

ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТІВ SOIL PROPERTIES

УДК 631.417.2:[631.453:631.445.41]

Зв'язок показників гумусового стану та рухомості важких металів у чорноземах

В.В. Дегтярьов*, О.Ю. Чекар**

Харківський Національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва, Харків, Україна,

ІНФОРМАЦІЯ	АНОТАЦІЯ
<p>Отримано 27.04.2020. Отримано після доопрацювання 11.09.2020. Затверджено до публікації 15.09.2020. Доступно онлайн 01.11.2020</p> <p><i>Ключові слова:</i></p> <p>власне гумусові речовини; детрит; колоїдні форми гумусу; кореляційний аналіз; параметри індикаторів гумусового стану; рухомі форми важких металів; чорнозем;</p>	<p>Особлива роль гумусових речовин в поглинанні й утриманні важких металів є актуальним напрямом досліджень. Метою роботи було виявити зв'язок між вмістом у ґрунті рухомих форм деяких важких металів та параметрами індикаторів гумусового стану ґрунту, зокрема дослідити роль активного гумусу в регулюванні рухомості важких металів у ґрунті. Досліджувані показники: загальний вміст гумусу (за Тюриним); вміст власне гумусових речовин і детриту (за Шпрингером); вміст активного і пасивного гумусу (за Соколовським); вміст власне гумусових речовин у складі пасивного гумусу. Досліджувані рухомі форми важких металів (екстракцією амонійно-ацетатним буфером рН 4,8): цинк; кадмій; нікель; кобальт; залізо; манган; свинець; мідь. Об'єкти: (1) чорнозем типовий середньосуглинковий на території відділення «Михайлівська цілина» Українського природного степового заповідника (Сумська область); варіанти землекористування - абсолютна цілина; випалювана цілина; лісосмуга; переліг; рілля; (2) чорнозем типовий важкосуглинковий на лесоподібному суглинку на території дослідного поля ХНАУ ім. В.В. Докучаєва (Харківська область); варіанти - переліг; лісосмуга; рілля. Проведено кореляційний аналіз для виявлення залежності вмісту рухомих форм важких металів від параметрів гумусового стану у шарах ґрунту 0-10 і 10-20 см. Згідно з коефіцієнтами кореляції вміст рухомих форм важких металів у ґрунті визначається якістю і співвідношенням компонентів його органічної частини. У шарі 0-10 см ґрунту Михайлівської цілини в усіх досліджуваних варіантах землекористування з окремими складовими гумусу найбільш тісно пов'язаний вміст рухомих форм мангану, міді, цинку, кадмію, заліза, у ґрунті Роганського стаціонару – міді, цинку, кобальту і свинцю. У шарі 10-20 см у деяких випадках починає проявлятися роль тих показників гумусового стану, які в шарі 0-10 см характерного впливу практично не виявляли. Із зразків ґрунту, з яких було вилучено активний гумус, екстраговано значно більшу кількість важких металів, ніж із звичайних зразків, чим аргументовано, що активний гумус стримує перехід важких металів у ґрунтовий розчин, тобто, знижує рухомість важких металів і доступність рослинам. Цей феномен названо блокувальною функцією активного гумусу.</p>

E-mail: * DVV4013@gmail.com; ** chekaralena@gmail.com

Форма цитування: Дегтярьов В.В., Чекар О.Ю. Зв'язок показників гумусового стану та рухомості важких металів у чорноземах. *Агрехімія і ґрунтознавство*. Міжвід. тем. наук. збірник. Вип. 90. Харків: ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". 2020. С. 4-12. DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-01>

1. Вступ

На особливу роль гумусових речовин у поглинанні й утриманні важких металів вказується у ряді робіт. Істотну роль ступеню гумусованості і карбонатності ґрунту в закріпленні важких металів у ґрунті підкреслювала М.А. Глазовська [1]. У роботі Т.О. Гринченко і А.І. Фатєєва зазначено, що такі показники, як високий вміст гумусу, висока ємність вбирання ґрунтового поглинального комплексу та нейтральна реакція середовища сприяють переводу важких металів у нерухомі та нетоксичні для рослин форми, і навіть за значного забруднення такого ґрунту, як чорнозем, важкі метали часто не виявляють на рослини токсичної дії [2]. Обумовленість ступеню рухомості важких металів як загальним вмістом гумусу, його груповим та фракційним складом, так і рівнем гідролітичної кислотності ґрунту та вмістом гранулометричної фракції <0,01 мм виявили В.Л. Самохвалова, Є.В. Скрильник та інші [3].

У роботі А.І. Фатєєва, Д.О. Семенова та ін. [4] звертається увага не те, що розподіл мікроелементів та важких металів між різними фракціями гумусу є нерівномірним, тобто вони накопичуються в різних компонентах органічної частини ґрунтів по-різному. Наприклад, Cu, Zn, Co, Pb, Cd, Cr та Ni концентрувалися у фульватній частині гумусу і лише Mn — у гумінових кислотах. Саме тому, зміни співвідношення між цими 2-ма групами гумусових речовин у різних типах ґрунтів України призводять до змін у рухомості мікроелементів та важких металів.

Гумусові речовини, як відмічає Л.М. Александрова, здатні як посилювати рухомість важких металів, так і послаблювати її [5]. Авторка виділяє два види реакцій за участю гумусових речовин – реакції, які зводяться до утворення сполук, здатних мігрувати у профілі ґрунту і реакції формування органо-мінеральних сполук, у результаті чого відбувається накопичення в ґрунті багатьох металів. Відносно того, який з цих механізмів є домінантним, єдиного погляду не існує, оскільки їх відносний внесок у сорбцію металів визначається реакцією ґрунтового розчину [6, 7], властивостями сорбованого елемента [6], ємністю вбирання і ступенем гумусованості [8]. Так, наприклад, Є.М. Моргун констатує, що на території заповідника «Асканія-Нова» профільний розподіл умісту цинку в цілинному ґрунті і ґрунтах агроценозів носить, в основному, рівномірно-акумулятивний характер – біологічна акумуляція металу спостерігається в найбільш гумусованому шарі за відносно рівномірного розподілу по глибині [9]. Досліджуючи ґрунти урбоекосистем, С.С. Волощинська, на основі кореляційного та кластерного аналізів, виявила, що вміст калію, гумусу та азоту, а також кислотність є визначальними для кількості важких металів у ґрунтах, впливаючи на їх рухомість і форми [10]. На тісний зв'язок металів (Zn, Cu, Pb) з органічною речовиною ґрунту і Fe-Mn оксидами звертається увага у роботі Т.В. Бауер, Т.М. Мінкіної та ін. [11]. У статті Х.А. Джувелікян наведено результати кореляційного аналізу, які свідчать, що вміст рухомих форм важких металів обернено залежить від умісту гумусу в профілі ґрунту [12]. Але, слід зазначити, що зв'язок з умістом гумусу розкривають не завжди і не для всіх важких металів.

Метою роботи було виявлення залежності між умістом рухомих форм деяких важких металів у ґрунті та індикаторами його гумусового стану, і зокрема визначення ролі активного гумусу в регулюванні рухомості важких металів у ґрунті.

2. Матеріали і методи дослідження

Для досліджень було обрано два об'єкта. Перший об'єкт – чорнозем типовий середньосуглинковий на лесоподібному суглинку на території відділення «Михайлівська цілина» Українського природного степового заповідника, що знаходиться в Лебединському районі Сумської області. За агроґрунтовим районуванням об'єкт знаходиться у межах північно-західної підпровінції лівобережної високої провінції Лісостепової зони чорноземів типових та сірих опідзолених ґрунтів. Географічні координати: 50°44'45,30" Північної широти та 34°11'41,68" Східної довготи. Проби ґрунту для досліджень відібрали на таких варіантах землекористання: абсолютно цілина (абсолютно цілинна ділянка заповідника); випалювана цілина (випалювання трав'яного покриву проведено навесні після танення снігу у 1986, 1988, 1990, 1992 рр.); лісосмуга (на момент відбирання проб її вік – 42 роки, насаджена кленом у 1952-1956 рр. по межі абсолютно цілинної ділянки); переліг (на момент відбирання проб вік – 42 роки, ця ділянка розорювалася до 1956 р., після чого була засіяна кострицею лучною); рілля (на момент відбирання проб – 65 років). Характеристика ріллі: ділянка поля №1 кормово-травопільної сівозміни КСП «Червона зірка», яка в 1933 р. була відведена від заповідника і розорана. До 1987 року поле №1 входило до складу польової сівозміни, насиченість сівозміни просапними культурами становила 50 %. За період з 1967 до 1987 рр. на полі було внесено 369 кг/га д.р. азотних, 306 фосфорних і 142 калійних добрив. Гній вносили у 1976 році в дозі 30 т/га. У зв'язку з реорганізацією господарства у 1988 році поле переведено до кормово-травопільної сівозміни, добрива не вносили за декілька років перед відбиранням проб ґрунту.

Другий об'єкт – чорнозем типовий важкосуглинковий на лесоподібному суглинку Роганського стаціонару, який знаходиться у межах дослідного поля ХНАУ ім. В.В. Докучаєва (Харківський район, Харківська область). Географічні координати дослідного поля кафедри агрохімії: 49°54'12,61" Північної широти та 36°26'24,71" Східної довготи. Згідно з агроґрунтовим районуванням України територія Роганського стаціонару (створено у 1946 р.) знаходиться в Лісостеповій зоні чорноземів типових і сірих опідзолених ґрунтів східної підпровінції лівобережної високої провінції. Проби ґрунту відібрали на таких варіантах землекористання: переліг; лісосмуга; рілля.

Характеристика варіантів: *переліг* (на момент відбирання проб вік – 42 роки, ділянка розорювалася до 1956 р., після чого була залишена під заростання природною рослинністю; у складі трав'яного покриву на момент відбору переважали тонконіг бульбистий, пирій повзучий, лядвенець кримський); *лісосмуга* (вік – 42 р.), закладена у 1956 р.; у деревостані переважають дуб черешчатий, зрідка – ясен звичайний та клен гостролистий, в нижньому ярусі – акація жовта); *рілля* – ділянки стаціонарного польового досліду кафедри агрохімії ХНАУ (на момент відбирання проб 15 років): (а) контроль (без удобрення); (б) мінеральна система удобрення (сумарна насиченість NPK – 281 кг/га д.р.);

(в) органо-мінеральна система (насиченість органічними добривами 11,3 т/га, мінеральними (NPK) – 120 кг/га). У досліді використовували напівперепрілий гній, аміачну селітру, суперфосфат простий гранульований і калійні солі. З 1995 року добрива не вносили.

Проби ґрунту на обох об'єктах відбирали у 1998 р. у третій декаді травня - першій декаді червня із двох шарів ґрунту 0-10 і 10-20 см. Шар степової повстини (2-3 см) відкидався; глибину відбору відраховували від поверхні ґрунту. Проби ґрунту відбирали буром методом конверту – у 5 точках ділянки. На території Михайлівської цілини по варіантах дослідження обирали типові полігони, площею приблизно 1 га, де відбирали індивідуальні проби ґрунту, які у подальшому використовували для виготовлення змішаних середніх зразків для досліджень. У межах Роганського стаціонару проби також відбирали з 5 точок на кожному варіанті землевикористання.

Аналітичні дослідження. Уміст рухомих форм важких металів визначали атомно-абсорбційним методом за М.К. Крупським та А.М. Олександровою, з екстракцією амонійно-ацетатним буфером ААБ рН 4,8 [13] (на сьогодні ця методика відповідає ДСТУ 4770.1:2007 - ДСТУ 4770.9:2007). Загальний уміст гумусу – методом І.В. Тюріна, який на сьогодні описано у ДСТУ 4289:2004. Уміст власне гумусових речовин (ВГР) та детриту – модифікованим методом Ю. Шпрингера [14, 15], який ґрунтується на здатності суміші оцтового ангідриду, льодяної оцтової кислоти та концентрованої сірчаної кислоти, взятих у співвідношенні 5:5:1, розчиняти негуміфіковані органічні рештки – детрит. Уміст колоїдних форм гумусу (активного (АГ) і пасивного (ПГ) – методом О.Н. Соколовського [16, 17]. Цей метод полягає у декальціюванні зразка ґрунту 1 н розчином хлористого натрію, з подальшим відмиванням активного гумусу із ґрунту дистильованою водою та визначенням у висушеному залишку ґрунту вмісту пасивного гумусу (методом І.В. Тюріна). Уміст активного гумусу вираховують за різницею між загальним умістом гумусу і кількістю пасивного гумусу у ґрунті. Активний гумус – це та частина гумусу, яка здатна пептизуватись внаслідок заміни у ґрунті обмінно-увібраного кальцію натрієм. Пасивний гумус – та частина гумусу, яка не пептизується навіть після повної заміни у ґрунті обмінного кальцію натрієм [17]. Також, визначали уміст власне гумусових речовин у складі пасивного гумусу (ВГР у складі ПГ) за запатентованою методикою [18]. Підоснова цієї методики зводиться до вилучення активного гумусу із вихідного зразка ґрунту за методом О.Н. Соколовського (описано вище) і подальшого визначенням у пасивному гумусі вмісту ВГР та детриту модифікованим методом Ю. Шпрингера, суть якого описано вище.

Аналізи виконували у трикратній повторності. Здобуті результати обробляли математично дисперсійним методом з використанням кореляційного аналізу та програми Statgraf.

3. Результати досліджень та їх обговорення

3.1. Зв'язок вмісту важких металів з індикаторами гумусового стану в чорноземі Михайлівської цілини

Для досягнення поставленої мети визначили вміст рухомих форм деяких важких металів у ґрунті і провели кореляційний аналіз залежності їхнього вмісту від параметрів гумусового стану чорноземів на варіантах різного землевикористання двох об'єктів.

Результати визначення вмісту рухомих форм важких металів у поверхневих (0-10 і 10-20 см) шарах чорнозему типового Михайлівської цілини показано в табл. 1.

Виявлено, що обрані для досліді варіанти землевикористання за вмістом рухомих форм важких металів у ґрунті майже не різняться між собою. Винятком є уміст рухомих форм цинку і мангану, найвищі значення яких зафіксовано в ґрунті варіанта абсолютної цілини. В основному, це стосується шару 0-10 см. Зменшення вмісту цих елементів у чорноземі спостерігаємо в ряду: абсолютна цілина → випалювана цілина → лісосмуга → переліг → рілля. Також, до винятку слід віднести вміст рухомих форм свинцю, який збільшується разом із зменшенням вмісту гумусу.

Однак, як ми вже показали раніше [19], ґрунт на цих варіантах суттєво відрізняється за вмістом і якістю гумусу. Дані кореляційного аналізу, який проводили з метою виявлення зв'язку між параметрами показників гумусового стану та вмістом рухомих форм важких металів у ґрунті шару 0-10 см на всіх досліджуваних варіантах наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Уміст рухомих форм важких металів у чорноземі типовому Михайлівській цілини (амонійно-ацетатна витяжка)

Варіант	Шар ґрунту, см	Уміст рухомих форм металів, мг/кг ґрунту							
		Zn	Cd	Ni	Co	Fe	Mn	Pb	Cu
Цілина абсолютна	0-10	0,90	0,05	0,40	0,05	0,55	27,5	0,50	0,38
	10-20	0,52	0,00	0,50	0,05	0,60	12,5	1,00	0,30
Цілина випалювана	0-10	0,85	0,07	0,35	0,05	0,55	19,5	1,50	0,30
	10-20	0,63	0,07	0,55	0,05	0,35	7,0	1,50	0,30
Лісосмуга	0-10	0,71	0,07	0,35	0,13	0,90	12,5	2,25	0,30
	10-20	0,50	0,07	0,50	0,20	0,90	10,5	2,25	0,20
Переліг	0-10	0,57	0,07	0,50	0,05	0,55	7,0	1,50	0,30
	10-20	0,87	0,05	0,40	0,13	0,35	16,0	1,50	0,30
Рілля	0-10	0,50	0,05	0,40	0,13	0,35	7,0	3,25	0,25
	10-20	0,60	0,07	0,35	0,20	0,60	7,5	1,75	0,30
НІР ₀₅	0-10	0,03	0,02	0,08	0,04	0,25	0,4	0,09	0,09
	10-20	0,04	0,01	0,09	0,08	0,25	0,2	0,06	0,08

Однак, як ми вже показали раніше [19], ґрунт на цих варіантах суттєво відрізняється за вмістом і якістю гумусу. Дані кореляційного аналізу, який проводили з метою виявлення зв'язку між параметрами показників гумусового стану та вмістом рухомих форм важких металів у ґрунті шару 0-10 см на всіх досліджуваних варіантах наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Кореляційний зв'язок параметрів гумусового стану з умістом рухомих форм важких металів у чорноземі типовому Михайлівській цілини (всі варіанти)

Метал	Шар ґрунту, см	Показник гумусового стану						ВГР у складі ПГ
		Загальний уміст гумусу	ВГР	Детрит	Активний гумус (АГ)	Пасивний гумус (ПГ)		
Коефіцієнт кореляції								
Zn	0-10	+0,89	+0,60	+0,91	-0,43	+0,96	+0,76	
	10-20	-0,02	+0,34	-0,14	+0,33	-0,21	-0,24	
Cd	0-10	+0,40	+0,41	+0,30	+0,88	+0,01	-0,38	
	10-20	-0,66	-0,34	-0,68	+0,01	-0,82	-0,37	
Ni	0-10	-0,26	-0,35	-0,19	+0,17	-0,30	-0,37	
	10-20	+0,48	-0,21	+0,64	-0,07	+0,63	-0,16	
Co	0-10	-0,62	-0,09	-0,79	+0,11	-0,60	-0,15	
	10-20	-0,39	+0,23	-0,53	+0,36	-0,68	-0,38	
Fe	0-10	+0,55	+0,93	+0,28	+0,35	+0,35	+0,35	
	10-20	+0,16	+0,22	+0,12	+0,27	+0,04	-0,28	
Mn	0-10	+0,76	+0,43	+0,81	-0,68	+0,94	+0,85	
	10-20	+0,72	+0,92	+0,58	+0,76	+0,49	-0,42	
Pb	0-10	-0,85	-0,50	-0,89	+0,32	-0,89	-0,62	
	10-20	-0,28	+0,07	-0,36	+0,39	-0,56	-0,64	
Cu	0-10	+0,79	+0,56	+0,77	-0,58	+0,92	+0,86	
	10-20	-0,28	-0,33	-0,23	-0,57	-0,03	+0,72	

Примітка: ВГР – власне гумусові речовини

Найбільш тісний прямий кореляційний зв'язок встановлено між умістом рухомих форм цинку і загальним умістом гумусу, а також вмістом детриту та пасивного гумусу (ПГ). Близьким до цього є кореляційний зв'язок цинку з умістом власне гумусових речовин у складі пасивного гумусу (ВГР у складі ПГ). Аналогічні результати було отримано й раніше, під час встановлення кореляційного зв'язку між досліджуваними показниками гумусового стану чорноземів та вмістом рухомих форм мангану й міді [20]. Дуже тісним є прямий зв'язок між умістом рухомих форм заліза і вмістом власне гумусових речовин та між

умістом рухомих форм кадмію і вмістом активного гумусу (АГ). Сильний обернений кореляційний зв'язок простежується між умістом рухомих форм свинцю і такими показниками гумусового стану ґрунту, як загальний уміст гумусу, уміст детриту і пасивного гумусу. В результаті кореляційного аналізу не зафіксовано істотного зв'язку між умістом рухомих форм нікелю і параметрами досліджуваних показників гумусового стану ґрунту.

Отже, у шарі 0-10 см у різних варіантах використання чорнозему Михайлівської цілини з окремими показниками гумусового стану тісно корелює уміст рухомих форм таких важких металів, як цинк, кадмій, залізо, манган і мідь. Але розглянуті показники гумусового стану з різною направленістю або з різною інтенсивністю впливають на вміст рухомих форм вищевказаних елементів.

Із глибиною встановлені закономірності порушуються, тобто вже в шарі 10-20 см втрачається зв'язок металів з показниками гумусового стану ґрунту, з якими в шарі 0-10 см констатовано сильний і середній кореляційний зв'язок. І тільки з рухомими формами лише деяких елементів міцні зв'язки зберігаються.

3.2. Зв'язок умісту важких металів з індикаторами гумусового стану в чорноземі Роганського стаціонару

Результати визначення вмісту рухомих форм важких металів у шарах 0-10 і 10-20 см чорнозему типового Роганського стаціонару представлено в табл. 3. І хоча, варіанти мало різняться, на загальному фоні можна виділити декілька важких металів (цинк, залізо, манган, свинець, кобальт), уміст рухомих форм яких у чорноземі на різних варіантах помітно відрізняється.

Таблиця 3

Уміст рухомих форм важких металів у чорноземі типовому Роганського стаціонару (амонійно-ацетатна витяжка)

Варіант	Шар ґрунту, см	Уміст рухомих форм металів, мг/кг ґрунту							
		Zn	Cd	Ni	Co	Fe	Mn	Pb	Cu
Переліг	0-10	0,76	0,09	0,50	0,13	0,15	20,0	3,25	0,25
	10-20	0,62	0,05	0,50	0,20	0,55	20,0	3,75	0,15
Лісосмуга	0-10	0,62	0,10	0,50	0,13	0,55	15,0	2,75	0,25
	10-20	0,98	0,12	0,55	0,20	0,90	20,0	2,75	0,25
Рілля. Без удобрення	0-10	0,50	0,11	0,50	0,13	0,55	31,5	3,00	0,30
	10-20	0,60	0,05	0,55	0,05	0,55	12,0	0,50	0,30
Рілля. Мінеральна система удобрення	0-10	0,62	0,05	0,50	0,05	0,65	22,5	0,50	0,25
	10-20	0,71	0,07	0,50	0,13	0,35	23,0	1,00	0,20
Рілля. Органо-мінеральна система удобрення	0-10	0,71	0,07	0,60	0,28	0,90	31,5	1,50	0,20
	10-20	1,10	0,12	0,80	0,20	1,15	21,0	1,75	0,20
НІР ₀₅	0-10	0,07	0,04	0,10	0,04	0,09	0,3	0,25	0,05
	10-20	0,06	0,06	0,15	0,06	0,10	0,2	0,15	0,05

На відміну від чорнозему Михайлівської цілини в чорноземі Роганського стаціонару спостерігаються дещо інші закономірності зв'язку між умістом рухомих форм важких металів і показниками гумусового стану ґрунту в шарах 0-10 і 10-20 см. Так, уміст у ґрунті рухомих форм цинку в шарі 0-10 см найбільш тісно корелює з умістом активного гумусу (Табл. 4). Прямий середній кореляційний зв'язок зафіксовано між умістом рухомих форм цинку і вмістом детриту та загальним умістом гумусу. Також, прямий середній кореляційний зв'язок спостерігається між умістом рухомих форм свинцю і загальним умістом гумусу, умістом детриту і пасивного гумусу. З іншими показниками гумусового стану зв'язок слабкий, інколи майже відсутній.

Для рухомих форм мангану характерним є обернений сильний кореляційний зв'язок з параметрами показників гумусового стану ґрунту, за винятком таких показників, як уміст активного гумусу і ВГР у складі ПГ.

У шарі 10-20 см в ґрунті Роганського стаціонару кореляційний зв'язок між показниками гумусового стану і вмістом рухомих форм важких металів набуває дещо іншого характеру. Так, уміст рухомих форм цинку і кадмію прямо корелює з умістом власне гумусових речовин, а кобальту – з загальним умістом гумусу і вмістом активного гумусу.

Особливо тісного зв'язку між умістом рухомих форм нікелю, мангану, заліза і

показниками гумусового стану у шарі 10-20 см не виявлено. Відмічено прямий тісний кореляційний зв'язок між вмістом рухомих форм міді і вмістом ВГР у складі ПГ.

Таким чином, за результатами кореляційного аналізу констатовано, що в чорноземі типовому Михайлівської цілини і Роганського стаціонару по-різному проявляється зв'язок між вмістом рухомих форм важких металів і досліджуваними показниками гумусового стану. А також на різних глибинах чорнозему типового цей зв'язок проявляється з різною інтенсивністю.

Таблиця 4

Кореляційний зв'язок параметрів гумусового стану з вмістом рухомих форм важких металів у чорноземі типовому Роганського стаціонару (всі варіанти)

Метал	Шар ґрунту	Показник гумусового стану					ВГР у складі ПГ
		Загальний вміст гумусу	ВГР	Детрит	Активний гумус	Пасивний гумус (ПГ)	
<i>Коефіцієнт кореляції</i>							
Zn	0-10	+0,59	+0,20	+0,66	+0,93	+0,35	-0,75
	10-20	+0,31	+0,63	-0,03	+0,44	+0,16	+0,21
Cd	0-10	+0,29	+0,27	+0,27	-0,04	+0,40	+0,27
	10-20	+0,43	+0,77	+0,01	+0,54	+0,28	+0,26
Ni	0-10	-0,30	-0,20	-0,30	+0,34	-0,55	-0,50
	10-20	-0,22	+0,12	-0,33	-0,09	-0,36	+0,22
Co	0-10	-0,08	-0,04	-0,09	+0,46	-0,31	-0,50
	10-20	+0,70	+0,25	+0,69	+0,77	+0,61	-0,59
Fe	0-10	-0,69	-0,18	-0,79	-0,32	-0,75	+0,16
	10-20	+0,28	+0,44	+0,06	+0,40	+0,15	+0,04
Mn	0-10	-0,80	-0,82	-0,70	-0,36	-0,88	-0,35
	10-20	+0,33	+0,18	+0,28	+0,39	+0,25	-0,24
Pb	0-10	+0,55	+0,29	+0,58	+0,28	+0,59	-0,03
	10-20	+0,80	-0,01	+0,98	+0,79	+0,80	-0,90
Cu	0-10	-0,14	-0,19	-0,11	-0,66	+0,11	+0,49
	10-20	-0,22	+0,42	-0,54	-0,23	-0,19	+0,74

Примітка: ВГР – власне гумусові речовини

3.3. Місія активного гумусу у знешкодженні дії важких металів

На сьогодні відомо, що біогенна акумуляція поживних елементів стала можливою завдяки появі в мінеральному субстраті органічних речовин специфічної природи з високою депонуною здатністю [21]. Існують роботи, в яких пропонується після забруднення ґрунтів важкими металами вносити органічні добрива, поживні рештки рослин, продукти руйнування яких вкривають плівкою сорбовані раніше важкі метали [22]. Отже, біогенно накопичувані елементи локалізуються переважно в гумусі, тоді як більша кількість інших елементів зосереджена в основному в мінеральній частині ґрунту. Це, своєю чергою, привело до упорядкування співвідношень між елементами живлення в ґрунті, наблизивши їх до співвідношень, які спостерігаються в рослинах [21].

Спираючись на такі повідомлення, ми спробували експериментально дослідити, яку саме роль відіграє активний гумус (АГ) у регулюванні цих співвідношень. З цією метою ми порівняли вміст рухомих форм важких металів у вихідному ґрунті (Табл. 1 і Табл. 3) і в зразках ґрунту, з яких було вилучено активний гумус (Табл. 5 і Табл. 6). Виявили, що в ґрунті, звільненому від активного гумусу, суттєво більшим є вміст важких металів, тобто, з нього можна екстрагувати більшу кількість металів.

Дані для ґрунту Михайлівської цілини подано в табл. 5. Найпомітнішою є різниця щодо цинку, мангану й заліза. Так, у зразку чорнозему з варіанту «Цілина абсолютна» після вилучення АГ вміст рухомого заліза збільшується майже в 95 разів порівняно з вихідним ґрунтом, цинку – у 30 разів, мангану – в 6. До цієї групи можна віднести і вміст рухомих форм кобальту, але ця закономірність проявляється не завжди (виняток – чорнозем на варіанті «Рілля»). Аналогічні результати спостерігаються і на варіанті «Цілина випалювана». Вміст рухомого цинку у чорноземі як на ріллі, так і на цілині, після вилучення АГ, зростає приблизно в 30 разів порівняно з вихідним ґрунтом.

Ґрунт під перелогом за кількістю практично всіх рухомих форм важких металів, які переходять із ґрунту, з якого вилучено АГ, у витяжку знаходиться майже на одному рівні з орним чорноземом. Водночас чорнозем на варіанті «Лісосмуга», з якого вилучено АГ, за такими показниками, як уміст рухомих форм цинку, кадмію, кобальту, у пасивному гумусі наближається до рівня цілинного аналогу, а за вмістом рухомих форм заліза і міді – до рівня чорнозему на варіанті «Рілля». За рештою досліджуваних показників чорнозем під лісосмугою займає проміжне положення між цілинним і орним чорноземом. Ураховуючи те, що лісосмугу висаджено на цілинному ґрунті, можна передбачити, що дія лісової рослинності, впливаючи на гумусовий стан чорнозему, обумовлює деякі зміни рухомості важких металів. Необхідно звернути увагу на те, що не всі метали стають мобільнішими після вилучення АГ. Винятком є кадмій, нікель і, в деяких випадках, – свинець.

Таблиця 5

Уміст рухомих форм важких металів у зразках чорнозему типового Михайлівської цілини, з яких вилучено активний гумус

Варіант	Шар ґрунту, см	Уміст рухомих форм важких металів, мг/кг							
		Zn	Cd	Ni	Co	Fe	Mn	Pb	Cu
Цілина абсолютна	0-10	30,65	0,10	0,40	0,90	52,50	167,50	4,50	0,85
	10-20	29,65	0,05	0,40	0,45	18,50	87,50	2,00	1,15
Цілина випалювана	0-10	30,65	0,10	0,70	0,90	44,00	140,00	5,00	2,70
	10-20	17,65	0,10	0,70	0,90	14,00	100,00	2,50	3,05
Лісосмуга	0-10	33,65	0,10	0,60	0,75	5,00	140,00	2,50	2,80
	10-20	19,65	0,10	0,60	0,60	3,50	120,00	2,50	2,50
Переліг	0-10	12,15	0,10	0,60	0,45	5,00	100,00	1,50	0,65
	10-20	13,65	0,10	1,00	0,00	5,00	120,00	1,00	1,25
Рілля	0-10	14,65	0,05	0,85	0,00	2,50	120,00	2,00	1,95
	10-20	15,90	0,05	0,70	0,00	1,50	100,00	2,00	0,60
HIP ₀₅	0-10	0,90	0,05	0,08	0,07	0,30	10,20	0,10	0,18
HIP ₀₅	10-20	1,10	0,02	0,05	0,04	0,25	4,50	0,10	0,22

У чорноземі типовому Роганського стаціонару також спостерігається посилення рухомості важких металів у ґрунті, з якого вилучено АГ відносно вихідного (Табл. 6). Найбільш помітно проявляється посилення рухомості цинку, кобальту, мангану й заліза.

Таблиця 6

Уміст рухомих форм важких металів у зразках чорнозему типового Роганського стаціонару, з якого вилучено активний гумус

Варіант	Шар ґрунту, см	Уміст рухомих форм важких металів, мг/кг							
		Zn	Cd	Ni	Co	Fe	Mn	Pb	Cu
Переліг	0-10	31,65	0,10	2,25	1,50	12,00	220,00	2,00	1,15
	10-20	29,65	0,10	2,25	1,10	12,00	220,00	2,00	2,25
Лісосмуга	0-10	24,65	0,10	1,75	1,50	18,00	220,00	2,00	0,55
	10-20	27,65	0,10	1,90	1,10	14,00	242,50	3,00	0,65
Рілля. Без удобрення	0-10	33,65	0,10	2,25	1,50	17,00	220,00	2,5	0,65
	10-20	30,65	0,10	2,25	1,30	21,50	220,00	3,0	0,80
Рілля. Мінеральна система удобрення	0-10	37,15	0,05	2,25	1,10	30,50	235,00	3,0	0,65
	10-20	33,65	0,05	2,25	1,20	26,50	250,00	3,0	2,30
Рілля. Органо-мінеральна система удобрення	0-10	19,65	0,00	1,75	1,10	22,50	220,00	2,5	0,55
	10-20	19,65	0,00	2,25	1,50	23,00	195,00	3,0	1,55
HIP ₀₅	0-10	1,85	0,05	0,15	0,20	2,55	3,00	0,5	0,05
HIP ₀₅	10-20	1,05	0,05	0,05	0,30	2,35	1,45	0,5	0,05

На основі проведених досліджень можна зробити припущення, що в закріпленні важких металів гумус (його кількість і якість) грає не останню роль. Так, у чорноземі тих варіантів, де виявлено більш високий уміст пасивного гумусу набагато більше міститься рухомих форм переважно всіх досліджуваних важких металів. Особливо це стосується вмісту рухомих форм цинку, кобальту й заліза. Наочно це спостерігається в чорноземі Михайлівської цілини. Аналогічні закономірності дуже важко простежити в чорноземі типовому Роганського

стаціонару. Це можна пояснити не досить сильною різницею за кількістю і якістю гумусу в чорноземі Роганського стаціонару між досліджуваними варіантами, на відміну від чорнозему типового Михайлівської цілини. Також слід враховувати різний гранулометричний склад об'єктів дослідження.

Можна припустити, що активний гумус регулює доступ елементів, або, інакше кажучи, співвідношення елементів, які переходять у рухому форму і стають доступними для рослин. Активний гумус у такому випадку виконує функцію блокування, тобто регулює необхідне співвідношення окремих елементів у ґрунті, зокрема важких металів. Отже, та кількість рухомих форм важких металів, яка екстрагується із ґрунту, з якого вилучено АГ, майже не потрапляє у ґрунтовий розчин завдяки блокувальній функції активного гумусу. На таку роль гумусу, але в дещо іншому аспекті, звертав увагу Н.І. Горбунов [23], відмічаючи, що катіони здатні проникати в міжпакетний простір таких мінералів, як монтморилоніт і бейделіт. У роботі інших дослідників підкреслюється, що депонувальна здатність ґрунту щодо важких металів і швидкість переходу останніх із твердої фази в розчин залежать від умісту в ґрунті мулистої фракції і частки мінералів з розбухаючою кристалічною решіткою та умісту гумусу [22]. Для зменшення швидкості переходу важких металів з твердої фази в розчин, у ґрунт вносять мінерали з інтерміцелярним типом поглинання (бентоніт, монтморилоніт, цеоліт). Потім, у результаті покриття цих мінералів плівками інших колоїдів – органічних речовин, катіони не витісняються, опинившись у заблокованому стані. Тільки протягом тривалого часу, або в результаті змін ґрунтових умов катіони знов переходять в обмінну форму.

4. Висновок

Результати проведених досліджень дозволяють стверджувати, що різні складові органічної частини ґрунту, якими характеризують його гумусовий стан, з різною інтенсивністю впливають на вміст рухомих форм важких металів. У шарі 0-10 см чорнозему Михайлівської цілини з окремими індикаторами гумусового стану найбільш тісно пов'язаний вміст рухомих форм мангану, міді, цинку, кадмію, заліза, а в чорноземі Роганського стаціонару – вміст рухомих форм міді, цинку, кобальту і свинцю. Із глибиною виявлені закономірності порушуються, а саме, майже втрачається зв'язок окремих металів з показниками гумусового стану в шарі 10-20 см, який у верхньому шарі набував сильного і середнього ступеню. Натомість, у шарі 10-20 см у деяких випадках починає проявлятися вплив тих показників гумусового стану, які в шарі 0-10 см характерного впливу практично не виявляли.

Із зразків ґрунту, з яких було вилучено активний гумус, екстраговано значно більшу кількість важких металів, ніж із звичайних зразків, чим аргументується висновок, що активний гумус стримує (блокує) перехід важких металів із ґрунту в ґрунтовий розчин, тобто, знижує рухомість, доступність важких металів рослинам. Цей феномен названо блокувальною функцією активного гумусу, завдяки якій у кореневмісному шарі ґрунту створюється оптимальне співвідношення корисних для рослин поживних елементів.

Список використаних джерел

1. Глазовская М.А. Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв и почвенного покрова к техногенным воздействиям. *Почвоведение*. 1999. №1. С. 114-124.
2. Грінченко Т.О., Фатеев А.І. Вплив рівня забруднення чорнозему опідзоленого важкими металами на урожай гречки. *Актуальні питання екології та охорони навколишнього середовища*: зб. наук. праць. Вип. 1. Харків, 1995. С. 79-85.
3. Прогнозування рівнів вмісту мікроелементів і важких металів у ґрунтах різного генезису для оцінювання їх екологічних та продукційних функцій / В.Л. Самохвалова, Є.В. Скрильник, Л.О. Шедей [та ін.]. *Ecology and poospherology*. 2016. Vol. 27, №. 1–2. С. 72-88. DOI: <https://doi.org/10.15421/031607>.
4. Співвідношення Сгк/Сфк у ґрунтах України як показник рухомості мікроелементів / А.І. Фатеев, Д.О. Семенов, М.М. Мірошніченко [та ін.]. *Вісник аграрної науки*. 2013. №7. С. 16-19. URL: https://agrovisnyk.com/oldpdf/visnyk_07_2013.pdf.
5. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Ленинград: Наука, 1980. 288 с.
6. Ачасова А.А. К вопросу о роли гумуса в аккумуляции тяжелых металлов в почвах. *Вісник ХДАУ ім. В.В. Докучаєва. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство»*. 1999. №2. Харків: ХДАУ. С. 106-114.
7. Ильин В.Б. Буферные свойства почвы и допустимый уровень ее загрязнения тяжелыми металлами. *Агрохимия*. 1997. №11. С. 65-70.
8. К экологической обстановке в Новосибирске: тяжелые металлы в местных почвах и огородных культурах / В.Б. Ильин, А.И. Сысо, Г.А. Конарбаева, Н.Л. Байдина. *Агрохимия*. 1997. №3. С. 76-83.
9. Моргун Є.М. Вміст Zn в темно-каштанових ґрунтах біосферного заповідника «Асканія-Нова». *News Biosphere Reserve «Askania Nova»*. 2009. Vol. 11. С. 112-115.
10. Волощинська С.С. Важкі метали в ґрунтах урбоєкосистем м. Ковеля. *Біологічні системи*. 2012. Т. 4, Вип. 2. С. 145-148.

11. Фоновое содержание и состав соединений цинка, меди и свинца в черноземе обыкновенном естественных ландшафтов Ростовской области / Т.В. Бауэр, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева [и др.]. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. 2015. №4 (20). С. 186-199. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fovovoe-soderzhanie-i-sostav-soedineniy-tsinka-medi-i-svintsa-v-chernozeme-obyknovennom-estestvennyh-landshaftov-rostovskoy-oblasti/viewer>.

12. Джувеликян Х.А. Подвижные формы тяжелых металлов в черноземах незагрязненных ландшафтов. *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. 2005. №1. С. 107-112. URL: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2005/01/djuvelikyan.pdf>.

13. Крупский Н.К., Александрова А.М. К вопросу об определении подвижных форм микроэлементов. Микроэлементы в жизни растений, животных и человека. Киев: Наукова думка, 1964. Т.1. С. 125-133.

14. Практикум з ґрунтознавства: навч. посібник / Д.Г. Тихоненко, В.В. Дегтярьов, С.В. Крохін [та ін.]; за ред. проф. Д.Г. Тихоненка і В.В. Дегтярьова. Харків: Майдан, 2009. 448 с.

15. Лактионов М.И., Дегтярьов В.В., Шелар І.А. Лабораторний практикум з ґрунтознавства. 5-е вид., перероб. і доп. Харків: ХДАУ, 1998. 122 с.

16. Соколовский А.Н. Из области явлений, связанных с коллоидальной частью почвы. Избр. труды. Киев: Урожай, 1971. С. 10-128.

17. Лактионов Н.И. Органическая часть почвы в агрономическом аспекте: Монография / Харьк. гос. аграр. ун-т. им. В.В. Докучаева. Харьков: ХГАУ, 1998. 95 с.

18. Спосіб визначення інтенсивності антропогенного навантаження на черноземні ґрунти. Патент на корисну модель 58047 Україна МПК G01N 33/24 (2011.01). / Дегтярьов В.В., Тихоненко Д.Г., Крохін С.В., Моргунова О.І., Жернова О.С.; Власник - Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва. № у 2010 11240; заявл. 20.09.2010. Бюл. №6.

19. Чекар О.Ю. Роль гумусу в стабілізації ґрунтових процесів у черноземах типових Лівобережного Лісостепу України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к-та с.-г. наук: 06.01.03. Харків, 2001. 20 с. [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=ARD&P21DBN=ARD&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullweb&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%A7%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%80%20%D0%9E.%D0%AE.\\$](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe?Z21ID=&I21DBN=ARD&P21DBN=ARD&S21STN=1&S21REF=10&S21FMT=fullweb&C21COM=S&S21CNR=20&S21P01=0&S21P02=0&S21P03=A=&S21COLORTERMS=1&S21STR=%D0%A7%D0%B5%D0%BA%D0%B0%D1%80%20%D0%9E.%D0%AE.$)

20. Чекар О.Ю. Зв'язок вмісту рухомих форм важких металів з кількісними і якісними показниками гумусу у черноземах. *Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва*. Серія «ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство». Харків, 2005. №1. С.100-103.

21. Методологические и методические аспекты почвоведения / В.К. Бахнов, Г.П. Гамзиков, В.Б. Ильин [и др.]; отв. ред. И.М. Гаджиев. АН СССР, Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1988. 168 с.

22. Информационно-энергетическая оценка состояния тяжелых металлов в черноземах / В.Н. Гукалов, В.А. Черников, В.И. Савич [и др.]. С. 178-183. 2020. URL: <https://cyberleninka.ru/article/2020/05/n/informatsionno-energeticheskaya-otsenka-sostoyaniya-tyazhelyh-metallov-v-chernozemah/viewer/>

23. Горбунов Н.И. Почвенные коллоиды и их значение для плодородия. Москва: Наука, 1967. 160 с.

UDC 631.417.2:[631.453:631.445.41]

Relationship between humus condition indicators and mobility of heavy metals in chernozems

V.V. Degtyarjov*, O.Yu. Chekar**

Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev, Kharkiv, Ukraine,

*E-mail: DVV4013@gmail.com; **chekaralena@gmail.com

The special role of humus substances in the absorption and retention of heavy metals is an important area of research. The aim was to establish a correlation between the content of the mobile forms of some heavy metals and the parameters of soil humus indicators, in particular to investigate the role of active humus in regulating the mobility of heavy metals in the soil. The studied indicators: the total humus content (according to Tyurin); the content of the actual humus substances and detritus (semi-decomposed, lost anatomical structure of organic remains) (according to Springer); the content of active humus (this is the part of humus that can be peptized due to the replacement of metabolically absorbed calcium in the soil by sodium) and passive humus (that is not peptized after complete removal of calcium), the content of the actual humus substances in the composition of passive humus) (according to Sokolovsky). Investigated mobile forms of heavy metals (extraction with ammonium acetate buffer pH 4,8): zinc; cadmium; nickel; cobalt; iron; manganese; lead; cuprum. The research sites: (1) chernozem typical (Calcic Vronic Chernozem SiL UE1) on the territory of the «Mykhailivska tsilyna» (Sumy region); land use options: absolute virgin land; burnt-out virgin land; forest belt; fallow land; arable; (2) chernozem typical (Calcic Vronic Chernozem CL UE1) at the experimental field in Kharkiv region - Rogan station; options: fallow land, forest belt, arable land: (a) unfertilized; (b) the mineral system; (c) organo-mineral system. Correlation analysis was performed to identify the dependence of the content of mobile forms of heavy metals on the indicators of the humus state separately in two soil layers (0-10 and 10-20 cm). In the layer of 0-10 cm for Mykhailivska tsilyna in all investigated land use options the content of mobile forms of manganese, cuprum, zinc, cadmium, iron is most closely connected with separate components of humus, at the same time. In the soil of Rogan station in layer 0-10 cm the closest relationship can be traced between humus and the content of mobile forms of cuprum, zinc, cobalt and lead. On the contrary, in a layer of soil of 10-20 cm other features were shown. Significantly more heavy metals were extracted from soil samples from which active humus had been previously removed than from conventional samples. This is an argument that active humus inhibits the transition of heavy metals into the soil solution, ie, reduces the mobility of heavy metals and accessibility to plants. This phenomenon is called the "blocking function" of active humus.

Keywords: actual humus substances; chernozem; colloidal forms of humus; correlation analysis; detritus; humus state indicators; mobile forms of heavy metals

Citing: Degtyarjov V.V., Chekar O.Yu. 2020. Connection of the humus state indicators and the heavy metals mobility in the chernozems.. *Agrochemistry and Soil Science*. Collected papers. No. 90. Kharkiv: NSC ISSAR, P. 4-12. (Ukr.). DOI: <https://doi.org/10.31073/acss90-01>.