування цих відходів можуть утворюватися нові екологічно небезпечні речовини. Із проникненням у біосферу вони можуть спричинити велику загрозу для біоти (Boguvka et al., 2005; Navarro et al., 2008).

Рекультивация земель – це комплекс інженерних, гірничотехнічних, меліоративних, біологічних, санітарно-гігієнічних та інших заходів, спрямованих на повернення порушених промисловістю територій у різні види використання: сільськогосподарське, лісогосподарське, підзони відпочинку тощо. Відомо, що проведення робіт з рекультивации відбувається в декілька етапів. Головними з них вважаються етапи гірничотехнічної та біологічної рекультивации (Bekarevych & Masyuk, 1983). Гірничотехнічна рекультивация по праву вважається найбільш масо- і енергоємним етапами (Kuter, 2013). Це пов'язано з переміщенням і укладкою в певному порядку великих мас гірських порід і знятого перед розробкою гумусового шару ґрунту. Найбільш важкими є роботи, що пов'язані з підвищенням родючості верхнього шару відвалів, покращенням його гідрофізичних властивостей (Kozhevnikov & Zaushintseva, 2015; Legwaila et al., 2015; Vondráčková et al., 2017). Якщо нижчерозташовані шари складаються з особливо токсичних порід, то не виключена можливість міграції розчинів кислот на поверхню відвалу. Кінцевою метою гірничотехнічного етапу рекультивации є створення на порушених землях підстилаючого шару необхідної потужності, який складається з розкритих порід, і нанесення на його поверхню гумусового шару ґрунту або потенційно родючих порід, придатних до біологічної рекультивации. Найбільш доцільно проводити гірничотехнічний етап рекультивации в одному циклі з розробкою корисних копалин, тобто включати його в технологічний процес виробництва.

Біологічний етап рекультивации, який проводять після повного завершення гірничотехнічного, передбачає відновлення і формування ґрунтового покриву, накопичення гумусу й

поживних речовин. Цьому процесу сприяють посіви багаторічних бобових та злакових трав або їх сумішей, які створюють сприятливі еколого-біохімічні умови для ґрунтогенезу (Yeterovskaya, 1974; Bekarevych & Masyuk, 1983; Uzbek, 2000). Методи фітостабілізації, фітоекстракції успішно застосовують для детоксикації та видалення токсичних металів з відвалів. Внесення різних меліорантів і хелатів сприяє більш інтенсивному поглинанню важких металів рослинами з техноземів (Wong, 2003; Le et al., 2017).

За відкритого видобутку корисних копалин на земну поверхню виносяться породи минулих геологічних епох, які у випадку взаємодії поверхневих шарів літо-, гідро- та атмосфери піддаються сучасному інтенсивному вивітрюванню. Процеси рекультивации тривають декілька десятиріч, але техногенні едафотопи, що сформувалися за цей період, значно відрізняються від зональних ґрунтів рівнем родючості, фізичними, фізико-хімічними, агрохімічними та іншими екологічно важливими показниками. Досить часто такі породи вже містять фітотоксичні сполуки або вони утворюються в процесі їх окиснення на поверхні під час процесу вивітрювання.

Одним із засобів визначення придатності техноземів для вирощування сільськогосподарських культур є біотестування. Щоб оцінити параметри середовища, використовують стандартизовані реакції живих організмів. В організмі, який знаходиться контрольний час в умовах забруднення, відбуваються зміни у фізіологічних, біохімічних, генетичних, морфологічних або імунних систем. Тест-об'єктами можуть слугувати різні бактерії (Horvath et al., 1997; Rylsky & Masykevych, 2012), найпростіші (Lugovaya et al., 2015), безхребетні (Hanger et al., 2018) та вищі рослини. Для оцінки рівня токсичності техногенно забруднених ґрунтів широко застосовується методика визначення схожості насіння та довжини коренів проростків вівса, гірчиці, салату, рапсу, редису, гороху, багаторічних злаків тощо (Petukhov et al., 2000; Chaignon & Hinsinge, 2003; Dubova et al., 2009).

Отже, метою досліджень була комплексна фізико-хімічна та біоіндикаційна оцінка фітомеліорованих гірських порід, які перебувають під впливом процесів вивітрювання та ґрунтоутворення.

Матеріал і методи досліджень

Об'єктами дослідження були різновікові фітомеліоровані розкриті гірничі породи Покровського стаціонару рекультивации, представлені лесоподібним суглинком (ЛС), червоно-бурою глиною (ЧБГ), сіро-зеленою глиною (СЗГ), темно-сірою сланцевою глиною (ТСГ), а також два види техногенних субстратів: насипний шар чорнозему на підстилці з піску (НШЧп) та насипний шар чорнозему на лесоподібному суглинку (НШЧлс). Проби відбирали на глибині 10–20 см (орний шар) та 20–40 см (підорний шар); зразки темно-сірої сланцевої глини – у п'яти різних точках по горизонтальній площі цієї породи.

Уміст гумусу в технозомах визначали за методом Тюріна, що базується на окисненні органічної речовини субстрату хромовою кислотою до утворення вуглекислоти (Agrochemical

methods, 1975). Кількість кисню, витрачену на окиснення органічного вуглецю, визначали за різницею між кількістю хромової кислоти, взятої для окиснення, та її кількістю, що залишилася невитраченою після окиснення. Як окиснювач застосовували 0,4 н розчин $K_2Cr_2O_7$ у сірчаній кислоті, попередньо розведеної водою у співвідношенні 1 : 1.

Рівень рН вимірювали згідно з ДСТУ ISO 10390:2007 (2012), який передбачає застосування інструментального методу з введенням скляного електрода в суспензію ґрунту у воді 1 : 5 (за об'ємом), у розчині 1 моль/л хлориду калію.

Загальну мінералізацію техноземів визначали за допомогою аналізу водної витяжки. Зважували сухий залишок для розрахунку загальної суми водорозчинних речовин. Отримані дані виражали у відсотках з точністю до 0,001.

Уміст марганцю, як елемента, встановлювали за допомогою атомно-абсорбційного аналізу на спектрофотометрі С-115.

Токсичність субстратів визначали методом фітотестування, який часто використовується для оцінки якості ґрунтів (Macci et al., 2013; Stolbova & Beregela, 2015; Baderna et al., 2015; Nikolaeva & Terekhova, 2017). Тест-об'єктом обрано редис сорту "Французький сніданок" (*Raphanus sativus var. radicola Pers.*). На зволожені зразки техногенних субстратів висівали відкаліброване насіння редису. Протягом 3–4 діб підтримували постійну вологість ґрунту та температуру. Із досягненням проростками стадії колеоптилю підраховували кількість пророслого насіння і проводили вимір коренів. Отримані дані обробляли методом варіаційної статистики. Критерієм токсичності вважали метод достовірно значимі відмінності між досліджуваними зразками і контролем – понад 20%.

Результати

Гірничі породи Нікопольського марганцеворудного басейну представлені різновіковими голоценовими, пліоце-

новими, міоценовими та палеоценовими відкладами. За даними попередніх досліджень (Kharytonov & Resio Espejo, 2013), головними мінералами техноземів є гідросилікати алюмінію, магнію та заліза (глинисті мінерали) з додаванням польового шпату, кальциту та хлоритів. Залежно від типу субстрату загальний склад глинистих мінералів варіює від 23,5 до 63,5%. Співвідношення глинистих мінералів також суттєво відрізняються (табл. 1). Якщо, наприклад, глиниста фракція темно-сірої сланцевої та червоно-бурої глин представлена здебільшого гідрослюдами, то основним компонентом сіро-зеленої глини є монтморилоніт. У лесоподібному суглинку та чорноземі вміст усіх глинистих мінералів порівняно однаковий.

Від кількості компонентів глинистої фракції в субстраті значно залежить така важлива ґрунтово-гідрологічна характеристика, як максимальна гігроскопічність. Її показники визначають нижню межу фізіологічно доступної вологи для рослин. Виявлено, що найнижчий рівень максимальної гігроскопічності для досліджених техноземів властивий лесоподібному суглинку, а найвищий – сіро-зеленій глині (рис. 1).

Об'єктивним показником родючості ґрунту є вміст гумусу. Гумінові речовини, як фізіологічно активні компоненти, стимулюють ріст і розвиток кореневої системи та надземної маси рослин, впливають на дихання і процеси фотосинтезу. Ґрунти, багаті на гумус, характеризуються високою поглинальною здатністю, кращими водними і фізичними властивостями. Досліджені фітомеліоровані гірничі породи належать до слабогумусних субстратів. Уміст гумусу в них не перевищує 1,25% (рис. 2). Техногенні субстрати з насипного шару чорнозему на підстилці з піску та лесоподібного суглинку, які містять 2,5–3,3% гумусу, можна віднести до малогумусних. Виявлено також, що в підорному шарі темно-сірої сланцевої глини, чорнозему та червоно-бурої глини вміст органічної речови-

Таблиця 1. Склад глинистої фракції техноземів

Субстрат	Глибина залягання, м	Уміст глинистих мінералів, %	Співвідношення компонентів усередині групи, %		
			каолініт	гідрослюда	монтморилоніт
Насипний шар чорнозему	0–0,5	32,4	28,1	43,8	28,1
Лесоподібний суглинок	0,5–7,0	23,5	33,5	38,5	28,0
Червоно-бура глина	7,0–12,0	55,2	26,1	66,1	7,8
Сіро-зелена глина	12,0–47,0	63,5	8,2	25,0	66,8
Темно-сіра сланцева глина	63,0–71,0	37,1	12,8	83,0	4,2

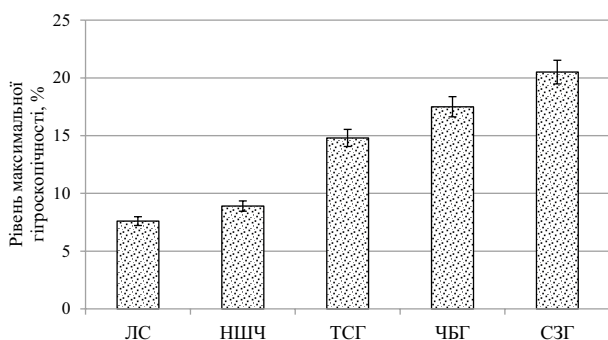


Рис. 1. Максимальна гігроскопічність техноземів

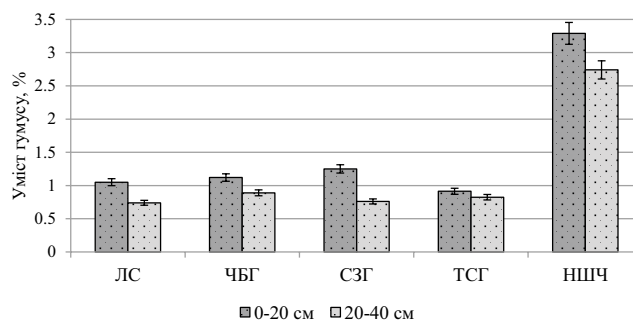


Рис. 2. Уміст гумусу в орному та підорному шарах техноземів

ни менше, ніж в орному, на 10–20%, а в лесоподібному суглинку та сіро-зеленій глині – на 30–40%.

Ще одним важливим показником родючості ґрунтів є кислотно-лужний баланс (рН). Для кожної культури існує оптимальне значення кислотності ґрунту, за якого вона розвивається найкраще. У випадок несприятливого кислотно-лужного балансу в рослин порушується нормальний процес поглинання поживних речовин, деякі сполуки не засвоюються або засвоюються вкрай погано, що проявляється в пригніченні росту та розвитку і може призвести до загибелі рослини. За низьких значень рН багато мікроелементів, наприклад мідь, цинк, кобальт, можуть виявитися для рослин токсичними (Kabata-Pendias & Pendias, 1989). Лужна реакція ґрунту також позначається на стані рослин. Особливо дефіцитними стають фосфор, мікроелементи мідь і цинк. Крім того, лужні ґрунти часто мають високу мінералізацію ґрунтового розчину. Відомо, що більшість сільськогосподарських культур краще зростають на нейтральних ґрунтах з рН від 6,5 до 7,2.

Значення кислотності досліджуваних техноземів дещо перевищують оптимальні значення і варіюють від 7,34 до 7,86 в орному шарі та від 6,6 до 7,91 – у підорному (рис. 3). Отже, за винятком підорного шару темно-сірої сланцевої глини, решта техноземів належать до слаболужних субстратів.

Підвищена мінералізація ґрунту – один з обмежуючих факторів для вирощування сільськогосподарських рослин. Із підвищенням концентрації солей у ґрунтовому розчині ускладнюється поглинання коренями вологи та поживних речовин. Засоленість ґрунту, залежно від кількості та типу солей, може бути також причиною дисбалансу поживних речовин у рослині. Наприклад, високий рівень вмісту натрію призводить до дефіциту в рослині кальцію та магнію (П'уїн, 1985). Якщо вміст водорозчинних солей у водній витяжці перевищує 0,2%, то має місце засолення ґрунту. Визначення загальної мінералізації техноземів показало в деяких субстратах наявність слабого

засолення сульфатно-хлоридного типу (рис.4). Так, у сіро-зеленій глині виявлено підвищену концентрацію розчинних солей як в орному (0,214%), так і в підорному (0,202%) шарах. У темно-сірій сланцевій глині засолення спостерігалось тільки в підорному шарі, але воно було більш вираженим, ніж у сіро-зеленій глині (0,281%). Концентрація хлоридів та сульфатів у цих техноземах перевищує поріг токсичності (для Cl⁻ він становить 0,01%, для SO₄²⁻ – 0,08%).

Уміст марганцю в досліджуваних техноземах не перевищував гранично допустимих концентрацій і коливався в межах 70,3–297,4 мг/кг (рис. 5).

Найнижчу концентрацію елемента, як в орному, так і в підорному шарі, спостерігали в червоно-бурій глині, а найвищу – в темно-сірій сланцевій. У всіх субстратах, за винятком ТСГ, найвищий уміст марганцю зафіксований у підорному шарі.

Проведене фітотестування показало, що схожість насіння редису на більшості досліджених техноземів висока і варіювала від 70 до 100% відносно контрольних зразків (рис. 6).

Винятком виявилися сіро-зелена та темно-сіра сланцева глини. Спостерігалось пригнічення процесів проростання насіння та, як наслідок, зменшення схожості в орному шарі сіро-зеленої глини на 26,2%, у підорному шарі темно-сірої сланцевої глини – на 20,7%.

Вимірювання довжини коренів проростків показало незначне уповільнення росту в пробах з насипного шару чорнозему до 6,25–6,9 см порівняно з контролем (табл. 2). Довжина коренів рослин, пророщених на лесоподібному суглинку та червоно-бурій глині, була дещо меншою (5,72–6,22 см).

На сіро-зеленій та темно-сірій сланцевій глинах даний показник зареєстрований ще меншим (рис. 7).

Таким чином, простежується явний обмежувальний ефект едафічних факторів означених техноземів на сільськогосподарські рослини. Негативний вплив інших субстратів не перевищував 20% відповідно до контролю.

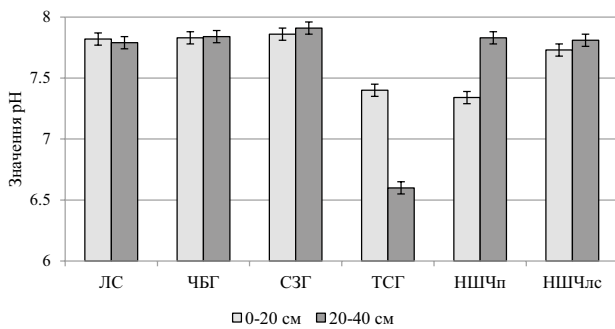


Рис. 3. Показники рН фітомеліорованих техноземів

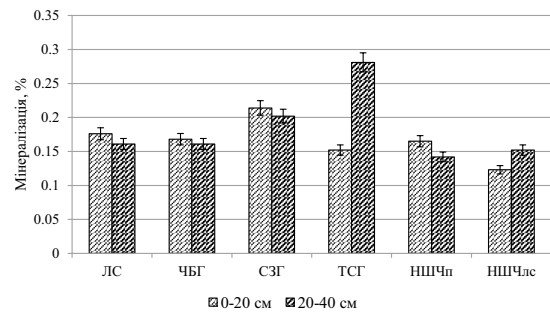


Рис. 4. Загальна мінералізація орного та підорного шарів техноземів

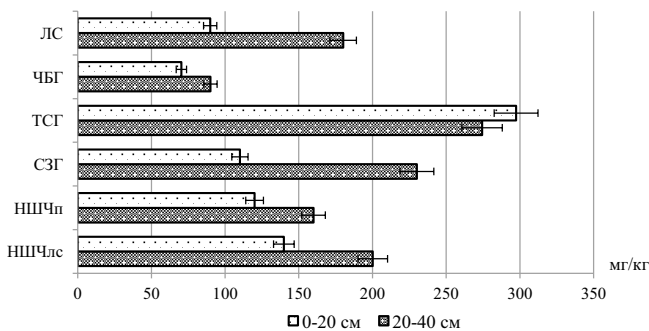


Рис. 5. Уміст марганцю в різних типах техноземів

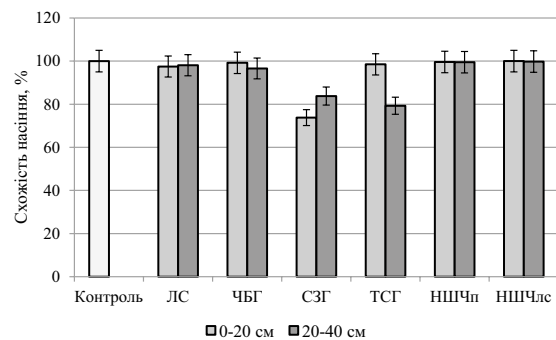


Рис. 6. Схожість насіння редису на різних типах техноземів

Таблиця 2. Середня довжина коренів проростків редису за різних типів техноземів

Технозем	Довжина коренів проростків редису в шарі, см	
	орному	підорному
Лесоподібний суглинок	5,72 ± 0,26	6,09 ± 0,24
Червоно-бура глина	5,85 ± 0,24	6,22 ± 0,26
Сіро-зелена глина	4,23 ± 0,21	4,51 ± 0,22
Темно-сіра сланцева глина	5,97 ± 0,27	5,50 ± 0,33
Насипний шар чорнозему на насипці з піску	6,25 ± 0,26	6,75 ± 0,38
Насипний шар чорнозему на насипці з лесоподібного суглинка	6,9 ± 0,33	6,33 ± 0,32
Контроль	7,04 ± 0,29	

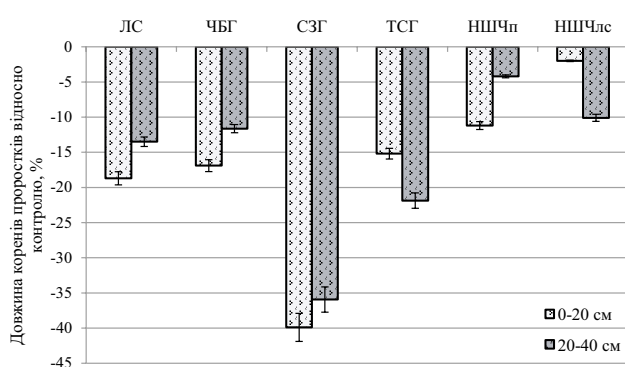


Рис. 7. Зменшення довжини коренів проростків редису під впливом деяких обмежуючих едафічних факторів техноземів

Обговорення

Відомо, що за умов контакту піриту шахтних порід з водою і киснем у зоні аерації сірка окиснюється до сульфатного іона. Цей процес призводить до зниження рН (Kharytonov, 2008). Треба враховувати, що кращі умови для зростання рослин складаються за нейтральної реакції ґрунтового розчину (Gould et al., 1996). Бобові рослини знижують темпи росту при зниженні рН до 5,5, що пов'язано з підвищенням рівня заліза, марганцю та нікелю (Maiti & Ghose, 2005). У наших польових дослідах, навіть у підорному шарі темно-сірої глини, реакція ґрунтового розчину становила 6,6. Разом з тим, концентрація хлоридів (0,07–0,08%) та сульфатів (0,02–0,14%) у досліджуваних техноземах перевищувала поріг токсичності, що зазвичай пригнічує ріст та розвиток рослин, а отже, блокує розвиток кореневої системи рослин, приглушує багато інших метаболічних процесів (Пі'ун, 1985). Найбільше гальмування ростових процесів спостерігали в підорному шарі темно-сірої сланцевої (21,9%) і в обох шарах сіро-зеленої глини (35,9% та 39,9% відповідно). Вочевидь, що зменшення довжини коренів проростків редису було їх комплексною реакцією на несприятливі фізичні і фізико-хімічні властивості (Sheoran & Sheoran, 2010) цих двох техноземів.

Висновки

Гірничі породи Нікопольського марганцеворудного басейну представлені голоценовими, пліоценовими, міоценовими та палеоценовими відкладами, винесеними на земну поверхню в процесі видобутку марганцевої руди. Основними компонентами цих техноземів є глинисті мінерали, співвідношення яких у досліджуваних субстратах різне. Темно-сіра сланцева глина

містить 83% гідрослюди, тоді як каолінит та монтморилоніт представлені невеликою кількістю. Сіро-зелена глина, навпаки, містить монтморилоніту 66,8%. Найнижчий рівень максимальної гігроскопічності властивий лесоподібному суглинку, а найвищий – сіро-зеленій глині.

Досліджувані фітомеліоровані гірничі породи належать до слабогумусних субстратів (1,25%). Техногенні субстрати з насипного шару чорнозему на підстилці з піску та лесоподібного суглинка можна віднести до малогумусних.

Усі техноземи (за винятком підорного шару темно-сірої сланцевої глини з рН 6,6) належать до слаболужних субстратів зі значенням рН від 7,34 до 7,86 в орному шарі та від 7,79 до 7,91 – у підорному.

Два типи техноземів мають слабе сульфатно-хлоридне засолення. Концентрація розчинних солей сіро-зеленої глини була підвищеною і в орному, і в підорному шарах. У темно-сірій сланцевій глині засолення спостерігалось тільки в підорному шарі, але воно було більш значним, ніж у сіро-зеленій глині. Концентрація хлоридів і сульфатів у цих техноземах перевищує поріг токсичності в 7–8 та 1,5–1,7 рази відповідно, вміст марганцю не вище гранично допустимих концентрацій; його найбільший вміст, за винятком ТСГ, зафіксований у підорному шарі.

Виявлено певний рівень фітотоксичності в підорному шарі темно-сірої сланцевої глини та обох шарах сіро-зеленої глини. Пригнічуючий ефект на рослини викликаний кумулятивним впливом кислотно-лужного дисбалансу ґрунту, підвищеною мінералізацією та низькою родючістю цих техноземів. Вирощування на них сільськогосподарських рослин доцільно та економічно обґрунтовано тільки за умов проведення низки меліоративних заходів, спрямованих на поліпшення фізичних та хімічних властивостей цих субстратів.

References

- Androkhonov V. A., Ovsyannikova, S. V. & Kurachev, V. M. (2000). Teknozemy: svoystva, rezhymy, funktsionirovaniye [Technozems: properties, rezhims, functioning]. Nauka; Sybyskaya izdatelskaya fyрма RAN, Novosybyrsk (in Russian).
- Baderna, D., Lomazzi, E., Pogliaghi, A., Ciaccia, G., Lodi, M. & Benfenati, E. (2015). Acute phytotoxicity of seven metals alone and in mixture: Are Italian soil threshold concentrations suitable for plant protection? *Environmental Research*, 140, 102–111. doi: [10.1016/j.envres.2015.03.023](https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.03.023).
- Bekarevich N. E. & Masyuk, N. T. (1983). Reaktivatsiya chernozemov [Chernozems reclamation] / In V. A. Kovda & E. M. Samojlova (Eds.) *Russkiy chernozem – 100 let posle Dokuchayeva* [Russian chernozem – 100years after Docuchayev] (228–241). Nauka, Moscow (in Russian).
- Borůvka, L., Vacek, O. & Jehlička, J. (2005). Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soils. *Geoderma*, 128 (3–4), 289–300. doi: [10.1016/j.geoderma.2005.04.010](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.04.010).

- Chaignon, V. & Hinsinger, P. (2003). A Biotest for Evaluating Copper Bioavailability to Plants in a Contaminated Soil. *Journal of Environmental Quality*, 32, 824–833. doi: [10.2134/jeq2003.8240](https://doi.org/10.2134/jeq2003.8240).
- Dubova, L., Limane, B., Muter, O., Versilovskis, A., Zarina, Dz. & Alsina, I. (2009). Effect of nitroaromatic compounds on the growth of potted plants. *Current Research Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*, 24–28. doi: [10.1142/9789812837554_0005](https://doi.org/10.1142/9789812837554_0005).
- Gould, A. B., Hendrix, J. W., & Ferriss, R. S. (1996). Relationship of mycorrhizal activity to time following reclamation of surface mine land in western Kentucky. I Propagule and spore population densities. *Canadian Journal Botany*, 74, 247–261. doi: [10.1139/b96-030](https://doi.org/10.1139/b96-030).
- Hanger, M., Romantschuk, M., Penttinen P.-P., Egfors, A., Marchand, C. & Augustsson, A. (2018). Assessing toxicity of metal contaminated soil from glassworks sites with a battery of biotests. *Science of the Total Environment*, 613–614, 30–38. doi: [10.1016/j.scitotenv.2017.08.121](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.121).
- Horvath, B., Gruiz, K. & Sara, B. (1997). Exotoxicological testing of soil by four bacterial biotests. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 58(1–4), 223–235. doi: [10.1080/02772249709358412](https://doi.org/10.1080/02772249709358412).
- Il'iy, V. B. (1985). *Elementnyi khymicheskiy sostav rasteniy [Elements chemical content of plants]*. Nauka, Moscow (in Russian).
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. (1989). *Microelementy v pochvah I rasteniyah [Trace Elements in Soils and Plants]*. Myr, Moscow (in Russian).
- Kharytonov, M. M. & Resio Espejo, J. M. (2013). Prospects of the Nikopol manganese basin rocks using for land reclamation. *Gruntoznavstvo*, 14(1–2), 78–86. doi: [2013_t14_1-2](https://doi.org/2013_t14_1-2).
- Kozhevnikov, N. V. & Zayshintseva A. V. (2015). Problema uskorenogo pochvoobrazovaniya v rekultivatsii narushennykh zemel [Problem of high soil forming in reclamation of destroyed lands]. *Bulletin of Kemerovo State University*, 2(1), 26–29. (in Russian). doi: [10.21603/2078-8975-2015-1-26-29](https://doi.org/10.21603/2078-8975-2015-1-26-29).
- Kuter, N. (2013). Reclamation of degraded landscapes due to opencast mining. In *Advances in Landscape Architecture*, 33, 823–858. doi: [10.5772/55796](https://doi.org/10.5772/55796).
- Le, S. H., Ji W., Yang, H. J., Kang, S. Y. & Kang, D. M. (2017). Reclamation of mine-degraded agricultural soils from metal mining: lessons from 4 years of monitoring activity in Korea. *Environ. Earth Sci.*, 76, Art. 720. doi: [10.1007/s12665-017-7076-9](https://doi.org/10.1007/s12665-017-7076-9).
- Legwaila, I. A., Lange, E. & Cripps, J. (2015). Quarry reclamation in England: a review of techniques. *JASMR*, 4(2), 55–79. doi: [10.21000/jasmr15020055](https://doi.org/10.21000/jasmr15020055).
- Lugovaya, Y. R., Orlova, K. N., Litovkin, S. V., Malchik, A.G. & Gaydamak, M.A. (2016). Biotesting as a method of evaluating waste hazard in metallic mineral mining. *Materials Science and Engineering*, 127, 1–7. doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/127/1/012026>.
- Macci, C., Doni, S., Peruzzi, E., Bardella, S., Filippis, G., Ceccanti, B. & Masciandro, G. (2013). A real-scale soil phytoremediation. *Biodegradation*, 24(4), 521–538. doi: [10.1007/s10532-012-9608-z](https://doi.org/10.1007/s10532-012-9608-z).
- Maiti, S. K. & Ghose, M. K. (2005). Ecological restoration of acidic coal mine overburden dumps – on Indian case study. *Land Contamination and Restoration*, 13(4), 361–369. doi: [10.2462/09670513.637](https://doi.org/10.2462/09670513.637).
- Masyuk, M. T. (1974). *Osobennosti formyrovaniya yestestvennykh y kulturnykh phytocenozov na vskryshykh gomykh porodakh v mestakh prozvedennoy dobychy poleznykh yskopayemykh [Peculiarities of virging and arable phytocenoses in destroyed mining rocks in the sites of intensive mining deposits]*. Land reclamation: Collection of scientific papers DSHI. 26, 62–105 (in Russian).
- Menéndez, J. & Loredó, J. (2018). Reclamation of Degraded Landscape due to Open Pit Coal Mining: Biomass for Renewable Power Plants. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 14, 251–255.
- Navarro, M. C., Pérez-Sirvent, C., Martínez-Sánchez, M. J., Vidal, J., Tovar, P. J. & Bech, J. (2008). Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: A case study in a semi-arid zone. *Journal of Geochemical Exploration*, 96(2–3), 183–193. doi: [10.1016/j.gexplo.2007.04.011](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2007.04.011).
- Nikolaeva, O. V. & Terekhova, V. A. (2017). Improvement of laboratory phytotest for the ecological evaluation of soils. *Eurasian Soil Sc.*, 50(9), 1105–1114. doi: [10.1134/S1064229317090058](https://doi.org/10.1134/S1064229317090058).
- Petukhov, V. N., Fomchenkov, V. M., Chugunov, V. A. & Kholodenko, V. P. (2000). Plant biotest for soil and water contaminated with oil and oil products. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 36(6), 564–567. doi: [10.1023/A:1026640421968](https://doi.org/10.1023/A:1026640421968).
- Rylsky, O. F. & Masykevych, Y. G. (2012). *Mykrobiologichna bioindikatsiya dovkillya zabrudnenogo vazhkymy metalamy ta inshymy ksenobyotikamy [Microbiological bioindication of the environment contaminated with heavy metals and other xenobiotics]*. *Visnyk of Zaporizhzhya National University. Biological Sciences*, 3, 139–147 (in Ukrainian).
- Sheoran, V., Sheoran, A. S. & Poonia, P. (2010). Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3(2), 13.
- Sokolov, A. V. (1975). *Agrokymicheskie metody [Agrochemical methods]*. Nauka, Moscow (in Russian).
- Stolbova, V. V. & Beregela, D. V. (2015). Correlation between phytotoxicity and properties of soils containing a group of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Moscow Univ. Soil Sci. Bull.*, 70(2), 71–77. doi: [10.3103/S0147687415020088](https://doi.org/10.3103/S0147687415020088).
- Uzbek, I. H. (2000). *Vozdeystviye nekotorykh ekologicheskyykh faktorov na formyrovaniye molodykh pochv tehnogennykh ecosystem [Some ecological factors influence on forming of young soils of technogenic ecosystems]*. *Ecology and noosferology*. 9(1–2), 43–49 (in Russian).
- Vondráčková, T., Voštová, V. & Kraus, M. (2017). Mechanization for Optimal Landscape Reclamation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 95, 022042. doi: [10.1088/1755-1315/95/2/022042](https://doi.org/10.1088/1755-1315/95/2/022042).
- Wong, M. H. (2003). Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, 50(6), 775–780. doi: [10.1016/S0045-6535\(02\)00232-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00232-1).
- Yeterevskaya, L. V. (1977). *Rekultivatsiya zemel [Land reclamation]*. *Urozhay*, Kyiv (in Russian).