

Olena Kupchyk, Anastasiya Savonova



ASSESSMENT OF THE CONTENT OF DISSOLUBLE FORMS OF Fe, Zn, Cu, Cd AND Pb IN SOIL

ОЦІНКА ВМІСТУ РОХОМИХ ФОРМ Fe, Zn, Cu, Cd ТА Pb В ҐРУНТІ

DOI: 10.5281/zenodo.7110967

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© Kupchyk O., Savonova A., 2022

ABSTRACT

Purpose. To control the content of heavy metals to prevent toxic effects on the environment.

Methodology. Soil sampling and its study were conducted in May 2019. Aqueous extract was used for the study, which was analyzed immediately after its receipt. The method of inversion voltammetry and photocolometry was used to determine the concentration of heavy metals in soil extracts. The content of zinc (II), copper (II), cadmium (II) and lead (II) ions was determined by the method of additives, the content of total iron by the method of calibration graph.

Scientific novelty. A study of the content of heavy metal ions in the soil of some parts of Chernihiv region, to determine the anthropogenic load (TPP, vehicles) on the soil cover.

Conclusions. In terms of the scale of impact on the environment, thermal energy and motor transport occupy the first places. Emissions from thermal power plant (TPP) and cars are mostly deposited on the ground. Soil compounds bind heavy metal ions for a long time, preventing their migration. The buffer capacity of the soil relative to metals depends on many factors: soil composition, acidity, complexation processes, oxidation-reduction, sorption-desorption, etc. The study of the content of heavy metals in soils is necessary to control the state of the environment, protect it from pollution.

Due to the man-caused load, the soil in the surveyed areas has polyelement contamination. Studies have shown that the content of heavy metals in soil samples does not exceed the level of MPC of mobile forms. As a result of the calculation of the concentration coefficient, it was found that zinc and cadmium are leached from the soil, and copper, lead and iron (in most cases), on the contrary, accumulate. According to the total pollution index, the studied soils belong to the category of hazardous and extremely dangerous, which is explained by the proximity to the sources of pollution - Chernihiv TPP and highway.

Key words: soil, heavy metals, inversion voltammetry, photocolometry, pollution.

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Контроль вмісту важких металів для запобігання токсичного впливу на навколишнє середовище.

Методологія. Відбір проб ґрунту та його дослідження проводились у травні 2019 р. Для дослідження використовувалася водна витяжка, яку аналізували безпосередньо після її отримання. Для визначення концентрації важких металів в витяжках ґрунту використовували метод інверсійної вольтамперометрії та фотоколориметрію. Вміст іонів цинку (II), купруму (II), кадмію (II) та свинцю (II) встановлено методом добавок, вміст загального заліза – методом калібрувального графіку.

Наукова новизна. Проведено дослідження вмісту іонів важких металів в ґрунті окремих ділянок Чернігівської області, щодо визначення антропогенного навантаження (ТЕЦ, автотранспорт) на ґрунтовий покрив.

Висновки. За масштабами впливу на навколишнє середовище тепла енергетика та автотранспорт посідають перші місця. Викиди ТЕЦ та автомобілів в основному осідають на ґрунт.

Сполуки ґрунту на тривалий термін зв'язують іони важких металів, перешкоджають їх міграції. Буферна ємність ґрунту щодо металів залежить від багатьох факторів: складу ґрунту, кислотності, процесів комплексоутворення, окиснення-відновлення, сорбції-десорбції та ін. Вивчення вмісту важких металів у ґрунтах необхідне для контролю за станом навколишнього середовища, охорони його від забруднення.

Внаслідок техногенного навантаження ґрунт на обстежених ділянках має поліелементне забруднення. Проведені дослідження виявили, що вміст важких металів в зразках ґрунту не перевищує рівня ГДК рухомих форм. Внаслідок розрахунку коефіцієнта концентрації виявлено, що цинк та кадмій вилуговуються з ґрунту, а купрум, свинець та залізо (в більшості випадків) навпаки, накопичуються. За сумарним показником забруднення досліджувані ґрунти відносяться до категорії небезпечних та надзвичайно небезпечних, що пояснюється наближенням до джерел забруднення – Чернігівська ТЕЦ та автомагістраль.

Ключові слова: ґрунт, важкі метали, інверсійна вольтамперометрія, фотоколориметрія, забруднення.

Постановка проблеми

Актуальність роботи. Ґрунт є особливою формою біосфери: його шар не тільки накопичує всі забруднюючі речовини, але і виступає як природний переносник хімічних елементів в атмосферу, гідросферу, рослини, продукти харчування й далі в тварин і людину.

Ґрунт – відкрита підсистема в геохімічному ландшафті, потоки речовини в якій пов'язані з приземною атмосферою, рослинністю, з поверхневими та ґрунтовими водами. Ґрунти регулюють процеси міграції речовин в ландшафтах, проявляючи буферність щодо забруднюючих речовин; кислі ґрунти можуть нейтралізувати лужні сполуки, карбонатні – кислі [1]. Значна частина елементів, що надходять на поверхню ґрунтів з техногенними потоками, затримується у верхньому горизонті ґрунту. Склад і кількість утримуваних елементів залежить від вмісту та складу гумусу, кислотно-основних і окисно-відновних умов, сорбційної здатності, інтенсивності біологічного поглинання. Інші елементи проникають всередину ґрунтової товщі за рахунок діяльності ґрунтової фауни.

Одним з найсильніших за дією і найбільш поширеним хімічним забрудненням навколишнього середовища є забруднення важкими металами. До найбільш токсичних важких металів відносять ті, вміст яких в живих організмах дуже малий і досить невеликого збільшення

їх концентрації, щоб зробити її небезпечною для процесів метаболізму. З цієї точки зору особливо токсичними є Hg, Cd, Pb, As, Co, Mo [2]. Головним природним джерелом важких металів є породи (магматичні й осадові) і породоутворюючі мінерали. Основними джерелами надходження та їх подальшого розсіювання й міграції важких металів є: ТЕЦ, котельні, автотранспорт, промислові підприємства, сільськогосподарські добрива та ін. [3]. Метали порівняно легко накопичуються в ґрунтах, але важко і повільно з нього видаляються. Міцність фіксації різних металів в органічних сполуках, що містяться в ґрунтах неоднакова: найбільш міцно закріплюється ртуть, міцно зв'язується свинець, менш міцно – мідь, ще менш – цинк, кадмій та залізо. Забруднення ґрунтів металами призводить до зміни видового складу ґрунтових мікроорганізмів.

Мета. Тому сьогодні важливо контролювати вміст металів, для запобігання токсичного впливу на навколишнє середовище.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Внаслідок посилення антропогенного впливу на біосферу відбувається інтенсивна деградація як природних, так і штучно створених урбо- та агроєкосистем, які, будучи природно-антропогенними екологічними системами, зазнають значного тиску внаслідок того, що знаходяться в умовах несприятливого середовища, характерного для урбанізованих

територій. Вагомим чинником у цьому процесі виступає надмірне надходження в біосферу хімічних елементів техногенного походження, які не утилізуються і не включаються в біогеохімічні цикли, а накопичуються в екосистемах, спричиняючи їх забруднення. До таких елементів, насамперед, відносять важкі метали, які є найбільш небезпечними забруднювачами довкілля, а також високотоксичними речовинами канцерогенної та мутагенної дії. Один і той же елемент утворює різні за розчинністю та рухливості сполуки від яких залежать доступність їх рослинам, здатність до міграції, реакція середовища та ін. Хімічні елементи в ґрунтах знаходяться у формі різних сполук, що відрізняються за будовою, складом, ступенем стійкості до вивітрювання, розчинністю та ін. Виділяють наступні форми хімічних елементів в ґрунтах: первинні і вторинні мінерали, органічні речовини, органо-мінеральні сполуки, обмінні (поглинені) форми, ґрунтові розчини, газоподібні форми в складі ґрунтового повітря.

Цинк – один з головних біофільних мікроелементів, він входить до складу декількох ферментів і тому бере участь в білковому, вуглеводному, липідному, фосфорному обміні речовин. Цинк підвищує жаро- і морозостійкість рослин, бере участь в утворенні попередників хлорофілу. У разі його відсутності або нестачі порушується біосинтез вітамінів та ростових речовин [4].

Іони Плюмбуму, що надходять в ґрунт, швидко втрачають рухливість внаслідок хімічних реакцій, що супроводжуються утворенням важкорозчинних хроматів, молібдатів, карбонатів, сульфатів, фосфатів, гідроксидів, а також за рахунок поглинання мінеральними та органічними колоїдами. Вони міцніше утримуються гумусом ґрунту, ніж інші катіони. Істотно пригнічує ріст рослин і викликає хлороз дуже високий вміст свинцю в ґрунтах. За відомостями деяких авторів [5], вміст Плюмбуму понад 10 мг/кг сухої речовини є токсичним для більшості культурних рослин. Цей елемент є високо токсичним: інгібує ферментативні реакції, вступаючи в хімічну

взаємодію з білками і осаджуючи їх. Підвищені концентрації становлять загрозу для здоров'я людини. Дія свинцю проявляється в захворюваннях нервової системи, печінки, нирок та інших органів. [6]

Однією з важливих для генезису ґрунтів особливостей Феруму є його здатність змінювати валентність. Присутність Феруму в ґрунтах у вигляді Fe^{3+} і Fe^{2+} обумовлюється ґрунтовими режимами. За аеробних умов воно тривалентне, а за анаеробних – двовалентне. Fe_2O_3 – оксид, практично нерозчинний в ґрунтових водах, а FeO – найбільш розчинний і рухомий. При доступі кисню в результаті окислення FeO переходить в $Fe(HCO_3)_2$ і осідає як в ґрунтах, так в морських і озерних мілководдях.

Крім того, Ферум може переноситися в істинних колоїдних розчинах, а також в псевдорозчинах в ґрунтові води, а потім у річки і моря. Однак цей виніс з ґрунтів, цілком ймовірно, компенсується біологічним накопиченням і атмосферно-водним привносом. В сучасну фазу ґрунтоутворення міграція Феруму порівняно обмежена і пов'язана головним чином з різними типами надмірного зволоження ґрунтів, що визначають постійний або сезонний анаеробіозіс [7]. У хімії ґрунтів визначаються не тільки валове, а й розчинне у солянокислих та сульфатнокислих витяжках різних концентрацій Феруму, а також водорозчинні форми його сполук. При потраплянні в ґрунт утворює комплекси з хімічними елементами, які наявні в ґрунті [8].

Одним із джерел забруднення ґрунтів кадмієм є добриво. Основним механізмом потрапляння до ґрунту є процес адсорбції на оксидах заліза та марганцю. Здебільшого зустрічається у вигляді Cd^{2+} , а також халатів та комплексів $[CdCl]^+$, $[CdOH]^+$, $[CdHCO_3]^+$, $[CdCl_3]^-$, $[Cd(OH)_3]^-$. Осаджується у вигляді карбонатів гідроксидів та фосфатів [9].

Мідь відіграє специфічну роль в житті рослин. Мідь тісно пов'язана з процесами фотосинтезу, вона стабілізує хлорофіл, оберігаючи його від руйнування. Крім того позитивно впливає на синтез білків у рослинах, які забезпечують

здатність тканин рослини утримувати воду. Цей елемент здебільшого знаходиться в верхніх шарах ґрунту. Кількість яка необхідна рослинам становить 5-20 мг/кг. Надходить в ґрунт як із атмосфери (пилу, ґрунтово-піздемних вод) також від впливу людини [10].

Вміст в різних типах ґрунту може суттєво відрізнятися. Також є закономірність: чим більше вміст іонів міді тим вище рН. Більша концентрація міді в чорноземах, менше в дерев'яно-підзолистих ґрунтах. Також важливим показником є не тільки вміст, а ще форма в якій знаходиться елемент. Здебільшого вона входить в склад органічної частини ґрунту також утворює водорозчинні сполуки та входить до складу мінералів [11]. Відносно малорухома, здебільшого утворює важкорозчинні сульфідні карбонати, гідроксиди. Приймає участь в процесах сорбції. Деякі сполуки проявляють основні властивості (Cu^{1+}) а інші схожі на амфотерні (Cu^{2+}). Водорозчинні сполуки становлять невелику кількість від всього загального вмісту (до 1 %). Дуже легко вимивається з ґрунту особливо із легких [12].

Методологія. Відбір проб ґрунту проводили у травні 2019 р. відповідно до ДСТУ ISO 10381- 2:2004 «Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина Настанови з методів відбирання проб» [13]. Точкові проби відбирали методом конверта, по діагоналі, щоб кожна проба була типовою для генетичного горизонту. Об'єднану пробу готували з точкових проб. Так відбирали проби ґрунту (№1) у с. Жавинка (дачний масив) – поблизу знаходиться Чернігівська ТЕЦ та № 2 м. Седнів (фон) – має мінімальний антропогенний вплив, невелика частка автотранспорту, відсутність поблизу промисловості. Інші проби відбирали у місті Чернігів, біля Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка (НУЧК): №3 – внутрішній двір, №4 – біля автодороги (0-10 м) та № 5 – біля автодороги (10- 20 м). Для дослідження використовувалася водна витяжка, приготована згідно ДСТУ 7534:2014 «ґрунти тепличні. Метод приготування водної витяжки» [14] з наважки ґрунту масою близько 0,5 г. Водні витяжки готують з ґрунтів при відношенні ґрунту до води 1:5

та збовтуванні протягом 3 хв або ж при настоюванні суспензії протягом 5 хв. Водну витяжку аналізували безпосередньо після її отримання.

Наукова новизна. Проведено дослідження вмісту іонів важких металів в ґрунті окремих ділянок Чернігівської області, щодо визначення рівня забруднення ґрунтового покриву.

Результати дослідження

Вміст важких металів визначали на аналізаторі вольтамперометричному ТА-Lab (НПП "Томьаналит", РФ) в трьохелектродній електрохімічній коміріці. В якості індикаторного електроду використовували амальгамовий електрод. В якості електроду порівняння і допоміжного електроду використовували хлорсрібний електрод, заповнений розчином 1М хлориду калію.

Аналіз проводили за стандартною методикою для води на фоновому електроліті, що містить 200 мкл концентрованої мурашиної кислоти (х.ч.), за наступних умов: електрохімічне очищення індикаторного електроду при потенціалі +0,050 В впродовж 15 с, накопичення металів на поверхні індикаторного електроду при потенціалі - 1,500 В впродовж 30 с, заспокоєння розчину при потенціалі - 1,300 В впродовж 5 с, анодне окислення металу при лінійній розгортці потенціалу із швидкістю 80 мВ/с. Відносна похибка такого аналізу не перевищує 7 %.

Визначення металів проводили методом добавок з використанням стандартних розчинів, що містять по 1 мг/л або 10 мг/л кожного з визначуваних металів, які були приготовані на основі державних стандартних зразків і бідистиляту. Розрахунок концентрації металів виконували за допомогою спеціалізованої комп'ютерної програми ТА - Lab (версія 3.6.10).

Результати обробляли методом математичної статистики за відомою методикою; розраховували середнє значення і інтервальне значення з довірчою вірогідністю 95 %.

Розрахований вміст іонів металів в пробах ґрунту представлений в таблиці 1.

Таблиця 1

Концентрація іонів важких металів у ґрунті

№ проби	Вміст важких металів, мг/кг							
	Zn ²⁺	K _c	Cd ²⁺	K _c	Pb ²⁺	K _c	Cu ²⁺	K _c
1	0,25±0,06	0,56	0,016±0,005	0,016	0,31±0,04	163,16	1,28±0,07	13,47
2	0,45±0,05	1	не виявлено	-	0,0019±0,0006	1	0,095±0,029	1
3	0,21±0,05	0,47	не виявлено	-	0,19±0,05	100	0,89±0,13	9,37
4	0,38±0,10	0,84	0,0096±0,0029	0,0096	0,34±0,09	178,95	0,35±0,09	3,68
5	0,30±0,05	0,67	не виявлено	-	0,15±0,04	78,95	1,3±0,3	13,68
ГДК (рух. форм) [15]	23		0,7		6		3	

Тобто проаналізовані проби ґрунту містять не всі досліджувані метали: іони кадмію не було визначено в пробах ґрунту, відібраних у внутрішньому дворі НУЧК та далі від автодороги, або їх кількість була нижче за межу визначення методу дослідження. Отримані результати свідчать,

що ґрунти досліджуваної території перевищень за вмістом важких металів не мають.

Вміст загального заліза визначали фотоколіриметрично [16] методом калібрального графіку. Результати представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Вміст заліза та показники сумарного забруднення ґрунтів іонами важких металів

№ проби	Концентрація заліза (заг.)		Показники забруднення		
	Вміст Fe ³⁺ , мг/л	K _c	∑ K _a	Z _c	Z _{cm}
1	2,03	4,14	181,35	177,35	8,42
2	0,49	1,00	4,00	1,00	0,00
3	0,71	1,45	111,29	108,29	27,22
4	0,51	1,04	184,52	180,52	5,23
5	0,43	0,88	94,18	91,18	32,43

Гранично допустима концентрація вмісту Феруму не регламентується.

Сумарному забрудненню ґрунтів важкими металами та металоїдами присвячено багато праць. Запропоновано формули для розрахунку сумарного забруднення в випадку потрапляння в ґрунт декількох елементів.

Зазвичай розглядають аеральне забруднення ґрунтів важкими металами, які закріплюються в верхніх шарах ґрунту. В основі майже всіх формул, що розкладаються, коефіцієнти концентрації K_{ci} кожного елемента відносно фона:

$$K_{ci} = C_i / C_{fi}$$

де C_i – фактичний вміст забруднюючої речовини в ґрунті, мг/кг;

C_{fi} – фоновий вміст забруднюючої речовини в ґрунті, мг/кг.

Потім отримані коефіцієнти сумують. Величина K_c свідчить про активність процесів вилуговування ($K_c < 1$) і накопичення ($K_c > 1$) хімічних елементів у ґрунті [17]. В даних розрахунках не враховується клас небезпеки.

Показник Саєта, класифікований за ступенем небезпеки. В ньому враховано кількість елементів-полютантів. Сумарний показник забруднення визначався за формулою:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ci} - (n-1)$$

де n – число забруднюючих речовин;

K_{ci} – коефіцієнт концентрації i -го компонента забруднення.

Критичні значення, які дозволяють охарактеризувати сумарне забруднення Z_c за ступенем небезпеки наступне: за $16 < Z_c < 32$ – помірно небезпечним; за $32 < Z_c < 128$ – небезпечним; за $Z_c > 128$ – надзвичайно небезпечним [17].

Таким чином, внаслідок техногенного навантаження ґрунт на обстежених ділянках має поліелементне забруднення.

Комплексний показник Z_{cm} , який диференційовано оцінює забруднення ґрунту, враховуючи ступінь токсичності елементів і виключаючи вплив аномально високих коефіцієнтів концентрації, шляхом врахування їх середніх геометричних величин.

$$Z_{cm} = n \left(K_{c_1} \times K_{T_1} \times K_{c_2} \times K_{T_2} \times K_{c_n} \times K_{T_n} \right)^{1/n} - (n-1)$$

де n – число забруднюючих речовин;

K_{ci} – коефіцієнт концентрації i -го компонента забруднення;

K_{Ti} – коефіцієнт токсичності i -го компонента забруднення. Такі хімічні елементи, як Pb, Zn і Cd відносяться до першого класу небезпеки, якому відповідає $K_T=1,5$, Cu – до другого класу небезпеки, $K_T=1$ [17].

Розраховані показники забруднення іонами металів в пробах ґрунту представлено в таблиці 2.

Внаслідок розрахунку K_c виявлено, що цей показник для Zn і Cd не перевищує одиницю, тобто ці елементи вилуговуються із ґрунту. Лише для Cu і Pb та Fe (в основному) $K_c > 1$, а отже відбувається процес його накопичення. За показником Саєта досліджувані ґрунти відносяться до категорії небезпечних (внутрішній двір НУЧК та далі від дороги) та надзвичайно небезпечних (район ТЕЦ та поблизу автодороги). За комплексним індексом забруднення, навпаки. Однак накопичення ВМ у ґрунті безпечно лише до тих пір, поки рослини здатні протистояти їх транслокації в організм.

Висновки

Серед важких металів багато мікроелементів, що є необхідними і незамінними компонентами біокатализаторів і біорегуляторів найважливіших фізіологічних процесів. Проте надмірний вміст важких металів у різних об'єктах біосфери чинить пригнічуючу і навіть токсичну дію на живі організми. Особливо це стосується урбанізованих територій, де техногенне навантаження на ґрунти

давно вже перевищило всі допустимі межі, що створює загрозу для здоров'я та життя населення.

Проведені дослідження виявили, що вміст важких металів в зразках ґрунту не перевищує норми.

Ґрунти є основним середовищем, у яке потрапляють важкі метали, у тому числі із атмосфери, з поверхневим стоком, з підґрунтових порід і підземних вод. Вони служать джерелом вторинного забруднення приземного повітря і водного середовища. Із ґрунтів важкі метали засвоюються рослинами, які потім потрапляють у їжу більш високоорганізованим тваринам і людині. На поверхню ґрунтів ВМ поступають у різних формах. Це і оксиди, і різні солі, як розчинні, так і практично нерозчинні у воді.

Ґрунти виконують найважливіші функції у всіх наземних екосистемах, тому еколого-геохімічний стан ґрунтового покриву визначає стійкість

біосфери Землі – необхідної умови виживання людства. Оскільки техногенне навантаження на ґрунти призводить до їх деградації та зниження бонітету (показників якості і продуктивності: гранулометричний склад, наявність гумусу, елементів живлення рослин, водний і тепловий режими; ступінь еродованості, засоленості, кислотності, солонцюватості, забрудненості та ін.), тому для збереження біосфери надзвичайно важливим є зберегти ґрунтовий покрив у задовільному стані.

Отже, з утворенням надлишкового вмісту важких металів у природному середовищі, проблема забруднення ними ґрунтів набула актуальності, адже сполуки цих елементів характеризуються великою токсичністю за низьких концентрацій, акумулюються в окремих ланках трофічного ланцюга і створюють реальну небезпеку існуванню живих організмів.

References

1. Glazovskaja, M. A. (1981). *Obshcheje pochvovedenije i geografija pochv* [General soil science and soil geography]. Moscow, USSR :Vysshaja shkola.
Глазовская М. А. *Общее почвоведение и география почв*. Москва :Высшая школа, 1981. 311 с.
2. Dobrovolskij, V. V. (1983). *Geografija mykroelementov, globalnoje rassejaanije* [Geography of trace elements, global dispersion]. Moscow, USSR : Mysl.
Добровольский В. В. *География микроэлементов, глобальное рассеяние*. Москва : Мысль, 1983. 272 с.
3. Fokin, A. D. (1989). *Problema antropogennykh zagrjaznenij pochv* [The problem of anthropogenic soil pollution]. *Pochvovedenije – Soil science*, 10, 85–93.
Фокин А. Д. *Проблема антропогенных загрязнений почв*. *Почвоведение*. 1989. №10. С. 85–93.
4. Cherniavskaja, N. A, Farenik, G. G., and Goncharenko, D. F. (1975). *O roli tsinka v pitanii rastenij* [On the role of zinc in plant nutrition]. *Agrokhimija – Agrochemistry*, 9, 81–90.
Чернявская Н. А, Фареник Г. Г., Гончаренко Д. Ф. *О роли цинка в питании растений*. *Агрохимия*. 1975. №9. С. 81–90.
5. Alekseev, Yu. V. (1987). *Tiazhelyje metally v pochvakh i rastenijakh* [Heavy metals in soils and plants]. Leningrad, USSR : Agropromizdat.
Алексеев Ю. В. *Тяжелые металлы в почвах и растениях*. Ленинград : Агропромиздат, 1987. 142 с.

6. Sepov, M. (2004). Osobennosti nakoplenija tiazhelykh metallov v organizme cheloveka [Features of the accumulation of heavy metals in the human body]. *Okbrana truda i tekhnika bezopasnosti v selskom kbozjaistve – Occupational health and safety in agriculture*, 3, 43–48.

Сепов М. Особенности накопления тяжелых металлов в организме человека. Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. 2004. № 3. С. 43–48.

7. Zhyznevskaia, G. Ya. (1974). Postuplenije i peredvizhenije zheleza v rastenijakh [Input and movement of iron in plants]. *Agrokhimija – Agrochemistry*, 5, 149–155.

Жизневская Г. Я. Поступление и передвижение железа в растениях. *Агрохимия*. 1974. №5. С. 149–155.

8. Chesnokova, S. M., Trifonova, T. A., and Vasileva, N. V. (1999). Sravnitel'naja otsenka razlichnykh sposobov detoksikatsii pochv, zagriaznionnykh tiazhiolymi metallami [Comparative evaluation of various methods of detoxification of soils contaminated with heavy metals]. *Ekologija rechnykh bassejnov: tezisy dokladov – Ecology of river basins: abstracts*. Vladimir, Russian Federation. P. 109.

Чеснокова С. М., Трифонова Т. А., Васильева Н. В. Сравнительная оценка различных способов детоксикации почв, загрязнённых тяжёлыми металлами. *Экология речных бассейнов: тезисы докладов Междунар. науч.– практ. конф.* Владимир. 1999. С. 109.

9. Zhovynskiy, E. Ya., and Kuraieva, I. V. (2002). Heokhimiia vazhkykh metaliv u hruntakh Ukrainy [Geochemistry of heavy metals in the soils of Ukraine]. Kyiv, Ukraine : Naukova dumka.

Жовинський Е. Я., Кураєва І. В. Геохімія важких металів у ґрунтах України. Київ : Наукова думка, 2002. 213 с.

10. Polovyi, A. M., Hutsal, A. I., and Dronova, O. O. (2013). Gruntoznavstvo [Soil Science]. Odesa, Ukraine: Ekolohiia.

Польовий А. М., Гуцал А. І., Дронова О. О. Ґрунтознавство: навч. посібник для студентів вищ. навч. закладів. Одеса: Екологія., 2013. 668 с.

11. Dzhuvelikian, Kh. A., Shcheglov, D. I., and Gorubnova, N. S. (2009). Zagriaznenija pochv tiazhiolymi metallami. Sposoby kontroliia i normirivaniia zagriaznenija pochv [Soil contamination with heavy metals. Methods of control and regulation of contaminated soils]. Voronezh, Russian Federation : Izdatelsko-poligraficheskij tsentr VGU.

Джувеликян Х. А., Щеглов Д. И., Горубнова Н. С. Загрязнение почв тяжелыми металлами. Способы контроля и нормирования загрязненных почв.. Воронеж: Издательско-полиграфический центр ВГУ, 2009. 21 с.

12. Samchuk, A. I., Ogar, T. V., and Dmitrenko, K. E. (2007). Formy nakhozhdennija tiazhelykh metallov v pochvah Ukrainского Polesja. Poshukova ta ekolohichna heokhimiia, 2, 46–49.

Самчук А. И., Огарь Т. В., Дмитренко К. Э. Формы нахождения тяжелых металлов в почвах Украинского Полесья [Forms of occurrence of heavy metals in the soils of Ukrainian Polissia]. *Пошукова та екологічна геохімія*. 2007. № 2. С. 46–49.

13. DSTU 4287:2004. Yakist gruntu. Vidbyrannia prob. [Soil quality. Sampling]. (2005). Kyiv, Ukraine.

ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005-07-01]. Київ. 2005. 9 с.

14. Pro zatverdzhennia: Instruksii z vidbyrannia, pidhotovky prob vody i gruntu dlia khimichnoho ta hidrobiolohichnoho analizu vid 19.01.2016 r. №30 [About approval: Instructions on sampling, preparation of water and soil samples for chemical and hydrobiological analysis from 01/19/2016 №30]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0030388-16>.

Про затвердження: Інструкції з відбирання, підготовки проб води і ґрунту для хімічного та гідробіологічного аналізу від 19.01.2016 р №30. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0030388-16>.

15. Ryzhuk, S. M., Lisovyi, M. V., and Bentsarovskiy, D. M. (Eds.). (2003). *Metodyka ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia* [Methods of agrochemical certification of agricultural lands]. Kyiv, Ukraine.

Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / За ред. С. М. Рижук, М. В. Лісового, Д. М. Бенцаровського. Київ, 2003. 64 с.

16. Nabyvanets, B. I., Sukhan, V. V., and Kalabina, L. V. (1996). *Analychna khimiia pryrodnoho seredovyscha* [Analytical chemistry of the natural environment]. Kyiv, Ukraine : Lybid.

Набиванець Б. Й., Сухан В. В., Калабіна Л. В. Аналітична хімія природного середовища. Київ : Либідь, 1996. 304 с.

17. Vodianitskij, Yu. N. (2008). *Tiazhelyje metaly i metalloidy v pochvah* [Heavy metals and metalloids in soils]. Moscow, Russian Federation : GNU Pochvennyj institut im. V. V. Dokuchaeva RASKHN.

Водяницкий Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. Москва : ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, 2008.

Received: 18.06.2021. Accepted: 01.12.2021. Published: 07.01.2022.

Cite this article in APA Style as:

Kupchyk, O., and Savonova, A. (2022). Otsinka vmistu rukhomykh form Fe, Zn, Cu, Cd ta Pb v grunti [Assessment of the content of dissoluble forms of Fe, Zn, Cu, Cd and Pb in soil]. *BHT: Biota. Human. Technology*, 1(1), 107–115. (in Ukrainian)

Information about the authors:

Kupchyk O. [*in Ukrainian: Купчик О.*]¹, Ph.D. in Chem. Sc., Assoc. Prof., email: kupchik.olena@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2837-2223 Scopus-Author ID: 57195507234

Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium», 53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Savonova A. [*in Ukrainian: Савонова А.*]², student, email: nastena203@gmail.com

Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University «Chernihiv Colehium», 53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Study design, statistical analysis, statistical analysis, manuscript preparation

² Data collection, statistical analysis