

УДК 631.95:550.424

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ МІГРАЦІЇ ЦИНКУ В АГРОЛАНДШАФТАХ УКРАЇНИ

Т.М. Єгорова

Інститут агроекології і природокористування НААН

Охарактеризовано екологічне значення цинку для живих організмів, у т.ч. для росту і розвитку сільськогосподарських культур, тварин та людини. Розглянуто неінфекційні фітопатології сільгоспкультур та мікроелементози тварин за дисбалансу цього мікроелемента. Узагальнено роль еколого-геохімічних процесів для оцінювання агроландшафтів. Запропоновано узгоджену систему параметрів і критеріїв перерозподілу мікроелементів між компонентами довкілля. На основі ландшафтно-геохімічного аналізу районування визначено, що на території Лівобережного Лісостепу і Степу України існує надлишок вмісту цинку у біогеохімічних харчових ланцюгах. Методом статистичного оцінювання отримано величини розподілу цинку у ґрунтах, алювіальних відкладах і поверхневих водах геохімічних ландшафтів цієї території загалом та агроландшафтів різного функціонального використання — сіножатей і пасовищ, орних земель, садів і виноградників, сільських селітебних територій. Розраховано екологічні, геохімічні і біогеохімічні оціночні коефіцієнти міграції цинку у ґрунтоутворювальних породах, ґрунтах, поверхневих водах та сільгоспкультурах. Визначено особливості процесів фізико-хімічної і біогенної міграції цього мікроелемента у агроландшафтах природного, техногенно-природного і техногенного рядів.

Ключові слова: цинк, агроландшафт, ґрунт, міграція, біогенне поглинання.

Есенційне значення мікроелементів для рослин відображено у роботі Європейської технологічної платформи «Рослини для майбутнього» та у Сьомій рамковій програмі ЄС (напрями «Здоров'я» і «Продукти харчування, сільське господарство та біотехнології»), в яких наголошується, що збагачення зернових продуктів цинком може врятувати життя близько 50 000 дітей щорічно [1]. Особливе значення у екологічних, геохімічних, а також агрохімічних процесах має цинк (Zn) унаслідок поєднання його есенційних та токсичних властивостей. Есенційне значення Zn для рослин обумовлено його участю у окиснювально-відновлювальних процесах і вуглецевому обміні, сприятні процесах утворення хлорофілу і вітамінів, забезпеченні плодоношення і росту насіння; під його впливом активізується синтез сахарози,

крохмалю, білків і вуглеводів, зростає кількість води в рослинах [2].

Біофільність Zn визначає те, що механізми його засвоєння рослинами контролюються процесами їх метаболізму і значно меншою мірою не метаболічними процесами. Надлишкове надходження Zn у рослинні організми спричиняє дрібнолисту або розеткову хворобу у злаків та овочевих і плодових культур. Такі ураження зерняткових і кісточкових культур широко розповсюджені у Криму та південних областях України. Ознакою захворювання є дрібні пожовклі листя, що здовжуються, набувають жовтуватого-зеленого відтінку та вражаються плямами змертвілої тканини [3]. У тварин і людини Zn входить до складу 70 ферментів. Мікроелемент бере участь у засвоєнні силікатів, діленні клітин, метаболізмі нуклеїнових кислот, процесах кровотворення і вуглеводнево-білковому обміні [2]. У разі дисбалансу вмісту Zn виникають

численні зоопатології і ускладнення розвитку, в т.ч. затримка росту, порушення функції мозку, послаблюється фізичний і психічний розвиток, знижується імунітет; у населення і свійських тварин розвиваються анемії, дегенеративні хвороби і прискорюється процес старіння. Біогеохімічними дослідженнями встановлено значущу кореляцію між вмістом Zn у ґрунтах та органах ссавців [2].

Токсична дія Zn проявляється внаслідок техногенного забруднення довкілля, найпоширенішими джерелами якого є атмосферні викиди кам'яновугільних теплоелектростанцій, міські стічні води та шлаки і шлами ливарних підприємств [4]. Забруднення ґрунтів Zn знижує врожайність зернових, буряків, бобових, картоплі на 20–47%. Біохімічними проявами цинкової інтоксикації у тварин і людини є зниження загального рівня кальцію у крові і кістках, порушення засвоєння фосфору; цинковими гіпермікроелементами є остеопороз, схильність до онкологічних захворювань, «ливарна лихоманка», підвищення цукру у крові [2].

Важливою умовою збалансованого розвитку сільгоспудіть є вивчення та оцінювання процесів перерозподілу мікроелементів у біогеохімічних харчових ланцюгах із урахуванням когерентності і природно-техногенної диференціації стану агроландшафтів. Саме еколого-геохімічні процеси є вагомим чинником перерозподілу мікроелементів у біосферних і агроландшафтних біогеохімічних циклах. Функціонування таких циклів зумовлено процесами механічної, фізико-хімічної і біогенної міграції, що висвітлюють певні особливості екологічного стану агро- і зооценозів.

Метою проведених досліджень є оцінювання еколого-геохімічних процесів міграції Zn у агроландшафтах Правобережного Лісостепу і Степу України.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Сучасне екологічне нормування вмісту Zn у компонентах агроландшафтів обмежено пороговими біогеохімічними концентраціями як індикаторами процесів

нормального гомеостазу рослин і гранично допустимими концентраціями (ГДК) як показниками екологічної небезпеки ймовірного техногенного забруднення. Порогові біогеохімічні концентрації Zn варіюють у таких межах: для ґрунту — 30–70 мг/кг, для валової і рухомої форм — 0,3–1,5 мг/кг, для листя рослин — 27–150 мг/кг сухої речовини, для кормових рослин пасовищ — 20–30 мг/кг сухої речовини (для нормального забезпечення худоби), для кукурудзи та сорго — 20–105, для квасолі — 70–90, для томатів — 13–24, для плодів кісточкових і зерняткових культур — 15–55 мг/кг сухої речовини [2, 5, 6]. Величини ГДК Zn становлять: 220 мг/кг для валових форм у суглинкових ґрунтах, 23 мг/кг для рухомих форм ґрунту та 1 мг/л для вод питного і побічного призначення. Фітотоксичність Zn становить 200 мг/кг для сухої речовини листя [2, 7]. Такий підхід має статичний і просторово недиференційований характер, що не дає змогу виявити причинно-наслідкові зв'язки розподілу хімічних елементів у ґрунтах, агроценозах, гірських породах.

Для виявлення причинно-наслідкових зв'язків розподілу Zn у агроландшафтах застосовано еколого-геохімічний аналіз територій, що базується на принципах геохімії ландшафтів і враховує когерентність всіх компонентів агроландшафтів та диференціацію поширення Zn залежно від природно-антропогенних умов міграції. Важливими чинниками оцінювання розподілу Zn у довкіллі є глобальні кларки ґрунтів [2, 8]. Проведене оцінювання розподілу мікроелемента у агроландшафтах враховує також регіональне оцінювання вмісту Zn на території Лісостепу і Степу України: у ґрунтах — 54 і 62 мг/кг, у ґрунтоутворювальних породах — 46–52 і 37–76 мг/кг відповідно [9, 10].

Кількісними показниками складових еколого-геохімічних процесів є розраховані нами для компонентів агроландшафтів коефіцієнти екологічного оцінювання, фізико-хімічні і біогенні міграції. Коефіцієнти екологічного оцінювання Zn (Ke) розраховуються за співвідношенням вмісту

Zn у ґрунтах і поверхневих водах агроландшафту до його ГДК відповідних компонентів докільця. Коефіцієнти фізико-хімічної міграції характеризують особливості міграції Zn у ґрунтах агроландшафтів (ККг — кларки концентрації відносно глобального кларка за Г. Боуеном, ККг — коефіцієнти концентрації відносно регіонального вмісту для Лісостепу і Степу), гірських породах (ККа і ККл — кларки концентрації для алювіальних відкладів і головних ґрунтоутворювальних порід Лісостепу і Степу відносно кларка осадкових порід за О.П. Виноградовим) і поверхневих водах (ККв — кларки концентрації відносно кларка континентальних вод за О.Є. Беляковою, КВМ — коефіцієнти водної міграції за співвідношенням вмісту у системі «води — гірські породи»). Коефіцієнти біогенної міграції характеризують особливості міграції Zn у рослинності агроландшафтів (ККб — кларки концентрації відносно середнього вмісту для золи і сухої речовини континентальних рослин за Д.П. Малюгою і В.В. Івановим, А — коефіцієнти біологічного поглинання за співвідношенням вмісту у системі «ґрунт — рослина»).

Методологія поетапного еколого-геохімічного аналізу території істотно підвищує інформативність екологічного оцінювання агроландшафтів завдяки застосуванню узгодженої системи кількісних критеріїв перерозподілу хімічних елементів: за кларками концентрації — фізико-хімічна концентрація ($КК > 1,5$) і розсіювання ($КК < 1,5$); за коефіцієнтом водної міграції — інтенсивність водної рухомості (оцінювання щодо окислювальних умов $КВМ_{Zn} = n - 10n$); за коефіцієнтом біологічного поглинання — інтенсивність біогенної акумуляції (оцінювання щодо континентальних рослин $A_{Zn} = 10,8 - 11,8$); за екологічними коефіцієнтами концентрації — рівень техногенного забруднення ($Ке > 1,0$) [8].

За результатами регіонального ландшафтно-геохімічного аналізу території України, що включав біогеохімічне оцінювання вмісту Zn, було виділено природні і техногенні ландшафти із надлишком цього мікроелемента на рівні понад 70 мг/кг (для

валової форми), який може супроводжуватися нестачею Mo, Co або надлишком Cu (Єгорова, 2001–2003). Такі геохімічні ландшафти займають більшу частину Правобережного Лісостепу, Північного і Південного Степу, а також незначну частину Західного Полісся і Українських Карпат [11]. Так, поширення мікроелемента співпадає з результатами біогеохімічних досліджень В.В. Ковальського, проведених у другій половині ХХ ст., що засвідчили про надлишок Zn у 73% ґрунтів Степу чорноземного та сухого, а також у 54% ґрунтів Лісостепу чорноземного [2].

Дослідження екологічних, геохімічних і біогеохімічних процесів міграції Zn проведено на основі авторських матеріалів еколого-геохімічного районування території України з використанням узагальнень щодо поширення цього мікроелемента у ґрунтах, донних відкладах, поверхневих водах і золі різнотрав'я (Єгорова, 1990–2005 рр.) [11, 12], а також літературних даних про його вміст у рухомих формах ґрунтів (ацетат-амонійного розчинну, $pH = 4,8$) [5, 13] та у сухій речовині сільськогосподарських культур [2, 9, 14–16].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Біогеохімічний надлишок Zn у Правобережному Лісостепі, Північному і Південному Степу України узагальнюють три еколого-геохімічні провінції з надлишком Zn із оптимальним вмістом Cu, Mn, Co, Mo або у комплексі із нестачею Mo і Co. Ці провінції поширені на території подільських, стародубських, верхньодонських, південнобузьких, самарських, трубизьких, айдарських, донецьких, приазовських, хоперських регіональних геохімічних ландшафтів. Надлишок Zn у ґрунтах ландшафтів на рівні понад 70,0 мг/кг (для валової форми) становить на території провінцій 42–76%; уміст рухомих форм Zn у ґрунтах агроландшафтів варіює в інтервалі 0,01–6,4 мг/кг. Надлишок Zn зумовлено комплексною взаємодією природних і техногенних процесів формування ландшафтів, про що свідчать високі коефіцієнти варіації та асиметричність розподілу його кількостей

у ґрунтах, алювіальних відкладах і поверхневих водах (табл. 1).

Загальна площа досліджених агроландшафтів на території провінцій становить 72,3%. Розподіл Zn у ґрунтах, алювіальних відкладах і поверхневих водах досліджених агроландшафтів різного функціонального використання відповідає коливанням для території провінцій загалом (табл. 2).

Аналіз співвідношень природних і техногенних процесів міграції базується на функціональному використанні земель сільськогосподарського призначення. Досліджені агроландшафти згруповано за трьома рядами міграції: природним (сіножаті і пасовища), техногенно-природним (орні землі) і техногенним (сади і виноградники, селітебні території). Коефіцієнти фізико-хімічної і біогенної міграції Zn у компонентах агроландшафтів трьох рядів міграції узагальнено у таблицях 3 та 4.

Оцінювання літогенної міграції Zn у ґрунтоутворювальних породах Правобережного Лісостепу і Степу України свідчить про переважання в останніх процесів міграції в умовах динамічного зрівноваження як у агроландшафтах автономних, сформованих на еолово-делювіальних лесах і лесоподібних суглинках νd I-III (ККве = 0,5–1,0), так і більшості аквальних ландшафтів, сформованих на алювіальних піщаних відкладах aII-IV (ККа = 0,5–1,3). Незначне розсіювання Zn властиво аквальним агроландшафтам Південного Степу і, частково, Лісостепу (ККа = 0,3–0,5). Визначальним чинником перерозподілу мікроелемента в осадових відкладах є як мінералогічний, так і гранулометричний склад гірських порід: за дослідженнями автора, на території Степу, у важких суглинках (νd I-II), уміст Zn вищий у 1,2–1,5 раза, ніж у середніх і лесовидних суглинках.

Таблиця 1

Статистичні параметри компонентів ландшафтів Правобережного Лісостепу і Степу України

Статистичні параметри	Розподіл Zn у компонентах ландшафтів								
	Ґрунти, мг/кг		Алювіальні відклади, мг/кг	Поверхневі води (малі річки), мг/л	Рослини, мг/кг				
	валова форма	рухома форма [5]			різнотрав'я		пшениця озима (зерно)	ячмінь ярій (зерно)	жито озиме (зерно)
					зола*	суха речовина [14]**			
X	93÷107	0,1÷1,3	49÷266	0,0016÷0,0026	95÷210	3,4	н.д.	н.д.	н.д.
t	6÷46	н.д.	2÷16	0,001÷0,004	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Med	63÷80	н.д.	30÷200	0,006÷0,013	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Mod	63÷80	н.д.	15÷300	0,004÷0,024	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
min	8÷15	0,01	8÷25	0,001	н.д.	н.д.	21	16	17
max	1000÷2000	6,4	2000÷3000	0,36÷2,74	н.д.	н.д.	46	32	27
S	87÷186	н.д.****	65÷261	0,03÷0,09	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
V, %	84÷175	н.д.	98÷401	142÷342	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
A	7÷9	н.д.	6÷15	5÷19	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
n, проб	1980	н.д.	3169	2719	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.

Примітки: * Правобережний Лісостеп і Південний Степ (подільські і приазовські ландшафти); **Південний Степ; ***Північний Степ (айдарські і донецькі ландшафти); **** – немає даних.

**Статистичні параметри компонентів агроландшафтів
Правобережного Лісостепу і Степу України**

Агро- грунтова зона	Функціональний підтип агроландшафтів	Статистичні параметри	Розподіл Zn у компонентах агроландшафтів		
			Ґрунти (валова форма), мг/кг	Алювіальні відклади, мг/кг	Поверхневі води, мг/л
Правобережний Лісостеп	орні землі	<i>Mod</i>	63÷80	15÷100	0,005÷0,022
		<i>X</i>	72÷106	30÷56	0,006÷0,02
		<i>t</i>	4÷28	5÷33	0,002÷0,008
		<i>V, %</i>	14÷41	22÷78	44÷149
		<i>n, проб</i>	344 (11)*	231 (5)	244 (4)
	сіножаті і пасовища	<i>Mod</i>	н.д.	50÷80	0,005÷0,009
		<i>X</i>	н.д.	47÷65	0,008÷0,026
		<i>t</i>	н.д.	5÷14	0,002÷0,006
		<i>V, %</i>	н.д.	14÷56	55÷123
		<i>n, проб</i>	6	111 (2)	219 (4)
	сади і виноградники	<i>Mod</i>	80	80	0,005÷0,013
		<i>X</i>	76	26÷49	0,006÷0,013
		<i>t</i>	16	16	0,002÷0,009
		<i>V, %</i>	39	39	47÷142
		<i>n, проб</i>	13 (1)	34 (1)	144 (2)
	селища і села	<i>Mod</i>	80	15÷30	0,005÷0,013
		<i>X</i>	82÷93	35÷44	0,009÷0,017
		<i>t</i>	7÷31	2÷6	0,001÷0,004
		<i>V, %</i>	43÷77	46÷69	39÷94
		<i>n, проб</i>	233 (3)	639 (3)	424 (3)
Північний Степ	орні землі	<i>Mod</i>	80	15÷80	0,01
		<i>X</i>	73÷99	37÷50	0,028
		<i>t</i>	3÷20	6÷17	0,024
		<i>V, %</i>	17÷29	75÷51	151
		<i>n, проб</i>	354 (8)	198 (3)	12 (1)
	сіножаті і пасовища	<i>Mod</i>	20÷80	40	0,009÷0,016
		<i>X</i>	87÷130	49÷66	0,01÷0,08
		<i>t</i>	14÷31	2	0,001÷0,11
		<i>V, %</i>	29÷84	40	44÷205
		<i>n, проб</i>	111 (3)	363 (1)	550 (4)
	сади і виноградники	<i>Mod</i>	80,0	40,0	н.д.
		<i>X</i>	91,5	45,3	0,033
		<i>t</i>	19,8	5,0	н.д.
		<i>V, %</i>	47,7	61,8	н.д.
		<i>n, проб</i>	22 (1)	120 (1)	16
	селища і села	<i>Mod</i>	80	15	0,012
		<i>X</i>	76	49	0,019
		<i>t</i>	10	4	0,002
		<i>V, %</i>	33	51	36
		<i>n, проб</i>	32 (1)	167 (1)	296 (1)

Закінчення таблиці 2

Агро- грунтова зона	Функціональний підтип аглоландшафтів	Статистичні параметри	Розподіл Zn у компонентах агроландшафтів		
			Ґрунти (валова форма), мг/кг	Алювіальні відклади, мг/кг	Поверхневі води, мг/л
Південний Степ	орні землі	<i>Mod</i>	80	40	0,02
		<i>X</i>	73÷102	26÷81	0,02÷0,07
		<i>t</i>	7÷31	4	0,004
		<i>V, %</i>	32÷63	49	84
		<i>n, проб</i>	122 (4)	97 (1)	115 (1)
	сіножаті і пасовища	<i>Mod</i>	н.д.	30	н.д.
		<i>X</i>	н.д.	22÷42	н.д.
		<i>t</i>	н.д.	9	н.д.
		<i>V, %</i>	н.д.	47	н.д.
		<i>n, проб</i>	н.д.	66 (1)	н.д.
	сади і виноградники	<i>Mod</i>	80	8÷30	0,011÷0,024
		<i>X</i>	73÷96	31÷39	0,019÷0,03
		<i>t</i>	3÷9	6÷9	0,005÷0,008
		<i>V, %</i>	13÷29	52÷54	55÷57
		<i>n, проб</i>	195 (4)	86 (2)	85 (2)

Примітка: * у дужках – число статистично достовірних агроландшафтів.

Таблиця 3

**Коефіцієнти фізико-хімічної міграції Zn в агроландшафтах
Правобережного Лісостепу і Степу України**

Агрогрунтова зона	Ряд геохімічної міграції	Екологічні коефіцієнти		Коефіцієнти грунтової міграції		Коефіцієнти літогенної міграції		Коефіцієнти водної міграції	
		Ке ґрунту (валова форма)	Ке поверхневих вод	ККг	Ккг	ККа	ККл	ККв	КВМ
Правобережний Лісостеп	природний	н.д.	0,01÷0,03	н.д.	н.д.	0,6÷0,8	0,6÷0,7	0,8÷2,6	н.д.
	техногенно- природний	<u>0,3÷0,5*</u> 0,04÷0,1	0,01÷0,02	0,8÷1,2	1,3 ÷2,0	0,9÷1,3	0,6÷0,7	0,6÷2,0	0,2
	техногенний	<u>0,3÷0,4</u> н.д.	0,01÷0,02	0,8÷1,0	1,4÷1,7	0,3÷0,6	0,6 ÷0,7	0,6÷1,7	0,2
Північний Степ	природний	<u>0,4÷0,6</u> н.д.	0,01÷0,08	1,0÷1,4	1,4÷2,1	0,6÷0,8	0,5÷1,0	1,0÷8,0	н.д.
	техногенно- природний	<u>0,3÷0,5</u> 0,001÷0,2	0,03	0,8÷1,1	1,2÷1,6	0,5÷0,6	0,5÷1,0	2,8	0,2
	техногенний	<u>0,3÷0,4</u> н.д.	0,02÷0,03	0,8÷1,0	1,2÷1,5	0,6	0,5÷1,0	1,9÷3,3	0,3

Агрогрунтова зона	Ряд геохімічної міграції	Екологічні коефіцієнти		Коефіцієнти ґрунтової міграції		Коефіцієнти літогенної міграції		Коефіцієнти водної міграції	
		Ке ґрунту (валова форма)	Ке поверхневих вод	ККг	Ккг	ККа	ККл	ККв	КВМ
Південний Степ	природний	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,3÷0,5	0,5÷1,0	н.д.	н.д.
	техногенно-природний	$0,3 \pm 0,5$ 0,003÷0,3	0,02÷0,07	0,8÷1,1	1,2÷1,6	0,3÷1,0	0,5÷1,0	2,0÷7,0	0,2
	техногенний	$0,3 \pm 0,4$ н.д.	0,02÷0,03	0,8÷1,1	1,2÷1,5	0,4÷0,5	0,5÷1,0	1,9÷3,0	1,0
Граничні величини норми і зрівноваженої міграції** [2, 7–9]		$\frac{220}{23}$ мг/кг**	1,0 мг/л	$\frac{0,5-1,5}{90}$ мг/кг	$\frac{1,0}{54; 62}$ мг/кг***	$\frac{0,5 \div 1,5}{80}$ мг/кг	$\frac{0,5 \div 1,5}{0,01}$ мг/л	$\frac{1 \div 30}{0}$	

Примітки: * величини коефіцієнтів (у чисельнику) і межі норми для розрахунків (у знаменнику); ** ГДК валової і рухомої форм Zn у ґрунті; *** середній вміст у ґрунтах Лісостепу і Степу України.

Таблиця 4

Коефіцієнти біогенної міграції Zn в агроландшафтах Правобережного Лісостепу і Степу України

Агрогрунтова зона	Ряд геохімічної міграції	Кларки концентрації (ККб)					Коефіцієнти біологічного поглинання (А)
		різнотрав'я		пшениця озима, зерно	ячмінь ярий, зерно	жито озиме, зерно	
		зола	суха речовина	суха речовина			зола
Правобережний Лісостеп	природний	0,1	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	1,6
Північний Степ	техногенно-природний	н.д.	н.д.	1,1÷2,3	0,8÷1,6	0,9÷1,4	н.д.
Південний Степ	природний	0,2	0,2	н.д.	н.д.	н.д.	4,0
Граничні величини норми і зрівноваженої міграції* [2, 8]		$\frac{0,5 \div 1,5^*}{900}$ мг/кг золи		$\frac{0,5 \div 1,5}{20}$ мг/кг сухої речовини			$\frac{11 \div 12}{-}$

Примітка: * величини коефіцієнтів (у чисельнику) і межі норми для розрахунків (у знаменнику).

Міграцію Zn у ґрунтовому покриві характеризує усадкованість процесів зрівноваженої міграції, що властиво ґрунтоутворювальним породам (ККг = 0,8–1,4),

та відносне ґрунтове накопичення як для території Лісостепу (Ккг = 1,3–2,0), так і Степу (Ккг = 1,2–2,1). Інтенсивність ґрунтової концентрації Zn у агроландшафтах

різних рядів міграції проявляється відповідно до інтенсивності господарського освоєння земель сільськогосподарського призначення. Грунтам ландшафтів природного ряду властива найвища інтенсивність концентрації Zn ($ККг = 1,0-1,4$; $Ккг = 1,4-2,1$), а техногенного – найнижча ($ККг = 0,8-1,0$; $Ккг = 1,2-1,7$). Ці процеси обумовлюють екологічну безпечність вмісту Zn у орних ґрунтах порівняно з ГДК: оціночні екологічні коефіцієнти для ґрунтів орних земель нижчі від ГДК майже втричі за валовою формою ($Ке = 0,3-0,5$) та у десятки разів за рухомою формою ($Ке = 0,001-0,3$). Отже, техногенна міграція Zn проявляється його підвищеним розсіюванням і, відповідно, виносом з територій орних земель і селітебних територій. Тому навіть за інтенсивного техногенного надходження на поверхню агроландшафтів виявлення зон забруднення цим мікроелементом за чинними санітарними нормами є проблематичним.

Середньостатистичне оцінювання інтенсивності водної міграції Zn у системі «гірські породи – поверхневі води» досліджених агроландшафтів за КВМ варіюють в інтервалі $0,2-1,0$, що нижче від межі його природної рухомості. За незначних відмін між модальною і середньогеометричною величиною відмінності параметрів коефіцієнта може сягати $400-1000$ разів, що свідчить про багатофакторність і складність фізико-хімічних процесів у агроландшафтах Лісостепу і Степу України. Водну міграцію Zn у поверхневих водах цих агроландшафтів характеризує фізико-хімічна концентрація або зрівноважена міграція ($ККв = 0,6-7,0$). Відповідно до природної гідрохімічної зональності, інтенсивність концентрації Zn у водах агроландшафтів Степу ($ККв = 1,0-8,0$) є найвищою, що кардинально відрізняється від такої у Лісостепі ($ККв = 0,6-2,6$). Це свідчить про переважання природних джерел надходження цього мікроелемента у поверхневі води, якими є гірські породи, та вказує на його екологічну безпечність у аквальных агроландшафтах за чинних норм ГДК ($Ке = 0,01-0,08$).

Висока диференційованість процесів водної міграції Zn зумовлює широкий діапазон його вмісту у біологічних об'єктах, у т.ч. сільгоспкультурах. Але наші дані біогеохімічних та екотоксикологічних досліджень на території Північного Степу України надають можливість попередньо оцінити біогенну міграцію Zn у різнотрав'ї і зернових культурах.

Біогенну міграцію Zn у досліджених зернових культурах (пшениця озима, ячмінь ярий, жито озиме) характеризує незначна біогенна концентрація або зрівноваження концентрації та розсіювання ($ККб = 0,8-2,3$). Найбільшу інтенсивність концентрації Zn може проявляти пшениця озима, найменшу – жито озиме. Натомість дикоросле різнотрав'я характеризується інтенсивним біогенним розсіюванням цього мікроелемента ($ККб = 0,1-0,2$). Як результат, інтенсивність біогенної акумуляції Zn дикорослим різнотрав'ям у $3-7$ разів нижче, ніж існуючі дані глобального оцінювання А Zn. Біофільність Zn проявляється на території Південного Степу інтенсивніше, ніж у зоні Лісостепу ($A = 1,6-4,0$), що просторово корелює із результатами оцінювання його водної міграції, а саме – кларками концентрації Zn у поверхневих водах.

ВИСНОВКИ

Диференціацію есенційного і токсичного впливу Zn на сільгоспкультури, тварин і людину дає змогу забезпечити агроекологічне оцінювання біогеохімічних ланцюгів на основі ландшафтно-геохімічного районування територій. На більшій частині території Правобережного Лісостепу і Степу України фоновий уміст валових форм Zn у ґрунтах агроландшафтів перевищує верхню порогову межу для нормального гомеостазу рослин, але поряд із тим оцінюється як недостатній за своєю рухомою формою. Наявність Zn у валових і рухомих формах у ґрунті зумовлено особливостями природної і техногенної складових процесів його фізико-хімічної міграції.

Завдяки зрівноваженій міграції Zn у ґрунтоутворювальних породах агроландшафти Лісостепу і Степу України, потен-

ційно, забезпечені необхідною і навіть надлишковою кількістю мікроелемента. Природні ґрунтові процеси сприяють концентрації Zn, а антропогенне освоєння земель — його розсіюванню, що пояснює низький уміст його рухомих форм. Інтенсивність концентрації Zn знижується у такій послідовності: сіножаті і пасовища — орні землі — селітебні території. У водному середовищі дослідженої території рухомість Zn низька, що посилює його концентрацію у літогенних компонентах агроландшафтів і утворення локальних територій техногенного забруднення, а також пояснює низький рівень його біологічного поглинання біоценозами.

Узгодженість розподілу Zn у поверхневих водах із кліматичною зональністю та його зростання концентрації від Лісостепу до Південного Степу просторово корелює із зростанням інтенсивності біологічного поглинання цього есенційного мікроелемента та рівнями забезпеченості ним агрокультур.

Отже, агроекологічне районування територій на засадах аналізу природних і техногенно-антропогенних чинників міграції Zn у агроландшафтах уможливило науково обґрунтований підхід до прогнозу якості сільгосппродукції із урахуванням особливостей його фізіологічного значення та перерозподілу у біогеохімічних харчових ланцюгах.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Stein H.B.* Ascorbic acid-induced uricosuria. A consequence of mogavitamin therapy / H.B. Stein, A. Hasan, I.H. Fox // *Ann Intern Med.* — 1976. — Vol. 84, No. 4. — P. 385–388.
2. *Іванов В.В.* Экологическая геохимия элементов: справочник: В 6 кн. / В.В. Иванов; ред. Э.К. Буренков. — М.: Экология, 1996. — Кн. 4. — 416 с.
3. *Исаева Е.В.* Атлас болезней плодовых и ягодных культур / Е.В. Исаева, З.А. Шестопал. — К.: Урожай, 1991. — 144 с.
4. *Галецкий Л.С.* Региональный эколого-геохимический анализ влияния тяжелых металлов промышленных отходов на состояние окружающей

- среды Украины / Л.С. Галецкий, Т.М. Егорова // *Экология та охорона довкілля.* — 2008. — № 5. — С. 16–26.
5. Методика визначення забезпеченості ґрунтів мікроелементами для потреб плодових насаджень та заходи із усунення їх нестачі в мінеральному живленні / Т.М. Егорова; за ред. А.І. Фатеева. — Х.: ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського», 2013. — 61 с.
 6. *Ковальский В.В.* Геохимическая экология — основа системы биогеохимического районирования / В.В. Ковальский // *Тр. Биохим. лаб. Института геохим. и аналит. хим. им. В.И. Вернадского.* — М.: Наука, 1978. — Т. 15. — С. 3–21.
 7. Методика суцільного ґрунтового-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України / За ред. О.О. Созінова, Б.С. Прістера. — К.: КНД, 1994. — 160 с.
 8. *Беус А.А.* Геохимия окружающей среды / А.А. Беус, Л.И. Грабовская, Н.В. Тихонова. — М.: Недра, 1976. — 248 с.
 9. *Микроэлементы в сельском хозяйстве* / [С.Ю. Булыгин, Л.Ф. Демишев, В.А. Доронин и др.]; под ред. С.Ю. Булыгина. — Дніпропетровськ: Січ, 2007. — 100 с.
 10. *Егорова Т.М.* Мінералого-геохімічна спеціалізація літогенних компонентів в ландшафтах України / Т.М. Егорова, І.В. Кураєва // *Геологічний журнал НАН України.* — 2001. — № 4. — С. 48–55.
 11. *Егорова Т.М.* Прогнози Co, Mo, Mn, Zn біогеохімічні субрегіони України / Т.М. Егорова // *Доповіді НАН України.* — № 11. — 2003. — С. 201–206.
 12. *Ландшафтно-экогеохимическая карта Украины масштаба 1:500 000* / Е.И. Ольшевская, Л.С. Галецкий, Г.Л. Сонкина, Т.М. Егорова // *Прикладная геохимия.* — М.: ИМГРЭ, 2001. — Вып. 2. — С. 306–316. — (Серия: Экологическая геохимия).
 13. Співвідношення Стк/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.
 14. *Ковальский В.В.* Микроэлементы в растениях и кормах / В.В. Ковальский, Ю.И. Раецкая, Т.И. Грачёва. — М.: Колос, 1971. — 186 с.
 15. *Олійник Н.В.* Зменшення шкідливого впливу природних відвалів на довкілля: автореф. ... канд. техн. наук: спец. 21.06.01 — екологічна безпека / Н.В. Олійник. — Донецьк, 2013. — 20 с.
 16. Вплив розсіювання аеральних емісій на агрологічний стан сільгоспугідь Донецької області / Ю.К. Бородай, О.Б. Бондарева, Л.І. Коноваленко, Н.Ю. Прокопенко // *Промышленная ботаника.* — 2010. — Вып. 10. — С. 54–59.