

УДК 577.1+631.42+582.923.1

ВМІСТ ДЕЯКИХ МАКРО- І МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ҐРУНТАХ ТА РОСЛИНАХ *GENTIANA LUTEA* L. З ДВОХ ЧОРНОГІРСЬКИХ ПОПУЛЯЦІЙ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Пасічник Г. І.¹, Майорова О. Ю.¹, Войтюк В. Б.¹, Грицак Л. Р.¹, Мельник В. М.², Дробик Н. М.¹

Вміст деяких макро- і мікроелементів у ґрунтах та рослинах *Gentiana lutea* L. з двох чорногірських популяцій Українських Карпат. — Г.І. Пасічник¹, О.Ю. Майорова¹, В.Б. Войтюк¹, Л.Р. Грицак¹, В.М. Мельник², Н.М. Дробик¹. — Досліджено вміст макро- (Ca, Na, K, Fe, Mg) і мікроелементів (Cu, Zn, Co, Mn) у рослинах *Gentiana lutea* L. та в ґрунтах з полонини Лемської і гори Пожижевської (хребет Чорногора, Українські Карпати). У ґрунтах на фоні низьких значень рН виявлено високий вміст рухомих форм більшості елементів. Встановлено суттєві міжпопуляційні відмінності елементного складу рослин *G. lutea*. Проведено аналіз вмісту елементів та визначено їхні коефіцієнти біологічного накопичення у різних органах рослин.

Ключові слова: макро- і мікроелементи, ґрунт, *Gentiana lutea* L., органи рослини, міжпопуляційні відмінності, коефіцієнт біологічного накопичення.

Адреса: ¹ – Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, вул. М. Кривоноса 2, м. Тернопіль, 46027, e-mail: drobyk.n@gmail.com; ² – Інститут молекулярної біології і генетики НАН України, вул. Академіка Заболотного, 150, Київ, 03680, e-mail: v.m.melnyk@imb.org.ua

The content of some macro- and microelements in the soils and *Gentiana lutea* L. plants from two Chornohora populations in the Ukrainian Carpathians. — G. Pasichnyk¹, O. Mayorova¹, V. Voytyuk¹, L. Hrytsak¹, V. Mel'nyk², N. Drobyk¹. — There is investigated the content of macro- (Ca, Na, K, Fe, Mg) and microelements (Cu, Zn, Co, Mn) in *Gentiana lutea* L. plants and soils of Lemska valley and Pozhyzhevska mountain (Chornohora ridge, the Ukrainian Carpathians). In the soils at the background of low pH there is found a large amount of moving forms of most elements. Essential interpopulation distinctions of the element composition of *G. lutea* plants have been established. The analysis of the elements content is done and the coefficients of their biological accumulation in different organs of plants are defined.

Key words: macro- and microelements, soil, *Gentiana lutea* L., plant organs, interpopulation distinctions, coefficient of biological accumulation.

Address: ¹ – Volodymyr Hnatiuk Ternopil National Pedagogical University, M. Kryvonis st., 2, Ternopil, 46027, e-mail: drobyk.n@gmail.com; ² – Institute of Molecular Biology and Genetics of National Academy of Sciences of Ukraine, Acad. Zabolotnogo st., 150, Kyiv, 03680, e-mail: v.m.melnyk@imb.org.ua

Вступ

До чинників, що впливають на поглинання макро- та мікроелементів рослинами і визначають хімічний склад останніх, належать внутрішні (фізіологічні) – видові особливості рослин, стадії розвитку рослини та її окремих частин тощо, та зовнішні (екологічні) – тип ґрунту, ґрунтоутворні породи, кліматичні та погодні умови (температура повітря і ґрунту, атмосферні опади тощо) [11].

У процесі еволюції рослин у кожного виду сформувалися певні генетично закріплені потреби в концентрації хімічних елементів. Біологічна вибірковість у поглинанні й накопиченні елементів, у першу чергу, визначає елементний хімічний склад рослин, який вважають важливою систематичною ознакою [7]. Поряд з цим, ґрунт як основа екотопу в значній мірі впливає на вміст макро- та мікроелементів у рослинах, які на ньому зростають. Однак, ступінь забезпеченості рослин поживними речовинами залежить не лише від кількості їх у ґрунті, але й від форми, в якій вони перебувають. З

формою поживних елементів пов'язана їх доступність рослинам. Для біоти велике значення має не весь ґрунтовий фонд елементів, а вміст їх рухомих форм (водорозчинні, кислоторозчинні та інші) [18, 19]. При цьому слід зазначити, що поглинуті з ґрунту хімічні елементи розподіляються в організмі рослини не рівномірно, що обумовлено фізіологічною роллю кожного з них, специфікою біохімічних процесів у різних частинах рослини та концентрацією в ґрунті [8].

На сьогодні ступінь вивченості екологічних і фізіологічних факторів, їхній вплив на елементний склад рослин у конкретних місцезростаннях є недостатнім.

Актуальними є такі дослідження для рослин, що поширені у гірських місцевостях, зокрема в Українських Карпатах. До високогірних карпатських видів належить тирлич жовтий (*Gentiana lutea* L.), особини якого зростають на висоті від 900 до 1900 м над рівнем моря на відкритих лучних гірських схилах різної експозиції і різної крутизни – до 65°, кам'янистих розсипах [6]. Ґрунтовий покрив у місцях зростання цього виду у

гірських Карпатах представлений дерново-буроземними та гірськими лучними ґрунтами [1, 15].

Метою роботи було визначення елементного складу рослин *G. lutea* і ґрунтів з гори Пожижевської та полонини Лемської, а також особливостей накопичення досліджуваних макро- та мікроелементів у різних органах рослин.

Матеріал та методи

У роботі використовували зразки ґрунтів та рослин з двох оселищ *G. lutea* на Чорногірському хребті – гори Пожижевської (1450 м н.р.м.) (ділянка №1) та полонини (далі пол.) Лемської (1650 м н.р.м.) (ділянка №2). У ході власних експедиційних досліджень (серпень, 2009 р., липень, 2010 р.) з різних частин цих локалітетів відбирали по 5 проб ґрунту і рослин досліджуваного виду.

У відібраних зразках визначали вміст рухомих форм макро- (Ca, Na, K, Fe, Mg) та мікроелементів (Cu, Zn, Co, Mn). Їхній вибір обумовлений тим, що більшість із них є елементами-біофілами, важливими для процесів життєдіяльності рослин [14]. Визначення вмісту цих дев'яти елементів проводили на основі азотнокислої витяжки зразків з наступним випаровуванням H₂O₂ методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії на ААС С-115 М-1 та С-600 [16].

Для з'ясування інтенсивності поглинання макро- і мікроелементів рослинами, розраховували їхні коефіцієнти біологічного накопичення (КБН) за формулою [13]:

$$КБН = \frac{\text{вміст елемента в сухій біомасі, мг / кг}}{\text{вміст елемента в ґрунті, мг / кг}}$$

Також було визначено рН ґрунтів у водній витяжці на іонометрі універсальному 38–74 за методикою [21].

Показники вмісту важких металів (ВМ) (Zn, Cu, Mn і Co) порівнювали з гранично допустимими концентраціями (ГДК) [24] та фоновими показниками цих елементів у ґрунтах Карпатського регіону [23].

Отримані дані опрацьовували статистично [12].

Результати та їх обговорення

У результаті проведених досліджень нами встановлено вміст рухомих форм макро- та мікроелементів у ґрунтах з г. Пожижевської та пол. Лемської. Отримані дані (середнє значення та діапазон) представлені у таблиці 1.

Нами виявлено суттєві відмінності елементного складу ґрунтів з місцезростань пожижевської та лемської популяцій *G. lutea*. Найменше коливалися показники концентрації Na (табл. 1). Вміст Ca та K у ґрунтах з ділянки №2 був більшим у 5,9 та 2,3 рази відповідно, тоді як Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Co, навпаки, меншим у 1,4–2,8 рази порівняно з ділянкою №1. За вмістом у пробах макро- та мікроелементи можна розташувати в порядку зменшення їхньої кількості в такі ряди: для г. Пожижевської – Mg>Fe>Na>K>Mn>Zn>Cu>Ca>Co; для пол. Лемської – Mg>Na>K>Fe>Mn>Zn>Ca>Cu>Co. За розташуванням елементів у рядах консервативними є Mg, Mn, Zn і Co.

Отримані нами результати узгоджуються з літературними даними щодо кількості цих елементів у ґрунтах Карпат [1, 19, 22, 23] та в гірських ґрунтах з інших територій [19, 23, 25].

Таблиця 1. Вміст рухомих форм макро- та мікроелементів у ґрунтах, мг/кг

Table 1. Content of moving macro- and microelements forms in the soils, mg/kg

Місця відбору проб	рН _{вод}	Макроелементи					Мікроелементи			
		Ca	K	Na	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	Co
№1 середнє	3,9 ± 0,05	5,6 ±0,06	1337 ±29,77	3853 ±82,21	9230 ±64,52	4655,3 ±100	63,5 ±1,94	17,5 ±1,27	306,9 ±13,16	5,5 ±0,12
Min	3,75	5,5	350	260	1940	1506	28,8	4,3	48	2,4
Max	4,05	54	6720	3924	9360	6560	67,4	20,8	404,9	6,1
№2 середнє	4,2 ±0,41	32,8 ±2,12	3110 ±202,52	3532,3 ±273,22	4515,5 ±436,61	2990,4 ±264,21	41,2 ±0,07	6,58 ±0,62	109,46 ±8,71	3,8 ±0,22
Min	3,75	26	2760	1760	3100	1926	39,8	5,9	66	3,4
Max	4,75	46	5300	3660	6520	4360	42,6	7,9	132	3,9
Літературні дані										
ГДК*	–	–	–	–	–	–	23	3	1500	5
Фоновий вміст**	–	–	–	–	–	–	50–70	20–38	500–1000	15–30

Примітки: ділянка №1 – гора Пожижевська, ділянка №2 – полонина Лемська; * – ГДК подані за [24]; ** – фоновий вміст наведений за [23].

Досліджені нами мікроелементи Zn, Cu, Mn і Co належать до ВМ, тому їхній вміст у ґрунті порівнювали з ГДК [24]. Як видно з табл. 1, кількість Mn у ґрунтах з обох ділянок не виходила за межі ГДК, а Zn і Cu перевищувала ГДК в 1,8–5,8 рази. Вміст Co у ґрунті з

ділянки №2 був меншим за ГДК, тоді як з ділянки №1 – несуттєво її перевищував.

Високі концентрації ВМ, зокрема Zn та Cu, у ґрунтах визначаються, у першу чергу, їхнім вмістом у материнській породі [18], і є характерною

особливістю Карпатського регіону, про що свідчать фонові показники цих елементів (табл. 1). В усіх досліджених нами зразках ґрунту вміст Co, Mn та Cu був нижчим за фонові показники для даного регіону; Zn – знаходився у їхніх межах [23].

Відомо, що найбільший вплив на вміст рухомих сполук у ґрунті, крім наявності тонко дисперсних частинок, кількості та якісного вмісту гумусу, має реакція середовища (рН) та окисно-відновні умови [8, 22]. Оптимальним для рослин є рН ґрунту, за якого створюється максимум рухомості необхідних для росту поживних речовин [20].

При визначенні водного рН досліджених зразків нами виявлено, що цей показник у ґрунтах ділянки №1 коливався від 3,75 до 4,05; №2 – від 3,75 до 4,75 (табл. 1). Отже, згідно з класифікацією [21], ґрунти з обох ділянок за реакцією середовища можна віднести до сильнокислих. Отримані нами дані узгоджуються з результатами досліджень П.С. Войтківа [2] та М.З. Гамкало [3], які вивчали кислотно-основні властивості буроземів пралісів Українських Карпат та, зокрема, ґрунти Карпатського Біосферного Заповідника. Згідно даних В.І. Канівця, буроземі Карпат – це сильнокислі ґрунти з $pH_{вод.}$ 4,8–4,6 і нижче [10]. Головними причинами зменшення рН гірських ґрунтів є вилуговування основ і утворення в органічних горизонтах значної кількості гумусових кислот, переважно фульвокислот [2]. Ще однією можливою причиною високої кислотності даних ґрунтів є майже повна відсутність карбонатів у флішових відкладах цієї території. Ацидофільна рослинність (смеречини з перевагою чорниці у наземному покриві) спричинюють додаткове підкислення верхніх горизонтів, а глинистий гранулометричний склад обмежує процеси розкладання і переміщення хімічних сполук униз по профілю [2, 22].

Відомо, що чим нижчий показник рН, тим більше зростає розчинність і рухомість елементів [8, 9]. Зокрема, здатність Co переходить у двовалентний стан, і тим самим стає більш доступним для рослин, зростає із зменшенням рН. Те ж саме спостерігається і для міді, марганцю і цинку, яким притаманна висока міграційна здатність у кислому середовищі [4, 23]. У ґрунтах з обох ділянок на фоні низьких значень рН нами виявлено високий вміст рухомих форм більшості елементів (табл. 1). Зокрема, у зразках ґрунту з г. Пожижевської за умови нижчого, порівняно з пол. Лемською, показника рН, кількість усіх досліджених мікроелементів та деяких макроелементів (Na, Mg, Fe) була вищою.

Відомо, що у формуванні елементного хімічного складу рослин беруть участь два фактори: генетичний та екологічний. Генетичний полягає в тому, що кожен вид має певну потребу в кількості макро- та мікроелементів, яку він поглинає з ґрунту; екологічний – чим більше елементів міститься в ґрунті, тим більше їх поглинають рослини. Проте, така закономірність спостерігається не завжди: інколи рослина має здатність накопичувати в своїх

органах елементи, кількість яких в ґрунті є незначною, та навпаки – при високій концентрації елементу у ґрунті його вміст в органах незначний [8].

Нами визначено вміст дев'яти макро- і мікроелементів у коренях, генеративних пагонах та листках рослин *G. lutea* пожижевської (оселище №1) та лемської (оселище №2) популяцій (табл. 2) і виявлено значні відмінності елементного складу різних органів.

Для досліджених зразків характерним є те, що макроелементи в найбільшій кількості накопичувалися у надземній частині (табл. 2). Як відомо, К бере участь у відкриванні і закритті пор, концентрується у молодих і біохімічно активних тканинах; Mg входить до складу молекули хлорофілу; Na впливає на збільшення розміру листової поверхні; Fe є складовим компонентом ферментів, які забезпечують синтез хлорофілу та міститься в феродооксині, що забезпечує світловий етап фотосинтезу; Ca є конституційним елементом, входить до складу пектинових речовин, поліпшує синтез хлорофілу [5, 17]. Очевидно, така фізіологічна роль цих макроелементів визначає їхній переважаючий вміст у надземній частині досліджених рослин тирличу жовтого.

На відміну від макроелементів, чіткої закономірності у розподілі по органах рослин *G. lutea* мікроелементів нами не виявлено. Досліджені мікроелементи також мають важливе значення у ключових фізіологічних процесах, що відбуваються як в надземній частині рослин, так і в коренях. Наприклад, Mn, Cu та Co, входять до складу активних центрів ферментів, передусім оксидоредуктаз, які забезпечують процеси фотосинтезу, дихання. Марганець та цинк як кофактори є допоміжними елементами при утворенні хелатів, забезпечують поєднання ферментів або коферментів із субстратами [5, 17].

Встановлено суттєві міжпопуляційні відмінності елементного складу органів рослин дослідженої популяції. Виявлено значно вищий вміст Na, Cu та Co у листках рослин з оселища №1 (в 1,6–2,5 рази), порівняно з оселищем №2. Кількість усіх інших елементів була більшою (у 1,5–6,3 рази) у листках рослин лемської популяції. Концентрації Ca, K, Fe, Zn, Mn та Co були вищими (у 1,4–4,9 рази), а Na, Mg, Cu – нижчими (у 1,5–2 рази) у генеративних пагонах рослин з оселища №2. У коренях рослин пожижевської популяції вміст Fe, Cu, Mg, Mn та Co був у 1,3–4,3 рази вищими, а K і Ca – в 1,4 і 3,1 рази нижчими відповідно, ніж у рослинах лемської; показники концентрацій Na та Zn варіювали найменше.

Про поглинання рослинами макро- та мікроелементів з ґрунту роблять висновок за коефіцієнтом біологічного накопичення: якщо КБН <1, то це є свідченням низького рівня поглинання певного елементу рослиною [13].

Результати розрахунків КБН досліджених елементів у зразках *G. lutea* показали, що його значення в тій чи іншій мірі відрізнялося у різних органах рослин (рис. 1). У листках рослин з двох оселищ найвищими

Таблиця 2. Вміст рухомих форм макро- та мікроелементів у різних органах рослин *G. lutea* з двох популяцій, мг/кг

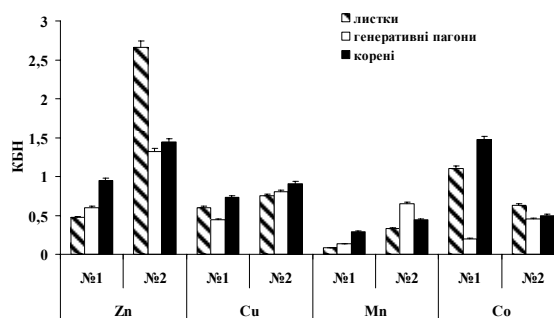
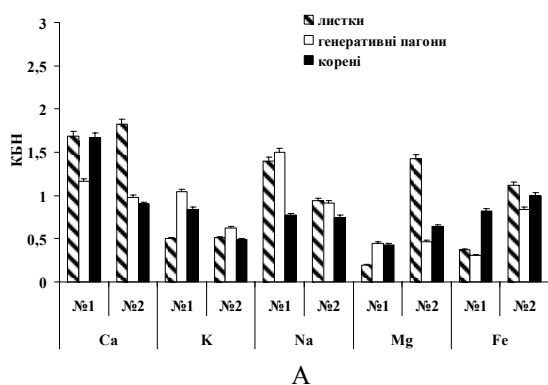
Table 2. Content of moving macro- and microelements forms in different organs of *G. lutea* plants from the two populations, mg/kg

Орган	Популяція	Макроелементи					Мікроелементи			
		Ca	K	Na	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	Co
Листки	№1 середнє	9,45 ±0,36	662,7 ±6,52	5366,4 ±172,32	1701,4 ±57,81	1723,8 ±206,51	30,0 ±1,23	10,4 ±0,32	23,8 ±0,31	6,0 ±0,11
	Min	9,44	641,6	4580	1200	1190	26,9	9,6	23,2	2,1
	Max	11,28	1796	5808	1878	1776	32,6	11,1	103,8	6,3
	№2 середнє	60 ±10,4	1586,1 ±111,81	3328,5 ±320,21	6482,9 ±758,32	3368,9 ±543,52	109,7 ±4,61	4,9 ±0,41	35,9 ±4,33	2,4 ±0,32
	Min	44	1368	2920	6800	2328	101,2	4,2	29,2	1,7
	Max	80	1738	3960	10400	4100	128,4	5,8	44	3,7
Генеративні пагони	№1 середнє	6,5 ±0,08	1396,8 ±32,43	5753,9 ±161,24	4134,5 ±27,71	1442,6 ±26,11	37,5 ±0,54	7,7 ±0,11	41 ±0,31	1,0 ±0,12
	Min	6,3	1276,1	4377,1	3654,3	1277,6	34,5	6,7	37,8	0,7
	Max	6,6	1499,2	5866,4	4276,5	1488,9	39,2	7,9	43,7	1,2
	№2 середнє	32 ±0,4	1932,7 ±24,11	3216,3 ±27,52	2115,9 ±51,24	2516,6 ±51,23	54,3 ±0,63	5,21 ±0,33	71,5 ±0,43	1,7 ±0,12
	Min	29	1766	2879	1987	2344	51,8	4,8	66,8	1,4
	Max	35	2088	3576	2256	2678	59,4	5,7	74,6	1,8
Корені	№1 середнє	9,35 ±0,46	1123,4 ±22,02	2972,0 ±36,33	3995,2 ±38,25	3836,3 ±43,02	60,4 ±0,92	12,81 ±0,22	87,9 ±0,82	8,1 ±0,23
	Min	4,3	1058,4	2944	3676	3676	57,8	11,9	86,4	7,6
	Max	9,6	1180,8	3096	3927	3889	63	13,2	89,5	8,4
	№2 середнє	29,2 ±0,4	1518,3 ±38,12	2648,0 ±43,12	2888,3 ±22,41	2940,6 ±35,72	59,4 ±0,42	6,0 ±0,11	48,4 ±0,71	1,9 ±0,11
	Min	27,1	1324	2478,4	2347	2654	54,3	5,33	44,7	1,4
	Max	30	1765	2876	2976	3077	60,9	6,23	50,4	2,1

Примітка: №1 – оселище пожижевської популяції, №2 – оселище лемської популяції.

були КБН Ca, у генеративних пагонах – K, а в коренях – Cu. Проте, чіткої закономірності більшого чи меншого значення КБН у певному органі рослин з обох популяцій для усіх елементів нами не виявлено.

Поряд з цим, спостерігаються значні міжпопуляційні відмінності коефіцієнтів накопичення окремих елементів. Зокрема, показники КБН Zn, Fe, Mg, Mn і Cu у рослинах лемської популяції в 1,2–8 рази перевищували такі у рослинах пожижевської (рис. 1, А, Б).



Б

Рис. 1. Коефіцієнти біологічного накопичення (КБН) макроелементів (А) та мікроелементів (Б) у різних органах рослин *G. lutea* з пожижевської (№1) та лемської (№2) популяцій.

Fig. 1. Coefficients of biological accumulation (CBA) of macroelements (A) and microelements (B) in different organs of *G. lutea* plants from Pozhyzhevskya (№1) and Lemska (№2) populations.

Порівняльний аналіз вмісту елементів у ґрунтах г. Пожижевської і пол. Лемської та КБН цих елементів у рослинах обох оселищ дозволив встановити деякі особливості залежності між цими показниками.

1) При дуже низьких показниках Са у ґрунті, КБН були порівняно високими.

2) Встановлено зворотну залежність між вмістом більшості елементів у ґрунті та коефіцієнтами їх накопичення у рослинах. Так, концентрації Zn, Fe, Mn, Cu та Mg у ґрунті ділянки №1 в 1,5–2,8 рази перевищували ці показники ділянки №2. У той же час, КБН зазначених вище елементів у рослинах пожижевської популяції були в 1,2–5,6 рази меншими, порівняно з рослинами лемської. Поряд з цим, вміст К та Са у ґрунті з ділянки №2 у 2,3 та 5,9 рази відповідно вищий, ніж з ділянки №1, а КБН у рослинах лемської популяції в 1,2–1,9 рази нижчі, порівняно з пожижевською (рис. 1, А, Б).

3) Виявлено пряму залежність між вмістом Со у ґрунтах г. Пожижевської і пол. Лемської та його КБН у рослинах – за більшої концентрації мікроелемента у ґрунті ділянки №1, показники КБН у листках та коренях рослин цього оселища також вищі (в 1,7–2,9 рази).

4) Вміст Na у ґрунтах з обох ділянок практично однаковий, тоді як значення КБН у рослинах з пожижевської популяції в 1,5–1,6 рази вищі.

Загалом, отримані нами результати узгоджуються з літературними даними і свідчать про те, що при адаптації до змін умов росту рослини виробили специфічні біохімічні механізми поглинання поживних речовин в умовах їхньої нестачі в ґрунтах, а також можуть

обмежувати поглинання певного елемента при його високих концентраціях у субстраті [9].

Висновки

Досліджено вміст макро- (Са, Na, К, Fe, Mg) і мікроелементів (Cu, Zn, Со, Mn) у ґрунтах та рослинах з двох чорногірських популяцій *G. lutea* (Українські Карпати).

У ґрунтах з обох ділянок виявлено високий вміст рухомих форм більшості елементів на фоні низьких (3,75–4,75) значень рН.

Встановлено, що у зразках ґрунту з г. Пожижевської кількість усіх досліджених мікроелементів та деяких макроелементів (Na, Mg, Fe) вища.

Виявлено суттєві міжпопуляційні відмінності елементного складу рослин *G. lutea*. Порівняння вмісту елементів у різних органах (корені, генеративні пагони, листки) показало, що макроелементи у найбільшій кількості накопичувалися у надземній частині, тоді як для мікроелементів чіткої закономірності у розподілі по органах не виявлено.

Визначено коефіцієнти біологічного накопичення елементів рослинами *G. lutea*, які варіювали як в різних органах, так і в зразках з різних локалітетів.

Між вмістом більшості елементів (Zn, Fe, Mn, Cu, К, Mg і Са) у ґрунті та коефіцієнтами їх накопичення у рослинах встановлено зворотну залежність, а для Со – пряму.

Подяка. Автори статті висловлюють подяку директору Інституту екології Карпат НАНУ д. б. н. Козловському М.П., а також співробітникам відділу популяційної екології цього інституту за сприяння під час експедиційних досліджень у Карпатах.

1. Атлас почв Украинской ССР / [под. ред. Н.К. Крупского и Н.И. Полулана]. – Киев: Урожай, 1979. – 160 с.
2. Войтків П. Кислотно-основні властивості буроземів пралісів Українських Карпат / П. Войтків // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. – 2008. – Вип. 35. – С. 40–48.
3. Гамкло М.З. Особливості кислотно-лужної рівноваги ґрунтів Карпатського Біосферного Заповідника / М.З. Гамкло // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр. – 1998. – Вип. 23. – С. 272–276.
4. Дмитрук Ю.М. Мідь і цинк в чорноземах Прут-Дністровського межиріччя / Ю.М. Дмитрук // Наук. вісн. Чернів. ун-ту. Біологія. – 1997. – Вип. 17. – С. 121–127.
5. Злобін Ю.А. Курс фізіології біохімії рослин: Підручник / Ю.А. Злобін. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2004. – 464 с.
6. Івашин Д.С. Ресурси лікарських рослин Українських Карпат / Д.С. Івашин // Укр. ботан. журн. – 1960. – Т.17, №5. – С. 28–31.
7. Ільїн В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. – Новосибирск, 2001 – 229 с.
8. Ільїн В.Б. Элементный химический состав растений / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1985. – 154 с.
9. Кабата-Пендиас А. Проблемы современной биогеохимии микроэлементов / А. Кабата-Пендиас // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2005. – т. XLIX, №3. – С. 15–19.
10. Канивец В.И. Буроземообразование в лесных почвах Украинских Карпат / В.И. Канивец. – Львів: Вид-во Львів ун-ту, 1958. – С. 168–178.
11. Козловський В. Кореляційні зв'язки між вмістом хімічних елементів у мохах, лишайниках і корі хвойних порід Чорногори (Українські Карпати) / В. Козловський // Вісник Львів. ун-ту. – 2008. – Сер. біол. – Вип. 47. – С. 81–88.
12. Лакін Г.Ф. Биометрия: Учебное пособие для биологических специальностей вузов / Г.Ф. Лакін. – М.: Высш. школа, 1980. – 293 с.
13. Ловкова М.Я. Почему растения лечат / М.Я. Ловкова, А.М. Рабинович, С.Н. Пономарева – М.: Наука, 1989. – 256 с.
14. Мала гірнича енциклопедія в 3-х т. / [за ред. В.С. Білецького]. – Донецьк, 2004.
15. Малиновський К.А. Рослинні угруповання високогір'я Українських Карпат / К.А. Малиновський, В.В. Кричфалушій. – Ужгород, 2002. – 244 с.
16. Методи біохімічних досліджень рослин / [Ермаков А.И., Арисимович В.В., Ярошенко Н.П. и др.]; под. ред. А.И. Ермакова. [3-е изд.]. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.
17. Мусяченко М.М. Фізіологія рослин: підручник / М.М. Мусяченко. – К.: Фітосоціоцентр, 2005. – 807 с.
18. Орлов Д.С. Химия почв: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. / Д.С. Орлов. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 400 с.
19. Панас Р.М. Ґрунтознавство: навчальний посібник / Р.М. Панас. – Львів: Новий Світ-2000, 2006. – 372 с.
20. Пестряков В.К. Окультуривание почв Северо-Запада / В.К. Пестряков. – Л.: Колос, 1977. – 343 с.
21. Практикум по основам сельского хозяйства / [Ващенко И.М., Ланге К.П., Меркулов М.П., Олексенко Т.Д.]. – М.: Просвещение, 1991. – 431 с.
22. Скиба С. Ґрунти північно-західної частини Чорногірського масиву Українських Карпат / С. Скиба, М. Скиба, С. Позняк // Екологія та ноосферологія. – 2006. – Т.17, № 1–2. – С.105–111.
23. Фонової вміст мікроелементів у ґрунтах України / [за ред.: А.І. Фадєєва, Я.В. Пашенко]. – Харків, 2003 – 115 с.
24. Якість ґрунту. Визначання дії забруднювачів на флору ґрунту. Частина 2. Вплив хімічних речовин на проростання та ріст вищих рослин (ISO 11269-2:1995, ІДТ): ДСТУ ISO 11269-2:2002. – [Чинний від 2004-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 14 с. – (Національний стандарт України).
25. Radanović D. Content of heavy metals in *Gentiana lutea* L. roots and galenic forms / D. Radanović, S. Antić-Mladenović, M. Jakovljević [et al.] // J. Serb. Chem. Soc. – 2007. – Vol.72, N2. – P. 133–138.

Отримано: 15 грудня 2010 р.

Прийнято до друку: 25 січня 2011 р.