УДК 631.453:504.062

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.93.09>

В. Лопушняк¹, д-р с.-г. наук,
E-mail: lorushniak@i.ua;
Г. Грицуляк², канд. с.-г. наук,
E-mail: griksulyaka@ukr.net;
О. Тонха¹, д-р с.-г. наук, проф.,
E-mail: oksana16095@gmail.com;
О. Меньшов³, д-р геол. наук,
E-mail: menshov.o@ukr.net;
О. Піковська¹, канд. с.-г. наук, доц.,
E-mail: pikovska_olena@ukr.net;
С. Сичевський¹, асп.,
E-mail: sergii1836@gmail.com;

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна;

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019, Україна;

³Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ВМІСТ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ГРУНТАХ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ ПЕРЕДКАРПАТТЯ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

Висвітлено результати досліджень вмісту важких металів у дерново-підзолистих ґрунтах нафтозабруднених територій Івано-Франківської області. Забруднення ґрунтів нафтопродуктами спричиняє важкі екологічні наслідки для екосистем. Метою досліджень було вивчення особливостей нагромадження важких металів у ґрунті, підземній частині та вегетативній масі сильфії пронизанолистої в умовах вирощування на нафтозабруднених територіях. Уміст рухомих форм важких металів у ґрунтах не перевищував норм у всіх варіантах досліджу. У процесі вирощування сильфії пронизанолистої він зростає у ряду: кадмій → нікель → кобальт → плумбум. Визначали коефіцієнт концентрації важких металів, що відображає зміну вмісту елемента у дослідному ґрунті відносно вмісту металів у фоновому ґрунті. Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сильфії пронизанолистої за внесення добрив на основі осаду стічних вод та компостів на їх основі зростає у ряду: кобальт → плумбум → нікель → кадмій. Встановлено особливості нагромадження важких металів у вегетативній масі рослини. Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами кореневої системи сильфії пронизанолистої за внесення осаду стічних вод зростають у ряді: кадмій → нікель → плумбум → кобальт. Максимальні індекси забруднення коренів сильфії пронизанолистої кадмієм, нікелем і кобальтом спостерігається за внесення у ґрунт ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, плумбумом – за внесення компосту у нормі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$. Найменші індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів сильфії пронизанолистої відзначено за внесення у ґрунт добрива $N_{60}P_{50}K_{60}$.

Ключові слова: важкі метали, сильфія пронизаноліста, нафтозабруднена територія, акумулювативна здатність.

Постановка проблеми. Забруднення ґрунтів нафтою та продуктами її переробки спричиняє значні процеси деградації екосистем (Gaur and Adholeya, 2004). Завдяки адсорбуючим властивостям нафтопродукти тривалий час зберігаються в ґрунті, тим самим змінюючи фізико-хімічні та біологічні його властивості. Нафтохімічне забруднення з високим вмістом важких фракцій вуглеводнів утворюють на поверхні ґрунту щільну, в'язку бітумінозну кірку, яка утруднює газообмін між повітрям і середовищем ґрунту (Ghori et al., 2019; Hasegawa et al., 2009; Eissa, 2016). Крім цього, практично всі ґрунти, які піддавалися техногенному впливу внаслідок будівництва чи експлуатації нафтопроводів (продуктопроводів), зазнали техногенного впливу, забруднені важкими металами, іншими небезпечними речовинами тощо. Важкі метали особливо небезпечні внаслідок їх здатності до біоаккумуляції (Shtangeeva et al., 2004; Pehlivan et al., 2009; Mank et al., 2019; Tonkha et al., 2020).

Аналіз публікацій за темою досліджень. Ліквідацію та усунення негативних наслідків нафтових забруднень ґрунтового покриття здійснюють різними методами (спалювання, екстракція паром, промивання забрудненого нафтою ґрунту, сорбція, відновлення територій за допомогою ініційованого гумінового сорбенту, використання активованого торфу, очищення твердих поверхонь за допомогою гідрофобного органомінерального нафтового сорбенту і т.ін.) (Ghori et al., 2019; Gaur and Adholeya, 2004; Rakhshe et al., 2009). Аналіз літератури дає підстави стверджувати, що відомі механічні, хімічні та фізичні методи є довготривалими, потребують великих затрат і не забезпечують повноти очищення навколишнього природного середовища (Ghazala and

Setsuko, 2017; Ghori et al., 2019). Альтернативним і порівняно енергоощадним є метод фіторе mediaції нафтозабруднених територій, який ґрунтується на вирощуванні культурних рослин, зокрема енергетичних (свічграс, верба енергетична, міскантус, топінамбур та ін.), які інтенсивно нагромаджують вегетативну масу впродовж багатьох циклів вирощування акумулюють у сухій речовині значну кількість забруднюючих речовин з подальшим її відчуженням з поля. Однією з таких рослин-фіторе mediaнтів може бути сильфія пронизаноліста (*Silphium perfoliatum* L.) (Можарівська, 2020).

Останнім часом іде пошук енергозберігальних та швидкісних технологій визначення стану ґрунтового покриття територій впливу вуглеводнів. Таким критерієм відповідають геофізичні технології, зокрема магнітні дослідження ґрунтів (Menšov et al., 2020). Демонструється високий зв'язок між магнітними параметрами, зміною магнітної мінералогії ґрунтів під впливом вуглеводневого флюїду та локалізацією нафтопродуктів (Меньшов та ін., 2016). При цьому розглядається як потенційний вплив власне покладів нафти та газу, так і витоки вуглеводнів у процесі їх видобутку та транспортування. Зафіксовано вплив вуглеводнів на формування органічної речовини у ґрунтах та зв'язок з врожайністю, формування так званого фронту гуміфікації у ґрунтах, що розташовані на територіях витоків нафти і газу (Меньшов, 2018).

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Стаття присвячена висвітленню особливостей вмісту валових і рухомих форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сильфії пронизанолистої, адже саме вирощування рослин-

фіторемедіантів дозволить відновити ґрунти техногенно забруднених територій.

Метою досліджень було вивчення особливостей нагромадження важких металів у ґрунті, підземній частині та вегетативній масі сільфії пронизанолістої в умовах вирощування на нафтозабруднених територіях.

Методика досліджень. Дослід закладений на території Передкарпаття, зокрема Південно-Гвіздецького родовища Надвірнянського нафтогазопромислового району в с. Битків Івано-Франківської області, на якій виробнича діяльність припинена 25 років тому. Сільфію пронизанолістої висівали за схемою 0,50х0,70 м. Ширина дослідної ділянки 5,0 м; довжина 7,0 м; облікова площа – 35 м². Як контрольну ділянку (фонову територію) (варіант 1 – контроль (без добрив)) обрано незабруднену ділянку дослідного поля. Ґрунт дослідного поля дерново-слабопідзолистий піщаний, зустрічаються окремі залишки нафтового розливу, так звані нафтові плями.

Під час вирощування сільфії пронизанолістої вносили удобрення у такій послідовності: 1. Контроль – без добрив; 2. N₆₀P₆₀K₆₀; 3. N₉₀P₉₀K₉₀; 4. ОСВ 20 т/га + N₅₀P₅₂K₇₄; 5. ОСВ 30 т/га + N₃₀P₃₃K₆₆; 6. ОСВ 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈; 7. компост (ОСВ + солома у співвідношенні 3:1) 20 т/га + N₅₀P₁₆K₆₇; 8. компост (ОСВ + солома у співвідношенні 3:1) 30 т/га + N₃₀K₅₅.

Впродовж чотирьох років експериментальних досліджень визначали вміст валових і рухомих форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої, а також вміст важких металів у зеленій масі та коренях рослини за апробованими методиками згідно з ДСТУ 4770.3 – ДСТУ 4770.9, атомно-адсорбційним методом у лабораторії Івано-Франківської філії ДУ "Держґрунтохорона".

Коефіцієнт біологічного поглинання визначали згідно з методиками за відношенням вмісту хімічного елемента у золі рослини до його валового вмісту у ґрунті (Корсун та ін., 2019; Саєт та ін., 1985). Коефіцієнти концентрації важких металів (Cd, Ni, Co, Pb) визначали за відношенням вмісту елемента у ґрунті до його вмісту у ґрунті фонові ділянки (варіант 1 – контроль) (Gaur and Adholeya, 2004; Rakhshe et al., 2009; Hinchman et al., 1995). Коефіцієнти рухомості важких металів визначали за відношенням вмісту рухомої форми досліджуваного металу до його валової форми у ґрунті (Shtangeeva et al., 2004; Roy et al., 2005).

Коефіцієнти переходу важких металів із кореневої системи сільфії пронизанолістої у надземну частину рослини розраховували за відношенням вмісту елемента у надземній частині рослини до його вмісту у коренях сільфії пронизанолістої (Ghosh et al., 2012). Коефіцієнти транслокації важких металів із ґрунту у надземну частину рослини визначали за відношенням концентрації металу в зеленій частині до концентрації металу в ґрунті (Eissa, 2004).

Результати та їх обговорення. Вміст пльомбуму в контрольному варіанті (фоновий) склав 3,92 мг/кг ґрунту. Вміст кадмію та нікелю дорівнює 0,21 та 1,22 мг/кг ґрунту відповідно, вміст кобальту – 2,40 мг/кг ґрунту (для варіанту 1). Проте за внесення N₆₀₋₉₀P₆₀₋₉₀K₆₀₋₉₀ (варіанти 2 і 3) вміст кадмію та нікелю збільшився в межах 0,26–0,39 та 1,27–1,35 мг/кг ґрунту відповідно. Мінеральне добриво вносили у нафтозабруднений ґрунт для порівняння, оскільки його застосування забезпечує дещо нижчу продуктивність енергетичних культур, порівнюючи з іншими варіантами удобрення, та не призводить до покращення показників ґрунту в агроєкосистемах.

Гранично допустима концентрація рухомих форм для пльомбуму – 6,0 мг/кг ґрунту, для кадмію та нікелю 0,7 та 4,0 мг/кг ґрунту відповідно, для кобальту – 5,0 мг/кг ґрунту.

Найвищий вміст рухомих форм пльомбуму відзначено у ґрунті за внесення ОСВ 40 т/га і N₁₀P₁₄K₅₈ (варіант 6) та компосту у нормі 30 т/га та N₃₀P₃₃K₆₆ (варіант 8) і становить 4,54 та 4,48 мг/кг ґрунту відповідно (рис. 1 та 2). Вміст кадмію коливається відповідно до норм внесення удобрення, але його максимуму досягає у 6 варіанті і становить 0,55 мг/кг ґрунту, що на 0,21 мг/кг ґрунту більше за варіант, де вносили найменшу норму ОСВ (варіант 4).

Вміст нікелю змінюється в межах 1,27–1,53 мг/кг ґрунту, що на 0,05–0,31 мг/кг ґрунту перевищує контроль. Вміст нікелю у ґрунті за внесення свіжого ОСВ у нормі 40 т/га та N₁₀P₁₄K₅₈ становить 1,53 мг/кг ґрунту. Вміст кобальту у ґрунті змінювався відповідно до варіанту досліджень, найбільше його містилось у варіанті 6 – 2,63 мг/кг ґрунту, а найменше у варіантах, де вносили компост на основі ОСВ + солома у співвідношенні 3:1 у нормі 20 т/га та N₅₀P₁₆K₆₇ – 2,46 мг/кг ґрунту (варіант 7), а також у варіанті 2 (N₆₀P₆₀K₆₀).

Вміст валових форм досліджених елементів дещо відрізнявся, відповідно вміст пльомбуму коливався в межах 12,49 мг/кг ґрунту на контролі та 14,36 мг/кг ґрунту у варіанті 8 (компост (ОСВ + солома у співвідношенні 3:1) 30 т/га + N₃₀K₅₅), що на 1,87 мг/кг ґрунту більше за контроль. Вміст валових форм пльомбуму за внесення ОСВ у нормі 20–40 т/га становить 13,96–14,98 мг/кг ґрунту, що на 1,47–2,49 мг/кг ґрунту перевищує контроль.

Вміст валових форм кадмію за внесення ОСВ у нормі 20–40 т/га становить 0,71–0,84 мг/кг ґрунту, що на 0,07–0,2 мг/кг ґрунту перевищує контроль. Вміст валових форм нікелю змінюється в межах 25,01 мг/кг ґрунту на контролі та 27,96 мг/кг ґрунту у варіанті 6 (ОСВ – 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈). Вміст валових форм кобальту за внесення ОСВ у нормі 20–40 т/га становить 22,10–23,15 мг/кг ґрунту, що на 0,95–2,0 мг/кг ґрунту більше за контроль. Проте валові форми кобальту у варіантах 7 та 8 становлять 22,37 та 23,0 мг/кг ґрунту відповідно (рис. 2).

Гранично допустима концентрація для пльомбуму становить 30,0 мг/кг ґрунту, для кадмію і нікелю 3,0 і 85,0 мг/кг ґрунту відповідно, для кобальту 50,0 мг/кг ґрунту. Згідно з отриманими результатами досліджень у ґрунтах жоден з компонентів не перевищує норму у всіх варіантах досліду. Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах за вирощування сільфії пронизанолістої зростає у ряду: кадмій → нікель → кобальт → пльомбум.

Було визначено коефіцієнт концентрації важких металів, що відображає зміну вмісту елемента у дослідному ґрунті відносно вмісту металів у фоновому ґрунті (контроль).

Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої за внесення добрив на основі осаду стічних вод та компостів на їх основі зростають у ряді: кобальт → пльомбум → нікель → кадмій. Коефіцієнти концентрації валових форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті під час вирощування сільфії пронизанолістої за внесення органічного удобрення на основі осаду стічних вод зростають у ряді: кобальт → нікель → пльомбум → кадмій (табл. 1). Величина коефіцієнта концентрації свідчить про активність процесів накопичення хімічних елементів у ґрунті.

Для того, щоб дізнатися можливість перетворення важких металів із валової форми у доступні для рослин рухомі форми, визначали коефіцієнт рухомості. Найвищу рухомість кадмію в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої спостерігали за внесення ОСВ у нормі 40 т/га і добрива N₁₀P₁₄K₅₈, максимальні коефіцієнти рухомості пльомбуму зафіксовані за внесення добрив N₆₀P₆₀K₆₀ та N₉₀P₉₀K₉₀. Нікель та кобальт проявляють стабільність показників їх рухомості в усіх варіантах досліду (табл. 2).

Рис. 1. Вміст рухомих форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої, середнє за 2016–2020 роки

Рис. 2. Вміст валових форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої, середнє за 2016–2020 роки

Таблиця 1

Коефіцієнти концентрації важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої, середнє за 2016–2020 роки

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Pb	Cd	Ni	Co
	рухомих форм				валових форм			
$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,05	1,24	1,04	1,01	1,04	1,08	1,04	1,03
$N_{90}P_{90}K_{90}$	1,12	1,86	1,11	1,03	1,08	1,19	1,08	1,05
ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$	1,02	1,62	1,16	1,05	1,12	1,11	1,06	1,04
ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$	1,07	2,14	1,22	1,08	1,16	1,25	1,09	1,09
ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$	1,16	2,62	1,25	1,10	1,20	1,31	1,12	1,09
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$	1,06	1,38	1,12	1,03	1,09	1,14	1,04	1,06
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$	1,14	2,05	1,20	1,06	1,15	1,25	1,08	1,09

Таблиця 2

Коефіцієнти рухомості важких металів у дерново-підзолистому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолістої, середнє за 2016–2020 роки

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co
Без добрив (контроль)	0,31	0,33	0,05	0,11
$N_{60}P_{60}K_{60}$	0,32	0,38	0,05	0,12
$N_{90}P_{90}K_{90}$	0,32	0,51	0,05	0,13
ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$	0,29	0,48	0,05	0,14
ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$	0,29	0,56	0,05	0,14
ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$	0,30	0,65	0,05	0,15
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$	0,31	0,40	0,05	0,13
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$	0,31	0,54	0,05	0,13

Концентрації нікелю, свинцю, кобальту у зеленій масі сільфії пронизанолістої сягають максимальних значень за внесення ОСВ у нормі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6) і становить для свинцю 0,97 мг/кг рослини і тим самим перевищує контроль (варіант 1) на 0,46 мг/кг рослини. Вміст кобальту та нікелю становить 1,01 та 1,44 мг/кг рослини відповідно. Найвищий вміст кадмію у зеленій масі сільфії пронизанолістої за внесення компосту у нормі 30 т/га та $N_{30}K_{55}$ і становить 1,71 мг/кг рослини (варіант 8), що на 0,62 мг/кг рослини перевищує показник контролю (варіант 1).

Найменші концентрації усіх важких металів у зеленій масі сільфії пронизанолістої встановлено за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ (варіант 2) (рис. 3).

Індекс внутрішньо-тканинного забруднення рослин визначали за відношенням вмісту елемента у вегетативній частині рослини до вмісту елемента у вегетативній частині контрольних ролин. Визначаючи індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси сільфії пронизанолістої за внесення осаду

стічних вод відзначено підвищення у ряді: нікель → кадмій → свинець → кобальт (табл. 3).

Мінімальні індекси зафіксовані у варіанті 2 за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$, а найвищі індекси для нікелю, свинцю, кобальту – за внесення ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6). Для кадмію найнижчі значення внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси сільфії пронизанолістої встановлено за внесення ОСВ у нормі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$ (варіант 5). Одержані експериментальні дані дозволяють констатувати, що в умовах нафтозабрудненого ґрунту із збільшенням внесення норм осаду стічних вод спостерігалось посилення накопичення металів коренями рослини. Про що свідчать значення індексів внутрішньотканинного забруднення – 1,6–1,9.

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами кореневої системи сільфії пронизанолістої за внесення осаду стічних вод зростають у ряді: кадмій → нікель → свинець → кобальт (табл. 3).

Рис. 3. Валовий вміст важких металів у зеленій масі сільфії пронизанолістої за внесення удобрення на основі осаду стічних вод, середнє за 2016–2020 роки

Таблиця 3

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами сільфії пронизанолістої за внесення осаду стічних вод, середнє за 2016–2020 рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Co	Cd	Ni	Pb	Co
	Зелена маса				Корінь			
$N_{60}P_{60}K_{60}$	1,19	1,08	1,18	1,24	1,03	1,01	1,10	1,07
$N_{90}P_{90}K_{90}$	1,36	1,22	1,33	1,49	1,05	1,03	1,16	1,14
ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{50}K_{74}$	1,28	1,32	1,45	1,75	1,10	1,08	1,22	1,27
ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$	1,43	1,47	1,73	1,90	1,15	1,14	1,31	1,45
ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$	1,53	1,60	1,90	1,98	1,19	1,22	1,41	1,61
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$	1,47	1,44	1,55	1,69	1,13	1,11	1,35	1,48
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$	1,57	1,57	1,80	1,82	1,15	1,17	1,43	1,59

Максимальні індекси забруднення коренів сільфії пронизанолістої кадмієм, нікелем і кобальтом спостерігається за внесення у ґрунт ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6), свинцем – за внесення компосту у нормі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$ (варіант 5). Найменші індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів сільфії пронизанолістої відзначено за внесення у ґрунт добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$ (варіант 2).

Висновки. На нафтозабруднених ґрунтах за внесення різних норм осаду стічних вод уміст рухомих форм важких металів за вирощування сільфії пронизанолістої зростає у ряді: кадмій → нікель → кобальт → свинець. Вміст валових форм важких металів зростає у ряді: кадмій → свинець → кобальт → нікель.

Аналіз концентраційних залежностей вмісту важких металів у системі ґрунт – рослина дає можливість використання рослин як біоіндикаторів забруднення довкілля нафтопродуктами.

Список використаних джерел

- Корсун, С.Г., Клименко, І.І., Болоховська, В.А., Болоховський, В.В. (2019). Транслокація важких металів у системі "ґрунт-рослина" за вапнування та впливу біологічних препаратів. *Агроекологічний моніторинг*, 1, 29-35. doi: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163245>.
- Манк, В., Тонха, О., Галімова, В., Суровцев, І., Меньшов, О., Бикова, О., Роговський, І. (2019). Електрохімічне дослідження процесів поглинання кобальту ґрунтами України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 86(3), 34-39.
- Меньшов, О., Кудеравець, Р., Попов, С., Хоменко, Р., Сухорада, А., Чоботок, І. (2016). Термамагнітний аналіз ґрунтів територій покладів вуглеводнів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 73(2), 33-37.

Меньшов, О. (2018). Роль магнетотактичних бактерій у формуванні природного магнетизму ґрунтів України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 80(1), 40-45.

Можарівська, І.А. (2020). Агроекологічна оцінка вирощування енергетичних культур в умовах радіоактивного забруднення Полісся України. *Автомат. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.16*. Житомир. нац. агропол. ун-т. Житомир.

Саєт, Ю.Е., Ревич, Б.А., Янин, Е.П. (1989). Геохимия окружающей среды. М.: Недра.

Тонха, О., Бикова, О., Піковська, О., Федосій, І., Меньшов, О., Шепель, А. (2020). Вміст кремнію, фізичні та хімічні властивості ґрунтів Хмельницької області України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*, 90(3), 85-90.

Eissa, M.A. (2014). Performance of river saltbush (*Atriplex amnicola*) grown on contaminated soils as affected by organic fertilization. *World Applied Science Journal*, 30, 1877-1881.

Eissa, M.A. (2016). Phosphate and organic amendments for safe production of okra from metal-contaminated soils. *Agronomy Journal*, 108, 2, 540-547.

Gaur, A., Adholeya A. (2004). Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Science*, 86, 4, 528-534.

Ghazala, M., Setsuko, K. (2017). Toxicity of heavy metals and metal-containing nanoparticles on plants. *Plant Gene*, 11B, 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2016.02.020>.

Ghori, N.-H., Ghori, T., Hayat, M.Q., Imadi, S.R., Gul, A., Altay, V., Ozturk, M. (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 1807-1828.

Ghosh, A.K., Bhatt, M.A., Agrawal, H.P. (2012). Effect of long-term application of treated sewage water on heavy metal accumulation in vegetables grown in northern India. *Environ. Monit. Assess.*, 1842, 1025-1036.

Hasegawa, H., Rahman, M.A., Matsuda, T., Kitahara, T., Maki, T., Ueda K. (2009). Effect of eutrophication on the distribution of arsenic species in eutrophic and mesotrophic lakes. *Science of the Total Environment*, 407, 4, 1418-1425.

Hinchman, R.R., Negri, M.C., Gatiliff, E.G. (1995). Phytoremediation: using green plants to clean up contaminated soil, groundwater, and wastewater. Argonne National Laboratory Hinchman, Applied Natural Sciences.

Menshov, O., Spassov, S., Camps, P., Vyzhva, S., Pereira, P., Pastushenko, T., Demidov, V. (2020). Soil and dust magnetism in semi-urban area Truskavets, Ukraine. *Environmental Earth Sciences*, 79(8), 1-10.

Pehlivan, E., Özkan, A.M., Dinç, S., Parlayici, S. (2009). Adsorption of Cu²⁺ and Pb²⁺ ion on dolomite powder. *Journal of Hazardous Materials*, 167, 1-3, 1044-1049.

Rakhshae, R., Giah, M., Pourahmad, A. (2009). Studying effect of cell wall's carboxyl-carboxylate ratio change of *Lemna minor* to remove heavy metals from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, 163, 1, 165-173.

Roy, S., Labelle, S., Mehta, P. et al. (2005). Phytoremediation of heavy metal and PAH-contaminated brownfield sites. *Plant and Soil*, 272, 1-2, 277-290.

Shtangeeva, I., Laiho, J.V.-P., Kahelin, H., Gobran, G.R. (2004). Phytoremediation of metal-contaminated soils. *Symposia Papers Presented Before the Division of Environmental Chemistry*, American Chemical Society, Anaheim, Calif, USA.

References

Eissa, M.A. (2014). Performance of river saltbush (*Atriplex amnicola*) grown on contaminated soils as affected by organic fertilization. *World Applied Science Journal*, 30, 1877-1881.

Eissa, M.A. (2016). Phosphate and organic amendments for safe production of okra from metal-contaminated soils. *Agronomy Journal*, 108, 2, 540-547.

Gaur, A., Adholeya, A. (2004). Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. *Current Science*, 86, 4, 528-534.

V. Lopushnyak¹, Dr. Sci. (Agri.), Prof.,

E-mail: lopushniak@i.ua;

H. Hrytsulyak², PhD (Agri.),

E-mail: gritsulyaka@ukr.net;

O. Tonkha¹, Dr. Sci. (Agri.), Prof.,

E-mail: oksana16095@gmail.com;

O. Menshov³, Dr. Sci. (Geol.),

E-mail: menshov.o@ukr.net;

O. Pikovska¹, PhD (Agri.), Assoc. Prof.,

E-mail: pikovska_olena@ukr.net;

S. Sychevsky¹, PhD Student, E-mail: sergii1836@gmail.com;

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 17 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine;

²Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine;

³Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, 90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

Ghazala, M., Setsuko, K. (2017). Toxicity of heavy metals and metal-containing nanoparticles on plants. *Plant Gene*, 11B, 247-254. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2016.02.020>.

Ghori, N.-H., Ghori, T., Hayat, M.Q., Imadi, S.R., Gul, A., Altay, V., Ozturk, M. (2019). Heavy metal stress and responses in plants. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 1807-1828.

Ghosh, A.K., Bhatt, M.A., Agrawal, H.P. (2012). Effect of long-term application of treated sewage water on heavy metal accumulation in vegetables grown in northern India. *Environ. Monit. Assess.*, 1842, 1025-1036.

Hasegawa, H., Rahman, M.A., Matsuda, T., Kitahara, T., Maki, T., Ueda K. (2009). Effect of eutrophication on the distribution of arsenic species in eutrophic and mesotrophic lakes. *Science of the Total Environment*, 407, 4, 1418-1425.

Hinchman, R.R., Negri, M.C., Gatiliff, E.G. (1995). Phytoremediation: using green plants to clean up contaminated soil, groundwater, and wastewater. Argonne National Laboratory Hinchman, Applied Natural Sciences.

Korsun, S.H., Klymenko, I.I., Bolokhovs'ka, V.A., Bolokhovs'kyi, V.V. (2019). Translocation of heavy metals in the "soil-plant" system under liming and exposure to biological drugs. *Agroecological monitoring*, 1, 29-35. DOI: <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2019.163245>. [in Ukrainian]

Mank, V., Tonkha, O., Galimova, V., Surovtsev, S., Menshov, O., Bukova, O., Rogovskiy, I. (2019). Electrochemical investigation of cobalt absorption processes by soils of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 86(3), 34-39. [in Ukrainian]

Menshov, O., Kuderavets R., Popov S., Homenko R., Sukhorada A., Chobotok I. (2016). Thermomagnetic analyzes of soils from the hydrocarbon fields. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 73(2), 33-37. [in Ukrainian]

Menshov, O. (2018). The role of magnetotactic bacteria in formation of natural magnetism of soils in Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 80(1), 40-45. [in Ukrainian]

Menshov, O., Spassov, S., Camps, P., Vyzhva, S., Pereira, P., Pastushenko, T., Demidov, V. (2020). Soil and dust magnetism in semi-urban area Truskavets, Ukraine. *Environmental Earth Sciences*, 79(8), 1-10.

Mozharivs'ka I.A. (2020). Agroecological assessment of growing energy crops in terms of radioactive contamination of Polissya of Ukraine. *Extended abstract of Candidate's thesis (Agri.): 03.00.16. Zhytomyr. nat. agroecol. un-t. Zhytomyr*. [in Ukrainian]

Pehlivan, E., Özkan, A.M., Dinç, S., Parlayici, S. (2009). Adsorption of Cu²⁺ and Pb²⁺ ion on dolomite powder. *Journal of Hazardous Materials*, 167, 1-3, 1044-1049.

Rakhshae, R., Giah, M., Pourahmad, A. (2009). Studying effect of cell wall's carboxyl-carboxylate ratio change of *Lemna minor* to remove heavy metals from aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, 163, 1, 165-173.

Roy, S., Labelle, S., Mehta, P. et al. (2005). Phytoremediation of heavy metal and PAH-contaminated brownfield sites. *Plant and Soil*, 272, 1-2, 277-290.

Saet, Yu.E., Revich, B.A., Yanin, E.P. (1989). Environmental Geochemistry. Moscow: Nedra. [in Russian]

Shtangeeva, I., Laiho, J.V.-P., Kahelin, H., Gobran, G.R. (2004). Phytoremediation of metal-contaminated soils. *Symposia Papers Presented Before the Division of Environmental Chemistry*, American Chemical Society, Anaheim, Calif, USA.

Tonkha, O., Bukova, O., Pikovska, O., Fedosiya, I., Menshov, O., Shepel, A. (2020). Silicon content, physical and chemical properties of soils of the Khmelnytsky region of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 90(3), 85-90. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 05.01.21

CONTENT OF HEAVY METALS IN SOILS OF OIL-POLLUTED AREAS OF PRE-CARPATHIAN

The article highlights the results of research on the content of heavy metals in sod-podzolic soils of oil-contaminated areas of Ivano-Frankivsk region. Contamination of soils with petroleum products causes severe ecological consequences for ecosystems. The aim of the research was to study the peculiarities of the accumulation of heavy metals in the soil, underground part and vegetative mass of *Silphium perforatum* in the conditions of cultivation in oil-contaminated areas. The content of mobile forms of heavy metals in soils did not exceed the norms in all variants of the experiment. During the cultivation of *Silphium perforatum*, it grew in a number: cadmium → nickel → cobalt → lead. The concentration of heavy metals in the soil

was determined, which reflects the change in the content of the element in the test soil relative to the content of metals in the background soil. The coefficients of concentration of mobile forms of heavy metals in oil-contaminated soil for the cultivation of perforated sylphia for the application of fertilizers based on sewage sludge and compost based on them increased in a number: cobalt → lead → nickel → cadmium.

Peculiarities of heavy metals accumulation in the vegetative mass of perforated sylphia have been established. Indices of intra-tissue heavy metal contamination of the root system of sylphia perforated with the introduction of sewage sludge increase in the following series: cadmium → nickel → lead → cobalt. The maximum indices of contamination of sylphia roots permeated with cadmium, nickel and cobalt are observed for the introduction into the soil of ERUs at a rate of 40 t / ha and $N_{10}P_{14}K_{58}$, lead – for the application of compost at a rate of 30 t/ha and $N_{30}K_{55}$. The lowest indices of intra-tissue contamination with heavy metals of the roots of sylphia perfoliatum were noted for the application of fertilizer $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Keywords: heavy metals, sylphia perforated sheet, oil-contaminated territory, accumulative capacity, translocation, remediation.

В. Лопушняк¹, д-р с.-х. наук,

E-mail: lopushniak@i.ua;

Г. Грицуляк², канд. с.-х. наук,

E-mail: gritsulyaka@ukr.net;

О. Тонха¹, д-р с.-х. наук, проф.,

E-mail: oksana16095@gmail.com;

А. Меньшов³, д-р геол. наук,

E-mail: menshov.o@ukr.net;

Е. Пиковская¹, канд. с.-х. наук, доц.,

E-mail: pikovska_olena@ukr.net;

С. Сычевский¹, асп.,

E-mail: sergii1836@gmail.com;

¹Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,

ул. Героев обороны, 17, г. Киев, 03041, Украина;

²Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа,

ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, 76019, Украина

³Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИКАРПАТЬЯ

Освещены результаты исследований содержания тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах нефтезагрязненных территорий Ивано-Франковской области. Загрязнение почв нефтепродуктами вызывает тяжелые экологические последствия для экосистем. Целью исследований было изучение особенностей накопления тяжелых металлов в почве, подземной части и вегетативной массе сальвии пронизанолистой в условиях выращивания на нефтезагрязненных территориях. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах не превышало норм во всех вариантах опыта. При выращивании сальвии пронизанолистой оно увеличивается в ряду: кадмий → никель → кобальт → свинец. В почве определяли коэффициент концентрации тяжелых металлов, отражающий изменение содержания элемента в исследуемой почве относительно содержания металлов в фоновой почве. Коэффициенты концентрации подвижных форм тяжелых металлов в нефтезагрязненной почве при выращивании сальвии пронизанолистой при внесении удобрений на основе осадка сточных вод и компостов на их основе увеличивались в ряду: кобальт → свинец → никель → кадмий. Установлены особенности накопления тяжелых металлов в вегетативной массе сальвии пронизанолистой. Индексы внутренне-тканевого загрязнения тяжелыми металлами корневой системы растения при внесении осадка сточных вод растут в ряду: кадмий → никель → свинец → кобальт. Максимальные индексы загрязнения корней сальвии пронизанолистой кадмием, никелем и кобальтом наблюдаются при внесении в почву ОСВ в норме 40 т/га и $N_{10}P_{14}K_{58}$, свинцом – при внесении компоста в норме 30 т/га и $N_{30}K_{55}$. Наименьшие индексы внутренне-тканевого загрязнения тяжелыми металлами корней сальвии пронизанолистой отмечены при внесении в почву удобрения $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Ключевые слова: тяжелые металлы, сальвия пронизанолистая, нефтезагрязненная территория, аккумулятивная способность.