

УДК 502.5:661.21

## ЗВ'ЯЗУВАННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТОВОМУ КОМПЛЕКСІ ПРИ ВНЕСЕННІ БІОКОМПЗИТУ НА ОСНОВІ МУЛОВИХ ОСАДІВ ТА ФОСФОГІПСУ

Черниш Є.Ю., Пляцук Л.Д.  
Сумський державний університет

У статті здійснено вивчення процесів фракційних змін сполук важких металів у ґрунтовому комплексі при внесенні біогенного композиту на основі мулових осадів та фосфогіпсу шляхом здійснення мікропольових досліджень процесу ремедіації модельних ґрунтів. Представлені результати дозволяють визначити напрямки стимулювання природних захисних властивостей ґрунтового комплексу від дії забруднюючих речовин, зокрема важких металів, та визначено пріоритетні біохімічні процеси, що стимулюють його протекторні функції при внесенні біокомпозиту. При реалізації заходів з відновлення ґрунтового комплексу при внесенні біокомпозиту відбувається збільшення частки металів, що міцно пов'язані в мінерально-органічній структурі. Утворені сполуки важких металів у системі «ґрунтовий комплекс – біогенний композит» є стабільними при низьких значеннях рН (2,0 од.) і відносяться до фракцій, які є стійкими до хімічних та мікробіологічних впливів. Так, при очищенні ґрунтів спостерігається значне збільшення відносної частки залишкової фракції свинцю та кадмію при всіх рівнях кислотності з 5,6-9,05% мас. до 45,3-51,7% мас. При цьому на відновленому ґрунті спостерігалось зменшення обмінної фракції важких металів на 84%.

**Ключові слова:** ґрунтовий комплекс, захисні властивості, важкі метали, біогенний композит, фосфогіпс, мулові осади.

**Постановка проблеми.** Зростаюче антропогенне навантаження на екосистеми супроводжується зміною ходу природного ґрунтоутворюючого процесу. Інтенсивна експлуатація чорноземів в Україні за останні роки спричинила до значної втрати гумусу, що супроводжується негативними змінами агрофізичних, фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунту [1]. Процеси міграції та акумуляції важких металів відбуваються при впливі кореневого ексудату рослин, що змочує ґрунтові агрегати і пов'язує катіони двох- і полівалентних металів за допомогою карбоксильних і гідроксильних груп полісахаридів, амінокислот і карбонових кислот в комплексні сполуки і концентрує ці катіони, що призводить до токсикації наземних екосистем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Доведено, що рослини можна застосовувати для очищення ґрунтів, ґрунтових вод як від важких металів (ВМ) та радіонуклідів [2-4]. Окремі характеристики таких технічних рішень наведено у табл. 1.

Експериментальні та практичні роботи показали, що фітоекстракція є досить ефективним інструментом для видалення металів з ґрунту. В ідеальному випадку для фітоекстракції потрібні рослини швидкорослі, з великою біомасою і, що володіють здатністю до гіпераккумуляції іонів металів (в тому числі ізотопів) в зеленій масі. Рослини, що утворюють досить велику кількість

наземної біомаси, які можуть скошуватися кілька разів за сезон для видалення токсичних елементів, – найкращі кандидати для фітоекстракції. При цьому найбільш корисними для фіторемедіації є рослини, що здатні акумулювати в своїх тканинах токсичні елементи в кількості близько 2-5% сухої маси [5]. Але відзначається необхідність подальшої утилізації такої рослинної біомаси. Вона може бути ліквідована шляхом спалювання та утилізації золи на полігонах. Та це не виключає вторинного забруднення довкілля і також потребує відчуження земель для захоронення залишків біомаси. Крім того, ВМ можуть мати фітотоксичний ефект.

Застосування осади стічних вод для поліпшення параметрів ґрунтів, а також підвищенню катіонної обмінної здатності та, таким чином, більш міцного зв'язування катіонів у ґрунтовому середовищі, що включає іммобілізацію поживних речовин та більшу стійкість до забруднення. У польовому експерименті шлам стічних вод був використаний як добавка до ґрунту, що підтримує процес фіторемедіації землі, забрудненої важкими металами (Cd, Zn та Pb) з використанням деревних порід: сосна звичайна (*Pinus silvestris* L.), норвезька ялина (*Picea abies* L.) і дуб (*Quercus robur* L.) [6]. Але слід відмітити, що осади стічних вод також потребують попередньої обробки для попередження можливості додаткового надходження токсичних речовин з осадів.

Таблиця 1

Основні характеристики методів фіторемедіації [3]

Техніка	Опис
Фітоекстракція	Рослини накопичують забруднюючі речовини в збірній біомасі, тобто в пагонах
Фітофільтрація	Секвестрація (Sequester) токсичних елементів, включаючи метали, шляхом поглинання або біосорбції (biosorption) з забруднених стічних вод рослинами
Фітостабілізація	Обмеження рухливості та біодоступності забруднюючих речовин шляхом їх іммобілізації
Фітоволетілізація	Перетворення забруднюючих речовин в летючу форму потім їх випуск до атмосфери
Фітодеструкція	Деградація органічних ксенобіотиків за допомогою рослинних ферментів в рослинних тканинах
Ризодеградація	Деградація органічних ксенобіотиків ризосферними мікроорганізмами
Фітодесалінація	Видалення надлишкових солей із солончаків галофітами

Відомі дані щодо використання препаратів на основі іонно-обмінних смол для меліорації забруднених ВМ ґрунтів. При використанні одного із таких препаратів у дозі 1 кг/м<sup>3</sup> вміст кадмію та свинцю у редисі зменшився на 50% [7]. Дуже широко в напрямку ремедіації ґрунту застосовують гумінові препарати, які утворюють стійкі металоорганічні комплекси стійкі у широкому діапазоні рН 2,5-8,5 од. [8]. Слід відмітити, що у біохімічних перетвореннях токсикантів важливу роль відіграють бактерії з процесами карбонатного і сульфатного дихання, а також мікроорганізми, що беруть участь у синтезі і розкладанні гумусової речовини. В ході природних аеробно-анаеробних перетворень відбувається формування стійкої твердої фракції з флукційним домінуванням в ній сульфідів та/або карбонатів і металоорганічних комплексів. Ці групи малорозчинних і нерозчинних сполук часто розглядаються окремо. Але вони при взаємодії ґрунтової мікробіоти утворюються спільно і є природним бар'єром проти дії токсикантів, ізолюючи їх від кореневої системи рослин. При цьому природні біохімічні механізми, які лежать в основі реалізації екологічної протекторної функції, в повній мірі не вивчені. Основна їх особливість – системно-синергетичний характер перетворень. Він може обумовлювати дисфункцію цих механізмів при збільшенні рівня антропогенного навантаження на екосистему. При перебуванні ґрунтової екосистеми в критичному стані, при якому система стає нестійкою щодо флуктуацій і виникає невизначеність, виникає пролонгуюча токсична дія на природні та штучні фітоценози.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Таким чином, в умовах інтенсивного антропогенного навантаження найважливішим завданням екологічних досліджень є пошук шляхів стимулювання природних захисних властивостей ґрунтів.

Одним із напрямків біохімічної утилізації фосфогіпсу разом із муловим осадам в анаеробних умовах, який був розроблений на лабораторній базі Сумського державного університету, спрямований на реалізацію протекторної функції біоорганічних систем в технологіях відновлення забруднених ґрунтів, що потребує проведення низки польових досліджень.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є вивчення процесів фракційних змін сполук важких металів у ґрунтовому комплексі при внесенні біогенного композитного матеріалу на основі му-

лових осадів та фосфогіпсу шляхом здійснення мікропольових досліджень процесу ремедіації модельних ґрунтів.

**Виклад основного матеріалу. Умови проведення мікропольового дослідження.** Дослідження кількісних і якісних змін в фракційному складі ґрунтового комплексу сірого лісового ґрунту проводилось при внесенні зростаючих доз біокомпозиту на основі мулових осадів та фосфогіпсу. При цьому зберігається вся сукупність природних ґрунтових і екологічних факторів. Дослід проводився в блоках з оргстекла з перфорованим днищем площею 0,20 м<sup>2</sup> (0,5 x 0,4 x 0,5 м). Блоки були заповнені сірим лісовим ґрунтом із території з високим рівнем техногенного навантаження, що містить свинець на рівні 17,6-21,2 мг/кг та кадмій – 0,55-1,00 мг/кг (валова форма).

Природна рослинність, що зростала в блоках, скошувалась і видалялася з поверхні ґрунту. ґрунт у блоках перекопувався на глибину 0-20 см, частково вилучена із блоків, змішана і знову засипана в блоки у випадковому порядку. При цьому було використано багаторічні трави, які використовують при сівозмінах (конюшина, суміш із злаковими). Температура у приміщенні підтримувалась на рівні 22-25° С.

Дослід проводився за схемою внесення біокомпозиту з розрахунку: 1) 25 т/га; 2) 50 т/га; 3) 75 т/га. Біокомпозит на основі мулових осадів та фосфогіпсу змішували з поверхневим шаром ґрунту до посіву культури. Повторність дослід триразова.

Зразки ґрунту відбиралися після збирання врожаю з шару 0-20 см. Проби ґрунту з кожного повторення змішувалися і висушують на відкритому повітрі з видаленням наявних залишків рослин і мезофауни в ході просіювання через сито з діаметром отворів 3 мм. Повітряно-сухі зразки використовувалися для визначення фракцій важких металів. Здійснювалися рентгендифрактометричні дослідження мінеральної складової. Дослідження були виконані на автоматизованому дифрактометрі ДРОН-4-07. Система автоматизації ДРОН-4-07 базується на мікропроцесорному контролері, що забезпечує керування гоніометром ГУР-9 і передачу даних у цифровому вигляді на ПК. Експериментальні результати передавалися безпосередньо в програмний пакет підтримання експерименту DifWin-1. Але за допомогою рентгендифракційного методу можливо проаналізувати лише мінеральну складову ґрунту та композитів на основі фосфогіпсу. Відповід-

Таблиця 2

Послідовність фракціонування сполук металів

Сполуки металів	Екстрагент	Співвідношення ґрунт: розчин	Умови екстрагування
Обмінні	1 М MgCl <sub>2</sub> , рН 7,0	1:8	Збовтування 1 год. за кімнатної температури
Пов'язані з карбонатами	1 М CH <sub>3</sub> COONa, рН 5,0	1:8	Збовтування 5 год. за кімнатної температури
Пов'язані з оксидами та гідрооксидами залізу, мангану	0,04 М NH <sub>2</sub> OH·HCl в 25% CH <sub>3</sub> COOH	1:20	Нагрівання 8 год. при температурі 95° С, періодичне збовтування
Пов'язані з органічною речовиною	0,02М HNO <sub>3</sub> +30% H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , рН 2,0	1:20	Нагрівання 5 год. при температурі 85° С, періодичне збовтування
Залишкова фракція (силікати, сульфіді)	HClO <sub>4</sub> + HF	1:25	Випарювання

но для вивчення всіх форм знаходження металів було виконано хімічну екстракцію за фракціями за відповідними методиками [9-11].

Умови екстрагування наведено у табл. 2.

Крім того, було здійснено мікроскопічний аналіз, виконаний з використанням зображень поверхні об'єкту з високою просторовою роздільною здатністю та глибиною різкості у відбитих (BSE) електронах за допомогою растрової електронної мікроскопії SEM-EDX (з використанням енергодисперсного аналізатора) в поєднанні з мікроаналізом для створення карт мінерального складу зразків ґрунту та біокомпозиту на основі мулових осадів і фосфогіпсу.

*Результати проведення мікропольового досліджу та їх обговорення.* Результати дослідження кінетики вилуговування іонів металів в ґрунті до обробки за послідовних екстракцій наведено свідчать, що найбільша частка Pb та Cd (близько 67% мас.) була екстрагована як частка Ф1-Fe та Ф2-Fe, що зв'язана з аморфними оксидами та гідроксидами Fe: FeO<sub>me</sub>, (FeO)<sub>2</sub>Me, FeO<sub>me</sub>OH, наприклад PbFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

У загальній сумісності п'яти основних фракцій становили близько 76% мас. оксигідроксида металів та не більше 22% мас. в залишковій фракції, сильно зв'язані з ґрунтовою матрицею (силікатами та сульфідами). Низька частка ВМ та Fe (тобто <2% та <9,2% мас. відповідно) екстрагується як зв'язана з карбонатною фракцією. Ці результати підтвердили, що ВМ були в основному пов'язані з аморфними частинками окису та гідроксиду заліза ґрунту, як це було показано раніше за дифрактометричними результатами.

Дифрактометричний аналіз показав наявність слідів гематиту, ярозиту та скородиту, які є звичайними продуктами вивітрювання піриту, з якими, як правило, можуть зв'язуватись ВМ. Відсутність залишкових змішаних сульфідних фаз у ґрунті може бути пов'язана з вивітрюванням піритних мінералів.

Щодо екстракції NH<sub>2</sub>OH·HCl, то в цих кислих умовах рН екстрагували приблизно 76% мас. від загального вмісту ВМ.

Ці результати дозволяють припустити, що більша частина ВМ, яка присутня в ґрунті, сорбується на оксигідроксидах Fe, що відповідає мінералогічному аналізу та послідовності екстрагування. Решта частка (не більше 22% від загального вмісту ВМ) може розглядатися як частина, що спільно осаждена з Fe та/або зв'язаною з резистентними сполуками (зокрема силікатами).

Відповідно це свідчить, що ВМ пов'язані з нестійкими оксигідроксидами у ґрунтовому комплексі.

Дані дослідження кінетики вилуговування іонів металів в системі «ґрунтовий комплекс-біокомпозит» (після обробки) за послідовних екстракцій свідчать, що у загальній сумісності п'яти основних фракцій металів становили не менше 86% мас. в стійких органічних сполуках (37%) та залишковій фракції (49%), що міцно зв'язується з матрицею мінералізованих осадів (силікатами та сульфідами).

На оксигідроксида металів припадає лише 12% мас. Низька частка Pb, Cd та Fe екстрагується як обмінна та зв'язана з карбонатною фракцією.

Відповідно було визначено, що близько 90% ВМ зв'язані у формі, що недоступна до рослин: у структурі первинних і вторинних силікатних мінералів, формування комплексів важкорозчинних сполук металів (складних сульфідів) та стійкі комплекси з органічними речовинами. Слід зауважити, що збільшилась карбонатна фракція (на 2%) та відповідно становить 4% мас., що пов'язано із заміщенням свинцем кальцію у сполуках карбонатів, які містяться в композиті.

При вилученні ВМ із ґрунту при дії біокомпозиту розчином CH<sub>3</sub>COONa встановлено, що екстрагування цим розчином не мало суттєвого впливу на вивільнення Fe, Pb та Cd. Проте свідчить про збільшення розчинності кальцію (приблизно в 500 разів при значенні рН = 5) та при цьому адсорбції фосфату на оксигідроксиді Fe, що прослідковується із дифрактометричних досліджень.

Унаслідок утворення сульфідів концентрація металів у порових водах ґрунту значно знижується і вони стають не доступними для організмів та рослин. Слід зауважити, що у сульфіда феруму (II) по відношенню до сульфідів кадмію і свинцю має великий добуток розчинності (KS (FeS) ~ 10<sup>-19</sup>, KS (PbS) ~ 10<sup>-29</sup>, KS (CdS) ~ 10<sup>-27</sup>). Відповідно сульфід свинцю та кадмію можна віднести до стійкої фракції у ґрунті. При цьому слід зауважити, що відбувається утворення плівки оксикарбонату на поверхні сульфідної твердої фракції та суміщення сульфідів металів в міжплощинний простір силікатів та цеолітів, тому таку фракцію ми можемо віднести до залишкової, що підтверджено результатами екстрагування.

Мікроскопічний аналіз, виконаний з використанням зображень BSE за допомогою растрової електронної мікроскопії в поєднанні з мікроаналізом ґрунту після внесення біокомпозиту на основі мулових осадів та фосфогіпсу показав наявність в мінеральній фракції мінералів кварц, гіпс та сполуки, що містять Fe та ВМ, зокрема Pb, зі складом відповідно до результатів дифрактометричного аналізу. Слід зауважити, що міцне зв'язування важких металів забезпечують стійкі орґано-мінеральні сполуки.

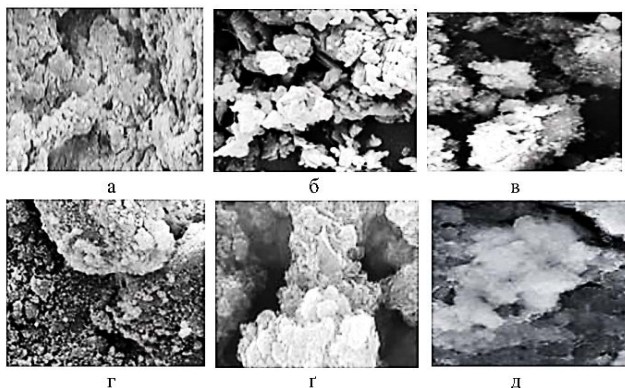
На рис. 1 зображено загальний вид гумусового шару за ґрунтовим профілем після внесення біокомпозиту.



**Рис. 1. Фотографія гумусового прошарку разом із скошеною рослинністю при поверхневому внесенні біокомпозиту**

При внесенні у поверхнево внесенні біокомпозиту на основі мулових осадів та фосфогіпсу було отримано карту растрового мікроаналізу SEM-EDX 2-3 мм фракції композиту (рис. 2).

Здійснювши аналіз отриманих результатів було побудовано діаграму зміни фракційного складу металів, що зображена на рис. 3.



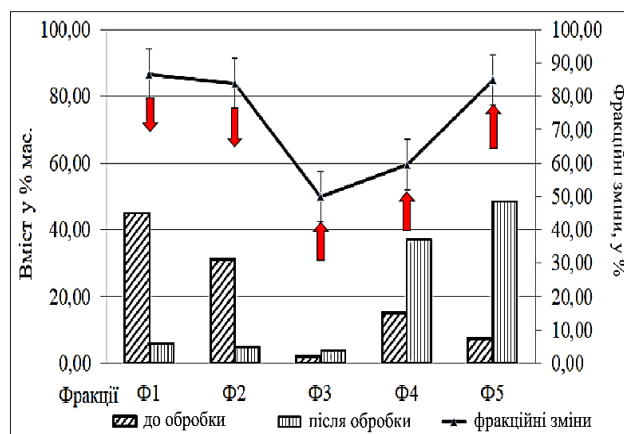
а – загальний вигляд; присутні елементи:  
б – Fe; в – Pb; г – Ca; ґ – S; д – Si

Рис. 2. Відображення карти растрового мікроаналізу SEM-EDX до 2 мм фракції ґрунту (12X)

Відносна частка залишкової фракції при обробці ґрунту біокомпозитом на основі фосфоґіпсу різко зростає (рис. 3). На накопичення ВМ у ґрунтах і розподіл їх по фракціям також впливають кислотно-лужні умови. Так на відновленому ґрунті кислотність складала 6,5 та спостерігалось зменшення обмінної фракції ВМ на 84%. При цьому, відбувається зменшення кількості елементів пов'язаних з гідрооксидами та оксидами Fe і Mn на 87%.

**Висновки і пропозиції.** За результатами дослідження були визначені особливості фракційних змін ВМ, що пов'язані зі специфікою їх взаємодії з компонентами ґрунту. З ростом рівня забруднення ґрунту ВМ основна части-

на їх пов'язується з оксидами і гідрооксидами Fe і Mn, в результаті чого частка цієї фракції збільшується. При реалізації заходів з відновлення ґрунтового комплексу при внесенні біокомпозиту відбувається збільшення частки металів, що міцно пов'язані в мінерально-органічній структурі і недоступні для рослин. Найбільш значні зміни в фракційному складі ВМ пов'язані із збільшенням частки стійких сполук з органічною речовиною і залишкової фракцією. При очищенні забруднених ґрунтів спостерігається значне збільшення відносної частки залишкової фракції свинцю та кадмію при всіх рівнях кислотності з 5,6-9,05% мас. до 45,3-51,7% мас.



Ф1 – оксиди та оксигідроксиди феруму і мангану; Ф2 – обмінні форми; Ф3 – карбонати, гідроксикарбонати; Ф4 – з органічними речовинами; Ф5 – залишкова фракція.

Рис. 3. Комбінована діаграма аналізу змін у фракційному складі важких металів у ґрунті до і після внесення біокомпозиту

## Список літератури:

1. Даденко Е. В. Применение показателей ферментативной активности при оценке состояния почв под сельскохозяйственными угодьями / Е. В. Даденко, М. А. Мясникова, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников // Известия Самарского научного центра. – 2013. – Т. 15. – № 3(5). – С. 1274-1277.
2. Paz-Ferreiro J. Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review / J. Paz-Ferreiro, H. Lu, S. Fu, A. Méndez, and G. Gascó // Solid Earth, 5, 2014. – P. 65-75.
3. Laghlmi M. Phytoremediation Mechanisms of Heavy Metal Contaminated Soils: A Review / Meriem Laghlmi, Bouamar Baghdad, Hassan El Hadi, Abdelhak Bouabdli // Open Journal of Ecology. – 2015. – № 5 – С. 375-388. – <http://dx.doi.org/10.4236/oje.2015.58031>.
4. Radionuclides: Accumulation and Transport in Plants / Gupta D. K., Chatterjee S., Datta S., Voronina A. V., Walther C. // Rev Environ Contam Toxicol. -2017. – № 241. – С. 139-160. doi: 10.1007/398\_2016\_7.
5. Янкевич М. И. Биоремедиация почв: вчера, сегодня, завтра / М. И. Янкевич, В. В. Хадеева, В. П. Мурыгина // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2015. – Т. 7, № 2. – С. 199-208.
6. Placek A. Improving the phytoremediation of heavy metals contaminated soil by use of sewage sludge / A. Placek, A. Grobelak, M. Kasprzak // International Journal of Phytoremediation. – 2016. – Volume 18, Issue 6. – С. 605-618. – <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1086308>
7. Коротченко И. С. Детоксикация тяжелых металлов (Pb, Cd, Cu) в системе «почва-растение» в лесостепной зоне Красноярского края: электронная монография / И. С. Коротченко, Н. Н. Кириенко. – Изд-во: ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», 2013. – Режим доступа: <http://catalog.inforeg.com/Inet/GetEzineByID/299278>.
8. Ганеев И. Г. Регенерация и рекультивация техногенно деградируемых земель / И. Г. Ганеев, А. А. Кулагин // Вестник ОГУ. – 2009. – № 6. – С. 554-557.
9. Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: ЦИНАО, 1992. – 61 с.
10. Чмиленко Ф. О. Визначення рухливих форм мангану в ґрунтових витяжках з використанням ультразвуку на стадії прободіготовки / Ф. О. Чмиленко, Н. М. Смітюк // Науковий вісник Ужгородського університету. Сер.: Хімія. – 2013. – № 1. – С. 34-39. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuuchem\\_2013\\_1\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvuuchem_2013_1_9).
11. Zemberyova M. Sequential extraction for the speciation of some heavy metals in soils / M. Zemberyova, Z. A. Al Hakem, I. Farkasovska // J. Radioanal. Nucl. Chem. – 1998. – V. 229. – P. 67-71.

**Черныш Е.Ю., Пляцук Л.Д.**  
Сумской государственной университет

## **СВЯЗЫВАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕННОМ КОМПЛЕКСЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ БИОКОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ И ФОСФОГИПСА**

### **Аннотация**

В статье осуществлено изучение процессов фракционных изменений соединений тяжелых металлов в почвенном комплексе при внесении биогенного композита на основе иловых осадков и фосфогипса путем осуществления микрополевых исследований процесса ремедиации модельных почв. Представленные результаты позволяют определить направления стимулирования естественных защитных свойств почвенного комплекса от действия загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, и определены приоритетные биохимические процессы, стимулирующие его протекторные функции при внесении биокomпозиту. При реализации мероприятий по восстановлению почвенного комплекса при внесении биокomпозиту происходит увеличение доли металлов, прочно связанных в минерально-органической структуре. Образующиеся соединения тяжелых металлов в системе «почвенный комплекс – биогенный композит» являются стабильными при низких значениях pH (2,0 ед.) и относятся к фракциям, устойчивым к химическим и микробиологическим воздействиям. Так, при очистке почв наблюдается значительное увеличение относительной доли остаточной фракции свинца и кадмия при всех уровнях кислотности с 5,6–9,05% масс. в 45,3–51,7% масс. При этом на восстановленной почве наблюдалось уменьшение обменной фракции тяжелых металлов на 84%.

**Ключевые слова:** почвенный комплекс, защитные свойства, тяжелые металлы, биогенный композит, фосфогипс, иловые осадки.

**Chernysh Y.Y., Plyatsuk L.D.**  
Sumy State University

## **BINDING OF HEAVY METALS IN THE SOIL COMPLEX AT THE INTRODUCTION BIOCOMPOSITE BASED ON SEWAGE SLUDGE AND PHOSPHOGYPSUM**

### **Summary**

The article focused on study the processes of fractional changes of heavy metal compounds in the soil complex under introducing biogenic composite material on the basis of sewage sludge and phosphogypsum by conducting microfield studies of the remediation process of model soils. The study was based on implementation of microfield studies of the remediation process of model soils in blocks filled with gray forest soil from a territory with a high level of technogenic load. X-ray diffractometric studies of the mineral component were carried out. The research was carried out on an automated diffractometer DRON-4-07. The microscopic analysis was carried out using surface area images of a high resolution spatial resolution and depth of reflection (BSE) electrons using a SEM-EDX raster electron microscopy in combination with microanalysis for the creation of maps of the mineral composition of soil samples and biocomposite. The fractions of heavy metals in the polluted soil was presented mostly of bound to oxides and hydroxides of Fe and Mn. The increase in the proportion of metals that were tightly bound in the mineral-organic structure that not available to plants was estimated after implementing measures to purification the soil complex with introducing the biocomposite. The most significant changes in the fractional composition of heavy metals were due to an increase in the proportion of stable compounds with organic matter and residual fraction. Thus, at purification of contaminated soils, a significant increase in the relative fraction of residual fraction of lead and cadmium was observed at all levels of acidity from 5.6–9.05% wt. to 45.3–51.7% wt.

**Keywords:** soil complex, protective properties, heavy metals, biogenic composite, phosphogypsum, sewage sludge.