

УДК: 631.453:504.054

¹Глух О.С., к.х.н., доц.; ¹Симканич О.І., к.х.н., доц.;
²Сватюк Н.І., к.тех.н., провід.інж, ³Молнар-Бабіля Д.І., к.х.н., доц.

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ЕДТА НА ВМІСТ ТА РОЗПОДІЛ ПЛЮМБУМУ У СИСТЕМІ «ГРУНТ – РОСЛИНА» ПІД ЧАС ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ

¹ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 88000, м. Ужгород, вул. Підгірна, 46;

²Інститут електронної фізики НАН України, 88017, м. Ужгород,
вул. Університетська, 21

³Мукачівський державний університет, 89611, м. Мукачево, вул. Ужгородська, 25
e-mail: oleg.glukh@uzhnu.edu.ua

Значна кількість наукових публікацій присвячена дослідженню механізмів засвоєння рослинами важких металів з ґрунту з метою його ефективної ремедіації. Це питання є надзвичайно актуальним для України, оскільки багато земель сільськогосподарського призначення знаходиться в зонах функціонування підприємств металургійної, гірничо-видобувної промисловості. Тому питання підбору ефективних рослин-поглиначів для таких регіонів має важливе наукове і практичне значення [1].

Дослідженню впливу різних факторів, які визначають особливості міграції важких металів у системі «ґрунт-рослина», присвячена велика кількість як вітчизняних, так і закордонних наукових праць. Проте, спостерігається дефіцит даних щодо способів збільшення значень коефіцієнта кумуляції важких металів рослинами за рахунок внесення у ґрунт речовин, що збільшують кількість рухомих форм важких металів, зокрема етилендіамінтетраоцтової кислоти (ЕДТА) [2]. Такі речовини здатні утворювати стійкі водорозчинні внутрішньокмплесні сполуки з багатьма металами, підвищувати їх розчинність, а отже і рухомість у ґрунті, і, як наслідок, покращувати їх поглинання кореневою системою та накопичування у наземній біомасі.

Тому, метою даної роботи було дослідження ефективності застосування ЕДТА під час фіторемедіації ґрунтів від сполук Плюмбуму з використанням кукурудзи, гірчиці, соняшника звичайного та вівса [3].

Для дослідження використано ґрунт для розсади «Субстрат Поліський» (суміш торфу, піску та глини) і насіння посівних культур: овес звичайний (*Avena sativa*), гірчиця біла (*Sinapis alba*), кукурудза культурна (*Zea mays*) та соняшник звичайний (*Helianthus annuus*). У 12 пластикових контейнерів об'ємом 300 мл насипали 200-300 грам ґрунту, 8 із них (№ 5-12) – рівномірно зрошували розчином Плюмбум(II) нітрату у такій кількості, щоб створити двохкратне перевищення ГДК ($30 \times 2 \approx 60$ мг/кг, включно із фоновим вмістом), у 4 контейнери (№ 9-12) додавали розчин ЕДТА (0,1 М розчин у кількості, достатній для комплексоутворення із йонами Pb^{2+}). Після цього у ґрунт поміщали насіння рослин (по 3-4 шт) на глибину 1-1,5 см. Вирощування проводили у трьох повторностях.

Для пророщування насіння контейнери розташовували у достатньо освітлені місця і поливали дистильованою водою у необхідній кількості. Після 30 днів росту висота паростків становила від 7 до 15 см. Паростки обережно виймали з ґрунту разом із кореневою системою. В умовах дослідження коріння отриманих паростків досліджуваних культур утворювало галузисту структуру, однак характеризувалося низькою механічною стійкістю. При вилученні із контейнерів і струшуванні від залишків ґрунту коренева система рослин порушувалась та подрібнювалась. Тому, кореневі системи ретельно вилучали з ґрунту, відрізали від наземної частини паростків і для аналізу не

використовували. Маса сирого рослинного матеріалу коливалась від 1,5 до 4,0 г у одному контейнері. Після висушування маса рослин зменшувалась на 75-85%.

Приготування розчинів для аналізу здійснювали шляхом обробки наважок ґрунту 1,5 н нітратною кислотою (2,5 мл на 1 г

ґрунту) і мокрим озолуванням попередньо висушеного рослинного матеріалу концентрованою нітратною кислотою [4]. Результати визначення вмісту Плюмбуму у азотнокислій витяжці зразків ґрунту та біомаси рослин, що росли на цьому ґрунті, представлені у табл. 1.

Таблиця 1. Результати визначення вмісту Плюмбуму у ґрунті та рослинах ($n=6$, $P=0.95$)

№ проби	У наземній частині рослини, мг/кг	У ґрунті, мг/кг
«Чистий» ґрунт	–	19±0,8
1. Кукурудза (у «чистому» ґрунті)	11±0,9	14±1.2
2. Гірчиця (у «чистому» ґрунті)	15±1.4	16±1.3
3. Соняшник (у «чистому» ґрунті)	23±1.5	17±1.6
4. Овес (у «чистому» ґрунті)	19±1.1	12±1.0
5. Кукурудза + Pb ²⁺	21±1.3	39±2.0
6. Гірчиця + Pb ²⁺	26±1.6	35±1.8
7. Соняшник + Pb ²⁺	30±1.6	40±2.0
8. Овес + Pb ²⁺	21±1.2	22±1.2
9. Кукурудза + Pb ²⁺ + ЕДТА	25±1.2	37±2.1
10. Гірчиця + Pb ²⁺ + ЕДТА	27±1.4	36±1.9
11. Соняшник + Pb ²⁺ + ЕДТА	37±1.8	15±1.1
12. Овес + Pb ²⁺ + ЕДТА	33±1.8	22±1.1

Аналіз розподілу рухомих форм Плюмбуму у системі «ґрунт-рослина», в умовах експерименту, здійснювали на основі таких міркувань:

1. Загальна маса Плюмбуму (мг) у системі «ґрунт-рослина» у кожному контейнері дорівнює $60 \times m$, де m – маса ґрунту у контейнері (кг).

2. Сума виявлених мас Плюмбуму у ґрунті та рослині після завершення експерименту не дорівнює $60 \times m$ мг. Очевидно, це пов'язано із накопиченням важкого металу у підземній частині рослини, аналіз якої у зв'язку із вищезазначеними причинами, не проводився. Наближено вміст

Плюмбуму у кореневій системі можна оцінити за різницею $60 \times m$ – маса Плюмбуму у ґрунті після 30-денного періоду – маса Плюмбуму у наземній частині рослини.

Як і будь-який інший біогеохімічний процес, перехід іонів важких металів з ґрунту через кореневу систему у наземну частину рослин характеризується швидкістю проходження, яка залежить від ряду факторів [5, 6]. Такі фактори умовно можна розділити на чотири групи: 1) фізико-хімічні характеристики самого ґрунту (рН, вміст гумусу); 2) властивості іону важкого металу (радіус, ступінь окиснення, координаційне оточення); 3) температура навколишнього

середовища, тривалість світлового дня; 4) морфологічні особливості рослин [7].

У даній роботі при однакових значеннях факторів перших трьох груп, досліджено здатність деяких видів сільськогосподарських рослин вилучати сполуки Плюмбуму із ґрунту та акумулювати їх у підземній та наземній частинах.

Аналіз отриманих результатів показав, що вміст Плюмбуму у ґрунті у всіх випадках після 30-денного циклу вирощування зменшився. Найсуттєвіше зменшення концентрації важкого металу у ґрунті спостерігалось для зразків, де вирощували овес: з 19 до 12 мг/кг (на 37%), найменша зміна – для зразків, де вирощувався соняшник: з 19 до 17 мг/кг (на 11%). Аналогічна зміна концентрації Плюмбуму у ґрунті спостерігається і для зразків № 5-8, для яких створювали двохкратне перевищення ГДК. Так, найменшу концентрацію Плюмбуму виявлено у зразках ґрунту, де протягом 30 днів вирощували овес: зменшення з 60 до 22 мг/кг (на 63%), найбільшу – для зразків, де вирощувався соняшник: зменшення відповідно з 60 до 40 мг/кг (33%). Отже, ефективність вилучення Плюмбуму із збільшенням його концентрації у ґрунті в умовах експерименту зростає.

Додавання ЕДТА до забрудненого сполуками Плюмбуму ґрунту, також збільшує ступінь його засвоєння рослинами. Так, для кукурудзи спостерігали зменшення вмісту Плюмбуму у ґрунті при додаванні ЕДТА з 39 до 37 мг/кг (на 5%). У випадку гірчиці та вівса вміст Плюмбуму у ґрунті при додаванні ЕДТА практично не змінився. Найбільш суттєве зменшення концентрації Плюмбуму при додаванні ЕДТА спостерігали для ґрунту, на якому вирощували соняшник: зменшення відповідно з 40 до 15 мг/кг (на 63%).

Порівнюючи зміну вмісту Плюмбуму у ґрунті та рослинах при додаванні ЕДТА, можна помітити певну несиметричність такої зміни, особливо для вівса. Так, при незмінній концентрації важкого металу у ґрунті (зразки № 8 і № 12), вміст у наземній частині вівса збільшується з 21 до 33 мг/кг. Очевидно, така невідповідність є результатом накопичення Плюмбуму у підземній частині вівса, аналіз якої не проводився.

Розрахунки показали, що протягом перших 30-ти днів росту наземні частини досліджуваних рослин поглинають всього 0,1% від присутнього у системі «ґрунт-рослина» Плюмбуму. У ґрунті ж і в підземній частині рослин Плюмбум розподіляється порівномірно: з переважаючим вмістом у ґрунті (зразок № 5: 65,0% РЬ у ґрунті, 34,9% у підземній частині рослини) або у кореневій частині рослини (зразок № 11: 25,0% РЬ у ґрунті, 74,9% у підземній частині рослини).

Для кількісної характеристики кумулюючої здатності рослин використовують коефіцієнт кумуляції (коефіцієнт біологічного накопичення), що розраховується за формулою [8, 9]:

$$K_c = \frac{C_{\text{рос}}}{C_{\text{гр}}}$$

де $C_{\text{рос}}$ – концентрація речовини у рослині, мг/кг,

$C_{\text{гр}}$ – концентрація речовини у ґрунті, мг/кг.

За результатами проведених досліджень визначено коефіцієнти кумуляції для досліджуваних сільськогосподарських культур (табл. 2).

Таблиця 2. Коефіцієнти кумуляції досліджуваних рослин

	Коефіцієнт кумуляції, K_c			
	Соняшник	Гірчиця	Кукурудза	Овес
Контрольний	1,35	0,94	0,79	1,58
Pb^{2+}	0,75	0,74	0,54	0,95
Pb^{2+} +ЕДТА	2,47	0,75	0,68	1,50

Таким чином, найкращими кумулюючими властивостями з-поміж досліджуваних культур володіють овес та соняшник. Максимальне поглинання Плюмбуму встановлено для соняшника у присутності ЕДТА.

Список використаних джерел

1. Параняк Р.П., Васильцева Л.П., Макух Х.І. Шляхи надходження важких металів в довкілля та їх вплив на живі організми. *Біологія тварин*. 2007, 9(3), 83–89.
2. Денчиля-Сакаль Г.М., Ніколайчук В.І., Колесник А.В., Вакерич М.М., Ткач О.П. Особливості акумуляції важких металів в

рослинах. *Науковий вісник Ужгородського університету, Серія Біологія*. 2012, 33, 189–191.

3. Глух О.С., Симканич О.І. Використання вівса посівного для очищення ґрунту від свинцю і кадмію. *Міжнародна науково-практична конференція: Пермакультура та екологічно-безпечне землеробство, Ужгород, Україна*. 2018, 54–55.

4. Самохвалова В.Л. Отдельные подходы к фитомелиорации почв при загрязнении тяжелыми металлами. *Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку: Матеріали міжн. конф. «Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку»*, Донецьк. 2007, 387–391.

5. Самохвалова В.Л., Фатєєв А.І., Зуза С.Г. Спосіб екологічної ремедіації ґрунту техногенно забрудненого переважно кадмієм, свинцем, цинком та хромом. *Агрохімія та ґрунтознавство*. 2014, 81, 51–59.

6. Линдиман А.В. Процессы миграции свинца и кадмия в системе «почва–растение»: *Дисс. ... док. хим. наук: 03.00.16, ИГХТУ. Иваново*, 2009.

7. Гирля Л.М. Фіторемерація – ефективний шлях зниження вмісту важких металів у ґрунтах. *Наукові праці. Екологія*. 2011, 152(140), 57–59.

8. Башмаков Д.И., Лукаткин А.С. Аккумуляция тяжелых металлов некоторыми высшими растениями в разных условиях местообитания. *Агрохимия*. 2002, 9, 66–71.

9. Головач О., Козловський В., Демків О. Забруднення сільськогосподарських ґрунтів важкими металами та характер їхнього перерозподілу у рослинах кукурудзи. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*. 2004, 38, 205–210.

Стаття надійшла до редакції: 16.10.2019.

DETERMINATION OF EDTA IMPACT ON THE CONTENT AND DISTRIBUTION OF LEAD IN THE SYSTEM «SOIL-PLANT» DURING PHYTOREMEDIATION

¹Glukh O.S., ¹Symkanych O.I., ²Svatiuk N.I., ³Molnar-Babilya D.I.

¹Uzhhorod national university, 88000, Uzhhorod, Pidhirna str.,46;

²Institute of Electron Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, 88017, Uzhhorod, Universytetska Str.,21

³Mukachevo state university, 89611, Mukachevo, Uzhhorodjska str., 25
e-mail: oleg.glukh@uzhnu.edu.ua

Like any other biogeochemical process, the transition of heavy metal ions from the soil through the root system to the terrestrial part of the plants is characterized by the rate, which depends on a number of factors. These factors include: the physicochemical characteristics of the soil itself (pH, humus content); properties of heavy metal ion (radius, oxidation number, surrounding ligands); ambient temperature, daylight hours; morphological features of plants.

In the present paper, at the same values of the factors of first three groups, the ability of some species of agricultural plants (oats, white mustard, maize and sunflower) to extract lead compounds from the soil and accumulate them in the underground and ground parts was investigated. The results of analysis showed that the lead content in the soil in all cases after the 30-day growing cycle was decreased. The most significant decrease in the concentration of heavy metal in the soil was observed for the samples where oats were grown. The smallest change is for the samples where the sunflower was grown. It was found that, under the conditions of the experiment, the efficiency of lead extraction increases with its concentration in the soil.

Addition of EDTA to contaminated soil increases the rate of absorption of lead compounds by plants. For maize, a lead reduction of 5% was observed when EDTA was added to the soil. For mustard and oats, the lead content of the soil was almost unchanged when EDTA was added. The most significant reduction in lead concentration with the addition of EDTA was observed for the soil on which the sunflower was grown - by 63%. The calculations showed that during the first 30 days of

growth, the terrestrial parts of the studied plants absorb only about 0.1% of the total lead content in the soil-plant system. According to the results of the conducted studies, the cumulation coefficients for the investigated crops were determined: for sunflower the maximum value was 2.47 (in the presence of EDTA), for mustard - 0.94, for corn - 0.79, for oats - 1.58. Therefore, oats and sunflowers have the best cumulative properties among the studied crops. Maximum lead uptake was set for sunflower in the presence of EDTA.

Keywords: phytoremediation; soil contamination; lead; EDTA; cumulation factor; sunflower; maize; oat.

References

1. Paraniak R.P., Vasylytseva L.P., Makukh Kh.I. Shliakhy nadkhodzhenia vazhkykh metaliv v dovkillia ta yikh vplyv na zhyvi orhanizmy. *Biolohtia tvaryn*. 2007, 9(3), 83–89 (in Ukr.).
2. Denchylia-Sakal H.M., Nikolaichuk V.I., Kolesnyk A.V., Vakerych M.M., Tkach O.P. Osoblyvosti akumuliatcii vazhkykh metaliv v roslynakh. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu, Serii Biolohtia*. 2012, 33, 189–191 (in Ukr.).
3. Glukh O.S., Symkanych O.I. Vykorystannia vivsa posivnoho dlia ochyshchennia gruntu vid svyntsiu i kadmiuu. *Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia: Permakultura ta ekolohtichno-bezpechne zemlerobstvo, Uzhhorod, Ukraina*. 2018, S. 54–55 (in Ukr.).
4. Samohvalova V.L. Otdelnyie podhodyi k fitomelioratsii pochv pri zagryaznenii tyazhelyimi metallami. *Promislova botanika: stan ta perspektivi rozvitku: Materlali mlzhn. konf. «Promislova botanika: stan ta perspektivi rozvitku»*, Donetsk. 2007, S. 387–391 (in Russ.).
5. Samokhvalova V.L., Fatieiev A.I., Zuza S.H. Sposib ekolohtichnoi remediatsii gruntu tekhnohenko zabrudnenoho perevazhno kadmiem, svyntsem, tsynkom ta khromom. *Ahrokhimiia ta gruntoznavstvo*. 2014, 81, 51–59 (in Ukr.).
6. Lindiman A.V. Protsessyi migratsii svyntsa i kadmiya v sisteme «pochva–rastenie: diss. ... dok. him. nauk: 03.00.16, IGHTU. Ivanovo, 2009 (in Russ.).
7. Hyrlia L.M. Fitoremediatsiia – efektyvnyi shliakh znyzhennia vmistu vazhkykh metaliv u gruntakh. *Naukovi pratsi. Ekolohtia*. 2011, 152(140), 57–59 (in Ukr.).
8. Bashmakov D.I., Lukatkin A.S. Akkumulyatsiia tyazhelykh metallov nekotorymi vysshimi rasteniyami v raznykh usloviyakh mestoobitaniya. *Agrokhimiya*. 2002, 9, 66–71 (in Russ.).
9. Holovach O., Kozlovskiy V., Demkiv O. Zabrudnennia silskohospodarskykh gruntiv vazhkymy metalamy ta kharakter yikhnoho pererozpodilu u roslynakh kukurudzy. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii biolohtichna*. 2004, 38, 205–210 (in Ukr.).