8. Романова Н.А. Повторяемость циклонов и антициклонов над Северной Атлантикой. *Метеорология и гидрология*. 2005. № 7. С. 26.

9. Садоков В.П. Распределения блокирующих образований в средней тропосфере Северного полушария. *Метеорология и гидрология*. 2011. № 4. С. 42.

10. Chaigneau A., Gizolme A., Grados C. Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns. *Progr. Oceanogr*. 2008. 79, № 2. P. 106–119.

REFERENCES:

1. Adamenko V.N. (2003). Problemy bioklimaticheskoj ocenki surovosti pogody i melioracija mikroklimata nastrojki [Problems of bioclimatic assessment of the severity of weather and land reclamation]. Trudy Glavnoj geofizicheskoj observatorii, 306, P. 3–18 [in Russian].

2. Dannye Nacional'nogo Gidrometeorologicheskogo Departamenta [2. Data from the National Hydrometeorological Department], 2011-2012 [in Russian].

3. Kovrigo P.A. (2001). Izmenenija klimata i ispol'zovanie klimaticheskih resursov [Climate change and the use of climate resources] Minsk : BGU, P. 262 [in Russian].

4. Isaev A.A. (2001). Jekologicheskaja klimatologija [Ecological climatology]. Moscov : Nauch. mir, pp. 458 [in Russian].

5. Loginov, V.F. (2012) Jekstremal'nye klimaticheskie javlenija: prostranstvenno-vremennye zakonomernosti, ih izmenenija i predposylki prognozirovanija. [Extreme climatic phenomena: spatio-temporal patterns, their changes and forecasting prerequisites] Minsk : Bel NIC "Jekologija", pp. 132 [in Russian].

6. Madatzade A.A. (2003). Tipy pogody i klimat Apsherona. [Types of weather and climate of Absheron]. Baku : ANSSR, [in Russian].

7. Markov K.K. Voejkov A.I. (2001) kak istorik klimatov Zemli [Voeikov A.I. as a historian of the Earth's climate]. Izvestija AN SSSR. Ser. geograficheskaja. Moscov, 3, pp. 46-54 [in Russian].

8. Romanova N.A. (2005). Povtorjaemost' ciklonov i anticiklonov nad Severnoj Atlantikoj [Repeatability of cyclones and anticyclones over the North Atlantic]. Meteorologija i gidrologija, 7, pp. 26 [in Russian].

9. Sadokov V.P. (2011). Raspredelenija blokirujushhih obrazovanij v srednej troposfere Severnogo polusharija [Distributions of blocking formations in the middle troposphere of the Northern Hemisphere]. Meteorologija i gidrologija, 4, pp. 42 [in Russian].

10. Chaigneau A., Gizolme A., Grados C. (2008). Mesoscale eddies off Peru in altimeter records: Identification algorithms and eddy spatio-temporal patterns. Progr. Oceanogr, 79, 2. P. 106–119.

УДК 581.1:581.52:633.854.78
DOI https://doi.org/10.32848/0135-2369.2020.74.2

ДИНАМІКА ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У СИСТЕМІ «ҐРУНТ – РОСЛИНА» ПІД ЧАС ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКА В БОГАРНИХ УМОВАХ ПІВДЕННОГО СТЕПУ

БУРИКІНА С.І. – кандидат сільськогосподарських наук
https://orcid.org/0000-0002-5197-6586
ТАРАНЮК Г.Б.
https://orcid.org/0000-0003-1597-9429
Одеська державна сільськогосподарська дослідна станція
Національної академії аграрних наук України
КАПУСТІНА Г.А. – кандидат сільськогосподарських наук
https://orcid.org/0000-0001-6762-7455
ФІРСОВА В.І.
https://orcid.org/0000-0003-1865-016X
Одеська філія Державної установи «Інститут охорони ґрунтів України»

Постановка проблеми. Одним із джерел забруднення природного середовища важкими металами є стічні води як підприємств, так і побутові [9, с. 48].

У класичному визначенні важкі метали – це група хімічних елементів з масою атомів за 50 одиниць і густиною за 5 г/см^3, і з погляду аналітичної хімії це правильно. З іншого боку, для росту і розвитку рослин потрібна буквально вся періодична система Д.І. Менделєєва, але в різних кількостях. Один і той самий елемент може бути як мікроелементом, тобто фізіологічно активним, який сприяє росту продуктивності та якості продукції, так і важким металом, визиваючи інтоксикацію живого організму у разі накопичення в надлишковій кількості. До перших, наприклад, належать Mn, Fe, Zn, Mo, Co, Cu, які входять до складу багатьох водорозчинних добрив та стимуляторів росту. Для них, зокрема, розроблені оптимальні рівні забезпеченості [1, с. 28; 2; 3].

Дослідження показало, що позакореневе підживлення посівів соняшника у фазу 4–6 листків розчином міді найбільше сприяло підвищенню урожаю насіння на 3,5 ц/га (12,9%) [4, с. 52]. В інших дослідах мідь у кількості від 0,25 до 4,0 значень ГДК проявляла суттєву інгібуючу дію на ліпазний комплекс насіння соняшника [5, с. 67].

Свинець, кадмій, ртуть не належать до необхідних мікроелементів, для них не виявлені

інтервали, в межах яких вони позитивно впливали б на ростові процеси. Це токсичні для організму елементи навіть за низьких концентрацій у субстратах. Так, визначено, що токсичний вплив кадмію прямо корелює з його вмістом у середовищі, хоча до 90% цього металу у рослинних клітинах зв'язується багатими на цистеїн білками – фітахелатинами [6, с. 214; 7, с. 326].

Важкі метали можуть надходити в рослини через кореневу систему, продихи листя або внаслідок негативних змін біотичних властивостей ґрунту [8, с. 7]. Інтенсивність надходження ВМ залежить від біологічних особливостей рослини [9, с. 7], типу ґрунту та його фізико-хімічних параметрів [10, с. 34], стану навколишнього середовища [11], погодних умов періоду та технологічних аспектів вирощування культури [12, с. 68; 13, с. 34], що відмічають більшість дослідників всіх країн.

Реакція різних культур на забруднення ВМ неоднакова, тому перспективним напрямом наукових і практичних досліджень є вивчення особливостей їх накопичення в рослинах агроекосистем.

Мета статті – дослідження розподілу та накопичення важких металів різних класів небезпеки в ґрунті та культурних рослинах, посіви яких розміщені на території виходу стічних вод населеного пункту.

Об'єктом дослідження були зразки ґрунту чорнозему південного та рослин соняшника, відібрані на різній відстані від джерела забруднення, за фазами вегетації соняшника і структурними елементами рослини.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводились на землях ДП ДГ «Южний» Одеської ДСДС, яке розташоване в Біляївському районі в межах приміської зони м. Одеси, і пов'язані з виконанням договору № 5/03/19 по впровадженню наукових розробок, отриманих під час виконання фундаментальної тематики «Розробити технології ефективного застосування добрив, меліорантів та інших агрохімічних заходів у сівозмінах України» (ПНД «Родючість, охорона і раціональне використання ґрунтів»).

Ґрунт – чорнозем південний мало гумусний важко суглинистий на лесовій породі. Зразки ґрунту відбирали згідно з вимогами ДСТУ ISO 10381-4:2005. (ISO 10381-4:2003, IDT) в межах 2-х ділянок. Площа кожної ділянки становила 1га, в межах ділянки зразки ґрунту відбирались методом конверту з формуванням п'яти середніх зразків вагою не менше 1 кг з 15-ти точкових проб.

Зразки ґрунту відбирались з шару 0–25 см. Ділянки відрізнялися ступенем забезпеченості як основних елементів живлення (табл. 1), так і мікроелементів та забруднення важкими металами (ВМ) (рис. 1).

Таблиця 1 – Агрохімічна характеристика дослідних ділянок

№ ділянки	Гумус,%	pH		$N\text{-}NO_3$	P_2O_5	K_2O	Увібрані основи		
		сольове	водне	мг/кг			ммоль/100г		
				Кравков	Мачигин		Ca	Mg	Na
1	3,19	7,2	7,3	24,96	18,10	347,8	25,25	3,25	0,29
2	3,86	7,2	7,3	25,12	6,47	213,8	26,51	1,75	0,30

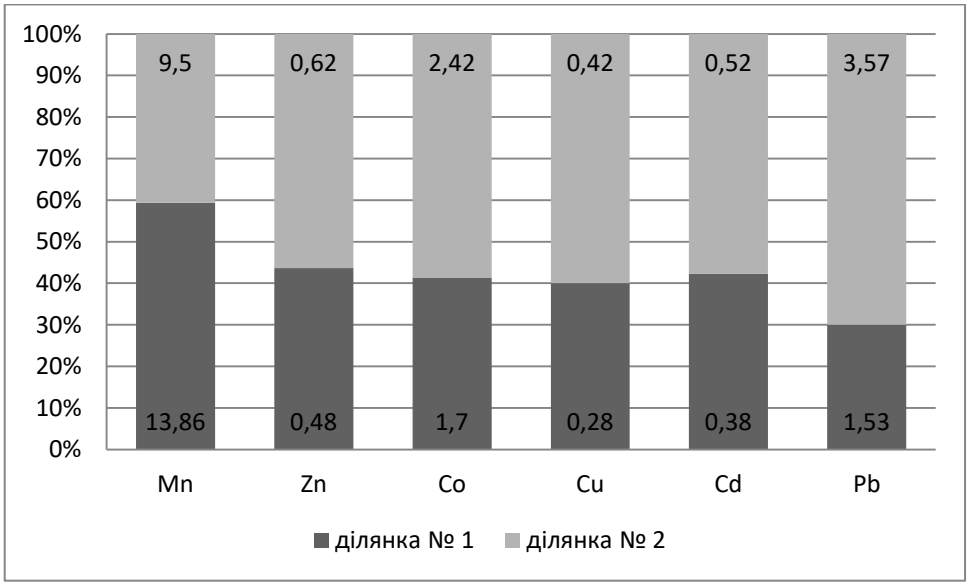

Рис. 1. Початковий вміст рухомої форми важких металів в орному шарі чорнозему південного (мг/кг)

Забезпеченість першої ділянки рухомим фосфором – низька, обмінним калієм – середня, а другої – дуже низька та низька відповідно. Ділянки мали слабий ступінь засолення хлоридно-сульфатного типу.

Вміст марганцю знаходився в межах підвищеного ступеня забезпеченості, а цинку – низького (менше за 1,1 мг/кг); перша ділянка відзначалася середнім рівнем кобальту та помірним – міді, а друга – підви-

щеним та високим. Забруднення кадмієм та свинцем першої ділянки – помірне, другої – середнє та підвищене. Якщо порівняти вихідну концентрацію важких металів у ґрунті дослідних ділянок із значенням ГДК і фоновим вмістом (табл. 2), то очевидно, що ні один хімічний елемент не перевищує встановлені гранично допустимі концентрації, але спостерігаються перевищення фонових концентрацій за Co, Cd, Pb на першій ділянці у 3,4; 3,8; 3,1 рази, на другій – 4,8; 5,2 та 7,1 рази відповідно.

Таблиця 2 – Значення ГДК і фону важких металів для ґрунту (мг/кг)

Хімічний елемент	ГДК [14, с. 99]	Фон [14, с. 98]
Mn	100	43
Zn	23	1,0
Co	5,0	0,5
Cu	3,0	0,5
Cd	-	0,1
Pb	6,0	0,5

Ми вже відмічали, що особливістю дослідних ділянок була наявність мезорельєфу: невелика впадина в нижній частині впродовж всієї довжини, по якій йшов природний стік води та стічні води сусіднього населеного пункту [15, с. 27], що могло бути причиною різного ступеня забруднення першої і другої ділянок. Причому друга ділянка розташована впродовж стоку, перша – на відстані 200 м від нього.

У пробах ґрунту за фазами розвитку соняшника визначали вміст рухомих форм ВМ. Вилучення проводили амонійно-ацетатним буфером (pH – 4,8). Рослинні зразки відбирали у фази 3–4 листа, бутонізація, повна стиглість. У двох останніх фазах окремо аналізували листки, стебло та кошик. Під час аналізування використовували метод атомно-адсорбційної спектрометрії відповідно до стандартних методик.

Кількісну оцінку надходження мікроелементів і ВМ з ґрунту в рослини соняшника проводили за коефіцієнтом біологічного накопичення (Кбн), який визначали як співвідношення вмісту металу в одиниці маси рослини (в перерахунку на суху масу) і ґрунту [16].

Для оцінки небезпечності поліелементного забруднення розраховували сумарний показник концентрації (СПК) за формулою [17, с. 102]:

$$СПК = \Sigma Кс – (n-1), \quad (1)$$

Кс – коефіцієнт концентрації хімічного елементу, який дорівнює відношенню його фактичного вмісту до фонового; n – кількість врахованих елементів (при Кс > 1).

Екологічну оцінку забруднення виконували за шкалою Р.С. Смірнової, Б.А. Ревич [18]: СПК < 8 – ґрунти практично чисті, СПК 8–16 – слабко забруднені; СПК 16–32 – середньо забруднені; СПК 32–64 – сильно забруднені; 64–128 – надмірно сильно забруднені та при СПК > 128 – ґрунти максимально забруднені.

Статистична обробка експериментальних даних проводилась з використанням пакету прикладних програм Microsoft Excel та Statistica 6.0.

Результати досліджень. Встановлено, що вміст рухомої форми ВМ і практично всіх мікроелементів (окрім цинку) в орному шарі ґрунту знижувався протягом всієї вегетації рослин соняшника (рис. 2); вміст же цинку від сходів до повної стиглості на першій ділянці зріс з 0,44 мг/кг до 1,03 мг/кг, а на другій – з 0,54 до 1,16 мг/кг.

У фазі сходи СПК на першій ділянці дорівнював 6,81 (практично чистий ґрунт), на другій – 12,98 (слабко забруднений), але на обох ділянках у сукупному забрудненні ступінь участі кобальту, кадмію та свинцю був найбільшим і складав 22,3–22,4% (Co), 33,3–32,1% (Cd) та 39,1–36,3% (Pb). У фазі повної стиглості СПК обох ділянок менш за 8,0, але співвідношення елементів залишається аналогічним, на що вже слід звернути увагу виробників продукції, оскільки вказані метали належать до I та II груп небезпеки, крім того, Cd та Pb є токсичними.

Слід також взяти до уваги результати досліджень інших авторів, які зазначають, що в невеликих кількостях важкі метали можуть затримуватися клітинами стінки рослин, але у разі хронічної дії забруднювача, що має місто в нашому випадку, можливе підвищення концентрації полютантів, і тоді механізм їх затримки не спрацьовує [19, с. 29; 20, с. 162; 21, с. 184; 22, с. 127].

Крім того, показано, що рослинний організм, мобілізуючи внутрішні резерви, може зберігати свою діяльність і за надлишкового надходження ВМ, але обмін речовин все ж таки через деякий час порушується [23, с. 44].

Відмінності між вмістом ВМ у рослинах соняшника і окремих його частинах за ділянками спостереження здебільшого не суттєві (табл. 3). Виняток складає вміст Zn та Pb у фазу 3–4 листка; у фазу бутонізації в листках соняшника другої ділянки достовірно збільшилась концентрація міді, а в кошику – міді та кобальту. Листки соняшника повної стиглості з другої ділянки мали математично суттєво більший вміст марганцю та свинцю, в насінні – цинку, а в кошиках – концентрація практично всіх ВМ достовірно менше за першу ділянку.

Менше надходження ВМ у кошик рослин другої ділянки у фазу повної стиглості можливо пояснюється їх кращим фізичним станом: розташовані поблизу джерела води і маючі постійну підпитку вологою, рослини мали більш розвинуту кореневу систему, більшу площу листової поверхні (на 22,5%), діаметр стебла перевищував на 1,5 см, а висота рослини – в середньому на 40 см. Очевидно тому ці рослини краще затримували коренем, листками та стеблом пересування важких металів по вертикалі рослини.

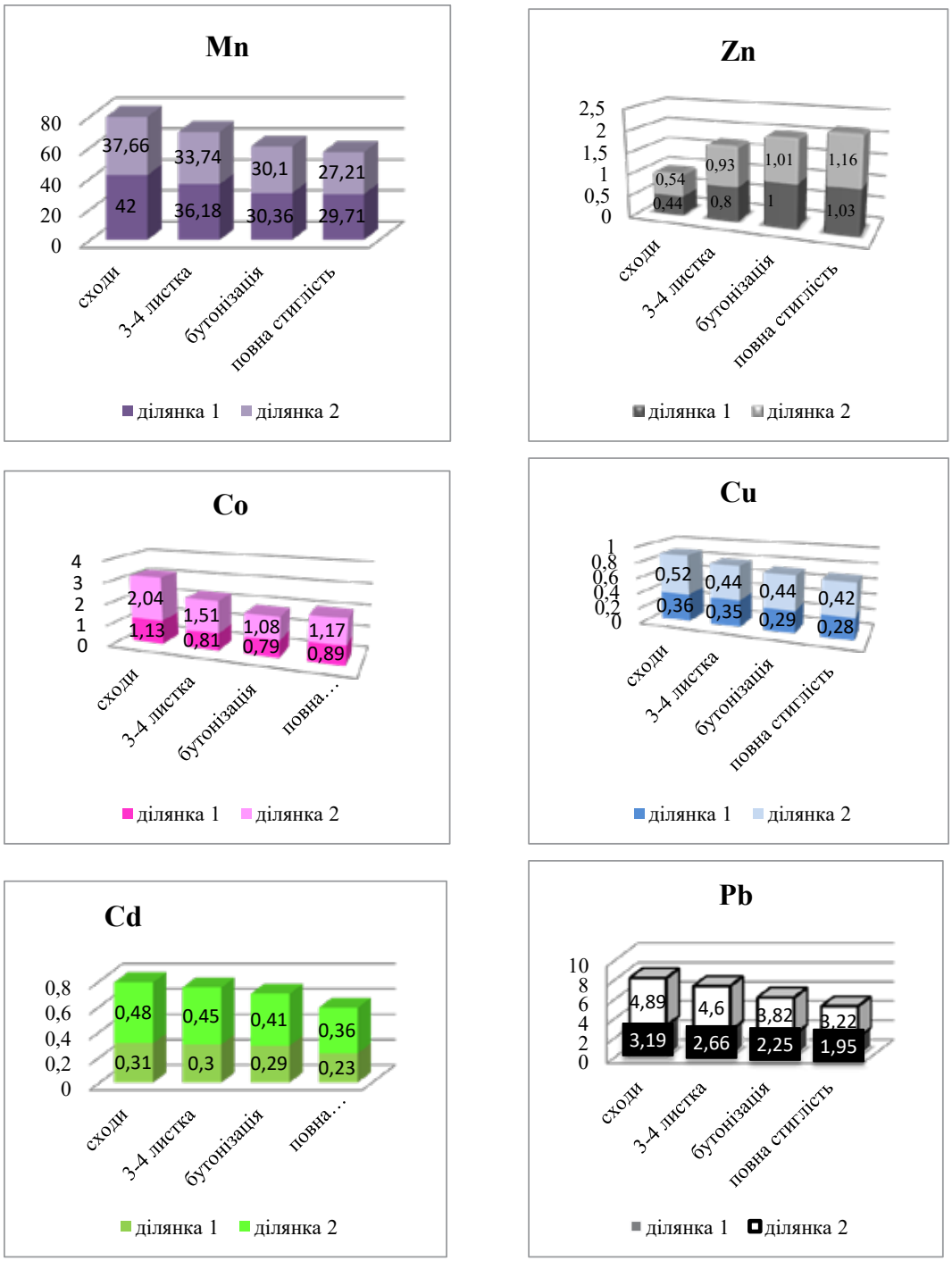

Рис. 2. Динаміка вмісту мікроелементів і ВМ в орному шарі чорнозему південного під посівом соняшника (мг/кг)

Якщо відволіктися від абсолютних значень вмісту важких металів в рослинах соняшника за ділянками спостереження, то очевидним стає їх практично однаковий характер розподілу за частинами рослин в основні фази вегетації, що дало нам підставу для усереднення результатів (рис. 3). Максимум вмісту марганцю спостерігається в листі соняшника в обидві фази – і бутонізації, і повної стиглості; Zn – при бутонізації – в кошику, повній стиглості – в насінні. Мідь в фазу бутонізації спочатку надходить до кошика, потім у насіння; за вмістом кобальту листя і кошик відрізняються під час бутонізації несуттєво, а під час повної стиглості максимальний вміст елементу зосереджується в листках. Концентрація кадмію в насінні перевищує його вміст у всіх інших надземних частинах соняшника. Вміст свинцю в насінні менший у порівнянні з листками у 10,4 рази, стеблом – 9,4 рази та кошиком – у 6,1 рази; у фазу бутонізації концентрація металу в листі та кошику перевищує вміст в стеблах у 1,5 та 1,8 рази відповідно.

Концентрація важких металів у рослинах соняшника (3–4 листа) і в його листках у фазу

Таблиця 3 – Динаміка вмісту важких металів у рослинах соняшника (мг на кг сухої речовини)

№ ділянки	Mn	Zn	Co	Cu	Cd	Pb
3–4 листка, надземна частина						
1	70,33	37,65	3,26	12,96	1,53	15,43
2	72,16	44,83*	3,65	13,80	1,55	20,68*
$НСР_{0,95}$	14,44	5,06	0,86	1,35	0,29	1,94
Бутонізація, листки						
1	35,92	24,24	2,63	11,2	0,77	7,04
2	28,73	22,76	2,78	13,25*	0,84	7,80
$НСР_{0,95}$	8,02	7,26	0,52	1,27	0,21	1,18
Стебло						
1	20,41	36,23	2,11	9,55	1,07	11,12
2	20,76	35,62	1,82	9,96	1,02	11,12
$НСР_{0,95}$	2,04	5,2	0,53	1,36	0,19	1,34
Кошик						
1	16,75	64,41	2,34	15,33	0,88	9,00
2	17,27	64,20	3,14*	17,33*	0,83	9,30
$НСР_{0,95}$	1,40	8,17	0,55	1,64	0,14	0,70
Повна стиглість, листки						
1	36,06	15,09	4,04	8,52	0,74	9,06
2	40,25*	15,09	3,86	9,37	0,71	10,69*
$НСР_{0,95}$	3,57	1,32	0,36	1,37	0,12	1,61
Стебло						
1	17,01	23,84	2,32	5,28	0,51	8,07
2	16,18	20,80	2,97	4,80	0,48	9,77
$НСР_{0,95}$	1,11	5,03	0,90	1,08	0,12	2,24
Кошик						
1	16,46	18,44	2,64	6,97	0,71	4,85
2	14,48*	16,19*	2,06*	5,30*	0,66	6,70*
$НСР_{0,95}$	1,09	1,47	0,50	0,92	0,05	0,43
Насіння 0,92						
1	13,48	28,15	1,28	10,17	0,12	0,90
2	11,25	30,11*	1,42	10,96	0,14	0,91
$НСР_{0,95}$	1,32	1,52	0,32	1,01	0,20	0,15

** різниця математично суттєва при рівні достовірності 95%*

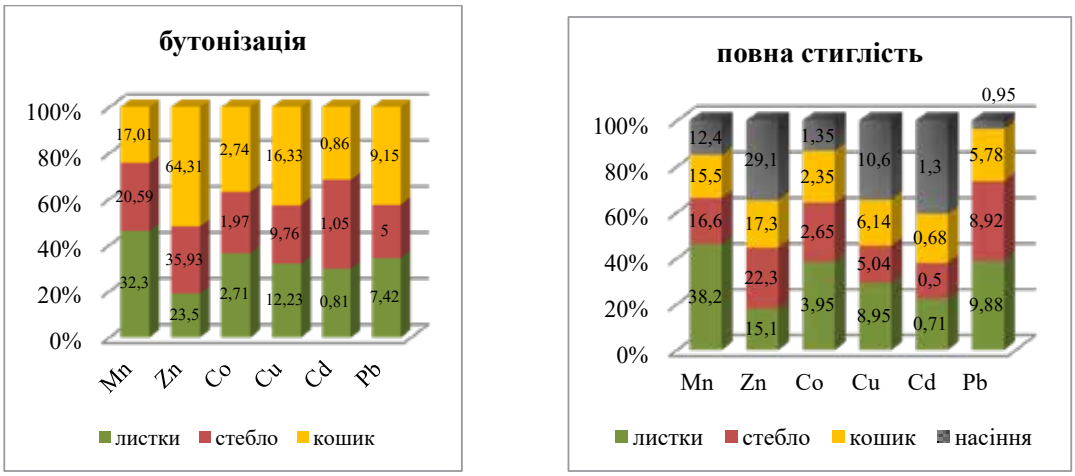

Рис. 3. Розподіл важких металів за структурними елементами соняшника на різних етапах вегетації

бутонізації та повної стиглості має високий і дуже високий ступінь зв'язку з вмістом їх рухомої форми (амонійно-ацетатна) в ґрунті, коефіцієнти кореляції дорівнюють 0,85; 0,75 та 0,94 відповідно. Вміст металів у ґрунті та їх співвідношення впливають на концентрацію ВМ в стеблах та корзинці соняш-

ника у фазу повної стиглості на 19,5% та 30,3% відповідно.

Перехід ВМ з листа до стебла та з листа до корзинки математично достовірний на 49% та 62,4%, а із стебла до корзинки та із стебла в насіння – на 96,0% і 74,0% в фазу повної стиглості рослин, а в фазу бутонізації – 65,6% (лист – стебло) і 88,4% (стебло – корзинка).

Розраховані коефіцієнти біологічного накопичення ВМ у рослинах за ділянками спостереження відрізнялися мало, тому в таблиці 4 наведені їх середні значення. Мінімальною акумуляцією в рослинах і окремих морфологічних елементах із фізіологічно активних елементів відзначалися кобальт та марганець. Токсичні метали (Cd та Pb) також мали низькі коефіцієнти біологічного накопичення, причому Pb акумулювався більше за Cd протягом всієї вегетації (Кбн свинцю коливався в інтервалі від 5,2 до 0,6; кадмію – від 4,3 до 0,5).

Найбільш рухомими виявилися цинк та мідь. На ранній стадії розвитку (3–4 листка) в коефіцієнт накопичення Zn перевищував показник Cu в 1,4 рази.

Таблиця 4 – Динаміка коефіцієнта біологічного накопичення важких металів у рослинах соняшника

Хімічний елемент	Фаза розвитку							
	3–4 листка	бутонізація			повна стиглість			
	надземна частина	листки	стебло	кошик	листки	стебло	кошик	насіння
Mn	2,0	1,1	0,7	0,6	1,4	0,6	0,6	0,5
Zn	47,7	23,5	35,8	64,0	13,9	20,5	16,0	26,6
Co	3,7	3,0	2,2	3,0	3,9	2,6	2,4	1,3
Cu	34,2	34,4	28,3	46,4	26,4	15,2	18,8	31,2
Cd	4,3	2,4	3,1	2,5	2,6	1,8	2,5	0,5
Pb	5,2	2,6	3,9	3,7	4,0	3,6	2,3	0,6

Акумулятивні ряди для Zn були такі: бутонізація – кошик > стебло > листки; повна стиглість – насіння > стебло > кошик > листки; для Cu під час бутонізації – кошик > листки > стебло; повна стиглість – насіння > листки > кошик > стебло. Якщо порівнювати за цим показником хімічні елементи між собою, то ряди коефіцієнтів біологічного поглинання виглядають так:

листки бутонізація та повна стиглість – Cu > Zn > Co > Pb > Cd > Mn;

стебло – бутонізація – Zn > Cu > Pb > Cd > Co > Mn;

повна стиглість – Zn > Cu > Pb > Co > Cd > Mn;

кошик – бутонізація – Zn > Cu > Pb > Co > Cd > Mn;

повна стиглість – Cu > Zn > Cd > Pb > Co > Mn;

насіння, повна стиглість – Cu > Zn > Co > Pb > Cd > Mn.

Відомий взаємовплив іонів металів на їх переміщення в ґрунтах та проникнення і циркуляцію в рослинах [24, с. 16], за якого спостерігаються явища як синергізму, так і антагонізму. В нашому разі показано, що взаємодія пари Cd – Pb має синергічний ефект дуже високого ступеня зв'язку: коефіцієнт кореляції для ґрунту дорівнює 0,98, рослин – 0,90; переміщення в рослинах пари Cu – Zn на 64 % взаємозумовлено(r =0,80). Водночас підвищення в ґрунтовому розчині концентрації рухомої форми цинку впродовж вегетації соняшника знижує рухомість кадмію на 38,4% (r = -0,62) та його транспорт в рослини – на 16,0%.

Висновки. Результати аналізу зразків з орного шару чорнозему південного перед посівом соняшнига показали наявність слабкого ступеня поліелементного забруднення на ділянці поля, що розташована впродовж стоку побутових і природних вод.

Частка токсичних елементів (Cd та Pb) в сукупному забрудненні ґрунту складала в середньому 32,1% та 37,7%.

Підтверджено явище синергізму для амонійно-ацетатної рухомої форми пар Cd – Pb (r = 0,98), Cu – Zn (r = 0,80) та антагонізму середнього ступеня зв'язку для пари Zn – Cd (r = -0,64) в чорноземі південному.

Коефіцієнти біологічного поглинання, що визначалися запасами розчинної форми важких металів в ґрунті і рівнем їх вмісту в рослинах соняшника, різнилися за фазами вегетації рослин і хімічними елементами. Найвищі їх значення були для цинку і міді та коливались в інтервалі від 13,9 до 64,0 (Zn) і від 15,2 до 46,4 (Cu).

Концентрація важких металів у надземній частині соняшника на ранній фазі розвитку, а також у листках у фази бутонізації і технічної стиглості тісно пов'язані з вмістом їх рухомої форми (амонійно-ацетатна) в ґрунті: коефіцієнти кореляції дорівнюють 0,85; 0,75 та 0,94 відповідно.

Перехід ВМ в окремі частини соняшника залежить від фази розвитку рослини, вмісту металів в ґрунті та їх співвідношення: математична достовірність в фазу бутонізації на рівні 65,6% (лист – стебло), 88,4% (стебло – корзинка); під час технічної стиглості – 49,0% та 96,0% відповідно, а для системи «стебло – насіння» – 74,0%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Каталог продукції компанії «БТУ-центр». 2019. 70 с.
2. Каталог добрив компанії «Лібра-Агро». 2020. 95 с.
3. Biostimulation by Tradecorp. Trade Corporation Internaional, S.A.U. 2020. URL: http://www.tradecorp.com.es (дата звернення: 27.07.2020).
4. Булдыкова И.А. Шеуджен А.Ч., Бондарева Т.Н. Микроэлементы на посевах подсолнечника. *Научный журнал Куб ГАУ*. 2015. № 107(03). С. 39–54.
5. Дьяченко Ю.А., Цикуниб А.Д. Влияние тяжелых металлов на активность липаз семян подсолнечника IN SITU. *Вестник ВГУ*. 2016. 31. С. 64–68.

6. Cobbet C.S. Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification. *Plant Physiol*. 2000. V3. P. 211–216.

7. Clemens S.S., Simm C. Chizosaccharomyces pombe as a model for metal homeostasis in plant cells: the phytochelatin-dependent pathway is the main cadmium detoxification mechanism. *New Phytol*. 2003. V. 159. P. 323–330.

8. Самохвалова В.Л., Фатеев А.И., Журавлева И.М. Аспекты изучения и оценка состояния загрязненной тяжелыми металлами системы «почва – растение». *Агроекологічний журнал*. 2008. № 1. С. 28–35.

9. Аксютина Ю.В. Гистохимическое изучение распределения кадмия, цинка и меди в тканях и вегетативних органах некоторых сельскохозяйственных растений. *Биология – наука XXI века*: тез. докл. 6-ой Пушкинской школы конф. молодых ученых. Тула : Изд-во Тул. гос. ун-та имени Л.Н. Толстого, 2002. Т. 2. С. 6–7.

10. Обущенко С.В., Гнеденко В.В. Мониторинг содержания микроэлементов и тяжелых металлов в почвах Самарской области. *Международный журнал прикладних и фундаментальних исследований.* 2014. № 7. С. 30–34.

11. Zhong X., Chen Z., Y. Li, et.al. Factors Influencing Heavy Metal Availability and Risk Assessment of Soils at Typical Metal Mines in Eastern China. *Journal of Hazardous Materials*. 2020. Doi:10.1016/j.hazmat.2020.113289.

12. Давидюк Г.В., Олійник К.М., Клименко І.І. Вплив технологій вирощування на вміст мікроелементів і важких металів у рослинах пшениці озимої. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 3. С. 62–70.

13. Корсун С.Г., Клименко І.І., Болоховська В.А., Болоховський В.В. Транслокація важких металів у системі «ґрунт – рослина» за вапнування та впливу біологічних препаратів. *Агроекологічний журнал*. 2019. № 1. С. 29–35.

14. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення-6керівний нормативний документ / за ред. І.П. Яцука, С.А. Балюка. Київ, 2019. 108 с.

15. Бурикіна С.І., Капустіна Г.А., Ямкова Н.А. Просторова варіабельність вмісту важких металів в чорноземі південному в межах одного поля. *Таврійський науковий вісник*. Херсон : Видавничий дім «Гельветика», 2020. Вип. 112. С. 25–31.

16. Некос А.Н., Гарбуз А.Г. Экологическая оценка обьектов окружающей среды и пищевых продуктов (методика проведения исследований) : учебно-методическое пособие. Харків : ХНУ имени В.Н. Каразина, 2012. 104 с.

17. Некос А.Н. Акумулятивні властивості рослин як фактор формування екологічної безпеки рослинної харчової продукції (на прикладі Харківського регіону). *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2012. № 1–2. С. 100–106.

18. Смирнова С.С., Ревич Б.А. Система геохимических показателей для оценки состояния окружающей среды при разработке территориальных комплексных схем охраны природы городов. *Биогеохимические методы при изучении окружающей среды*. Москва : ИМГРЭ, 1989. С. 117–123.

19. Корнелюк Н.М., Конякін С.М., Гродзинська Г.А. Вміст важких металів у листках Tilia Cordata Mill. в ґрунті урбоекосистем м. Черкас. *Агроекологічний журнал*. 2016. № 3. С. 24–32.

20. Щербаченко О.І. Важкі метали як токсичний фактор забруднення природного середовища, стійкість і адаптація рослин до їх впливу. *Наукові записки державного природознавчого музею*. Львів, 2014. Випуск 30. С. 157 -182.

21. Гуральчук Ж.З. Акумуляція кадмію та вміст елементів мінерального живлення в рослинах. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть*. Київ, 2001. Т. 1. С. 183–186.

22. He Z.L., Yang X.E., Stoffella P.J. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journ. of Trace Elements in Med. and Biol*. 2005. V. 19. P. 125–140.

23. Рахманкулова З.Ф., Федяев В.В., Абдуллова А.О. Формирование адаптационных механизмов у пшеницы и кукурузы к повышенному содержанию цинка. *Вестник Башкирского университета*. 2008. Т. 13. № 1. С. 43–46.

24. Mittler R. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends Plant Sci*. 2006. V.11. N1. P. 15–19.

REFERENCES:

1. Kataloh produktsiyi kompaniyi “BTU-tsentr” [Catalog of products of the company “BTU-center”] (2019). 70 p. [In Ukrainian].

2. Kataloh dobryv kompaniyi “Libra-Ahro”. [Catalog of fertilizers of the Libra-Agro company]. (2020). 95 p. [In Ukrainian].

3. Biostimulation by Tradecorp (2020). Trade Corporation Internaional, S.A.U. URL: http://www.tradecorp.com.es.

4. Buldykova I.A., Sheudzhen A.Ch., Bondareva T.N. (2015). Mikroelementy na posevakh podsolnechnika [Trace elements in sunflower crops]. *Nauchyy zhurnal Kub. GAU – Scientific journal Cube GAU*. 107 (03). P. 39–54. [In Russian].

5. Dyachenko Yu.A., Tsikunib A.D. (2016) Vliyniye tya elykh metallov na aktivnost lipaz semyan podsolnechnika IN SITU [The influence of heavy metals on the activity of lipases in sunflower seeds IN SITU]. *Vestnik BGU. – Vestnik VSU*. 31. P. 64–68. [In Russian].

6. Cobbet C.S. (2000) Phytochelatins and their roles in heavy metal detoxification. *Plant Physiol*. V 3. P. 211–216.

7. Clemens S., Simm C. (2003) Schizosaccharomyces pombe as a model for metal homeostasis in plant cells: the phytochelatin-dependent pathway is the main cadmium detoxification mechanism. *New Phytol.* V. 159. P. 323–330.

8. Samokhvalova V.L., Fateev A.I., Zhuravleva I.M. (2008) Aspekty izucheniya i otsenka sostoyaniya zagryaznennoy tyazhelymi metallami sistemy pochva-rasteniye [Aspects of studying and assessing the state of the soil-plant system contaminated with heavy metals]. *Ahroyekolohichniy zhurnal – Agroecological journal*. No. 1. P. 28–35 [In Russian].

9. Aksyutina Yu.V. (2002) Gistokhimicheskoye izucheniye raspredeleniya kadmiya, tsinka i medi v tkanyakh i vegetativnikh organakh nekotorykh selskokhozyaystvennykh rasteniy [Histochemical study of the distribution of cadmium, zinc and copper in tissues and vegetative organs of some agricultural plants]. *Biologiya – nauka*

XXI veka: tezy dokl. 6-oy Pushkinskoy shkoly. konf. molodykh uchenykh. Tula: izd-voTul.gos.un-ta im. L.N. Tolstogo – Biology is a science of the XXI century: Abstracts. Report of the 6th Pushkin School/ conf. Young scientists. Tula: Publishing house Tul. state university named after L.N. Tolstoy. T. 2. P. 6–7 [In Russian].

10. Obushchenko S.V., Gnedenko V.V. (2014) Monitoring soderdzhaniya mikroelementov i tyazhelykh metallov v pochvakh Samarskoy oblasty [Monitoring of the content of trace elements and heavy metals in the soils of the Samara region]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnikh I fundamentalnikh issledovaniy – International Journal of Applied and Basic Research*. No. 7. P. 30–34. [In Russian].

11. Zhong X., Chen Z., Li Y., et. al. (2020) Factors Influencing Heavy Metal Availability and Risk Assessment of Soils at Typical Metal Mines in Eastern China. *Journal of Hazardous Materials*. Doi:10.1016/j.hazmat.2020.113289.

12. Davidyuk G.V., Oliynyk K.M., Klimenko I.I. (2019) Vplyv tekhnolohiy vyroshchuvannya na vmist mikroolementiv i vazhkykh metaliv u roslynakh pshenytsi ozymoyi [Influence of cultivation technologies on the content of microelements and heavy metals in winter wheat plants]. *Ahroekolohichnyy zhurnal – Agroecological journal*. № 3. P. 62–70. [In Ukrainian].

13. Korsun S.G., Klimenko I.I., Bolokhovskaya V.A., Bolokhovsky V.V. (2019) Translokatsiya vazhkykh metaliv u systemi “grunt – roskyna” za vapnuvannya ta vplyvu biolohichnykh preparative [Translocation of heavy metals in the system “soil – plant” under liming and exposure to biological products] *Ahroekolohichnyy zhurnal – Agroecological Journal*. № 1. P. 29–35. [In Ukrainian].

14. Metodyka provedennya ahrokhimichnoyi pasporttyzatsiyi zemel silskohospodarskoho pryznachennya: kerivnyy normativnyy document/ za red. Yatsuka I.P., Balyuka S.A. (2019) [Methods of agrochemical certification of agricultural lands : leading normative document / Ed. Yatsuka I.P, Balyuka S.A]. Kyyiv. 108 p. [In Ukrainian].

15. Burykina S.I., Kapustina G.A., Yamkova G.A. (2020) Prostorova variabelnist vmistu vazhkykh metaliv y chornozemi pivdennomu y mezhakf odnoho polya – Tavriyskyy naukovyy visnyk. Kherson : Vydavnychyy dim “Helvetyka” [Spatial variability of heavy metals content in the southern chernozem within one field]. Taurian Scientific Bulletin. Kherson : Helvetica Publishing House. Issue 112. P. 25–31 [In Ukrainian].

16. Nekos A.N., Garbuz A.G. (2012) Ekolohycheskaya otsenka obektov okruzhayushchey sredy y pyshchevykh productov (metodyka provedenyya yssledovanyy): uchebno-metodicheskoe posobbye. Kharkiv : KHNU ymeny V.N. Karazina [Ecological assessment of environmental objects and food products (research methods): a textbook]. Kharkiv : KhNU imeni VN Karazina. 104 p. [In Russian].

17. Nekos A.N. (2012) Akumulyatyvni vlastyvosti Roslyn yak factor formuvannya ekolohichnoyi bezpeky roslynnoyi kharchovoyi produktsiyi (na prykladi Kharkivskoho rehionu) [Accumulative properties of plants as a factor in the formation of environmental safety of plant foods (on the example of the Kharkiv region)] *Lyudyna ta dovkillya. Problemy neoekolohiyi*. Kharkiv: KHNU ymeny V.N. Karazina. *Man and the environment. Problems of neoecology*. Kharkiv : V.N. Karazin KhNU. № 1–2. P. 100–106. [In Ukrainian].

18. Smirnova S.S., Revich B.A. (1989) Sistema geokhimicheskikh pokazateley dlya otsenki sostoyaniya okruzhaushchey sredy pri razrabotke territorialnykh kompleksnykh skhem okhrany prirody gorodov. *Biogeokhimicheskiye metody pri izuchenii okruzhaushchey sredy* – [The system of geochemical indicators for assessing the state of the environment in the development of territorial integrated schemes for the protection of urban nature]. *Biogeochemical methods in the study of the environment*, Moscow : IMGRE. P. 117–123. [In Russian].

19. Kornelyuk N.M., Konyakin S.M., Grodzinskaya G.A. (2016) Vmist vazhkykh metaliv u lystkakh Tilia Cordata Mill y grunti urboekosystem m, Cherkas [The content of heavy metals in the leaves of Tilia Cordata Mill. in the soil of urban ecosystems of Cherkasy]. *Ahroekolohichnyy zhurnal –Agroecological journal.* № 3. P. 24–32.

20. Shcherbachenko O.I. (2014) Vazhki metaly yak toksychnyy factor zabrudnennya pryrodnoho seredovyshcha i adaptatsiya roslyn do yikh vplyvu [Heavy metals as a toxic factor in environmental pollution, resistance and adaptation of plants to their effects] *Naukovi zapysky derzhavnoho pryrodoznavchoho muzeyu*. – *Scientific notes of the State Museum of Natural History*. Lviv. Issue 30. P. 157–182. [In Ukrainian].

21. Guralchuk Zh.Z. (2001) Akumulyatsiya kadmiyu ta vmist elementiv mineralnoho zhyvlennya v roslynakh [Accumulation of cadmium and the content of mineral nutrients in plants]. *Fiziolohiya roslyn v Ukrayini na mezhi tysyacholit – Plant physiology in Ukraine at the turn of the millennium*. Kyiv. T. 1. P. 183–186. [In Ukrainian].

22. He Z.L., Yang X.E., Stoffella P.J. (2005) Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journ. of Trace Elements in Med. and Biol.* V. 19, P. 125–140.

23. Rakhmankulova Z.F., Fedyaev V.V., Abdullova O.A. (2008) Formirovaniye adaptatsionnykh mekhanizmov u pshenitsy l kukuruzy k povyshennomu soderzhaniyu tsinka [Formation of adaptive mechanisms in wheat and corn to the increased zinc content].*Vestnik Bashkirskoho universiteta – Bulletin of the Bashkir University.* Vol. 13. No. 1. P. 43–46 [In Russian].

24. Mittler R. (2006) Abiotic stress, the field environment and stress combination – *Trends Plant Sci.* V. 11. N 1. P. 15–19.