

ГЕОХІМІЯ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У БУРОЗЕМНИХ ҐРУНТАХ З МОХОВИМ ПОКРИВОМ КАРПАТСЬКОГО БІОСФЕРНОГО ЗАПОВІДНИКА

Н.О. Крюченко¹

E-mail: nataliya.kryuchenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8774-9089>

Е.Я. Жовинський¹

E-mail: zhovinsky@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-1601-5998>

П.С. Папарига²

E-mail: paparyga.ps@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4021-0809>

О.А. Жук¹

E-mail: igmof.zhuk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5264-0750>

М.В. Кухар¹

E-mail: mvk3@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3572-5194>

К.Е. Дмитренко¹

E-mail: zovin.kosta@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1001-3457>

Т.А. Попенко¹

E-mail: tanya_simple@ukr.net

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України
03142, просп. акад. Палладіна, 34, Київ, Україна

² Карпатський біосферний заповідник Міністерства охорони навколишнього природного середовища України
90600, вул. Красне Плесо, 77, Рахів, Україна

Визначено мікроелементний склад (Pb, V, Cr, Zn, Mn, Cu) гірсько-підзолистих буроземних ґрунтів Чорногірсько-го та Мармароського заповідних масивів Карпатського біосферного заповідника: фоновий, під вологим та сухим мохом (*Sphagnum palustre* L.). Визначено підвищений вміст мікроелементів (Cu, V, Zn, Mn) у верхньому шарі ґрунту Чорногірського масиву, що пояснюється наявністю глинистої складової, а нижчий вміст у Мармароському масиві — наявність карбонатів. Побудовано ранжовані ряди за коефіцієнтом розсіяння мікроелементів у ґрунтах, вкритих вологим та сухим мохом *Sphagnum palustre* L. Установлено, що ґрунти під сухим мохом практично не збіднені на мікроелементи, але після дощів він знову стає вологим і процес сорбції поновлюється. З'ясовано, що ґрунти під вологим мохом Чорногірського масиву найбільше збіднені на Mn, Cu та Zn; а Мармароського масиву — на Mn, Pb та V. Проаналізовано геохімічну поведінку досліджених мікроелементів у ґрунтах під вологим мохом. Зроблено висновок, що вологий мох має вибірковий іонний обмін, є геохімічним бар'єром, і саме тому на ділянках, покритих вологим мохом, доцільно здійснювати літохімічні пошукові та моніторингові роботи з урахуванням виявлених особливостей.

Ключові слова: ґрунти, мікроелементи, геохімія, *Sphagnum palustre* L., Карпатський біосферний заповідник.

Вступ. Геохімічні роботи у гірських ландшафтах із моніторинговою чи пошуковою метою є дуже складними у зв'язку з сильною розчленованістю рельєфу та високою динамічністю геосистем. Гірські ландшаф-

ти схильні до прискореної ґрунтової ерозії, обвальних, осипних і зсувних процесів, дій снігових лавин і селів. Крім того, існують і внутрішні чинники гірсько-лісової системи, що призводять до зміни фізико-хімічних

процесів у ґрунтах, одним з яких може бути поява та зміни мохового покриву. В останні роки вчені звернули увагу на адсорбційні властивості мохів і лишайників [1, 2].

З семи масивів Карпатського біосферного заповідника (КБЗ) найбільше видів моху відомо у Чорногірському (268 видів) та Мармароському (233 види). Наші дослідження присвячено ґрунтам, які знаходяться під мохом *Sphagnum palustre* L. [3]. Ця рослина має кволе галузисте стебло висотою до 20 см, яке весь час наростає верхівкою і відмирає у нижній частині. Такі стебла утворюють подушкоподібні дернини різного розміру. *Sphagnum palustre* L. — надзвичайно гігроскопічна рослина, внаслідок вбирання води маса її може збільшитись у 15—20 разів [4].

Аналіз попередніх досліджень, формулювання проблеми, актуальність її вирішення. На території КБЗ великі ділянки вкриті мохом, що необхідно враховувати під час планування літохімічних робіт з моніторинговою чи пошуковою метою. Хімічний склад моху сфагнуму недостатньо вивчений до сьогодні. Клітинна структура його тканин складається з двох типів клітин: хлорофільні та гіалінові. Гіалінові клітини мають пори, завдяки яким легко заповнюються водою. Якщо вода видалена, перетяжки в стінці клітини допомагають зберегти структуру клітини. Сухі рослини сфагнуму зберігають клітинну структуру та здатність до сорбції. У разі розпаду води в хлорофільних клітинах утворюються іони H^+ і за допомогою взаємодії між гіаліновими і хлорофільними клітинами іони виявляються в гіалінових клітинах, де вони можуть бути заміщені іншими позитивно зарядженими іонами: Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ тощо. Цей ефект заміщення продовжує працювати навіть після припинення фотосинтезу у рослині [4].

Роботами [2, 5, 6] встановлено періодичне порушення прямо пропорційної залежності вмісту мікроелементів у мохах від їх вмісту в ґрунтах, на яких вони виростають, аж до прояву зворотної залежності між цими величинами. Тому під час літохімічних робіт важливо знати відмінність у ступені накопичення мікроелементів ґрунтами, покритих мохом та без нього.

Об'єктом досліджень є ґрунти низькогірського поясу КБЗ Чорногірського та Мар-

мароського масивів КБЗ: не покриті мохом (*Sphagnum palustre* L.), покриті вологим та сухим мохом.

Мета роботи: встановити геохімічні особливості вмісту і розподілу мікроелементів (Cu, Zn, Pb, Mn, V, Cr) у ґрунтах, покритих вологим і сухим мохом *Sphagnum palustre* L. низькогірського поясу КБЗ.

Матеріали і методи. Ділянки досліджень знаходяться на території Мармароського (г. Піп Іван Мармароський) та Чорногірського (г. Говерла) масивів КБЗ на висоті 1000—1200 м (низькогірний пояс) (рис. 1).

Роботи виконано у червні 2021 року. У лісовому поясі найпоширенішими є бурі слабодиференційовані ґрунти — гірські буроземи та близькі до них підзолисті ґрунти (гірсько-підзолисті буроземні ґрунти). Цьому сприяє активне вивітрювання щільних ґрунтоутворювальних порід, що постачають для процесу утворення ґрунту новий матеріал, та активність денудаційних процесів.

Було проаналізовано проби ґрунтів на шести ділянках — по дві ділянки: без моху (фонові), з вологим мохом та з сухим мохом на території заповідних масивів. Всього відібрано 80 проб ґрунту. Відбір літохімічних проб ґрунту з горизонту 2—15 см (темно-бурий, вологий, пухкий, дрібнозернистий, насичений дрібним корінням деревних порід, щербистий) виконано методом конверта, розміром 5×5 м: в кожній точці відібрано п'ять проб (чотири в кутах і одна в центрі ділянки). Для відбору ґрунту мох ретельно прибирали.

Мікроелементний склад ґрунтів визначено напівкількісним емісійним спектральним аналізом у хімічній лабораторії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка (ІГМР) НАН України. Переваги цього аналізу перед іншими аналітичними методами — швидкість і простота виконання, універсальність та масовість (за рахунок економічності), можливість одночасно визначати велику кількість елементів. Після одержання попередніх даних за допомогою спектрального аналізу, вміст інформативних для дослідження мікроелементів виконано атомно-абсорбційним методом в лабораторії відділу пошукової та екологічної геохімії ІГМР НАН України.

Також було визначено особливості хімічного складу ґрунтів та оцінювання їх за до-

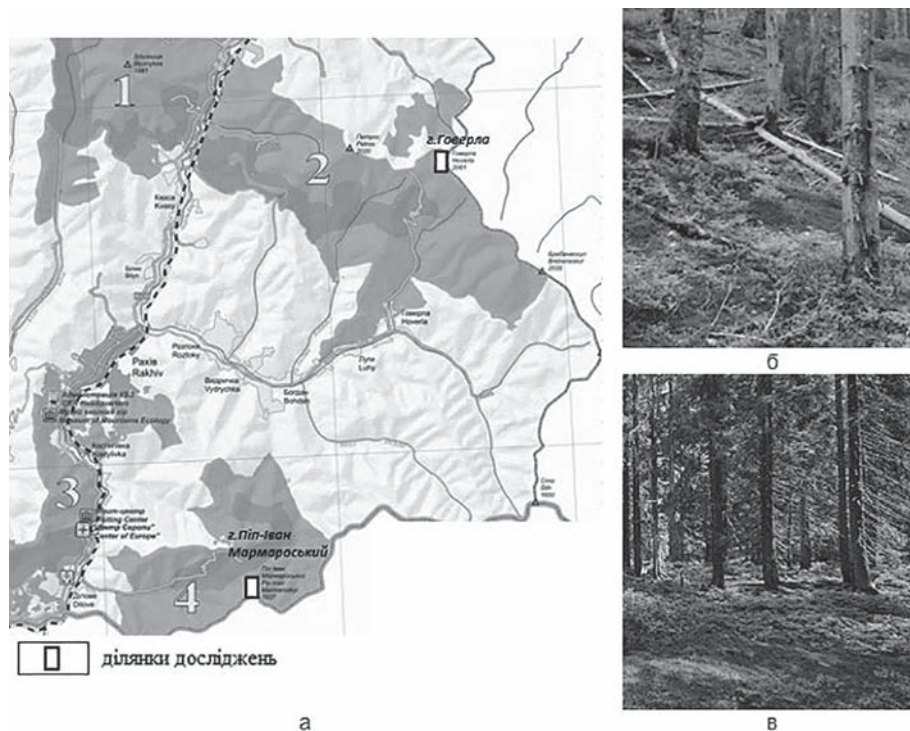


Рис. 1. Схема розташування ділянок досліджень (а), масиви КБЗ: 1 — Свидовецький, 2 — Чорногірський, 3 — Кузій-Трибушанський, 4 — Мармароський; ґрунт, покритий мохом *Sphagnum palustre* L. на горі Говерла Чорногірського масиву КБЗ (б), на горі Піп Іван Мармароський Мармароського масиву КБЗ

помогою коефіцієнта розсіяння (КР), який дорівнює відношенню вмісту мікроелементів у фонових ґрунтах до досліджуваних [7]. Математичну обробку результатів здійснено з використанням програми *Statistica Base*.

Характеристика території досліджень. На більшій частині території досліджень ґрунтоутворення відбувається в основному за буроземним типом, важливе місце займає також підзолистий тип ґрунтоутворення, що пов'язано з інтенсивним промиванням (переважають гірсько-підзолисті буроземні ґрунти). Середньорічна сума опадів на території досліджень — 1000—1087 мм [8].

Ґрунтоутворювальні породи Чорногірського масиву представлені переважно флішем (чергування шарів піщаників, аргілітів, алевролітів, мергелів, вапняків тощо) і продуктами його вивітрювання. Мармароський масив складений кристалічними породами: гнейсами, слюдяними і кварцовими сланцями, вапняками, доломітами, конгломератами та пісковиками [9].

Ґрунтоутворювальні породи впливають на рослинність. На територіях досліджень переважають мішані та листяно-хвойні лі-

состани. Зважаючи, що на територіях досліджень — мішані ліси, то, зокрема, поширення букових лісів пов'язане переважно з карбонатними відкладами (мергелі, доломіти, вапняки) або сильновапняними різновидами флішу, ялицевих лісів — слабо вапняними, переважно аргілітовими товщами, збагаченими реліктовими органічними сполуками нижньогірських смеречин — сильнокислими ґрунтами [10].

Кількість атмосферних опадів на територіях досліджень у 2—4 рази перевищує випаровування, що призводить до надмірного зволоження, низької теплозабезпеченості, зниження окисного потенціалу та появи мохового покриву *Sphagnum palustre* L. Особливістю його є те, що він фактично не має коріння — його нижня частина поступово відмирає та перетворюється на торф, а верхня продовжує рости. *Sphagnum palustre* L. не містить поживних речовин і має кислу реакцію (рН близько 3,0), велику гігроскопічність; повітропроникність та антибактеріальні властивості. *Sphagnum palustre* L. поступово просочується водою і лише після цього віддає зайву вологу [3].

Результати та обговорення. Першим етапом досліджень було встановлення вмісту мікроелементів у фонових ґрунтах та ґрунтах, покритих сухим та вологим мохом Чорногірського та Мармароського масивів КБЗ (табл. 1).

Кислотність буроземних ґрунтів становить рН 4,8—6,2, вони мають високий вміст гумусу — 6—13 %. У верхньому гумусовому горизонті тип гумусу гуматно-фульватний (Сгк : Сфк = 0,56) і фульватний (Сгк : Сфк — 0,29—0,36) [6].

Важливо мати верифіковані дані про фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах, оскільки це є відправним пунктом для подальшого аналізу (рис. 2). Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах залежить від ґрунтоутворювальних порід, якими є карпатський фліш. Так, фоновий вміст Pb та Cr у ґрунтах досліджуваних територій змінюється несуттєво: Pb 11—18 мг/кг,

Cr 30—34 мг/кг. Вміст Cu, V, Zn, Mn істотно різний — у ґрунтах Чорногірського масиву вищий, ніж Мармароського. Так, Cu — в 3—4 рази (42 проти 12 мг/кг), Zn — у 2 рази (100 проти 40 мг/кг), Mn та V — у 1,5 рази (600 проти 400 мг/кг та 70 проти 45 мг/кг відповідно).

Підвищений вміст мікроелементів (Cu, V, Zn, Mn) у верхньому шарі ґрунту Чорногірського масиву пояснюється наявністю глинистої складової, а нижчий вміст у Мармароському масиві — наявністю карбонатів. Вміст мікроелементів у глинистих та карбонатних породах становить, відповідно, мг/кг: Cu 45 і 10, V 130 і 44, Zn 95 і 39, Mn 800 і 400.

Черговим етапом досліджень було визначення ступеня концентрації чи розсіяння мікроелементів у ґрунтах під вологим та сухим моховим покривом обраних масивів КБЗ. Установлено, що аналізувати геохімічну пове-

Таблиця 1. Статистичні характеристики вмісту мікроелементів у ґрунтах КБЗ, не покритих мохом (фонових) і ґрунтах, покритих сухим та вологим мохом

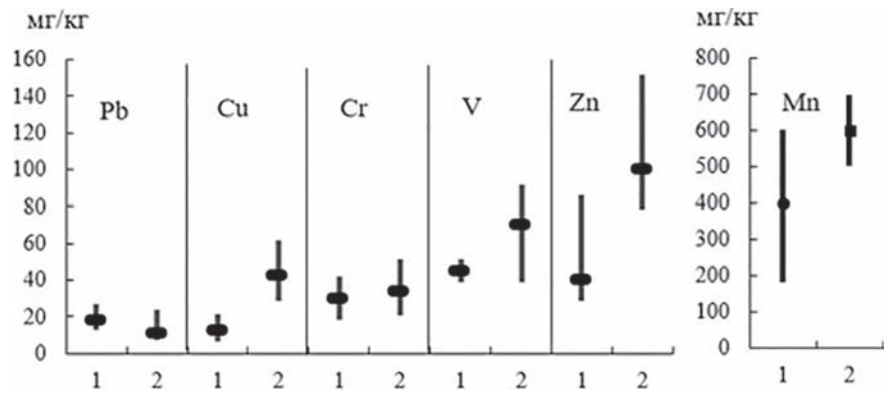
Параметри вмісту	Cu		Zn		Pb		Mn		V		Cr	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Мармароський масив												
C max	$\frac{10}{18}$	20	$\frac{50}{70}$	85	$\frac{20}{22}$	25	$\frac{200}{500}$	600	$\frac{50}{50}$	50	$\frac{20}{30}$	40
C min	$\frac{5}{6}$	8	$\frac{15}{20}$	30	$\frac{4}{6}$	14	$\frac{40}{90}$	180	$\frac{35}{30}$	40	$\frac{12}{15}$	20
C med	$\frac{8}{11}$	12	$\frac{29}{35}$	40	$\frac{8}{16}$	18	$\frac{90}{150}$	400	$\frac{20}{38}$	45	$\frac{17}{24}$	30
Чорногірський масив												
C max	$\frac{20}{55}$	60	$\frac{70}{120}$	150	$\frac{20}{20}$	22	$\frac{300}{600}$	700	$\frac{50}{60}$	90	$\frac{30}{40}$	50
C min	$\frac{10}{15}$	30	$\frac{30}{70}$	80	$\frac{4}{9}$	9	$\frac{100}{300}$	500	$\frac{40}{40}$	40	$\frac{20}{21}$	22
C med	$\frac{15}{30}$	42	$\frac{50}{80}$	100	$\frac{7}{10}$	11	$\frac{70}{320}$	600	$\frac{45}{52}$	70	$\frac{25}{30}$	34

Примітка: 1 — ґрунти, покриті мохом (чисельник — вологий мох, знаменник — сухий мох), 2 — ґрунти, не покриті мохом (фонові). C max — максимальний вміст, C min — мінімальний вміст, C med — середній (медіана) вміст.

Таблиця 2. Ранжовані геохімічні ряди за коефіцієнтом розсіяння елементів (КР) у ґрунтах, вкритих *Sphagnum palustre* L. території КБЗ

Ґрунт	Заповідний масив	
	Мармароський	Чорногірський
Під вологим мохом	$Mn_{4,4} > (Pb, V)_{2,2} > (Cu, Zn, Cr)_{1,5}$	$Mn_{8,5} > Cu_3 > Zn_2 > (Pb, V)_{1,6} > Cr_{1,3}$
Під сухим мохом	$Mn_{2,6} > Cr_{1,2} > (Cu, Zn, Pb, V)_{1,1}$	$Mn_{1,8} > (Cu, Zn, V)_{1,3} > (Pb, Cr)_{1,1}$

Рис. 2. Діаграми статистичних характеристик (80 проб) вмісту мікроелементів у гірсько-підзолистих буроземних ґрунтах Чорногірського (1) та Мармароського (2) заповідних масивів КБЗ. Параметри вмісту: max — максимальний, med — середній (медіана), min — мінімальний



дінку мікроелементів доцільно за коефіцієнтом розсіювання (КР), бо коефіцієнт концентрації менший за одиницю.

За розрахованим КР побудовано ранжовані геохімічні ряди (табл. 1). Спільним для ґрунтів всіх масивів є максимальне розсіювання Mn: під вологим мохом КР складає 8,5 (Чорногірський масив); 4,4 (Мармароський масив); під сухим — 2,6 (Мармароський масив), 1,8 (Чорногірський масив).

Ґрунти під вологим мохом дещо різні: у Мармароському масиві інтенсивно розсіюються — Pb, V (КР 2), а у Чорногірському — Cu, Zn (КР 3–2). Це дає підстави стверджувати, що вологий мох на досліджуваній території Чорногірського масиву найбільше сорбує Mn, Cu та Zn; Мармароського масиву — Mn, Pb та V, через що ґрунти найбільш збіднені саме на ці елементи.

Ґрунтів під сухим мохом заповідних масивів за КР мікроелементів (Cu, Zn, V, Pb, Cr) подібні, КР становить 1,3–1,1. Сухий мох не має сильної сорбційної здатності, але після дощів він знову стає вологим і процес сорбції поновлюється.

Мохи є специфічними концентраторами певних елементів, на ґрунтах вони є геохімічним бар'єром [4], де відбувається зміна інтенсивності міграції мікроелементів. Розмір та морфогеохімічні особливості бар'єру визначені площею розвитку мохового покриву.

Нижче охарактеризовано геохімічну поведінку мікроелементів у ґрунтах під мохом *Sphagnum palustre* L.

Марганець є елементом із найбільшим коефіцієнтом розсіювання у ґрунтах, покритих вологим мохом. Ґрунтова кислотність, яка формується за наявності моху, сприяє мобілізації марганцю, який у формі MnO погли-

нається глинисто-гумусовим комплексом. Залежно від pH ґрунтів марганець постійно переходить із розчинного в нерозчинний стан. Розчинення відбувається у кислому відновлювальному середовищі; як і для заліза, важлива присутність розчинної органічної речовини, що комплексує іон Mn^{2+} [11]. За наявності вологого моху марганець, відновлюючись, переходить у розчинні форми, мігрує та може концентруватися у моху. Саме тому ґрунти збіднені на цей елемент.

Мідь накопичується у верхніх шарах ґрунту, кисле середовище, сформоване завдяки моху (pH 3), сприяє цьому. Поглинання міді відбувається по-різному: вона може входити в кристалічну ґратку різних мінералів, адсорбуватись колоїдними частинками ґрунтів, входити до складу органічних речовин ґрунту, а також утворювати водорозчинні сполуки. Катіони міді легко вступають у хімічну взаємодію з органічними та мінеральними речовинами, тому осідають із різними аніонами (сульфідом, карбонатом), утворюючи малорухливі форми [11]. Для ґрунтів Чорногірського масиву найбільше розсіювання міді (КР 3) відбувається внаслідок збільшення вмісту її водорозчинних форм за наявності вологого моху. У ґрунтах Мармароського масиву розсіювання удвічі менше (КР 1,5), що є наслідком її комплексування у малорозчинні форми.

Ванадій та хром (у вигляді Cr^{3+}), утворюють амфотерні оксиди, мають високу чутливість до реакції середовища, легко випадають в осад у вигляді гідроксиду, рухливіші в лужному середовищі. Мігрують у ґрунтового розчині у вигляді комплексних сполук, тому розсіювання цих елементів незначне (КР 1,3–1,5).

Цинк міститься в ґрунтовому розчині в основному у вигляді іонних сполук (Zn^{2+}) і легко адсорбується мінералами та органічною речовиною. Адсорбція цинку залежить від реакції середовища: за рН (<7) відбувається легка мобілізація та вилугування цинку за рахунок конкурентної сорбції інших елементів. Рухливість цинку у ґрунтах додатково обмежено вмістом сполук марганцю, наявних у досліджуваних ґрунтах. Так, КР цинку у ґрунтах Мармароського масиву, покритих вологим мохом, становить 1,5; а у ґрунтах Чорногорського — 2.

Унаслідок вивітрювання порід свинець вивільнюється з кристалічних структур мінералів. Переважну частину Pb^{2+} сорбують глинисті частинки, гідроксиди й оксиди заліза, оксиди марганцю і органічна речовина [12]. Причому наявність оксидів Mn і Fe може домінувати в адсорбції свинцю. У ґрунтах Мармароського масиву під вологим мохом КР свинцю становить 2,2, у Чорногірському — 1,6. Така різниця теж пояснюється присутністю карбонатного флішу у Мармароському масиві, що призводить до комплексоутворення $PbCO_3$ та обмеженню рухомості елемента.

Зважаючи на вищевикладене, у ході виконання літохімічних робіт з пошуковою чи моніторинговою метою на покритих мохом ділянках треба враховувати вологість моху, який має вибіркового іонний обмін.

Висновки. Визначено мікроелементний склад (Pb, V, Cr, Zn, Mn, Cu) гірсько-підзолистих буроземних ґрунтів Чорногірського та Мармароського заповідних масивів Карпатського біосферного заповідника: фоновий, під вологим та сухим мохом (*Sphagnum palustre* L.). Визначено підвищений вміст мікроелементів (Cu, V, Zn, Mn) у верхньому шарі ґрунту Чорногірського масиву, що пояснюється наявністю глинистої складової, а нижчий вміст у Мармароському масиві — наявністю карбонатів.

Побудовано ранжовані ряди за коефіцієнтом розсіяння мікроелементів у ґрунтах, вкритих вологим та сухим мохом *Sphagnum palustre* L. Установлено, що ґрунти під сухим мохом практично не збіднені на мікроелементи, але через дощі він знову стає вологим і процес сорбції поновлюється.

З'ясовано, що ґрунти під вологим мохом Чорногірського масиву найбільше збіднені на Mn, Cu та Zn; а Мармароського — на Mn, Pb та V. Проаналізовано геохімічну поведінку досліджених мікроелементів у фонових ґрунтах і під вологим мохом.

Зроблено висновок, що вологий мох є геохімічним бар'єром з вибіркового іонним обміном, тому на ділянках, покритих вологим мохом, виконувати літохімічні пошукові та моніторингові роботи потрібно з урахуванням цих особливостей.

Література

1. Мостальгіна Л.В., Елизарова С.Н., Костин А.В. Сорбционная способность мхов и лишайников Зауралья по отношению к ионам свинца. *Химия растительного сырья*. 2020. № 3. С. 315—321.
2. Лыгина Т.З., Михайлова О.А., Хацринов А.И., Конюхова Т.П. Технологии химической активации неорганических природных минеральных сорбентов: Казань: Казанский университет. 2009. 120 с.
3. Зеров Д.К., Партика Л.Я. Мохоподібні Українських Карпат. Київ: Наук. думка, 1975. 230 с.
4. Данилків І.С., Лобачевська О.В., Мамчур З.І. Екологічна характеристика мохоподібних Карпатського біосферного заповідника. *Матеріали міжн. наук.-практ. конф. Міжнародні аспекти вивчення та охорони біорізноманіття Карпат* (25—27 вересня 1997 р. Україна, Рахів). 1997. С. 38—42.
5. Сушик Ю.Я. Геохимия зоны гипергенеза Украинских Карпат. Киев: Наук. думка, 1978. 210 с.
6. Войтків П. Гумусовий стан буроземів пралісів Карпатського біосферного заповідника. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2013. Вип. 44. С. 24—32.
7. Сает Ю.И., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. Москва: Наука, 1990. 335 с.
8. Піпаш Л.І., Папарига П.С., Андрійчук Н.Ф., Веклюк А.В. Динаміка гідрохімічного складу атмосферних опадів у Карпатському біосферному заповіднику. *Природа Карпат*. 2020. 1 (5). С. 71—78.
9. Мицьків Б.В., Пукач Б.Д., Воробканич В.М. Державна геологічна карта України масштабу 1:200 000, аркуші М-34-XXXVI (Хуст), L-34-VI (Бая-Маре), М-35-XXXI (Надвірна), L-35-I (Вишеу-Де-Сус), Карпатська серія. Пояснювальна записка. Київ, 2009. 188 с.
10. Природні ліси Українських Карпат. Львів: Карти і Атласи, 2018. 104 с.
11. Справочник химика / ред. Никольский Б.В. Москва: Химия, 1966. 1072 с.
12. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Папарига П.С. Геохімія об'єктів довкілля Карпатського біосферного заповідника. Київ: Інтерсервіс, 2012. 100 с.

Надійшла 31.08.2022.

References

1. Mostalygina, L.V., Elizarova, S.N., Kostin, A.V. (2020). Sorption capacity of mosses and lichens of the Trans-Urals in relation to lead ions, *Chemistry of plant raw materials*, No. 3, pp. 315–321 [in Russian].
2. Lygina, T.Z., Mikhailova, O.A., Khatsrinov, A.I., Konyukhova, T.P. (2009). Technologies of chemical activation of inorganic natural mineral sorbents. Kazan, Kazan University [in Russian].
3. Zerov, D.K., Partyka, L.Ya. (1975). Moss of the Ukrainian Carpathians. Kyiv, Naukova dumka [in Ukrainian].
4. Danylkiv, I.S., Lobachevska, O.V., Mamchur, Z.I. (1997). Ecological characteristics of bryophytes of the Carpathian Biosphere Reserve, *Proc. international science and practice conf. International aspects of studying and protecting the biodiversity of the Carpathians* (September 25-27, 1997. Ukraine, Rakhiv), pp. 38-42 [in Ukrainian].
5. Sushchik, Yu.Ya. (1978). Geochemistry of the hypergenesis zone of the Ukrainian Carpathians. Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
6. Voitkiv, P. (2013). Humus state of brown soils of primeval forests of the Carpathian Biosphere Reserve. *Bulletin of Lviv University. The series is geographical*. Vol. 44, pp. 24-32 [in Ukrainian].
7. Saet, Y.I., Ryvych, B.A., Yanin, E.P. (1990). Geochemistry of the environment. Moscow, Nauka [in Russian].
8. Pipash, L.I., Paparyga, P.S., Andriychuk, N.F., Veklyuk, A.V. (2020). Dynamics of the hydrochemical composition of precipitation in the Carpathian Biosphere Reserve, *The nature of the Carpathians*, No. 1 (5), pp. 71-78 [in Ukrainian].
9. Mytskiv, B.V., Pukach, B.D., Vorobkanych, V.M. (2009). State geological map of Ukraine on a scale of 1:200,000, sheets M-34-XXXVI (Hust), L-34-VI (Baya-Maré), M-35-XXXI (Nadvirna), L-35-I (Visheau-De-Sus), Carpathian series. Explanatory note. Kyiv [in Ukrainian].
10. Natural forests of the Ukrainian Carpathians (2018). Lviv, Maps and Atlases. 2018. 104p. [in Ukrainian].
11. Handbook of a chemist (1966). Moscow: Chemistry [in Russian].
12. Zhovynsky, E.Ya., Kryuchenko, N.O., Paparyga, P.S. Geochemistry of environmental objects of the Carpathian Biosphere Reserve (2012). Kyiv: Interservice [in Ukrainian].

Received 31.08.2022.

N.O. Kryuchenko¹

<https://orcid.org/0000-0001-8774-9089>

E.Ya. Zhovinsky¹

<https://orcid.org/0000-0003-1601-5998>

P.S. Paparyga²

<https://orcid.org/0000-0002-4021-0809>

O.A. Zhuk¹

<https://orcid.org/0000-0002-5264-0750>

M.V. Kuhar¹

<https://orcid.org/0000-0003-3572-5194>

K.E. Dmytrenko¹

<https://orcid.org/0000-0003-1001-3457>

T.A. Popenko¹

¹ M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine 03142, Kyiv, Ukraine, Acad. Palladin Ave., 34

² Carpathian Biosphere Reserve, Ministry of Ecology and Natural Resources in Ukraine, 90600, Rakhiv, Ukraine, Krasne Pleso str., 77

**GEOCHEMISTRY OF MICRO ELEMENTS
IN BROWN SOILS WITH MOSS COVER OF THE CARPATIAN BIOSPHERE RESERVE**

The microelement composition (Pb, V, Cr, Zn, Mn, Cu) of the mountain-podzolic brown earth soils of the Chornohir and Marmaro reserve massifs of the Carpathian Biosphere Reserve was determined: background, under wet and dry moss (*Sphagnum palustre* L.). The increased content of trace elements (Cu, V, Zn, Mn) in the upper soil layer of the Chornohir massif was determined, which is explained by the presence of a clay component, and the lower content in the Marmaros massif — the presence of carbonates. Ranked series were constructed by the dispersion coefficient of microelements in soils covered with wet and dry moss *Sphagnum palustre* L. It was established that the soil under dry moss is practically not depleted of microelements, but in the presence of rains it becomes wet again and the sorption process resumes. It was found that the soils under the wet moss of the Chornohir massif are most depleted in Mn, Cu, and Zn; and the Marmaros massif — Mn, Pb, and V. The geochemical behavior of the studied microelements in soils under wet moss was analyzed. It was concluded that wet moss has a selective ion exchange, is a geochemical barrier, and that is why lithochemical search and monitoring works should be carried out in the areas covered with wet moss, taking into account the established features.

Keywords: soils, trace elements, geochemistry, *Sphagnum palustre* L., Carpathian Biosphere Reserve.