

УДК 502.521+502.175

**ОЦІНКА ЧАСОВОЇ ДИНАМІКИ ЕКОЛОГО-БІОГЕОХІМІЧНОГО
СТАТУСУ ЛАНДШАФТІВ****Ю. Дмитрук***Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича,
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58012, Україна*

Запропоновано алгоритм оцінки еколого-біогеохімічного статусу ландшафтів, що є результатом міграційних процесів, сліди яких зберігаються в ґрунті. На прикладі екотопу Брусниця з'ясовано, що валова кількість важких металів з часом зменшується, а їхня рухливість – збільшується. Еколого-біогеохімічний статус агроландшафтів має підвищений вміст важких металів, особливо – рухомих форм.

Ключові слова: коефіцієнти, еколого-біогеохімічний статус, структура, міграція-акумуляція, важкі метали, розподіл, динаміка.

Процеси в екосистемах визначені біогеохімічними циклами елементів і сполук (В.І. Вернадський, Б.Б. Полинов, В.М. Сукачов, В.А. Ковда, Ю.П. Бяллович, Ф.М. Козловський, В.В. Добровольський). Цикли, як впливає з теоретичного доробку В.І. Вернадського, повторні тільки у головному, отже, повний баланс протягом досить тривалого періоду неможливий. Цей факт пояснює часову дисипацію хімічних елементів, перш за все мікроелементів, у межах конкретних ландшафтів. Виникнення дисипативних структур в екосистемах пов'язане з нелінійностями. Нелінійними структурами вважають просторово неоднорідні (стаціонарні, або структури Тюрінга) до яких належать насамперед ґрунти, особливо як результат самоорганізації в системі біоценоз–ґрунт, та неоднорідні просторово-часові [7]. Дисипація властива біокосним системам у разі вилучення з аналізу біогенних процесів.

Дослідження історії розвитку екосистем потребує вивчення змін показників за глибиною (по осі OZ) не тільки до ґрунтоутворювальної породи, а й до виявлених горизонтів похованих ґрунтів, розміщення яких стратифіковане відповідно до еколого-ландшафтних умов минулих періодів. Поховані ґрунти з іманентними особливостями, вираженими у наборі своєрідних властивостей, морфології, структурі тощо, мають і певний еколого-геохімічний статус. Конкретні умови, у яких формувалися та існували поховані ґрунти, визначили хід процесів міграції–акумуляції хімічних елементів і вплинули на генезис геохімічних бар'єрів.

Еколого-біогеохімічний статус ландшафтів (екосистем) – синтетичний інтегральний показник міграційної структури, який характеризують деяким вмістом хімічних елементів і їхніми співвідношеннями в компонентах ландшафту. Він визначений інтенсивністю міграційних потоків, які поєднують компоненти ландшафту та ландшафт з навколишнім середовищем, а також педобіогеохімічною структурою – міграційною структурою ґрунтів екосистем. Міграційну структуру характеризує певна інтенсивність радіальних і латеральних потоків, генетично та функціонально взаємопов'язаних і взаємозалежних, тобто міграційна структура виділяється просторовою і ча-

совою динамікою. У такому контексті важливу роль відіграє ґрунт, який зберігає у - профілі ознаки всіх процесів (ґрунт-пам'ять). Тому педоцентричний підхід найперспективніший у разі оцінювання екологічного стану ландшафту.

Педобіогеохімічна структура, а отже, й еколого-біогеохімічний статус екосистем може бути фоною або аномальною (підвищеного чи зниженого вмісту хімічних елементів). Їхня оцінка можлива за умов прив'язки до екосистем певного хорологічного рівня. Фонової педобіогеохімічної структури притаманний рівномірний просторово-часовий розподіл хімічних елементів, вміст яких є в межах певної хорологічної і хронологічної мінливостей. Аномальна педобіогеохімічна структура утворюється, насамперед, у трансформованих техногенезом екосистемах. Вона має як підвищену, так і знижену кількість хімічних елементів, а також порушення співвідношень між ними. Причина дисбалансу – трансформація міграційної структури сучасних екосистем унаслідок антропогенезу. Аномальна педобіогеохімічна структура природних екосистем може бути і результатом їхнього розвитку. Оцінка такої структури пов'язана з використанням цих екосистем людиною і виникненням проблемних ситуацій.

Розвиток розглядають як універсальну властивість системи та всіх її компонентів [6]. Доречно нагадати слова В.І. Вернадського: "Геохімія – історія атомів хімічних елементів" [1], а в геосистемному контексті – вислів Л.С. Берга (цитуємо за А.Г. Ісаченко [4]): "Зрозуміти даний ландшафт можна тільки тоді, коли відомо, як він утворився і яким стане з часом". Без характеристики часової динаміки неможливий аналіз (оцінка, прогноз) еколого-біогеохімічного статусу екосистем. Часову динаміку педобіогеохімічної структури ландшафтів характеризують радіальною диференціацією вмісту хімічних елементів за типовими палеогоризонтами, у яких відображений розвиток цієї системи (еколого-біогеохімічний статус палеоекосистем), а палеоландшафти, відповідно, – окремим палеогеохімічним фоном. Порівняння з ним педобіогеохімічної структури сучасних екосистем – основа аналізу їхньої просторово-часової організації.

Отже, у разі оцінювання сучасного стану ландшафтних систем палеопедогеохімічний аналіз дає змогу: а) визначити природний фон території дослідження; б) виявити загальний тренд часових змін вмісту хімічних елементів, у тому числі до техногенезу; в) підтвердити (заперечити) техногенну складову у вмісті хімічних елементів; г) виконати ретроспективний аналіз динаміки важких металів у ґрунтах і відкладах та виявити поховані утворення, найближчі за особливостями біогеохімії до сучасних ґрунтів; д) дослідити особливості міграції-аккумуляції хімічних елементів для характеристики еколого-ландшафтних умов минулих періодів. Палеопедогеохімічний аналіз є системним і охоплює, відповідно до поставленої мети, окремі або всі з перелічених аспектів дослідження. Тому й методичні підходи можуть бути досить різними.

З'ясування еколого-біогеохімічних особливостей часової динаміки хімічних елементів неможливе без аналізу їхнього радіального перерозподілу. Проте побудова відповідних кривих на підставі абсолютного вмісту часто не вирішувала проблеми через різний вплив важких металів. Тому апробували різні підходи: 1) визначали коефіцієнт радіальної диференціації K_r [2] (вміст хімічних елементів у кожному горизонті ділили на середній для всього розрізу); 2) розраховували коефіцієнт елювійованості: а) загальний K_E шляхом порівняння вмісту металів у кожному горизонті з їхньою кількістю найдавніших для конкретного розрізу відкладів, що дає змогу виявити тренд геохімічних змін за час існування розрізу; б) місцевий $K_{E/A}$ – порівняння вмісту елементів у кожному горизонті з їхньою кількістю у ґрунтоутворювальних породах кожного ґрун-

тового профілю різних стадіалів. Коефіцієнт радіальної диференціації характеризує відхилення вмісту хімічних елементів від їхнього середнього значення, тобто особливості часової міграції–акумуляції. Коефіцієнт загальної елювійованості допомагає аналізувати місця накопичення–винесень за період існування розрізу. Місцевий коефіцієнт елювійованості демонструє перерозподіл хімічних елементів у профілі кожного ґрунту, порівняно з його материнською породою, тобто виявляє характер педогенезу на окремих етапах розвитку ландшафту.

Після визначення коефіцієнтів для кожного з хімічних елементів обчислювали їхнє середньогеометричне значення, яке наносили на графік і апроксимували найефективнішим для заданих умов методом. Лінія апроксимації відображає тренд змін кількості кожного хімічного елемента та їхню загальну динаміку. Виявлено, що валовий вміст важких металів з часом розсіюється (тренд таких змін оптимально характеризує поліном четвертого степеня; $R^2=0,67$), а кількість рухомих форм навпаки, зростає (поліном другого степеня; $R^2=0,76$). З'ясовано, що лінії профільних змін названих коефіцієнтів досить близькі між собою: перші дві – паралельні й близькі за абсолютними значеннями, третя, з огляду на методику розрахунку, іншого характеру, проте загалом тотожна з попередніми. Тому загальну оцінку еколого-біогеохімічного статусу можна давати на підставі однієї з зазначених ліній. Ми рекомендуємо використання коефіцієнта радіальної диференціації (рис. 1). Залежно від особливостей оцінювання екологічного стану ландшафтів можна аналізувати всі перелічені коефіцієнти з урахуванням наявності даних та можливостей дослідження палеогоризонтів.

Для характеристики розподілу важких металів за похованими горизонтами розраховують: середні для кожного горизонту за умови відбору не менше двох зразків; середньозважене для всього розрізу; варіабельність вмісту хімічних елементів у горизонтах і розрізі загалом. Інформативним є порівняння вмісту важких металів у сучасних ґрунтах агроландшафтів з їхньою кількістю в похованих горизонтах. Для цього підбирають розрізи з палеоґрунтами, розташовані в межах стаціонарів або в аналогічних, якнайближче розміщених ландшафтах. Для порівняльного аналізу використовують фоновий вміст важких металів у ґрунтах агроєкосистем (середні значення з усіх вимірювань) і середню кількість хімічних елементів для кожного стадіалу. На підставі коефіцієнтів концентрації (розсіювання) окремих хімічних елементів знаходять їхнє середнє геометричне K_K . Відповідно, значення K_K від 0,90 до 1,10 свідчать про аналогічний еколого-біогеохімічний статус сучасних і похованих ґрунтів; значення K_K понад 1,10 – про підвищений, а до 0,90 – про знижений вміст хімічних елементів у сучасних ґрунтах порівняно з похованими [3].

Наприклад, проаналізуємо часову динаміку кількості важких металів за горизонтами розрізу Брусниця (див. таблицю). В його окремих горизонтах переважають процеси акумуляції, в інших – розсіювання. Водночас різні метали мають певні особливості поведінки. Тому розраховували середньогеометричні значення коефіцієнтів, які становлять для валового вмісту (для рухомих форм), відповідно: загальної елювійованості (K_E): hl–0,74 (1,57); bg–0,94 (1,86); vt–1,02 (1,90); ud–0,98 (2,31); pl–0,79 (1,25); kd–0,85 (0,87); місцевої елювійованості ($K_{E/A}$): hl–0,78 (0,85); vt–1,05 (0,83); pl–0,74 (1,25); kd–0,85 (0,87); радіальної диференціації: hl–0,89 (1,05); bg–1,14 (1,24); vt–1,25 (1,27); ud–1,18 (1,54); pl–0,89 (0,84); kd–1,03 (0,58); dn–1,22 (0,67).

Отже, порівняно з відкладами дніпровського кліматоліту вміст важких металів у сучасних ґрунтах розсіюється, за винятком рухомих форм Zn, Fe і Mn (див. рис. 1; таблицю). Елементи Zn, Fe і Mn – есенціальні для біоти, тому збільшення їхньої кількості

підтверджує інтенсифікацію геохімічної ролі живих організмів протягом голоцену та відповідну біогеохімічну трансформацію еколого-біогеохімічного статусу ландшафтів. Та хоча загалом вміст металів у горизонтах цього розрізу фоновий, їхня кількість менша від середніх для Передкарпаття значень, насамперед це стосується сірих лісових ґрунтів голоцену. Переважне розсіювання спричинене розміщенням екотопу у верхній частині схилу, де превалюють латеральні міграційні процеси.

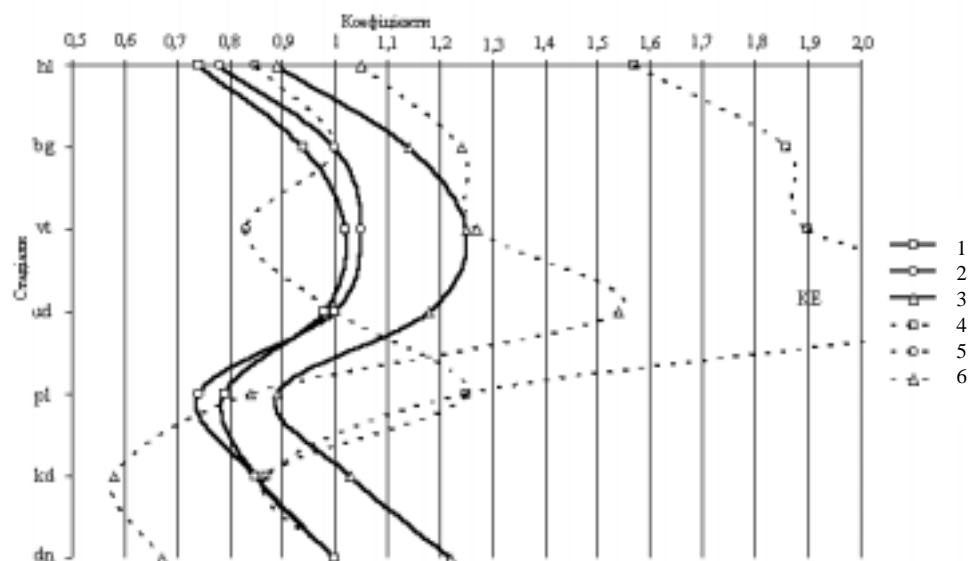


Рис. 1. Розподіл по профілю розрізу Брусниця коефіцієнтів елювйованості та радіальної диференціації вмісту важких металів (1–3 – валового; KE, KE/A, КР; 4–6 – рухомих форм; KE, KE/A, КР).

У разі порівняння ґрунтів з корелятивними відкладами для всіх горизонтів, крім вітачівських, простежено переважання процесів розсіювання. Причини цього описані нами раніше, зокрема, превалювання від'ємного балансу речовини під час удайського стадіалу, щодо гідроморфних ґрунтів вітачівського кліматоліту. Таке співвідношення процесів акумуляції–міграції виявлено і для інших територій [5]. На підставі розрахунку $K_{E/A}$ з'ясовано, що в горизонтах ґрунтів різних періодів валовий вміст важких металів завжди менший, ніж їхня кількість у підстиляючих відкладах. Виняток становлять, як і для першого варіанта, горизонти вітачівського стадіалу. Для них зареєстровано навіть певне переважання акумуляції хімічних елементів, крім Cd (див. таблицю).

Поведінка рухомих форм металів динамічніша, що ускладнює аналіз (див. рис. 1). Проте всі елементи можна розділити на дві групи: халькофільні, вміст яких порівняно з їхньою кількістю у дніпровському горизонті зменшився (Cu, Ni, Cr), і біофільні, кількість яких збільшилася (Zn, Fe, Mn). Вміст рухомих форм елементів-біофілів (Zn, Mn) збільшується від дніпровського стадіалу до вітачівського, а після нього їхня кількість поступово розсіюється, причому інтенсивність цього процесу зростає до голоцену. Однозначно на етапах педогенезу збільшується рухомість Zn, для інших же елементів цей показник не має чіткої прив'язки до горизонтів ґрунтів або відкладів. Аналогічний результат отримано і в разі аналізу $K_{E/A}$ рухомих форм. В останньому ви-

Коефіцієнти елювійованості та радіальної диференціації важких металів за горизонтами розрізу Брусниця

Гори-зонти	Валових						Рухомих форм					
	Pb	Cd	Cu	Ni	Cr	Zn	Cu	Ni	Cr	Zn	Fe	Mn
K_E (відклади дніпровського кліматоліту=1,0)												
hl	0,75	0,68	0,72	0,88	0,75	0,67	0,55	0,70	0,54	3,40	1,70	12,5
bg	1,02	0,96	0,87	1,18	0,88	0,80	0,57	0,94	0,47	1,83	4,41	20,1
vt	0,92	0,87	1,0	1,34	1,08	1,0	0,62	0,83	0,68	4,31	0,96	32,4
ud	0,94	1,09	0,95	1,13	0,86	0,88	0,91	0,89	0,85	2,12	3,46	29,8
pl	0,75	0,66	0,77	0,79	0,76	0,69	0,78	0,53	0,68	2,62	1,28	4,0
kd	0,77	0,84	0,87	1,03	0,81	0,78	0,81	0,28	0,59	2,38	1,15	1,20
dn	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
K_{E/A}												
hl	0,73	0,71	0,83	0,74	0,86	0,84	0,97	0,74	1,16	1,85	0,39	0,62
bg	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
vt	0,98	0,80	1,05	1,18	1,25	1,13	0,69	0,94	0,79	2,03	0,28	1,09
ud	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
pl	0,75	0,66	0,77	0,79	0,76	0,69	0,78	0,53	0,68	2,62	1,28	4,0
kd	0,77	0,84	0,87	1,03	0,81	0,78	0,81	0,28	0,59	2,8	1,15	1,20
dn	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
K_P												
hl	0,96	0,85	0,88	0,89	0,93	0,87	0,79	0,98	0,88	1,48	0,94	1,41
bg	1,31	1,20	1,06	1,20	1,08	1,04	0,82	1,32	0,76	0,80	2,43	2,27
vt	1,18	1,09	1,22	1,36	1,33	1,32	0,89	1,16	1,09	1,88	0,53	3,66
ud	1,21	1,37	1,16	1,15	1,06	1,16	1,31	1,24	1,38	0,93	1,90	3,36
pl	0,96	0,83	0,93	0,80	0,93	0,91	1,13	0,74	1,09	1,14	0,71	0,45
kd	0,99	1,06	1,06	1,05	1,0	1,03	1,17	0,39	0,96	1,04	0,64	0,14
dn	1,28	1,26	1,22	1,01	1,23	1,31	1,45	1,39	1,62	0,44	0,55	0,11

випадку одна різниця – кількість рухомих форм Fe у ґрунтах вітачівського і голоценового періодів, а рухомого Mn тільки для голоценового – менша, порівняно з корелятивними відкладами.

Аналіз часової динаміки вмісту важких металів у ґрунтах польових агроєкосистем стаціонару Драченці виконано на підставі порівняння з розрізом Брусниця. Загалом у ґрунтах агроєкосистем стаціонару Драченці валовий вміст Ni, Cd, Cr і Zn більший, ніж у похованих горизонтах, а кількість Cu і Pb – аналогічна (рис. 2, А). Особливо зросла у сучасних ґрунтах рухомість усіх металів, крім Cu, кількість якого зменшилася на третину (див. рис. 2, Б). Особливість поведінки цього елемента – своєрідність еколого-біогеохімічного статусу агроландшафтів. Збільшення вдвічі рухомості елементів пов'язане з істотними змінами ґрунтових властивостей унаслідок тривалого агрогенезу, зокрема у результаті суттєвого підкиснення ґрунтів, поєднаного з відомими для польових агроєкосистем процесами.

Особливо зменшена валова кількість важких металів у сучасному сірому лісовому ґрунті розрізу Брусниця та в прилуцько-кайдацьких похованих горизонтах. Близька до вмісту металів у ґрунтах стаціонару Драченці їхня кількість у вітачівських горизонтах, а

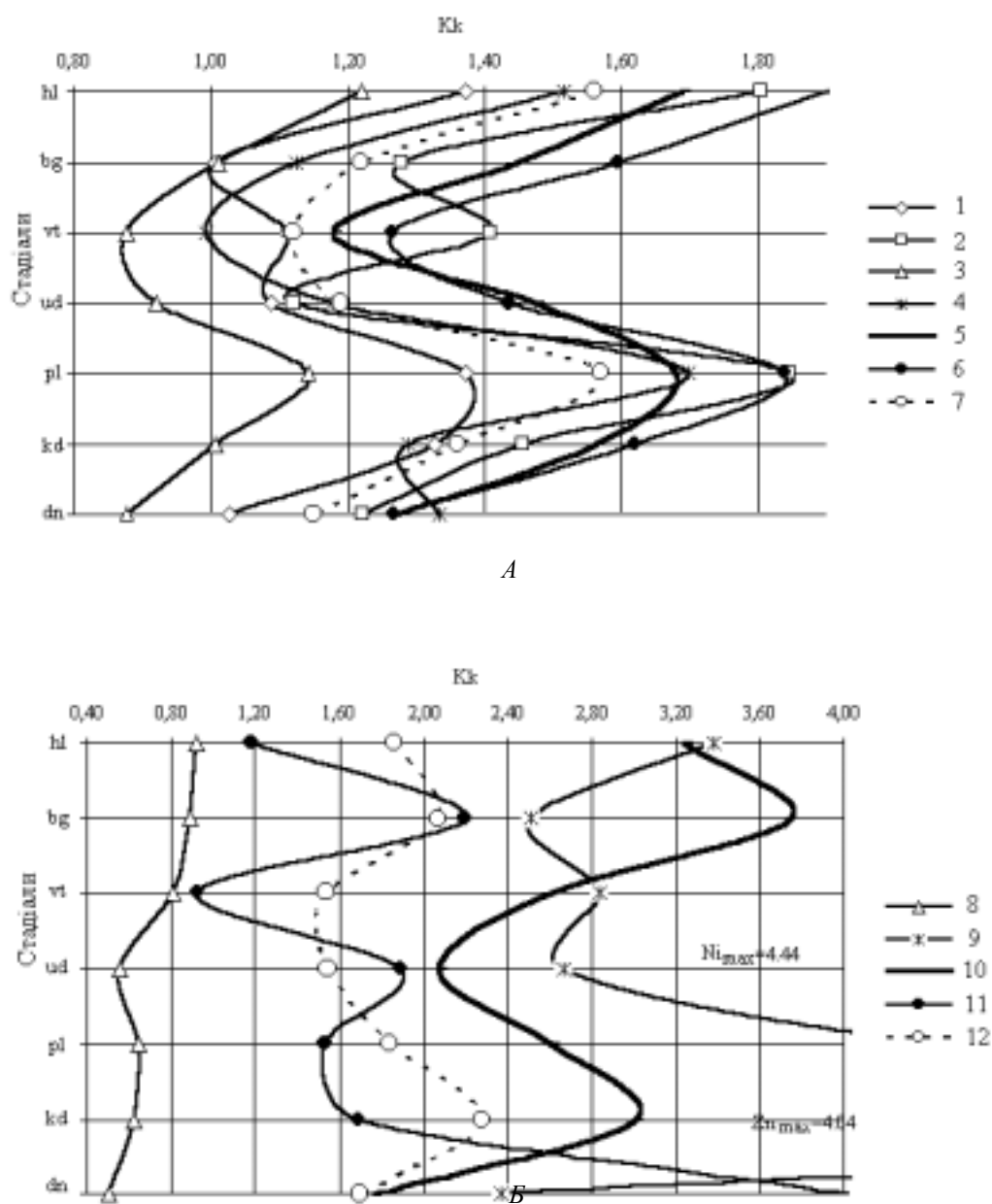


Рис. 2. Динаміка валового вмісту (А) і вмісту рухомих форм (Б) важких металів у сучасних ґрунтах агроєкосистем стаціонару Драченці порівняно з їхньою кількістю у палеогоризонтах розрізу Брусниця. Елементи: 1 – Pb; 2 – Cd; 3 – Cu; 4 – Ni; 5 – Cr; 6 – Zn; 7 – Kk; 8 – Cu; 9 – Ni; 10 – Cr; 11 – Zn; 12 – Kk.

також у відкладах дніпровського стадіалу. Найбільша різниця між сучасними ґрунтами і палеогоризонтами за валовим вмістом Ni, Cr, Cd і перш за все Zn (рис. 2, А). Рухомість важких металів у ґрунтах агроєкосистем у 1,5–3,0 рази більша порівняно з похованими горизонтами, найменшою вона була під час кайдацько-прилуцького і bg етапів розвитку екосистеми Брусниця (див. рис. 2, Б). Найрухливіші Ni, Cr і Zn в сучасних ґрунтах, а кількість рухомих форм Cu завжди більша у похованих горизонтах.

Отже, для еколого-біогеохімічного статусу екотопу Брусниця характерне переважання дисипативних процесів. Водночас як валовий вміст, так і кількість рухомих форм металів у ґрунтах агроєкосистем стаціонару Драченці суттєво більші порівняно з похованими горизонтами ґрунтів попередніх етапів. Пов'язано це і з особливостями еколого-ландшафтних умов, що привели до генезису темно-сірих і сірих лісових ґрунтів, і з їхніми окремими показниками, насамперед кислотністю та окисно-відновними умовами. У цьому разі кількість важких металів в агрогенних ґрунтах є фоною для Передкарпатської височинної області.

1. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и её окружения. – М.: Наука, 1965. – 168 с.
2. Глазковская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. – Смоленск: Ойкумена, 2002. – 287 с.
3. Дмитрук Ю.М. До питання методики геохімічної характеристики ґрунтового покриву екосистем // Агроєкол. журн. – 2004. – № 4. – С. 56–63.
4. Исаченко А.Г. О некоторых спорных вопросах в изучении ландшафтов // Изв. Росс. геог. об-ва. – 2002. – Т. 134. – Вып. 2. – С. 65–71.
5. Ковда В.А., Васильевская В.Д., Самойлова Е.М., Якушевская И.В. Схема дифференциации продуктов выветривания и почвообразования на Русской равнине // Почвоведение. – 1968. – № 7. – С. 5–19.
6. Мазуров Ю.Л., Тикунов В.С. Измерение устойчивого развития: постановка проблемы // География и природные ресурсы. – 2005. – № 4. – С. 9–18.
7. Чупрынин В.М. Нелинейности в геосистемах // Изв. АН. Сер. геогр. – 2003. – № 6. – С. 5–13.

ESTIMATION OF SENTINEL DYNAMICS EKOLOGO-BIOGEOCHEMICAL STATUS OF LANDSCAPES

Yu. Dmytruk

*Yuriy Fedkovych National University of Chernivtsi,
Kotsjubynskyi Str., 2, Chernivtsi, UA – 58012, Ukraine*

It is offered algorithm of an estimation of the ecological-biogeochemical status of landscapes. Last – the result of migratory processes, which traces are kept in ground. On an example of ecotope Brusnitsa it is shown, that the total quantity of heavy metals in due course decreases, and their mobility – increases. Ecological-biogeochemical status of the agrolandscapes is characterized by the raised contents of heavy metals, first of all-mobile forms.

Key words: factors, ecological-biogeochemical status, structure, migration-accumulation, heavy metals, distribution, dynamic.

Стаття надійшла до редколегії 08.09.2006
Прийнята до друку 27.09.2006