УДК 550.42:546.4./7:631.4(477)

ГОРИЗОНТАЛЬНА ЗОНАЛЬНІСТЬ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА ЗА РУХОМІСТЮ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ҐРУНТОВИХ ВІДКЛАДАХ

Н.О. Крюченко, Е.Я. Жовинський
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03680, просп. Палладіна, 34, м. Київ, Україна

Висвітлено результати геохімічних досліджень ґрунтових відкладів на території Українського щита. Проведено районування його території за однотипним розрізом четвертинної осадової товщі та подібними умовами геохімічної міграції хімічних елементів. Визначено вміст Cu, Ni, Co, Zn, Pb, Cr (валовий і рухомих форм), розраховано коефіцієнт рухомості, за яким доцільно оцінювати ступінь рухомості елементів у ґрунтах. Доведено існування горизонтальної зональності цієї території за рухомістю хімічних елементів у ґрунтових відкладах − зменшення в напрямку з північного заходу на південний схід.

Вступ. Особливості міграції та концентрації хімічних елементів у ґрунтах вивчали багато вчених [1, 2, 3, 7], які досліджували вміст валовий і рухомих форм у ґрунтах, ґрунтоутворювальних породах і рослинах. Ними встановлено певні закономірності поширення хімічних елементів, але не досліджено зональність у межах Українського щита (УЩ). Задачею нашого дослідження було проведення аналізу ступеня рухомості елементів у ґрунтових відкладах і порівняння результатів зі встановленними раніше закономірностями зональності з метою характеристики і розподілу хімічних елементів та їхніх рухомих форм.

Геохімічну своєрідність багатьох процесів у біосфері визначає клімат. Чим вологіший і тепліший він є, тим більше утворюється живої речовини (енергійно відбувається розкладання, що збагачує води CO_2, органічними кислотами), тим інтенсивнішими є геохімічні процеси [3]. Кліматична зональність впливає не тільки на розміщення рослинності, але й на типи ґрунтів і ландшафтів. Чим ближче геохімічна система до земної поверхні, тим сильніше вона залежить від клімату і слабше від геологічної будови.

© Н.О. Крюченко, Е.Я. Жовинський, 2013

Причина зональності − нерівномірне надходження сонячної енергії. З широтним розподілом тепла пов'язані розподіл вологи, інтенсивність опадів, а в зв'язку з цим − розвиток зональних рослинних і ґрунтових спектрів. Зональні ґрунти формуються під зональними рослинними співтовариствами на рівнинах, вододільних підвищених ділянках, де на ґрунтоутворення не впливають ґрунтові води [7].

Тому особливо чітко зональність виражена в розміщенні рослинності та ґрунтів. Так, у межах розповсюдження нейтрального і лужного класу кори вивітрювання спостерігаються чорноземна, каштанова, буроземна і сіроземна ґрунтові зони, а кислого класу кори вивітрювання − дерново-підзолиста.

Прояв закону горизонтальної зональності ускладнюється через особливості рельєфу, відмінності у темпах біологічного кругообігу елементів.

Головна мета роботи − встановлення геохімічно однорідних областей з певною асоціацією елементів, які характеризуються спільними умовами геохімічної та геологічної еволюції (клімат, геологічна будова, рельєф місцевості), що позначаються на якісному і кількісному хімічному складі ґрунтів.

У ході досліджень було використано комплекс аналітичних методів: хімічний, спектральний, атомної абсорбції, іон-селективний та інші.

Результати та обговорення. За спільними умовами геохімічної міграції хімічних елементів проведено районування території УЩ. Виділено 10 районів (рис. 1), що мають подібний вертикальний розріз осадової товщі (табл. 1) і відповідно, геохімічні умови міграції елементів. Кожен район віднесено до певного геохімічного ландшафту – кисло-кальцієвого, кальцієвого або содового класу [3, 6, 7].

Кислі та глейові ландшафти сформовані, переважно, у північній частині території УЩ (район 1, 2). Тут розвинуті підзолисті та дерново-підзолисті ґрунти на безкарбонатних породах. У кислому середовищі добре мігрують багато металів, особливо в комплексі з органічними сполуками. Тому, в елювіальних ґрунтах розвивається кисле вилуговування і вони збіднюються на рухомі елементи. Особливо характерний для цього типу ландшафту дефіцит кальцію, фтору, кобальту, азоту, фосфору, калію і магнію.

Водночас спостерігаємо надлишок деяких елементів (малорухомих у кислому середовищі) – марганець, водневий іон.

Кальцієві ландшафти (райони 3–8) розвинуті у центральній і південній частині УЩ.

Таблиця 1. **Характеристика районів території УЩ**

Номер району	Літологія порід, розріз осадової товщі (згори донизу)	Потужність, м	Геохімічні ландшафти
1	Дерново-підзолисті піщані	0,2	лісові кисло-кальцієвого класу
	Піски різнозернисті, суглинки	20	
	Каоліни	10	
2	Дерново-підзолисті піщані	0,2	
	Піски різнозернисті, суглинки	40	
	Каоліни	10	
3	Дерново-підзолисті	0,15	лісові кальцієвого класу
	Піски різнозернисті, суглинки	20	
	Каоліни	10	
4	Опідзолені чорноземи	0,4	лісостепові кальцієвого класу
	Глини	15	
	Піски, глини, вапняки	85	
5	Чорноземи і темно-сірі опідзолені	0,3	лучно-степові кальцієвого класу
	Глини	30	
	Піски різнозернисті, суглинки	40	
6	Чорнозем середньогумусний важко суглинистий	0,3	лісостепові кисло-кальцієвого і кальцієвого класу
	Глини	20	
	Піски, глини	60	
7	Чорнозем середньогумусний важкосуглинистий	45,0	лучностепові та лісостепові кальцієвого класу
	Суглинки лесовидні	15	
	Суглинки	10	
	Каоліни з жорствою	25	
8	Чорнозем середньогумусний важкосуглинистий	30	північностепові кальцієвого класу
	Суглинки	10	
	Піски, глини	40	
9	Чорнозем звичайний малогумусний	0,25	середньостепові та лучно-степові кальцієвого і содового класу
	Суглинки лесовидні	10	
	Піски, глини	20	
	Вапняки	5	
	Піски	10	
10	Чорноземи південні важкосуглинисті і глинисті	0,1	степові кальцієвого і содового класу
	Глини	20	
	Піски, глини	40	
	Вапняки	20	
	Глини, піски	40	

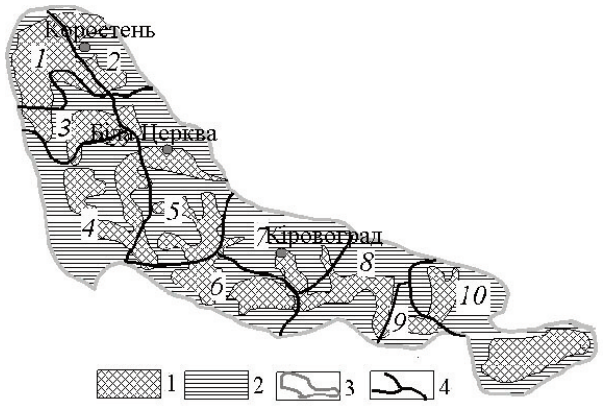

Рис. 1. Районування території УЩ за однотипним розрізом осадової товщі. 1 – осадові відклади потужністю до 20 м і виходом кристалічних порід у долинах рік на поверхню, 2 – потужність осадової товщі більше 20 м, 3 – умовна границя УЩ, 4 – границя району

Ґрунти мають нейтральну або слаболужну реакцію, катіоногені елементи малорухомі. Мігрують здебільшого аніоногені елементи (наприклад, молібден). Рухомість елементів і їх сполук змінюється в залежності від pH середовища. Катіоногенні елементи – кальцій, стронцій, барій, радій, мідь, цинк, кадмій, найбільш рухомі в кислому середовищі, а аніоногенні – ванадій, арсен, селен, молібден, германій – у лужному. Міграція натрію, літію, брому, йоду майже не залежить від pH. Зміна значення pH спричиняє осадження елементів або, навпаки, перехід їх у рухомий стан.

Ландшафти содового класу (райони 9–10) типові для південної частини УЩ. У цих умовах легко мігрують аніоногенні елементи, а катіоногенні – залізо, кальцій, магній, стронцій, барій – практично нерухомі.

За наявності рудного тіла у ґрунтах будуть встановлюватись вторинні ореоли розсіювання рудного елемента. На території УЩ головний тип вторинних сольових ореолів – відкритий дифузійний, тобто утворені в процесі спонтанного і необерненого перенесення речовини з однієї частини системи в іншу, що виникає унаслідок їх теплового руху. Дифузія прямо залежить від водонасиченості порід – гравій і крупнозернистий пісок мають найбільші коефіцієнти водопроникності, отже і найвищі коефіцієнти дифузії. За наявності тектонічного порушення процеси конвекції будуть відігравати свою роль, збільшуючи потік речовини до поверхні.

Для кожного району встановлено середній фоновий вміст важких металів (валовий і рухомих форм), і розраховано коефіцієнти рухомості для кожного елемента (табл. 2). Коефіцієнт рухомості розрахований за формулою:

Таблиця 2. **Вміст металів у ґрунтах території УЩ**

Вміст елементів		Номер району									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Zn	$C_в$	24	25	24	72	32	60	38	76	90	76
	$C_р$	3,8	3,5	3	5,6	2,6	3	2,4	2,5	3,8	2,1
	$K_р$	15,8	14	12,5	7,8	8,1	5	6,3	3,3	4,2	2,8
Cu	$C_в$	14	22,6	26,9	30	30	32	32	42	34	42
	$C_р$	7	6,8	7	3,2	2,5	2,7	2,2	5,6	3,2	2,5
	$K_р$	50	30	26	10,7	8,3	8,4	6,9	13,3	9,4	6
Ni	$C_в$	10	10	11	30	32	22	30	38	24	60
	$C_р$	4,1	3,8	3,8	7,8	2,6	1,5	2,5	3,6	1,2	2,2
	$K_р$	41	38	34,5	26	8,1	6,8	8,3	9,5	5	3,7
Co	$C_в$	7	8	8	8,6	26	22	24	12	7,2	20
	$C_р$	1,8	1,8	2	2,2	2,6	1,4	1,8	1,5	1,8	1,1
	$K_р$	25,7	22,5	25	25,6	10	6,4	7,5	12,5	25	5,5
Pb	$C_в$	7	7	5	16	22	26	22	14	12	20
	$C_р$	0,8	0,8	0,4	0,6	1,4	1,5	1,5	1,6	1,2	1,4
	$K_р$	11,4	11,4	8	3,8	6,4	5,8	6,8	11,4	10	7
Cr	$C_в$	30	30	18	62	70	82	72	88	82	96
	$C_р$	1,6	1,6	1,5	2,2	2,4	1,8	2,1	2,2	2,5	2,2
	$K_р$	5,3	5,3	8,3	3,5	3,4	2,2	2,9	2,5	3	2,3

Примітка. $C_в$ – фоновий валовий вміст, мг/кг, $C_р$ – вміст рухомих форм, мг/кг, $K_р$ – коефіцієнт рухомості, %. Характеристику районів див. у табл. 1 відповідно до вказаних номерів.

$K_р = (C_р / C_в) \times 100$, де $K_р$ – коефіцієнт рухомості, %, $C_в$ – фоновий валовий вміст і $C_р$ – вміст рухомих форм, мг/кг. Рухомість елементів залежить від кислотності ґрунту. Нейтральна реакція (pH 6,5–7,5) характерна для більшої частини чорноземних ґрунтів. Кислу і сильнокислу (pH 3–6,5) реакцію мають переважно лісові та деякі болотні ґрунти. Лужна реакція (pH 8,5–10) характерна для солонців і слаболужна (pH 7,5–8,5)– для карбонатних ґрунтів. Окрім реакції ґрунту рухомість важких металів залежить і від інших факторів – наявність глинистої складової, гумінових та фульвокислот. Глинисті мінерали, особливо монтморилоніт, сорбують важкі метали.

Гумусові кислоти утворюють міцні сполуки з іонами металів, чим визначається їхня глобальна геохімічна роль. Розрізняються за розчинністю групи гумусових кислот – фульво- і гумінові кислоти, вони виконують протилежні геохімічні функції. Фульвокислоти підвищують міграційну здатність елементів у земній корі, а гумінові кислоти є потужним геохімічним бар'єром [1, 5, 6].

Все це стосується валового вмісту металів. У розподілі рухомих форм більш значущими є процеси дифузії, надходження елемента на поверхню. Дія цих процесів обмежена.

Ряди рухомості металів (Cu, Ni, Co, Zn, Pb, Cr) у ґрунтах території УЩ з урахуванням геохімічної спеціалізації порід [4, 8] представлені у табл. 3. Аналізування цих рядів дозволяє встановити максимальну / мінімальну рухомість елементів у виділених районах.

Для всіх районів спостерігається мінімальна рухомість хрому ($K_р$ до 3 %), який присутній у вигляді Cr^{3+}, це пояснюється тим, що у кислому середовищі іон Cr^{3+} інертний, а за pH 5,5 майже повністю випадає в осад.

Для районів 1–5 рухомість свинцю дуже мала (Kp до 5 %), він наявний у вигляді комплексів з органічною речовиною. За високих значень pH свинець закріплюється в ґрунті хімічно у вигляді гідроксиду, фосфату, карбонату і Pb-органічних комплексів.

Найбільша концентрація нікелю і кобальту – у глинистих, суглинних і багатих на органічну речовину ґрунтах.

Важливими факторами, що впливають на рухомість Zn в ґрунтах ($K_р$ до 15 %), є вміст глинистих мінералів і pH. За підвищення значень pH елемент переходить в органічні комплекси і зв'язується ґрунтом. З органічною речовиною Zn утворює стійкі форми, тому в більшості випадків він накопичується в горизонтах з високим вмістом гумусу.

Найбільший вміст рухомих форм міді ($K_р$ до 50 %) спостерігається у північній частині УЩ, де ґрунти багаті на глинисті мінерали, найменше – у південній, тобто у ґрунтах на піщаниках і вапняках. Гумінові та фульвокислоти здатні утворювати стійкі комплекси з міддю. За pH 7–8 розчинність міді найменша.

Починаються ряди рухомості металів у більшості районів з цинку та міді. Тому було побудовано схеми розподілу цих елементів за коефіцієнтами рухомості (рис. 2) та діаграми зміни коефіцієнтів рухомості у районах, розташованих з північного заходу на південний схід (рис. 3). Згідно з рис. 2 та рис. 3, коефіцієнти рухомості елементів зменшуються в напрямку з північного заходу на південний схід. Отже,

Таблиця 3. **Ряди рухомості металів у ґрунтах території УЩ**

Номер району	Тип ґрунту	pH	Ряди рухомості	Геохімічна спеціалізація порід фундаменту
1	1	4,8–5,1	Cu>Ni>Co>Zn> Pb>Cr	Ti, Cu, Ni, TR, Nb, Ta, Be, W, Sn, Zn, Pb, F
2	1	5,7–6,0	Ni>Cu>Co>Zn> Pb>Cr	Ti, Cu, Ni, TR, Nb, Ta, Be, W, Sn, Zn, Pb, F
3	2	6,5–7,0	Ni>Cu>Co>Zn>Pb>Cr	Ni, Co, Cr, Fe, Th, Pt, Au, As, TR, W, Mo
4	3	5,5–7,0	Ni> Cu >Co>Zn>Pb>Cr	Ni, Co, Cr, Fe, Th, Pt, Au, As, TR, W, Mo
5	3	6,3–7,2	Co>Zn>Cu>Ni>Pb>Cr	TR, Pb, Cu, Au, Sn, W, Fe, La, Ni, Co, Cr, Th, Pt, Au, As, Mo
6	4	7,0–7,5	Cu>Ni>Co>Pb> Zn>Cr	TR, Pb, Cu, Au, Sn, W, Fe, La
7	4	6,7–7,5	Ni>Cu>Co>Pb>Zn>Cr	TR, Pb, Cu, Au, Sn, W, Fe, La
8	4	7,0–7,5	Cu>Co>Pb>Ni>Zn>Cr	Fe, Co, Ni, Au, Cr, Th, Pb, Pt, As, TR, W, Mo
9	5	7,0–7,5	Co>Pb>Cu>Ni>Zn>Cr	Fe, Co, Ni, Au, Cr, Th, Pb, Pt, As, TR, W, Mo, Cu, Sn, La
10	6	7,0–7,5	Pb>Cu>Co>Ni>Zn>Cr	

Примітка. Тип ґрунту: 1 – дерново-слабо-середньопідзолисті піщані, 2 – дерново-підзолисті, 3 – дерново-підзолисті глеюваті; чорноземи 4 – середньогумусні і важкосуглинисті, 5 – малогумусні важкосуглинисті, 6 – південні важкосуглинисті і глинисті.

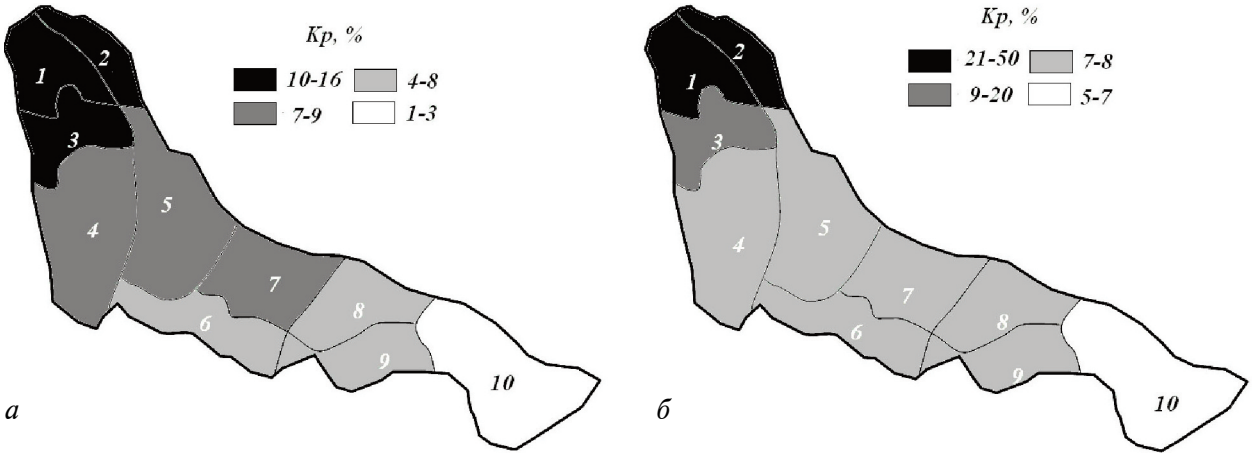

Рис. 2. Схеми розподілу елементів за коефіцієнтами рухомості: *а* – Zn, *б* – Cu

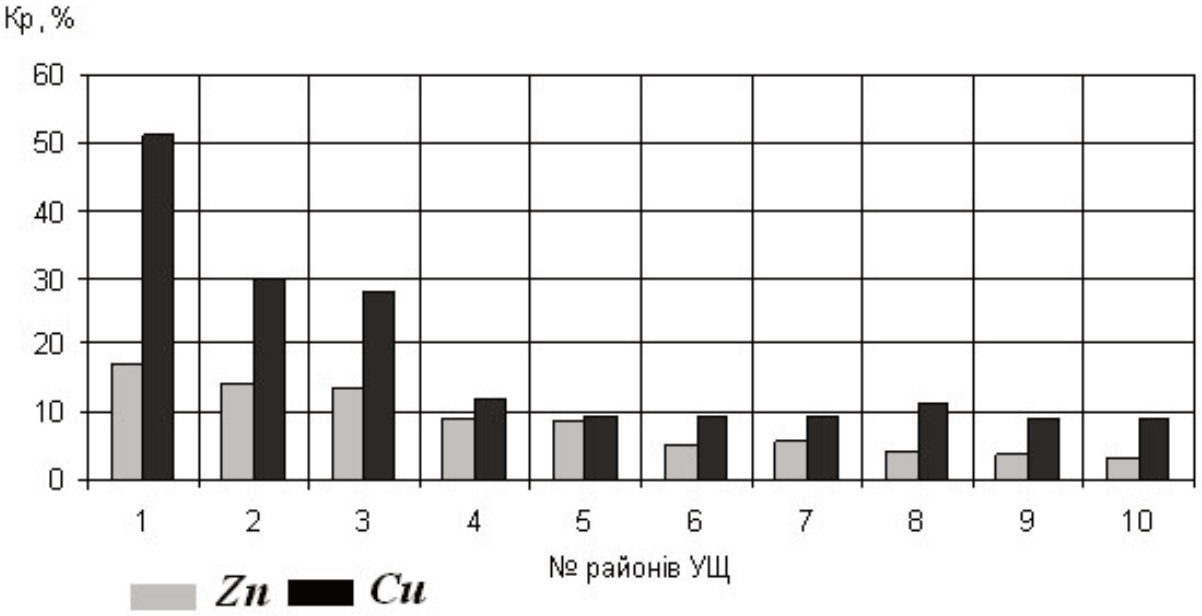

Рис. 3. Діаграма зміни коефіцієнтів рухомості цинку та міді у ґрунтах районів території УЩ, розташованих з північного заходу на південний схід

чітко простежується горизонтальна зональність території УЩ за рухомістю елементів у ґрунтових відкладах. Рухомість міді майже у два рази вища від рухомості цинку, ця закономірність порушується лише у центральній частині території УЩ (райони 4, 5), що пов'язано з сильним техногенним навантаженням.

На півночі, де територія характеризується надмірним зволоженням та інтенсивним вимиванням солей з порід, рухомість елементів достатньо висока. На півдні, де випаровування переважає над опадами і відбувається засолення ґрунтових вод, рухомість елементів стає слабкою. Це підтверджує і зональність за кислотно-лужними умовами ґрунтів – на півночі ґрунтові розчини мають кислу реакцію, на півдні – лужну.

Для пошуків покладів корисних копалин за рухомими формами велике значення має ступінь рухомості елементів. Наприклад, (табл. 2) фоновий вміст рухомих форм цинку (район 1) складає 3,8 мг/кг, K_p дорівнює 15,8 %; у південній частині (район 10) фоновий вміст – 2,1 мг/кг, а K_p дорівнює 2,8 %. Напевно, у північній частині УЩ на поверхні сольовий ореол буде більш контрастним, ніж у південній. Тому, аналізуючи поведінку елементів, доцільно зважати на коефіцієнти рухомості: вони не є абсолютною величиною, а показують частку, що складають рухомі форми у валовому вмісті елемента. Для пошу-

ків за вторинними сольовими ореолами треба враховувати цей фактор.

Висновки. За однотипним розрізом осадової товщі та спільними умовами геохімічної міграції проведено районування території УЩ. Виділено 10 районів, для кожного встановлено середній фоновий вміст важких металів – Cu, Ni, Co, Zn, Pb, Cr (валовий і рухомих форм). Розраховано коефіцієнти рухомості для кожного елементу. Проаналізовано ряди рухомості елементів у ґрунтах кожного району і встановлено найбільш та найменш рухомі елементи. Виявлено горизонтальну зональність за рухомістю важких металів у ґрунтах території УЩ – зменшення ступеня рухомості в напрямку з північного заходу на південний схід.

Література

1. *Жовинский Э.Я.* Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э. Я. Жовинский, И. В. Кураева. — К. : Наук. думка, 2002. — 213 с.
2. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов. – В 6-ти т. / Иванов В.В. – М. : Экология, 1997.
3. *Кабата-Пендиас А.* Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. — М. : Мир, 1989. — 385 с.
4. *Критерии* прогнозирования месторождений Украинского щита и его обрамления /[Семененко Н.П., Щербак Н.П., Сироштан Р.И. и др.] — К. : Наук. думка, 1975. – 560 с.
5. *Лукашев К.И.* Геохимия зоны гипергенеза / К.И. Лукашев, В. К. Лукашев — Минск: Наука и техника, 1975. – 424 с.
6. *Малишева Л.Л.* Ландшафтно-геохімічна оцінка екологічного стану територій / Малишева Л.Л. — К. : Київський університет, 1998. — 131 с.
7. *Медведев В.В.* Мониторинг почв Украины / Медведев В.В. — Харьков : Антиква, 2002. – 428 с.
8. *Металлогения* Украины и Молдавии / под ред. Л.К Мечникова. —К. : Наук. думка, 1974. – 511 с.

Крюченко Н.О., Жовинский Э.Я. Горизонтальная зональность территории Украинского щита по подвижности химических элементов в почвенных отложениях. Представлены результаты геохимических исследований почвенных отложений территории Украинского щита. Проведено районирование его территории по однотипному разрезу осадочной толщи и общим условиям геохимической миграции химических элементов. Определено содержание Cu, Ni, Co, Zn, Pb, Cr (валовое и подвижных форм), рассчитан коэффициент подвижности, по которому целесообразно оценивать степень подвижности элементов в почвах. Доказано существование горизонтальной зональности этой территории по подвижности химических элементов в почвенных отложениях – уменьшение в направлении с северо-запада на юго-восток.

Kryuchenko N.O., Zhovinsky E.Ya. Horizontal zonation of the territory of the Ukrainian Shield for mobility of chemical elements in soil sediments. Deals with the results of geochemical studies of soil deposits territory of the Ukrainian Shield (USh). A zoning of the USh cut for uniform sedimentary strata and common conditions geochemical migration of chemical elements. Content determined Cu, Ni, Co, Zn, Pb, Cr (gross and mobile forms), calculated mobility ratio, which should assess the mobility of elements in soils. The existence of horizontal zonation of the territory of the USh for the mobility of chemical elements in soil sediments - a decrease in the direction from northwest to southeast.

Надійшла 21.02.2013