
ГЕОХІМІЯ ТА ХІМІЯ ҐРУНТІВ

УДК 631.416.8: 292.485

Ю. М. Дмитрук

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ МІГРАЦІЇ І ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЛАНДШАФТІВ

Чернівецький національний університет

На основі детального аналізу еколого-ландшафтних умов та вмісту важких металів у ґрунтах запропоновано новий підхід до класифікації елементарних ландшафтів на основі індексу насиченості ґрунтів важкими металами. Використана систематика дозволила об'єднати 88 елементарних ландшафтів у 5 груп, споріднених за комплексом ландшафтно-екологічних факторів.

Ключові слова: сірі лісові ґрунти, важкі метали, елементарні ландшафти, індекс насиченості ґрунтів важкими металами, геохімічні коефіцієнти.

Yu. M. Dmytruk
National university of Chernovtsy

THE ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL ANALYSIS OF MIGRATION AND THE CONTENT OF HEAVY METALS IN SOILS OF ELEMENTARY LANDSCAPES

On the basis of the detailed analysis of ecological-landscape conditions and the content of heavy metals in soils the new approach to classification of elementary landscapes is offered on the basis of an index of a soils saturation by heavy metals. The systematization applied has allowed to combine 88 elementary landscapes in 5 groups close behind a complex of landscape-ecological factors.

Keywords: grey wood soils, heavy metals, elementary landscapes, an index of a soils saturation, heavy metals, geochemical factors.

Елементарні ландшафти (ЕЛ) – це частини території з однаковими екологічними умовами на всьому їх протязі, у першу чергу – це однаковий ґрунтовий покрив і одноманітний мікрорельєф у межах одного виду мезорельєфу. Деталізація поняття ЕЛ необхідна для розуміння сутності процесів перерозподілу елементів в його межах, хоча в даній роботі не стоїть завдання введення нових дефініцій щодо критеріїв виділення геохімічних ландшафтів. Поняття ЕЛ введено для використання в геохімії ландшафтів, у ландшафтознавстві його аналогом є фація. Поєднання ЕЛ утворює геохімічний ландшафт (парагенетична асоціація, каскадна ландшафтна геохімічна система) як поєднання фацій утворює ландшафт (Глазовская, 1988; Касимов, 1988; Перельман, 1975). Чітка просторова ієрархія геохімічних ландшафтів, як і їх систематика та таксономія, ще не розроблені через відсутність необхідних ландшафтно-геохімічних емпіричних даних (Касимов, 2002).

Мета роботи – установити характер міграційних процесів важких металів залежно від особливостей елементарних ландшафтів, а саме: стану поверхні, рельєфу, рослинності, еродованості, гранулометричного складу, материнських порід і на цій основі розглянути критерії виділення елементарних ландшафтів за вмістом у ґрунтах елементів, їх ієрархію та класифікацію.

© Дмитрук Ю. М., 2004

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Територія дослідження, найголовнішою вимогою до вибору якої була однорідність ґрунтового покриву, розміщена в межах Прут-Дністровського межиріччя. На основі аналізу гіпсометричної, ландшафтної, геологічної та ґрунтової карт ключовий майданчик було виділено в межах Хотинської височини, переважно на схилах з сірими лісовими ґрунтами, що утворюють долину Дністра.

Елементарні ландшафти класифікували (Перельман, 1975) на елювіальні (автономні) – Е, транселювіальні: верхніх частин схилів (ТЕ-1) і нижніх частин схилів (ТЕ-2), акумулятивно-транселювіальні (АТ) понижених відкритих елементів рельєфу та акумулятивні (А) замкнених від'ємних форм.

Для характеристики міграційно-акумулятивних процесів у ґрунтах ЕЛ використовували: а) кларк концентрації (K_k) – відношення вмісту елемента в даному ландшафті до фонові його кількості для всієї території дослідження. Показує геохімічний статус даного ЕЛ, який утворився протягом певного часу під впливом комплексу факторів; б) коефіцієнт місцевої міграції (K_m) – відношення вмісту елемента в ґрунті підпорядкованого ландшафту до його вмісту в ґрунті елювіального (автономного) ландшафту. Характеризує хід процесу латеральної міграції – акумуляції на даний час; в) індекс насиченості ґрунту металами (для валового вмісту – I_v , для кількості рухомих форм елементів – I_p). Показує сумарну кількість досліджуваних елементів в ґрунті як наслідок впливу всіх процесів. Значення вказаних коефіцієнтів більше від одиниці свідчить про переважання акумулятивних процесів (накопичення), менше – про розсіювання (міграцію). Враховуючи високу варіабельність вмісту важких металів у компонентах довілля, у тому числі й в ґрунтах, доцільно вважати значення коефіцієнта в межах 0,9–1,1 показником рівноваги між міграцією та акумуляцією як на момент дослідження (згідно з K_m), так і внаслідок геохімічної історії розвитку території (згідно з I_v чи I_p); менше 0,9 – переважанням вносу, а більше 1,1 – акумуляції елементів.

Індекс насиченості ґрунту елементами автор вперше зустрів у роботі О. В. Пушкарєва з співавторами (2000), де цей показник розраховується як середньгеометричне від суми елювіально-акумулятивних коефіцієнтів геохімічної асоціації ґрунту. Проте елювіально-акумулятивні коефіцієнти згідно з О. І. Перельманом (1975) – це частка від вмісту елемента в певному генетичному горизонті ґрунту до його ж вмісту в материнській породі, у той час як самі автори індексу насиченості ґрунту елементами пропонують розраховувати частку від концентрації елемента в ґрунті до його регіонального фону, тобто кларк концентрації – розсіювання згідно з геохімічними дефініціями. Себто з математичним виразом усе гаразд, а у вербальній вкралася певна неточність. Нами частіше використовується індекс насиченості ґрунту елементами як середньоарифметичне від суми кларків концентрації – розсіювання (K_k), середньгеометричне ж доцільніше використовувати при істотному відхиленні ряду K_k від нормального розподілу.

Вся територія розділена на 92 ЕЛ, з яких визначення вмісту елементів проведено для 88. Для узагальнення отриманих аналітичних результатів було побудовано 4 розрізи (катени), які охоплюють все різноманіття природних умов території дослідження. На кожній катені виділялися всі види ЕЛ і проводилося визначення показників.

Переважає схилових ЕЛ на території дослідження внаслідок природних умов вимагає певного уточнення щодо існування процесів ерозії та назви “змитий” ґрунт на використаній ґрунтовій карті. По-перше, виходячи із завдання, дослідження важко було ретельно аналізувати еродованість ґрунтового покриву, яка є окремою науковою проблемою. Використовуючи існуючу ґрунтову карту території, назви ґрунтів приймалися згідно з нею. Вважаємо, що еродовані ґрунти в абсолютній більшості випадків – результат антропогенної діяльності, тому для ріллі використання у назві ґрунту слова “змитий” виправдане. У той же час для ґрунтів схилів під лісопосадками, садами чи луками говорити про еродованість ґрунтового покриву недоцільно. У цьому питанні автор цілком поділяє думку М. І. Полупана

(1998) про те, що короткопрофільність ґрунтів на схилах відображає вологозабезпеченість місця формування. Іншими словами, природний ксероморфізм схилових територій зумовив адекватне утворення відповідної йому потужності профілю ґрунтів. Отже, змитий ґрунт – залишається за назвою таким самим для розораних ділянок, на задернованих і вкритих лісом територіях – це ксероморфні ґрунти, тобто сірі лісові ґрунти з укороченим профілем.

Таким чином, коротший профіль ґрунтів, розміщених на схилах, є власне наслідком цього розміщення, оскільки на схилових поверхнях, безумовно, діють процеси, пов'язані із силою тяжіння, що впливає на хід елементарних ґрунтових процесів у таких ґрунтах. Ерозія на схилових ґрунтах може відбуватися в результаті їх антропогенного перетворення. Унаслідок укороченого профілю схилових ґрунтів, ґрунтоутворююча порода розміщена ближче до верхніх генетичних горизонтів, що призведе до тіснішої кореляції її складу з генетичними горизонтами ґрунту. Отже, на схилових ґрунтах за всіх інших рівних умов та відсутності антропогенного впливу велика ймовірність підвищеного валового вмісту елементів.

Відкриті природні системи, якими є ЕЛ в цілому та їх складова – ґрунт, зокрема, багатокомпонентні, а значить, багатомірні. Разом з тим геохімічний статус компонентів ЕЛ, а саме ґрунту як основи екосистем, є результатом поєднання багаточисельних одночасно та розрізнено діючих процесів. Тому розподіл вмісту елементів в екосистемах і ґрунтах слід розглядати як розподіл випадкових величин, а отже, для їх вивчення необхідне використання методів математичної статистики. У багатьох випадках розподіл величин відповідає нормальному закону розподілу (Гауса), що, у свою чергу, дозволяє використовувати параметричні методи для оцінки величин, кореляційний і багатомірний аналізи з метою виявлення залежностей між окремими показниками. У випадку відхилення від нормального розподілу для характеристики ряду використовують крім оцінки середнього арифметичного середнє геометричне, яке характеризує значення, що найчастіше зустрічається, тобто фонове.

З кожної ділянки відбирали по одному середньозмішаному зразку, який прив'язувався до геометричного центру елементарного ландшафту (ЕЛ). Тобто вміст елементів у цьому зразку характеризує геохімічний статус всієї ділянки. У зразках атомно-абсорбційною спектрофотометрією визначали валовий вміст (на основі азотнокислої витяжки з наступним випаровуванням пероксиду водню) і вміст рухомих форм (ацетатно-амонійний буфер з $pH = 4,8$) важких металів: *Pb*, *Cd*, *Cu*, *Ni*, *Cr*, *Zn*.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На першому етапі дослідження важливо встановити загальні закономірності просторового розподілу елементів, для чого характеризувалися ландшафтно-геохімічні профілі (ландшафтно-геохімічні каскадні системи, згідно з М. А. Глазовською, на яких виділялися окремі ЕЛ, пов'язані між собою латеральними міграційними процесами).

Катена А—А¹ перетинає територію з північного заходу на південний схід, проходячи через долину притоки першого порядку р. Дністер – ріку Молотківський (рис. 1 і 2). На її лівому березі 28 ЕЛ – елювіальний (вододільна частина, яка межує з масивом лісу, рілля, з світло-сірим лісовим поверхнево-глеуватим крупнопилувато-середньосуглинковим ґрунтом на лесовидному суглинку, табл. 1). Для валового вмісту переважають міграційні процеси ($I_v = 0,7$), а рухомі форми – у межах фонових значень ($I_p = 1,07$). Згідно з *K_k* акумуляція характерна для міді та хрому, а цинк і нікель – виносяться. Причинами переважання міграційних процесів є, очевидно, радіальний виніс елементів внаслідок впливу розораності та легшого порівняно з іншими ґрунтами гранулометричного складу. Крім того, на світло-сірих лісових ґрунтах вилуговування відбувається інтенсивніше, про що свідчить I_v .

Униз по схилу від елювіального ЕЛ знаходиться транселювіальний ландшафт (ТЕ-1) № 33 (задернований – неокультурене пасовище, стрімкість 5–7° із сірим лісовим поверхнево-глеюватим середньозмитим (ксероморфним) крупнопилувато-важкосуглинковим ґрунтом на лесовидному суглинку, табл. 1). Ів цього ЕЛ – 1,17, а Ір – 1,06, тобто переважають процеси акумуляції, пов’язані із впливом, очевидно, стану поверхні і складу материнської породи, яка знаходиться ближче до поверхні внаслідок укороченого профілю ґрунту. Аналіз Кк та Км показує, що акумулюються всі валові, а також рухомі форми міді й цинку, а виносяться рухомі форми хрому і нікелю.

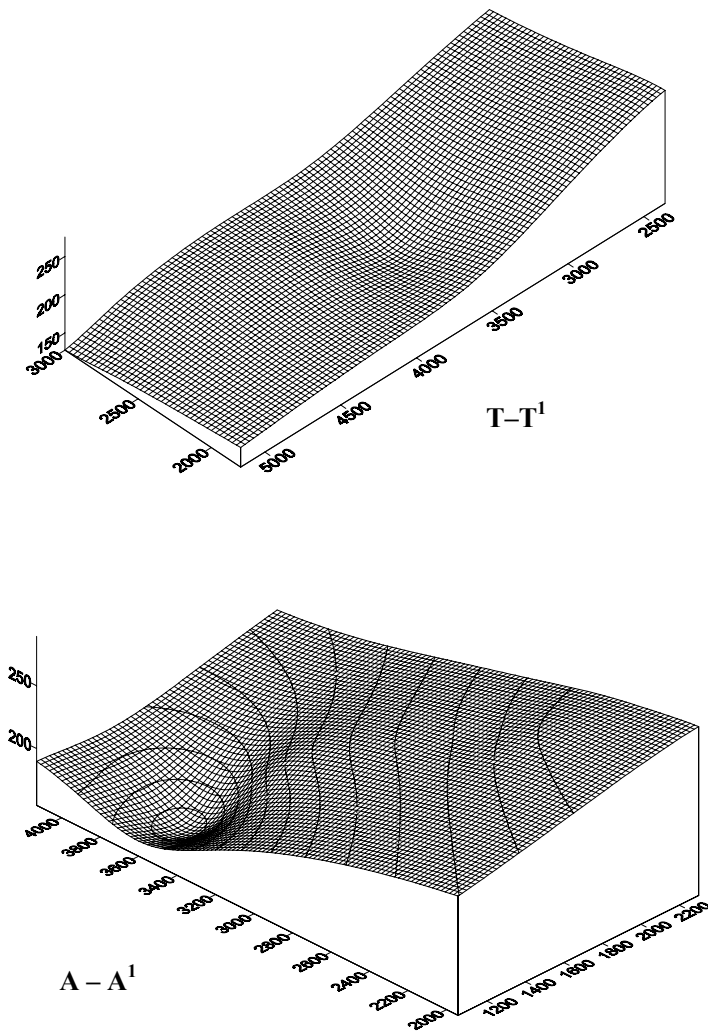


Рис. 1. Блок-схеми розміщення елементарних ландшафтів на катенах (профілях): А–А¹; Т–Т¹; градація по горизонталі (осі ОХ та ОУ): 500 м (Т–Т¹), 200 м (усі інші), по вертикалі (ОZ): 50 м (А–А¹, Т–Т¹)

Розміщений нижче по схилу ТЕ-2 (№ 34) межує в нижній частині із населеним пунктом, на території якого зразки не відбиралися. Це також пасовище з більшою стрімкістю (до 8–10°), що спричинило існування сильнозмитого (ксероморфного)

сірого лісового поверхнево-глеюватого слабкощерблятого крупнопилувато-важкосуглинкового ґрунту (табл. 1). Незважаючи на задернованість цього ЕЛ, більшість елементів виноситься з його поверхні ($I_b = 0,92$, $I_p = 0,58$) внаслідок впливу латерального переносу через фактор рельєфу. На цьому ЕЛ, порівняно із всією територією, дещо понижений валовий вміст свинцю, міді і нікелю, близька до фону кількість кадмію та хрому, а цинку – вище фонового вмісту. Кількість усіх рухомих форм елементів – нижча за фонову. Проте K_m показує, що мігрує тільки нікель та рухомі форми елементів, інші – накопичуються. Тобто на сьогодні латеральний переніс істотно не впливає на перерозподіл кількості елементів.

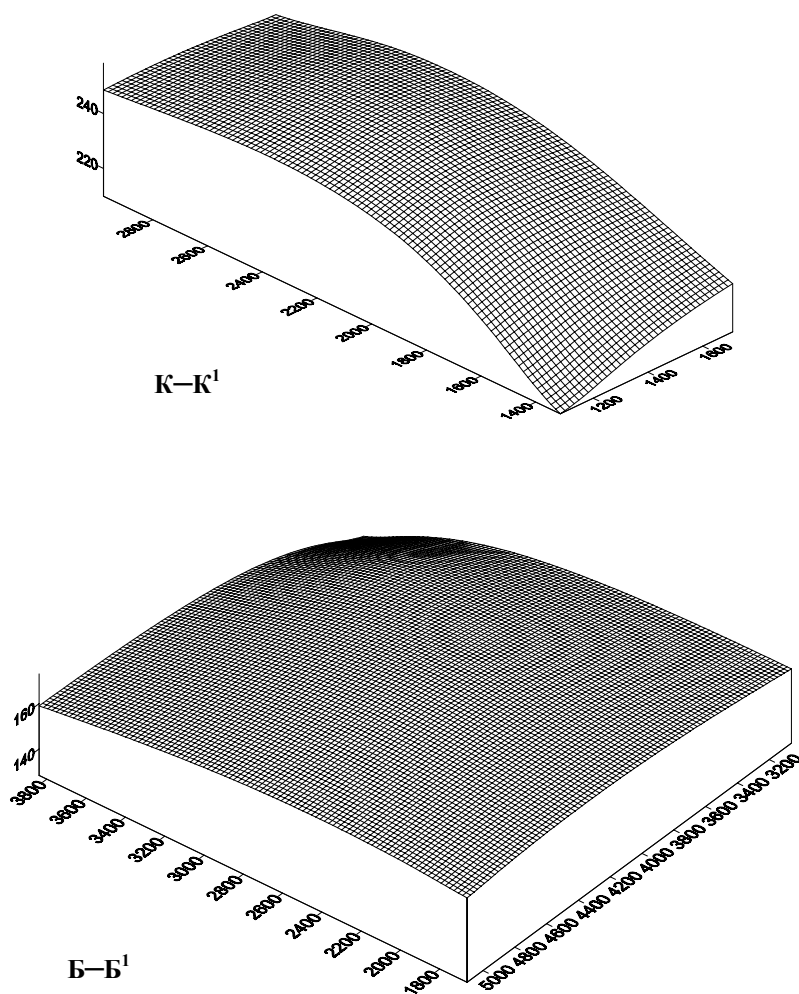


Рис. 2. Блок-схеми розміщення елементарних ландшафтів на катенах (профілях): Б–Б¹; К–К¹; градація по горизонталі (осі ОХ та ОУ): 200 м, по вертикалі (ОZ): 20 м (К–К¹, Б–Б¹)

На правому березі р. Молотківський, майже вдвічі довшому від лівого, у катені виділено 8 ЕЛ (табл. 1): елювіальний (№ 61), 4 ТЕ-1 (всі на ріллі) та 3 ТЕ-2 (всі на пасовищі з природними луками).

Елювіальний ЕЛ знаходиться в межах вододілу, на ріллі з сірим лісовим поверхнево-глеюватим піщано-середньосуглинковим ґрунтом на лесовидному суглинку, що підстеляється з глибини 1,5–1,8 м давньоалювіальними пісками. Для цієї території, як і для аналогічного ЕЛ 28-ї ділянки, Ів та Ір (0,76 і 0,67 відповідно) свідчать про виніс елементів, порівняно з усім досліджуваним простором. Причини цього аналогічні – розораність та легший гранулометричний склад ґрунту (разом із підстиляючими породами). Тому за час існування цього ЕЛ кількість елементів зменшувалася, чому сприяла й антропогенна діяльність.

Таблиця 1

Характеристика екологічних умов та показників елементарних ландшафтів

№ ЕЛ	Ґрунт	Гранулометричний склад	Рельєф, Н, м	Стан поверхні	Уміст важких металів, мг/кг*
1	2	3	4	5	6
Катена А–А ¹					
28	Світло-сірий поверхнево-глеюватий	Крупнопилувато середньосуглинковий	Е, 194	Рілля	9,40 – 0,44 – 9,55 – 25,6 – 6,85 – 19,9 – 0,92 – 1,48 – 0,75 – 1,45
33	Сірий поверхнево-глеюватий середньозмитий	Крупнопилувато важкосуглинковий	ТЕ-1, 180	Пасовище	16,4 – 0,99 – 14,4 – 43,8 – 9,55 – 28,3 – 1,08 – 1,18 – 0,28 – 4,01
34	Сірий поверхнево-глеюватий сильнозмитий	Слабкощербуватий крупнопилувато важкосуглинковий	ТЕ-1, 172	Пасовище	13,4 – 0,92 – 12,8 – 17,1 – 9,10 – 28,0 – 0,58 – 0,38 – 0,38 – 1,48
Річка	-	-	-	-	-
36	Сірий слабкозмитий	Піщано легкосуглинковий	ТЕ-2, 154	Пасовище	15,5 – 0,78 – 13,7 – 13,0 – 5,95 – 20,5 – 0,80 – 1,25 – 0,58 – 2,25
37	Сірий поверхнево-глеюватий сильнозмитий	Крупнопилувато важкосуглинковий	ТЕ-2, 198	Пасовище	16,8 – 0,93 – 16,8 – 27,0 – 10,5 – 30,0 – 0,62 – 0,58 – 0,38 – 1,29
37 ¹	Сірий поверхнево-глеюватий середньозмитий	Крупнопилувато важкосуглинковий	ТЕ-2, 218	Пасовище, зсуви, яри	15,5 – 0,85 – 16,0 – 23,4 – 10,2 – 26,6 – 0,32 – 2,82 – 0,62 – 1,30
44	Сірий поверхнево-глеюватий слабкозмитий	Крупнопилувато середньосуглинковий	ТЕ-1, 240	Рілля	15,5 – 0,89 – 14,9 – 17,4 – 9,65 – 29,3 – 0,28 – 1,72 – 0,38 – 1,90
49	Сірий поверхнево	Крупнопилувато середньосуглинковий	ТЕ-1, 252	Рілля	14,5 – 0,82 – 13,2 – 17,8 –

	глеюватий слабкозмитий	суглинковий			8,70 – 22,4 – 0,22 – 2,35 – 0,35 – 1,60
57 ¹	Сірий поверхнево глеюватий	Крупнопиловато важкосуглинковий	ТЕ-1, 276	Рілля	13,1 – 0,93 – 14,2 – 26,6 – 12,3 – 34,9 – 0,58 – 0,88 – 0,18 – 5,08
60	Сірий поверхнево глеюватий середньозми- тий	Крупнопиловато важкосуглинковий	ТЕ-1, 280	Рілля	7,80 – 0,82 – 8,10 – 22,3 – 7,55 – 19,6 – 1,0 – 1,38 – 0,32 – 0,65
61	Сірий поверхнево глеюватий	Піщано середньо- суглинковий	Е, 292	Рілля	13,0 – 0,84 – 9,25 – 16,9 – 7,10 – 17,9 – 0,45 – 1,68 – 0,25 – 1,21
Катена Б-Б ¹					
5	Сірий поверхнево глеюватий слабкозмитий	Крупнопиловато середньо- суглинковий	ТЕ-2, 164	Рілля	12,2 – 1,37 – 10,1 – 16,8 – 4,80 – 16,3 – 0,72 – 1,32 – 0,45 – 2,58
6	Сірий поверхнево глеюватий слабкозмитий	Крупнопиловато середньо- суглинковий	ТЕ-1, 169	Рілля	11,5 – 0,85 – 8,95 – 47,8 – 8,40 – 22,6 – 0,62 – 0,92 – 1,08 – 2,0
11	Сірий поверхнево глеюватий	Крупнопиловато середньо- суглинковий	ТЕ-1 – Е, 171	Рілля	12,7 – 0,72 – 12,0 – 11,8 – 7,0 – 17,4 – 0,70 – 0,68 – 0,38 – 1,30
12	Сірий поверхнево глеюватий	Крупнопиловато середньо- суглинковий	Е, 172	Рілля	10,5 – 0,86 – 7,40 – 24,1 – 6,35 – 33,7 – 0,48 – 1,28 – 0,30 – 0,98
13	Сірий поверхнево глеюватий	Крупнопиловато середньо- суглинковий	ТЕ-1, 174	Рілля	16,4 – 0,85 – 11,5 – 17,6 – 9,60 – 26,0 – 0,58 – 1,38 – 0,38 – 1,52
16	Сірий поверхнево глеюватий	Крупнопиловато середньо- суглинковий	Е, 172	Рілля	16,4 – 0,85 – 14,0 – 35,4 – 10,8 – 28,3 – 2,75 – 1,50 – 0,48 – 2,53
24	Сірий поверхнево глеюватий	Крупнопиловато середньо- суглинковий	Е – ТЕ- 1, 170	Рілля	14,8 – 0,98 – 12,8 – 21,4 – 13,0 – 29,8 – 0,60 – 1,32 – 0,48 – 1,45

25	Сірий поверхнево глеюватий слабкозмитий	Крупнопилювато середньо-суглинковий	ТЕ-1, 167,5	Рілля	12,7 – 0,85 – 23,8 – 23,6 – 9,10 – 32,4 – 1,65 – 3,0 – 0,48 – 4,48
26	Сірий поверхнево глеюватий середньозмитий	Крупнопилювато важкосуглинковий	ТЕ-2, 162	Рілля	14,3 – 1,02 – 9,90 – 18,8 – 8,60 – 21,7 – 0,42 – 1,88 – 0,48 – 1,30
27	Сірий поверхнево глеюватий сильнозмитий	Слабощебнюватий крупнопилювато важкосуглинковий	ТЕ-2, 144	Лісо-посадка	18,4 – 1,36 – 11,8 – 27,5 – 7,45 – 27,6 – 0,55 – 2,60 – 1,38 – 2,40
Катена К–К ¹					
80	Сірий глеєвий сильнозмитий	Крупнопилювато важкосуглинковий	ТЕ-2, 202	Сад	15,2 – 1,13 – 14,8 – 37,0 – 4,90 – 22,9 – 0,70 – 1,95 – 1,18 – 2,16
79	Сірий поверхнево глеюватий середньозмитий	Крупнопилювато важкосуглинковий	ТЕ-1, 234	Рілля	18,0 – 0,82 – 9,30 – 15,6 – 7,75 – 22,4 – 0,38 – 1,15 – 0,42 – 1,20
58	Сірий поверхнево глеюватий слабкозмитий	Крупнопилювато середньо-суглинковий	Е, 252	Сад	19,4 – 0,85 – 15,6 – 50,0 – 9,30 – 28,0 – 0,22 – 1,45 – 0,50 – 2,55
57	Сірий поверхнево глеюватий слабкозмитий	Крупнопилювато середньо-суглинковий	Е – ТЕ-1, 260	Сад	16,8 – 0,98 – 17,7 – 37,0 – 12,0 – 26,3 – 0,68 – 1,18 – 0,58 – 1,88
56	Сірий поверхнево глеюватий середньозмитий	Крупнопилювато важкосуглинковий	ТЕ-1, 256	Сад	13,4 – 0,88 – 14,7 – 21,8 – 9,65 – 22,0 – 0,35 – 1,65 – 0,58 – 1,25
44	Сірий поверхнево глеюватий слабкозмитий	Крупнопилювато середньо-суглинковий	ТЕ-1, 240	Рілля	15,5 – 0,89 – 14,9 – 17,4 – 9,65 – 29,3 – 0,28 – 1,72 – 0,38 – 1,90
Катена Т–Т ¹					
57 ¹	Сірий поверхнево глеюватий	Крупнопилювато важкосуглинковий	ТЕ-1, 276	Рілля	13,1 – 0,93 – 14,2 – 26,6 – 12,3 – 34,9 – 0,58 – 0,88 – 0,18 – 5,08

49	Сірий поверхнево глеюватий слабкозмитий	Крупнопиловато середньо-суглинковий	ТЕ-1, 252	Рілля	14,5 – 0,82 – 13,2 – 17,8 – 8,70 – 22,4 – 0,21 – 2,35 – 0,35 – 1,60
46	Сірий поверхнево глеюватий середньозмитий	Крупнопиловато важкосуглинковий	Е-2, 212	Пасовище	13,9 – 0,89 – 9,90 – 14,4 – 7,0 – 18,8 – 0,12 – 2,22 – 0,42 – 1,55
38	Сірий поверхнево глеюватий сильнозмитий	Слабкощербнюватий крупнопиловато важкосуглинковий	ТЕ-2, 148	Пасовище, яри, зсуви	18,2 – 0,85 – 12,2 – 30,6 – 9,0 – 24,4 – 0,22 – 1,22 – 0,22 – 1,40
Річка	-	-	-	-	-
31	Сірий поверхнево глеюватий сильнозмитий	Слабкощербнюватий крупнопиловато важкосуглинковий	ТЕ-2, 156	Рілля	14,6 – 0,78 – 11,1 – 18,2 – 9,15 – 21,6 – 0,42 – 1,45 – 0,40 – 0,93
23	Сірий поверхнево глеюватий сильнозмитий	Крупнопиловато середньо-суглинковий	ТЕ-1, 170	Рілля	14,3 – 0,85 – 13,6 – 18,8 – 9,85 – 21,9 – 0,60 – 1,99 – 0,50 – 1,30
13	Сірий поверхнево глеюватий	Крупнопиловато середньо-суглинковий	ТЕ-1, 174	Рілля	16,4 – 0,85 – 11,5 – 17,6 – 9,60 – 26,0 – 0,58 – 1,38 – 0,38 – 1,52
14	Сірий поверхнево глеюватий середньозмитий	Крупнопиловато середньо-суглинковий	ТЕ-2, 156	Рілля	n – 0,95 – n – n – n – n – 0,70 – 1,95 – 0,95 – 1,0
15	Сірий поверхнево глеюватий сильнозмитий	Крупнопиловато важкосуглинковий	ТЕ-2 – ТА, 136	Лісопосадка	12,8 – 1,07 – 12,6 – 14,7 – 8,90 – 20,4 – 0,50 – 2,65 – 0,40 – 1,40

* - Pb – Cd – Cu – Ni – Cr – Zn – Cu-г – Ni-г – Cr-г – Zn-г (г – рухомі форми елементів)

Униз по схилу на орних землях виділено 4 транселювіальних ЕЛ, межі між якими проведено за переломами в рельєфі: найстрімкіший (> 5–7°) привододільний схил з середньозмитим крупнопиловатим важкосуглинковим (№ 60); субгоризонтальний (2–3°) ЕЛ № 57¹ з незмитим крупнопиловатим важкосуглинковим; сусідня з нею стрімкіша частина схилу (5°) з слабкозмитим крупнопиловатим середньосуглинковим (№ 49) та з таким же ґрунтом, але меншої крутизни ЕЛ 44, що розміщений в середній частині всього схилу (табл. 1). Індекс насиченості металами вниз по схилу становить 0,73 і 0,71; 1,1 і 0,8; 0,89 і 0,71 та 0,98 і 0,74, відповідно.

Отже, тільки на ЕЛ з незмитим ґрунтом спостерігається акумуляція валового вмісту важких металів. Для рухомих форм елементів у всіх випадках спостерігається міграція. У цілому переважання міграційних процесів зумовлене перш за все

розораністю схилів. Серед елементів найінтенсивніше мігрують валові нікель та свинець; мідь, хром і цинк виносяться з двох ЕЛ, які межують з вирівняними в рельєфі ЕЛ (60 і 49). Акумуляція спостерігається на ЕЛ з незмитим ґрунтом (57¹) і на території 44 ЕЛ із слабкозмитим ґрунтом (розміщений на межі із пасовищем до перелому в рельєфі). На всіх ЕЛ кількість кадмію близька до фону, тобто цей елемент мігрує слабкіше. Рухомі форми, як і очікувалося, переважно виносяться з ЕЛ даної катени. Отже, фактор рельєфу за умови однакового стану поверхні і ґрунтоутворюючої породи має важливіше значення для формування геохімічного поля ґрунтів ЕЛ.

Розміщені нижче по схилу 3 ЕЛ (37¹, 37 та 36) на території природних лук відрізняються за стрімкістю (найстрімкіший – найнижчий, який межує із річищем ЕЛ 36), а тому й за потужністю профілів ґрунтів (середньо-, сильно- та слабкозмиті відповідно, табл. 1). Поверхня середнього з цих ЕЛ найменше змінена ерозійними процесами, а 36 і 37¹ – ускладнені активними зсувами та ярами. Слід відзначити і найлегший серед ґрунтів усієї катени гранулометричний склад 36-го ЕЛ, який, ймовірно, сформувався під впливом алювіальних відкладів. Із униз по схилу складає 1,03; 1,12 та 0,79, а I_p – 0,9; 0,62 та 1,03 відповідно. Отже, певні акумулятивні процеси превалують на задернованих ЕЛ із важчим гранулометричним складом та меншою стрімкістю, порівняно із 36 ЕЛ, на якому вплив фактора рельєфу (максимальна для території дослідження стрімкість), а також легшого гранулометричного складу зумовив посилену міграцію. Ймовірно, що навіть без геоморфологічного чинника валовий уміст важких металів на цій території був би меншим через піщано-легкосуглинковий склад, порівняно із крупнопилувато-важкосуглинковим на двох вищерозміщених ЕЛ.

Коефіцієнт місцевої міграції підтверджує акумуляцію на 37 і 37¹ ЕЛ, а також для свинцю, міді й цинку – на 36-ту. Навіть в умовах, сприятливих для міграції, на сьогодні виніс переважає лише для нікелю (валового і рухомих форм) і хрому валового.

Отже, стан поверхні, як показав аналіз катени А–А¹, відіграє важливішу роль, за умов однакового ґрунтового покриву, при меншій стрімкості схилів (до 10°). За наявності стрімких схилів (понад 10°) головна роль належатиме геоморфологічному фактору. Звичайно ж, такі схили не можуть розорюватися, але навіть при їх задернованості латеральний переніс, у тому числі і внутрішньоґрунтовий, очевидно, має істотне значення, що й зумовлює в багаторічному аспекті певний геохімічний статус, кількісну оцінку якого дає індекс насиченості ґрунту елементами.

Найбільш схильні до міграції (згідно з K_m) такі елементи, як нікель (і валовий, і рухомі форми) та мідь валова. Рухомі форми елементів, що й априорі допускалося, інтенсивніше мігрують, порівняно з валовим вмістом. Найменше мігрують як валові, так і рухомі форми цинку. Таким чином, для ЕЛ цієї катени виявлено більшу інтенсивність процесів радіального виносу на елювіальних ділянках, ніж латерального переносу на транселювіальних. Абсолютність цього висновку не просто підтвердити внаслідок відсутності задернованих ділянок на вододілах, тобто через неможливість дотримання принципу єдиної різниці за аналізованими умовами.

Доцільно припустити, що задернованість не лише зменшує поверхневий змив частинок ґрунту і разом з ними переніс елементів, але й спричинює біоаккумуляцію металів природною рослинністю, котра не зазнає щорічного відчуження, як біомаса культурних рослин. Тобто елементи накопичуються внаслідок прояву бар'єрної ролі кореневої системи рослин (про що свідчать численні дослідження).

Серед ЕЛ найактивніша міграція спостерігається: для 60-го (рілля із середньозмитим ґрунтом). Еродованість останнього є, очевидно, наслідком власне розораності території, яка до окультурення була під лучно-степовою рослинністю; для 36 ЕЛ, який має найнижче розміщення в катені з найстрімкішими задернованими схилами та з ґрунтами найлегшого гранулометричного складу; для 49 ЕЛ – рілля із слабкозмитим ґрунтом на переломі рельєфу. Акумулятивні процеси переважають на 33 і 37 ЕЛ (здернований схил із середньозмитим ґрунтом та стрімкістю від 5 до 10°) та на ЕЛ 57¹ – рілля на субгоризонтальній ділянці з незмитим ґрунтом.

Для рухомих форм міграційні процеси домінують на 34 (задернована верхня частина схилу із сильнозмитим ґрунтом) та 60 (як і для валового вмісту) ЕЛ. Їх акумуляція виявлена на 36 і 37 ЕЛ.

У цілому для катени А–А¹ переважає міграція свинцю, міді і нікелю та рухомих форм нікелю і хрому, інші елементи – у межах фону.

Катена Т–Т¹. Елювіальними для неї є ЕЛ 61, описаний для катени А–А¹, та 13 ЕЛ, розміщений на лівому березі р. Молотківський, який є вододілом між цією річкою і Дністром (табл. 1). Цей ЕЛ з сірим лісовим поверхнево-глеюватим крупнопилувато-середньосуглинковим ґрунтом на лесовидному суглинку розміщений посередині між 2 схиловими ЕЛ у напрямку до Дністра (на північ–північний схід) і 2 ЕЛ до р. Молотківський (на південь–південний захід). *I_v* складає 0,93, що свідчить про певну тенденцію до виносу (насправді мігрують лише нікель і мідь), але в цілому про рівновагу між акумуляцією і міграцією. *I_p* становить 0,80 – виносяться всі рухомі форми елементів. Міграція спричинена розораністю, радіальним виносом та щорічним відчуженням металів з біомасою культурних рослин.

До Дністра зверху вниз розташовані 14 (рілля у верхній частині схилу стрімкістю 4–5° з середньозмитим середньосуглинковим ґрунтом; даних про валовий уміст важких металів немає, *I_p* = 1,03, за рахунок інтенсивного виносу цинку, оскільки всі інші елементи накопичуються) та 15 ЕЛ (водозахисна лісосмуга вздовж Дністра в нижній частині схилу із сильнозмитим слабкощербуватим крупнопилувато-важкосуглинковим ґрунтом; *I_v* складає 0,86 – акумулюється лише кадмій, мігрують свинець, нікель і цинк; *I_p* = 0,90 – найінтенсивніше мігрує мідь, а накопичується лише нікель). Отже, на 14 ЕЛ рухомі форми металів мають тенденцію до акумуляції, незважаючи на розораність й еродованість ґрунтового покриву (можливо, виявляється певний антропогенний вплив при внесенні добрив та меліорантів). Розсіювання на 15 ЕЛ, максимальне серед ландшафтів цієї катени, – наслідок дії геоморфологічного фактору та стану поверхні (посадка акації, вік 20–25 років). Лісова підстилка, яка ще не встигла сформуватися, має меншу здатність до накопичення досліджуваних елементів, порівняно з дерниною.

Від елювіального 13 ЕЛ вниз до р. Молотківський розміщені 23 і 31 ЕЛ, обидва з розораними сильнозмитими ґрунтами, а єдина відмінність, крім різного розміщення в межах катени – важчий гранулометричний склад для 31 ЕЛ (табл. 1). На вище-розміщеному 23 ЕЛ *I_v* складає 0,92 (виносяться цинк і нікель, акумулюється хром), а *I_p* – 0,91 (виніс рухомого цинку й акумуляція нікелю), тобто в цілому існує рівновага між виносом та накопиченням.

К_м для цих ландшафтів свідчить про виніс валових цинку й свинцю та рухомого цинку. Отже, підсумовуючи встановлене, виявляється певна тенденція до посилення міграції, яка, незважаючи на сильну еродованість і розораність, далеко не найбільша для території дослідження. Ймовірно, що ґрунти цих ЕЛ до початку антропогенезу містили первинно більшу кількість елементів.

На сусідньому вниз по схилу 31 ЕЛ більшість валових і всі рухомі форми металів виносяться, а згідно *К_м* – мігрують цинк (і валовий, і рухомі форми), свинець та рухома мідь. Виявляється також тенденція до виносу інших елементів, тобто більша стрімкість на короткопрофільних ґрунтах спричинила посилення міграційних процесів.

На правому березі р. Молотківський від елювіального 61 ЕЛ вниз розташовані 57¹ і 49 ЕЛ (описані для катени А–А¹) та 46 ЕЛ (кам'янисте пасовище в середній частині схилу із середньозмитим ґрунтом), який характеризується посиленими міграційними процесами (*I_v* дорівнює 0,77 а *I_p* – 0,63): виносяться всі елементи, крім кадмію. *К_м*, проте, свідчить про максимальний виніс на сьогоднішньому етапі лише нікелю, а інші метали – у стані рівноваги між міграцією – акумуляцією. З рухомих форм найінтенсивнішим мігрантом є мідь, а накопичується – нікель.

Останній у катені для цього схилу 38 ЕЛ розташований на пасовищі, ускладненому ярами і балками з найвищою (як і для 36 ЕЛ) стрімкістю, оскільки

вони, власне, межують уздовж берега р. Молотківський. Грунти цього ЕЛ сильнозмиті слабкощелебноваті крупнопилювато-важкосуглинкові; Ів складає 1,02 (рівновага між міграцією–акумуляцією). При детальнішому розгляді кожного металу виявляється накопичення для свинцю, нікелю і хрому, інші – схильні до акумуляції згідно з Км та до розсіювання за Кк. Ір для цього ЕЛ дорівнює 0,52: усі рухомі форми тут виносяться, утворюючи такий ряд за інтенсивністю цього процесу: *мідь* > *хром* > *нікель* > *цинк*. Отже, фактор рельєфу тут зумовлює міграцію рухомих форм, валовий же вміст елементів акумулюється, очевидно, внаслідок впливу стану поверхні (природні луки).

У цілому на цій катені на елювіальних ландшафтах важкі метали переважно вилугуюються під впливом розораності і радіальних низхідних токів вологи. Найбільше розсіювання валового вмісту елементів серед транслювіальних ландшафтів характерне для 15 і 31, а акумуляція – для 38 і 57¹. Серед рухомих форм металів найбільша міграція властива 38 і 31 ЕЛ, а нагромадження – 14 і 23 ЕЛ. Найінтенсивніше виносяться валовий і рухомі форми цинку, валовий нікель та рухомі форми міді.

Як видно з аналізу цієї катени, результати для окремих ЕЛ й елементів відрізняються, порівняно з катеною А–А¹, що спричинено не тільки природними факторами і господарською діяльністю, але й геохімічною історією розвитку та різноманітнішими умовами на профілі. Отже, на схилових (ксероморфних) ґрунтах з укороченим, порівняно з вододільним аналогом, профілем доцільніше говорити не про акумуляцію внаслідок латерального переносу, а про: 1) біоакумуляцію під природними луками; 2) про апіорі вищий уміст елементів через близьке залягання ґрунтоутворюючих порід важчого гранулометричного складу; 3) про посилені виніс елементів з профілю ґрунтів. У цілому для цієї катени виявлено переважання розсіювання, особливо для нікелю.

Катена Б–Б¹ проходить вздовж гребня найбільш вирівняної частини території дослідження, розміщеної в меандрі Дністра. Тому її початок і закінчення приурочені до дністровських схилів, а елювіальним ландшафтом є місцевий вододільний простір, в центрі якого розміщений 16 ЕЛ. У цілому міграція зменшується від північно-західного схилу до вододілу і знову зростає вниз уже на південно-східному схилі, що є правим берегом Дністра. Розсіювання як валових, так і рухомих форм металів переважає на 11, 6 та 12 ЕЛ (у порядку зменшення інтенсивності міграції), а ряд інтенсивності розсіювання для валового вмісту має вид: *нікель* > *мідь* > *хром* > *свинець* > *цинк* > *кадмій*; рухомі ж форми мають практично однакову здатність до розсіювання.

Указані ЕЛ з максимальним розсіюванням елементів є досить близькими за умовами: рілля, невеликий схил (2–4°), тобто майже привододільні простори, сірий лісовий поверхнево-глеюватий крупнопилювато-середньосуглинковий ґрунт на лесовидному суглинку (табл. 1). Тому головною причиною міграції важких металів вважаємо розораність ґрунтів. Річ у тому, що й на території елювіального (16 ЕЛ) та сусіднього з ним на протилежному схилі 24 ЕЛ умови цілком тотожні, за винятком практично рівної поверхні, де латеральний переніс не відбувається взагалі або він мінімальний. Розсіювання елементів, за винятком валового кадмію, притаманне і 5 ЕЛ, розміщеному на схилі (5–7°) до Дністра, із слабкозмитим ґрунтом та 26 ЕЛ (такий же схил, але протилежної експозиції з середньозмитим ґрунтом).

Про акумуляцію елементів свідчить індекс насиченості ґрунту металами на 16, 25 та 27 ЕЛ. Важко однозначно пояснити відсутність розсіювання елементів на 16-му елювіальному ландшафті, що переважало на елювіальних ландшафтах попередніх катен. Можливо, тут проявляється вихідний вищий уміст важких металів, пов'язаний із геохімічною історією розвитку цієї території, розміщеної між річками Дністер і Молотківський. Ймовірно також, що радіальний виніс гальмується підстеляючими породами та давньою історією заселення саме цієї частини, про що свідчать археологічні знахідки часів палеоліту. 25 ЕЛ – рілля у верхній частині схилу (3–4°) із слабкозмитим ґрунтом, а 27 ЕЛ – рілля на межі із лісозахисною смугою в нижній

частині схилу (5–8°) із сильнозмитим ґрунтом (табл. 1). Тобто, за природними умовами тут повинен би переважати процес розсіювання, а мігрують лише валова і рухома мідь та свинець. Аналізуючи окремо кожен із коефіцієнтів, стає зрозумілим, що для більшості елементів, згідно з K_m , існує поверхневий переніс, якого немає на елювіальному ландшафті. Але в багаторічному аспекті його роль була не настільки істотною, щоб докорінно перерозподілити вихідний вміст металів. Загалом на ЕЛ цієї катени свинець, мідь і нікель виносяться, порівняно із всією територією, кадмій і рухомі форми міді – акумулюються, інші ж елементи знаходяться в межах фону.

Останній побудований профіль ($K-K^1$) проходить від найвищої за абсолютними висотами частини території дослідження на південь до водозбору річки Прут, тобто це південні схили Хотинської височини (протилежної до всіх вищеописаних експозицій). Хоча долина Дністра врізана глибше, ніж долина Прута, проте південні схили мають більшу протяжність з меншою в цілому стрімкістю.

Загальна ознака описуваної частини, порівняно із всією досліджуваною територією, – відсутність процесів розсіювання для всіх валових форм (фон – для цинку та хрому), а для рухомих – виніс, за винятком хрому, який акумулюється.

На території елювіального ЕЛ (58 ЕЛ) розміщений сад та проходить найбільша серед усіх автодорога обласного значення. Ів складає 1,2, а Ір – 0,77 (крім рухомого цинку, інші елементи мігрують). Процеси акумуляції переважають на 57 ЕЛ (1, 21 та 0,94, відповідно) та для території 80 ЕЛ (Ів тут складає 0,99, Ір – 1,32). Останній розміщений у нижній частині протилежного відносно загального напрямку до Дністра схилу, в саду на сірому лісовому глейовому сильнозмитому крупнопилувато-важкосуглинковому ґрунті, що з глибини 1,8 м підстиляється дочетвертинними глинами. Тому в половині випадків K_m показує наявність міграції, хоча в багаторічному аспекті більшість елементів, в першу чергу їх рухомих форм, акумулюються, що підтверджує раритет геохімічної історії розвитку. Незважаючи на сприятливі для міграції умови, основна роль належала складу ґрунтоутворюючих порід. У даний час радіальний виніс може ускладнюватися через вплив водоупорних дочетвертинних глин.

Міграція серед усіх ЕЛ катени є найбільшою на території 79 ЕЛ, що пов'язано із його розміщенням в середній частині схилу на ріллі із середньозмитими ґрунтами. Цей ЕЛ знаходиться посередині між описаним 80-м та елювіальним 58-м. Наступними в сторону Дністра розташовані ще 3 ЕЛ: 44, описаний на профілі А–А¹ та 57 і 56, розміщені у верхній частині схилу в саду (відрізняються за ступенем змитості ґрунтів: слабо- та середньозмитий відповідно). Загалом тут також вищий вміст елементів, порівняно із всією територією дослідження і спостерігаються процеси виносу для окремих металів згідно з K_m .

Серед валового вмісту елементів міграція зменшується в ряду: *нікель* > *свинець* = *цинк* > *хром* > *мідь* > *кадмій*, а для рухомих форм – максимум розсіювання в цинку.

Для узагальнення результатів проводився статистичний (табл. 2) та кластерний аналізи. Отже, мігрантами згідно з K_k , є, в порядку зменшення інтенсивності виносу: $Cr-r > Cu-r > Ni > Cu$. Тобто поєднана дія всіх процесів на території дослідження має наслідком зменшення в ґрунтах вмісту вказаних елементів. Інші метали знаходяться в межах фонових значень. Сучасні міграційні процеси, як наслідок поєднаної дії різних чинників, призводять до виносу із транселювіальних ЕЛ ландшафтів тільки рухомих форм міді. Акумулюються у вказаних ЕЛ валовий вміст кадмію, міді і цинку та рухомі форми хрому. Інші елементи знаходяться в межах фонових показників.

Для всієї території, на якій закладалися катени, кларки концентрації і коефіцієнт місцевої міграції корелюють між собою для всіх елементів, крім рухомих форм міді. Кількість істотно значущих коефіцієнтів кореляції між самими K_m вдвічі більша, ніж між K_k , що може бути свідченням впливу більшої кількості факторів на кларк концентрації, в той час як коефіцієнт місцевої міграції в першу чергу пов'язаний із фактором рельєфу.

Для визначення ієрархії між елементами за згадуваними коефіцієнтами проводився кластерний аналіз двома методами: найближчого сусіда і Варда,

відповідно на основі Евклідової відстані та коефіцієнта Пірсона. Чіткі кластери з кращими позиціями для тлумачення виходили у випадку використання методу Варда на основі коефіцієнта Пірсона.

Отже, за кларком концентрації дві окремі групи утворюють валовий вміст і рухомі форми. В останньому випадку нікель об'єднується з хромом, а мідь з цинком. Чіткий кластер утворюють валові хром та цинк, до яких приєднується мідь, а другу групу – свинець і нікель, до яких долучається кадмій. Таке позиціювання підтверджується в більшості випадків відповідними коефіцієнтами кореляції. За коефіцієнтом місцевої міграції спорідненість між окремими елементами (в першу чергу валовим їх вмістом) також є більшою (за аналогією з коефіцієнтами кореляції).

Таблиця 2

Статистичний аналіз кларків концентрації та коефіцієнтів місцевої міграції

Елементи	M±m	Геометричне	Min	Max	Асиметрія*	Ексцес*
Kk						
Pb	0,95±0,03	0,94	0,51	1,27	- 0,51	0,78
Cd	1,01±0,03	1,0**	0,49	1,54	0,79	4,50
Cu	0,92±0,04	0,89	0,52	1,69	1,06	3,19
Ni	0,90±0,06	0,85	0,46	1,97	1,41	1,82
Cr	1,0±0,04	0,97	0,54	1,46	-0,04	0,001
Zn	0,98±0,03	0,96	0,64	1,37	0,30	- 0,75
Cu-r	0,99±0,13	0,82	0,19	4,36	3,03	12,0
Ni-r	0,91±0,06	0,84	0,22	1,72	0,46	- 0,03
Cr-r	0,89±0,08	0,81	0,33	2,56	2,19	5,65
Zn-r	0,99±0,10	0,87	0,34	2,64	1,85	2,89
Km						
Pb	0,99±0,04	0,96	0,60	1,74	1,01	1,74
Cd	1,14±0,05	1,11	0,85	2,25	2,63	6,98
Cu	1,12±0,06	1,07	0,53	1,82	0,41	- 0,79
Ni	0,91±0,07	0,82	0,31	1,81	0,57	- 0,36
Cr	1,04±0,05	1,0	0,44	1,73	0,32	0,003
Zn	1,10±0,06	1,05	0,58	1,95	0,96	0,62
Cu-r	0,99±0,13	0,74	0,15	3,18	1,41	2,28
Ni-r	1,04±0,07	0,95	0,26	2,0	0,43	0,10
Cr-r	1,22±0,10	1,10	0,37	2,88	1,37	1,28
Zn-r	1,15±0,15	0,95	0,34	4,20	2,53	6,70

* Помилка асиметрії – 0,40, ексцесу – 0,78; ** Виділено значення середнього геометричного, які використано для характеристики ряду через істотне відхилення від нормального розподілу.

Установлено, що аналогічний характер латеральної міграції мають цинк, хром, мідь та нікель. Накопичення в ґрунті свинцю і кадмію, як і всіх рухомих форм елементів, – наслідок впливу і латерального переносу. Актуальна кількість в ґрунті валових цинку, хрому і міді не так однозначно залежать від їх поверхневої міграції.

Визначення рухомості важких металів (відсоткової кількості рухомих форм від їх валового вмісту) також проводилося з метою порівняння ЕЛ за умовами міграції. Середні значення рухомості зменшуються в ряду: *цинк* (7,74 %) > *нікель* (7,53 %) > *хром* (6,35 %) > *мідь* (4,73 %). Усі ЕЛ можна розділити на 3 групи: а) де однозначно всі елементи мають вищу або нищу рухомість, порівняно із середньою; б) де переважає вища або нища рухомість; в) з неоднозначними показниками. Майже у 80 % випадків для всієї території рухомість важких металів відноситься до двох перших груп. Тому висновки про зв'язки рухомості важких металів з іншими показниками робитимемо на основі цих даних.

Виявлено, що підвищена рухомість важких металів призводить до зменшення індексу насиченості ґрунту елементами і цей процес переважає на розораних змитих середньосуглинкових ґрунтах, розміщених на схилах різної стрімкості. Якщо рухомість металів понижена, то індекс насиченості ними в більшості випадків (90 %) – підвищений. Це спостерігається переважно під багаторічними насадженнями (в тому числі й луками) на схилах, а якщо на ріллі – то остання, знову ж таки в 90 % випадків, розміщується на вододільних вирівняних елементах рельєфу.

Отже, у цілому індекс насиченості ґрунту металами виявляє геохімічний статус території, який склався за час її існування, а K_m – показує актуальну величину вмісту елементів, яка залежить від спрямованості процесів міграції – акумуляції в загальному для всієї території. Отже, індекс насиченості доцільніше використовувати для характеристики геохімічного стану ґрунтів, який склався протягом історичного часу внаслідок дії всіх процесів, що відбувалися. K_m краще використовувати для аналізу спрямованості міграційних процесів, тобто як наслідок дії перш за все фактора рельєфу території, під переважаючим впливом якого проходить перерозподіл елементів разом із перерозподілом речовини та енергії. Зрозуміло, що діяльність людини вносить у цей процес певні корективи, наприклад, оранка – посилює міграційні процеси і разом із відчуженням біомаси рослинної продукції зумовлює зменшення й кількості важких металів; внесення добрив може призводити як до збільшення, так і до зменшення вмісту елементів тощо.

Порівняння за K_m , тобто із умістом на елювіальному ландшафті, не обов'язково може трактуватися як акумуляція, наприклад, на транселювіальному ландшафті певних елементів. Більша їх кількість на схилових ділянках може бути наслідком процесу елювіюваності (виносу з верхніх горизонтів і відповідно їх збіднення на ті чи інші елементи) ґрунтів на елювіальних ландшафтах. На схилових ґрунтах, особливо задернованих, інтенсивність елювіальних процесів менша через перерозподіл частини вологи в поверхневий стік. Тому $K_m > 1,0$ неоднозначно характеризує акумулятивні процеси.

Що ж можна використовувати для точнішого виявлення міграції – акумуляції на ЕЛ? Таким показником швидше служитиме індекс насиченості ґрунту елементами, причому його можна розраховувати окремо для кожного металу і ці величини порівнювати із загальним для всіх елементів індексом насиченості. Іншим варіантом є попереднє, до розрахунку K_m , дослідження наявності радіального виносу на елювіальних ЕЛ шляхом обчислення коефіцієнтів радіального виносу (елювіально-акумулятивних). Якщо останні показують наявність елювіюваності, тобто вертикальної міграції металів і їх концентрацію в нижніх горизонтах, то порівняння процесів на ЕЛ за коефіцієнтом місцевої міграції буде некоректним. У випадку якщо радіального виносу на елювіальному ландшафті немає або він незначний, K_m може показувати спрямованість міграційних процесів на ЕЛ катени.

Найоптимальнішою класифікацією ЕЛ за вмістом елементів виявилася та, що проведена на основі середніх значень індексів насиченості ґрунтів важкими металами (табл. 3).

З метою систематизації ЕЛ було побудовано криву розподілу індексу насиченості ґрунтів важкими металами (відповідно до нормального закону розподілу), на основі якої ряд I_v розбили на 5 інтервалів: $< 0,73$; $0,73 - 0,90$; $0,90 - 1,10$; $1,10 - 1,30$ і $> 1,30$. Використання I_p проблемне, в силу більшої варіабельності вмісту рухомих форм елементів.

Характеристика ЕЛ, проведена після їх класифікації за I_v , дозволила встановити, що інтенсивне розсіювання, а отже, істотно понижений порівняно з фоном уміст важких металів, переважає на ріллі, розміщеній в більшості випадків у верхніх частинах схилів або на елювіальних ділянках; приблизно порівно це повнопрофільні ґрунти або слабкозмиті відміни; майже однаково – це середньо- і важкосуглинкові ґрунти (табл. 3). Тобто посилена радіальна міграція внаслідок переорювання, меншого впливу біоакумуляції і віддаленішої, порівняно із схиловими ґрунтами, материнської породи.

Таблиця 3

**Класифікація ЕІ згідно з індексом насиченості ґрунтів
важкими металами (Ів)**

Ів	Стан поверхні, %	Рельєф, %	Еродованість, %	Гранулометричний склад, %
< 0,73 – дуже розсіюються	Рілля – 64; луки і багаторічні насадження – по 18	ТЕ-1 – 55; Е – 27; ТЕ-2 – 18	Незмиті – 36; середньо- і сильнозмиті – по 26; слабкозмиті – 9	Середньосуглинкові – 45; важкосуглинкові – 36; слабкощербуваті важкосуглинкові – 18
0,73 – 0,90 – розсіюються	Рілля – 81; луки – 19	ТЕ-1 – 50; ТЕ-2 і Е по 25	Слабкозмиті – 37,5; незмиті – 31; середньо- і сильнозмиті – по 16	Середньосуглинкові – 69; важкосуглинкові – 25; піщані – 6
0,90 – 1,10 – фон	Рілля – 49; луки – 26; багаторічні насадження – 20; мочари – 5	ТЕ-2 – 49; ТЕ-1 – 31; Е – 17; ТА – 3	Сильнозмиті – 35; незмиті – 23; слабкозмиті – 22; середньозмиті – 20	Середньосуглинкові – 49; слабкощербуваті важкосуглинкові – 23; важкосуглинкові – 20, які в 15 % підстеляються глинами
1,10 – 1,30 – акумулюються	Багаторічні насадження – 40; луки – 33; рілля – 27	ТЕ-2 – 60; ТЕ-1 – 37; Е – 3	Середньо – і сильнозмиті – по 40; слабкозмиті – 15; незмиті – 3	Важкосуглинкові – 75; середньосуглинкові – 20; слабкощербуваті важкосуглинкові – 5; з усіх 20 % підстеляються глинами
> 1,30 – дуже акумулюються	Багаторічні насадження – 86, з них 29 % – лісосмуги; луки – 14	ТЕ-2 – 100	Сильнозмиті – 86; середньозмиті – 14	Важкосуглинкові – 100, з них 30 % підстеляються глинами

Розсіювання, тобто понижений уміст елементів, зустрічаються на ріллі, приуроченій переважно до верхніх частин схилів або до вододілів, розміщених на незмитих, переважно середньосуглинкових ґрунтах. Тобто ландшафтно-екологічні умови та процеси практично аналогічні попередній групі.

Фонова кількість важких металів пов'язана із різноманітними умовами, без істотного переважання окремих з них (половина випадків – рілля; половина ґрунтів – середньосуглинкові еродовані; на різноманітних елементах рельєфу). Тобто спостерігається поєднання всіх факторів в різних варіантах, одні з яких – сприяють міграції, а інші – акумуляції, що в кінцевому випадку зумовило фоновий уміст елементів.

Акумуляція (вміст переважає фоновий) спостерігається здебільшого під багаторічними насадженнями, в умовах задернованості; переважно на важкосуглинкових ґрунтах, кожен п'ятий з яких ще й підстеляється дочетвертинними глинами, розміщеними в абсолютній більшості випадків на схилах (ґрунті відміни з укороченим профілем, тобто ґрунтоутворююча порода наближена до поверхні).

Сильна акумуляція (високий уміст металів) – це стовідсотково важкосуглинкові ґрунти (до того ж кожен третій підстеляється дочетвертинними глинами) з укороченим профілем (інтенсивніший вплив материнської породи), всі вони розміщені в нижніх частинах схилів під багаторічними насадженнями та луками (в умовах замкнутого колообігу елементів). До того ж, такі фактори лімітують міграційні процеси, в першу чергу радіальні.

ВИСНОВКИ

Отже, для характеристики часово-просторового перерозподілу вмісту важких металів потрібно використовувати індекс насиченості ґрунтів та міграції коефіцієнти. Виділення ЕЛ та об'єднання їх в групи за вмістом важких металів в ґрунтах доцільно проводити на основі аналізу еколого-ландшафтних умов території: геоморфологічних, літологічних, стану поверхні та рослинності. Але для коректного вивчення геохімії ґрунтового покриву ЕЛ необхідні дані про вміст важких металів не лише у верхньому горизонті, але й по профілю переважаючих ґрунтів (до материнської породи), на основі яких можливе виявлення вертикального переносу. Порівняння за K_m доцільне для аналогічних за радіальною міграцією ЕЛ або для підпорядкованих ЕЛ з елювіальними при відсутності виносу з верхнього горизонту в останніх.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высш. шк., 1988. – 327 с.
- Касимов Н. С. Геохимия степных и пустынных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 252 с.
- Касимов Н. С. Базовые концепции и принципы геохимии ландшафтов // Геохимия ландшафтов и география почв. – М.: Ойкумена, 2002. – С. 23–39.
- Перельман А. И. Геохимия ландшафта. – М.: Высш. шк., 1975. – 341 с.
- Полупан Н. И. Влияние микрорельефа склоновых земель на процессы эрозии // Почвоведение. – 1998. – № 6. – С. 753–762.
- Пушкаръов О. В., Давидчук В. С., Сущик Ю. Я., Шраменко І. Ф. Оцінка авто-реабілітаційних властивостей природного середовища // Доповіді Національної академії наук України. – 2000. – № 2. – С. 208–213.

Надійшла до редколегії 25.05.04