

## КОМПЛЕКСНА ГЕОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ҐРУНТІВ ТА РОСЛИННОСТІ ПРИРОДНИХ ЗАПОВІДНИХ ЗОН УКРАЇНИ

**Н.О. Крюченко**<sup>1</sup>

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

**Е.Я. Жовинський**<sup>1</sup>

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

**П.С. Папарига**<sup>2</sup>

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

**О.А. Жук**<sup>1</sup>

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

**М.В. Кухар**<sup>1</sup>

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

**К.Е. Дмитренко**<sup>1</sup>

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

**Т.А. Попенко**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України  
03142, просп. акад. Палладіна, 34, Київ, Україна

<sup>2</sup> Карпатський біосферний заповідник Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України  
90600, вул. Красне Плесо, 77, Рахів, Україна

Наведено результати комплексного аналізу мікроелементного складу ґрунтів — В, Со, Сu, Мп, Мо, Ni, Zn та рослин — Ва, Аg, Со, Сu, Мп, Мо, Ni, Pb, Zn (дуб (*Quercus robur* L.), сосна (*Pinus sylvestris* L.), багаторічні трав'янисті рослини — купина (*Polygonatum multiflorum* (L.) All.), пирій (*Elymus repens* (L.) Gould)) природних заповідних зон, що належать до різних фізико-географічних зон — Поліський заповідник (зона мішаних лісів), заповідник «Розточчя» (лісостепова зона), Канівський заповідник (лісостепова зона), заповідник «Асканія Нова» (степова зона), Чорногірський масив Карпатського біосферного заповідника (КБЗ, Українські Карпати), які пропонується розглядати як фонові. У ґрунтах зони мішаних лісів, лісостепової та Українських Карпат (Чорногорського масиву КБЗ) спостерігається пряма залежність між валовим вмістом Со, Сu, Ni, Zn та вмістом їх рухомих форм, ця залежність не спостерігається для ґрунтів степової зони. Це пов'язано зі зміною фізико-хімічних властивостей ґрунтів, а саме з кислотністю, яка є одним з факторів, що впливають на рухомість цих елементів. Виявлено позитивну кореляційну залежність між вмістом гумусу у ґрунтах та Zn, Со (валовий вміст і рухомі форми) та негативну — В, Мо у ґрунтах всіх заповідних зон. Установлено, що найбільша біогеохімічна активність властива рослинам лісостепової зони — дубу (*Quercus robur* L.) та сосні (*Pinus sylvestris* L.).

**Ключові слова:** мікроелементи, геохімічні особливості, заповідні зони, ґрунти, рослини, біогеохімічні показники.

**Вступ.** Ґрунти заповідних зон зазнають мінімального впливу антропогенного навантаження і є максимально інформативними для аналізу ґрунтів, які зберегли природну будову профілю та природний хід ґрунтоутворювальних процесів. Загалом території заповідних зон можна розглядати як еталон

біогеохімічних циклів мікроелементів у системі ґрунт — рослина. Ґрунт не тільки акумулює компоненти забруднень, а й слугує природним буфером, що контролює перенесення хімічних елементів і сполук в атмосферу, гідросферу та живу речовину. Комплексна геохімічна характеристика стану ґрунтів

природних заповідних зон різних фізико-географічних поясів України допоможе виявити особливості накопичення мікроелементів і біогеохімічні властивості типових рослин територій.

Комплексне оцінювання еколого-геохімічного стану заповідних зон України є особливо актуальним завданням. Його основною метою є дослідження ступеня трансформації природного середовища, що без аналізу геохімічної складової ґрунтів та рослин зробити неможливо. Відомості про форми знаходження та особливості міграції мікроелементів у ґрунтах дають можливість оцінити як фоновий вміст у ґрунтовому покриві, так і шляхи накопичення мікроелементів рослинами.

Наведені в літературі певні відомості щодо фонового вмісту хімічних елементів у ґрунтах та рослинах заповідників мають фрагментарний характер. Установлення фонового вмісту мікроелементів у ґрунті та рослинах має велике значення. Згідно з літературними даними, фонові концентрації для однакових елементів у рослинах і ґрунтах можуть сильно розрізнятися [1, 2]. Геохімічні властивості ґрунтів визначають їхню токсичність, що зазначено зокрема у ході досліджень вмісту важких металів [3]. Проте, більшість дослідників приділяють увагу техногенно забрудненим ґрунтам, оскільки відома методика їх вивчення [1]. Для ґрунтів заповідних зон існують лише порівняльні методи, наприклад, шляхом розрахунку кларків концентрацій. Водночас визначення фонового вмісту мікроелементів у ґрунтах і рослинах є важливим завданням і для встановлення регіональних фонових маркерів.

**Мета та завдання дослідження.** Установити фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах та рослинності природних заповідних територій, що належать до різних фізико-географічних зон: мішаних лісів (Поліський природний заповідник), лісостепової (Природний заповідник «Розточчя» (підзона Опілля) та Канівський природний заповідник), степової (Біосферний заповідник «Асканія Нова» імені Ф.Е. Фальц-Фейна), Українських Карпат (Карпатський біосферний заповідник).

Для досягнення мети були визначені такі завдання: виміряти кількісний вміст валовий і рухомих форм мікроелементів у ґрунтах заповідних зон різних фізико-географічних зон України та за допомогою статистичної

обробки даних розрахувати фонові значення; оцінити рівень надходження мікроелементів у системі ґрунт — рослина виходячи з визначення біогеохімічних коефіцієнтів.

**Матеріали і методи.** Експериментальна частина роботи складалась з кількох етапів: відбір, підготовка, аналіз проб та обробка отриманих результатів. Дослідження виконано на таких полігонах — Поліський природний заповідник, Природний заповідник «Розточчя», Канівський природний заповідник, Біосферний заповідник «Асканія Нова» імені Ф.Е. Фальц-Фейна, Карпатський біосферний заповідник. У кожному заповіднику на однорідній площі було закладено 20 точок опробування ґрунтів, в околицях місць опробування відібрано зразки найпоширеніших видів рослинності (дерев — листя дуба, голки сосни, багаторічних трав'янистих рослин — листя купини та пирію).

Проби ґрунту відбирали методом конверта: вони є змішаними зразками з п'яти точок відбору. У польових умовах проби були висушені до повітряно-сухого стану й упаковані в поліетиленові пакети. Вимірювання вмісту хімічних елементів (В, Со, Сu, Мn, Мо, Ni, Zn) в зразках ґрунтів виконано за допомогою методу маспектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою (ICP-MS) на аналізаторі *Element-2* (Німеччина) в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України (ІГМР НАН України, м. Київ) та в лабораторії *ACME* (Канада). Визначення рухомих форм виконано після екстрагування 0,1н HCl за допомогою методу атомної абсорбції на спектрофотометрі С 115-М.

Було відібрано 42 проби рослинності — листя дуба, голки сосни, листя купини та пирію.

Зразки рослин висувували до повітряно-сухого стану, подрібнювали в лабораторному млині, наважки сухого матеріалу озоляли в муфельній печі за температури 450 °С і за допомогою методу маспектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою (ICP-MS) визначали Ва, Ag, Со, Сu, Мn, Мо, Ni, Pb, Zn. За результатами аналітичних досліджень було розраховано геохімічні коефіцієнти [4—6]. Коефіцієнт концентрації (Кс) дорівнює відношенню валового вмісту хімічного елемента в досліджуваному ґрунті до середнього вмісту у ґрунтах України. Для загальної характеристики забруднення ґрунтів використано сумарний показник за-



Рис. 1. Ділянки досліджень; 1 — Поліський природний заповідник, 2 — Природний заповідник «Розточчя», 3 — Канівський природний заповідник, 4 — Біосферний заповідник «Асканія-Нова», 5 — Карпатський біосферний заповідник

брудності:  $Z_c = (\sum K_c) - (n - 1)$ , де  $n$  — кількість урахованих хімічних елементів. Цей показник відображає комплексний ефект впливу всієї групи елементів. Розраховано інші геохімічні показники: частка рухомих форм хімічних елементів у ґрунтах відносно валового вмісту (ЧРФ); коефіцієнти кореляції ( $r$ ); коефіцієнт біологічного поглинання ( $A_x$ ) — відношення вмісту елемента в золі рослин до вмісту елемента в ґрунті, на якому зростають ці рослини; біогеохімічна активність виду (БХА), що є сумарною величиною — сума значень  $A_x$  досліджених елементів. Статистичні розрахунки виконано за допомогою програми *Statistica 10*.

**Виклад основного матеріалу.** Роботи виконано на п'яти полігонах, розташованих у межах заповідних територій різних фізико-географічних зон України. Схема розташування полігонів наведена на рис. 1.

Поліський природний заповідник розташований у північно-західній частині Житомирського Полісся України, площа 20104 га. Територія заповідника знаходиться на межі Українського щита (УЩ) та Прип'ятської низовини. За схемою тектонічного районування України — це територія Волинського мегаблоку УЩ, кристалічний фундамент складено

докембрійськими породами (граніти, гнейси, лабрадорити, кварцити, габро) [7]. Проби було відібрано у північній частині заповідника, де переважає кислий клас ландшафту ( $H^+$ ) [8], представлений дерново-підзолистими і дерновими піщаними й глинисто-піщаними ґрунтами, розвинутими на водно-льодовикових, льодовикових та давньоалювіальних відкладах (пісках, супісках). Поширені ліси борового і субборового комплексів з характерним для цих лісів підліском і трав'янистим покривом.

Природний заповідник «Розточчя» розташований у Яворівському районі Львівської області, площа 2084,5 га. Він розміщений у північно-західній частині Подільської височини та належить до вузького горбистого пасма Українського Розточчя, що є частиною Західноєвропейської епіпалеозойської платформи. Проби відібрано у північно-східній частині заповідника. Ґрунтоутворювальні породи — вапняки, покриті пісками та суглинками [7]. Геохімічний клас ландшафту — кальцієвий, у поєднанні з кислим кальцієвим ( $Ca^{2+}$ ,  $H^+ - Ca^{2+}$ ) [8], переважають темно-сірі опідзолені, сірі лісові ґрунти, чорноземи опідзолені, які формуються на лесових відкладах (суглинках лесовидних,

суглинках, глинах, пісках). Серед лісів переважають широколистяні, здебільшого букові і дубові, а також хвойно-широколистяні.

Канівський природний заповідник Київського національного університету імені Тараса Шевченка розташований у Черкаській області, на правому березі та заплавах островів Дніпра, площа 2027 га. За тектонічним районуванням це територія Кіровоградського мегаблоку УЩ. Тут переважає кислий кальцієвий клас ландшафту ( $H^+ - Ca^{2+}$ ) [8], темно-сірі опідзолні, сірі лісові ґрунти, які формуються на лесових відкладах (суглинках лесовидних, суглинках, глинах, пісках). У лісовому покриві домінує граб з домішкою дуба звичайного, кленів гостролистого і польового, липи серцелистої, берези бородавчастої, ясена звичайного [9].

Біосферний заповідник «Асканія-Нова» імені Ф.Е. Фальц-Фейна — науково-дослідна установа в системі Національної академії аграрних наук України. За тектонічним районуванням — це Причорноморська крейдо-палеогенова западина. Переважає рельєф рівнин з багатьма низинами — цілинний степ і перелоги, кальцієвий клас ландшафту

( $Ca^{2+}$ ), здебільшого чорноземи південні, які формуються на лесових, еолово-делювіальних відкладах (суглинках лесовидних, суглинках, глинах, супісках) [10].

Чорногірський заповідний масив — природоохоронна територія в Українських Карпатах — розташований у Рахівському районі Закарпатської області, є частиною Карпатського біосферного заповідника (КБЗ), площа якого становить понад 58 га. До функцій заповідника входить охорона унікальних гірських екосистем Карпат і зникаючих у Європі видів рослин і тварин. Біосферний заповідник входить до міжнародної мережі біосферних резерватів ЮНЕСКО та є найбільшою складовою частиною трансєвропейського природного об'єкта Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси та давні ліси Карпат й інших регіонів Європи». Лише у КБЗ найкраще зберігся неоціненний генофонд бука лісового (*Fagus sylvatica*).

За тектонічним районуванням це Закарпатський внутрішній прогин. Переважає кислий буроземний ( $H^+ - Al^{3+} - Fe^{3+}$ ) [8] клас ландшафтів, ґрунти представлені бурозема-

Таблиця 1. Характеристика ділянок досліджень природних заповідних зон України

Ділянка досліджень	Тип ґрунту, рН	Породи фундаменту	Ґрунтоутворювальні породи	Рельєф	Геохімічний клас ландшафту	Панівна рослинність
<i>Зона мішаних лісів</i>						
Поліський природний заповідник	дерново-підзолисто-піскові, рН 4,4–5,3	кристалічні породи протерозою	флювіогляціальні піщані та глинистопіщані відклади	рівнинний	кислий	соснові та сосново-дубові ліси
<i>Зона широколистяних лісів</i>						
Природний заповідний «Розточчя»	слабопідзолисто-супіскові, рН 5,2–6,1	породи палеозою	елювіально-делювіальні суглинки і леси	горбисті пасма до 380–390 м	кисло-кальцієвий	широколистяні, хвойні і змішані ліси
Канівський природний заповідник	дерново-слабопідзолисті, сірі лісові, рН 5,8–6,3	кристалічні породи протерозою	лесові відклади	чергування підняття з западинами	кислий кальцієвий	грабові діброви
<i>Степова зона</i>						
Біосферний заповідник «Асканія Нова» імені Ф.Е. Фальц-Фейна	чорноземи південні, рН 6,7–7,2	крейда-палеогенові породи	легкосуглинкісті і піскові відклади	степовий	кальцієвий	цілинний типчаково-ковиловий степ
<i>Українські Карпати</i>						
Карпатський біосферний заповідник, Чорногірський масив	темно-бурі гірсько-лісові, рН 5,2–5,7	терігенний фліш	алювіально-делювіальні відклади	гірський	кислий буроземний	мішані листяно-хвойні ліси



**Рис. 2.** Характерні краєвиди ділянок досліджень: *а* — Поліського природного заповідника, *б* — Природного заповідника «Розточчя», *в* — Канівського природного заповідника, *г* — Біосферного заповідника «Асканія-Нова», *д* — Чорногірського масиву КБЗ

ми опідзоленими та лучно-буроземними, які формуються на давньоалювіальних, алювіально-делювіальних та елювіально-делювіальних відкладах (пісках, глинах, суглинках, супісках, гальцію, гравію) [11]. Тут зростають смереки, ялиці, ясени, явори, буки.

Загальна характеристика ділянок досліджень наведена у табл. 1: інформацію про тип ґрунту, його кислотно-лужну реакцію, породи фундаменту, ґрунтоутворювальні породи, рельєф, геохімічний клас ландшафту, панівну рослинність, найхарактерніші краєвиди ілюструє рис. 2.

Аналітичні дослідження склалися з двох етапів — вивчення ґрунтів і рослин.

*Дослідження ґрунтів.* Насамперед було встановлено вміст валовий і рухомих форм хімічних елементів у ґрунтах. Мікроелементи обрано з урахуванням їхньої важливості для росту та розвитку рослин — В, Со, Сu, Мn, Мо, Ni, Zn. Вони входять до складу ферментів і вітамінів. Відсутність чи брак будь-якого з елементів, необхідних для зростання та розмноження, викликає певні симптоми пригнічення.

За результатами аналітичних досліджень валового вмісту (ВВ) та вмісту рухомих форм (РФ) мікроелементів, були розраховані: се-

редній вміст (медіана), частка рухомих форм, відносно валового вмісту (ЧРФ) і коефіцієнт концентрації (Кс) мікроелементів у ґрунтах, відносно середнього валового вмісту в Україні (табл. 2).

За показником Кс валовий вміст хімічних елементів у ґрунтах біосферного заповідника «Асканія Нова» значно вищий за середній вміст у ґрунтах України, а у ґрунтах Поліського природного заповідника він значно менший.

Зважаючи на те, що для оцінки фонових ґрунтів не існує загальної методики, для порівняння використано сумарний показник забруднення ( $Z_c$ ). Результати розрахунків наведено у табл. 3.

За сумарним показником забруднення ( $Z_c$ ) на всіх ділянках спостерігається допустимий рівень забруднення (менше 16): від 1 у ґрунтах Поліського заповідника, до 7,6 у ґрунтах заповідника «Асканія Нова». Середнє значення  $Z_c$  дорівнює 2,5, тобто ґрунти не забруднені, їх можна розглядати, як фонові. Реальну небезпеку важких металів демонструє вміст їхніх рухомих форм, а показник валового вмісту цих металів доцільно використовувати для загальної характеристики стану ґрунтів [12].

Таблиця 2. Вміст хімічних елементів у ґрунтах заповідних зон

Форми знаходження у ґрунтах	pH	B	Co	Cu	Mn	Mo	Ni	Zn
<i>Зона мішаних лісів</i>								
<i>дерново-підзолисті ґрунти Поліського природного заповідника</i>								
ВВ, мг/кг	5,2	2,1	7,0	12,0	270,0	1,3	10,0	22,0
КС	—	—	0,8	0,9	0,5	0,9	0,4	0,4
РФ, мг/кг	—	—	0,4	1,4	—	—	0,4	1,4
ДРФ, %	—	—	6,3	11,7	—	—	3,7	6,4
<i>Зона лісостепова, підзона Опілля</i>								
<i>світло-сірі середньо суглинисті ґрунти природного заповідника «Розточчя»</i>								
ВВ, мг/кг	7,0	8,0	7,0	40,0	470,0	1,3	18,0	44,0
КС	—	1,3	0,8	3,1	0,8	0,9	0,7	0,9
РФ, мг/кг	—	—	0,7	1,8	—	—	1,7	1,1
ДРФ, %	—	—	10,0	4,5	—	—	9,4	2,5
<i>Зона лісостепова</i>								
<i>світло-сірі легко суглинисті ґрунти Канівського природного заповідника</i>								
ВВ, мг/кг	6,8	9,0	15,0	38,0	570,0	1,6	30,0	60,0
КС	—	—	1,7	2,9	1,0	1,1	1,2	1,2
РФ, мг/кг	—	—	1,0	2,3	—	—	1,7	2,2
ДРФ, %	—	—	6,7	6,1	—	—	5,7	3,7
<i>Зона степова</i>								
<i>чорноземи південні, Біосферний заповідник «Асканія Нова»</i>								
ВВ, мг/кг	7,4	14,0	17,0	45,0	810,0	2,0	48,0	60,0
КС	—	—	2,0	3,5	1,4	1,4	1,9	1,2
РФ, мг/кг	—	—	0,8	1,6	—	—	1,1	1,1
ДРФ, %	—	—	4,7	3,6	—	—	2,3	1,8
<i>Українські Карпати</i>								
<i>темно-бурі гірсько-лісові ґрунти Черногірського масива КБЗ</i>								
ВВ, мг/кг	5,5	2,0	14,0	17,0	780,0	1,3	31,0	78,0
КС	—	—	1,6	1,3	1,4	0,9	1,2	1,5
РФ, мг/кг	—	—	0,9	1,4	—	—	0,9	3,8
ДРФ, %	—	—	6,4	8,2	—	—	2,9	4,9
Ґрунти України, валовий вміст, мг/кг	—	6	8,7	13	569	1,4	25	51

Примітка: «—» — не визначали.

Таблиця 3. Сумарний показник забруднення (Zc) ґрунтів заповідних зон

Назва заповідника	Сумарний показник забруднення (Zc)
Поліський природний заповідник	1,0
Природний заповідник «Розточчя»	2,5
Канівський природний заповідник	4,6
Біосферний заповідник «Асканія Нова»	7,6
Карпатський біосферний заповідник	2,2

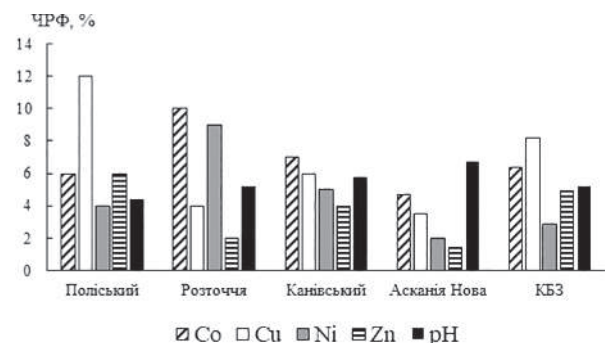


Рис. 3. Графік вмісту рухомих форм мікроелементів у ґрунтах заповідних зон і кислотність (pH) ґрунтів

Для аналізування ступеня рухомості мікроелементів у ґрунтах заповідних зон, де їхній вміст є мінімальним по відношенню до техногенних, важливо прослідкувати умови, які впливають на надходження до рослин хімічних елементів. Важливу роль у цьому відіграє механічний склад ґрунту, кислотність середовища, склад ґрунтового поглинального комплексу, мікроорганізми. Саме тому було проаналізовано вплив на рухомість мікроелементів у ґрунтах рівня їхньої кислотності (рис. 3).

Виявлено, що частка рухомих форм Cu, Zn у ґрунті прямо залежить від значення рН. У ґрунтах Поліського природного заповідника (рН 4,4) ЧРФ Cu становить 12 %, а біосферного заповідника «Асканія Нова» (рН 6,7) — 4 %. Оскільки валовий вміст Cu в ґрунтах Полісся дуже низький — 2–16 мг/кг, то і рухомих форм потрапляє в рослини мало, через що формується недостатність цього елемента у рослинах. Це ж стосується й інших мікроелементів.

Для ґрунтів зони мішаних лісів та лісостепової зони (рН 4,2–6) спостерігається пряма залежність між валовим вмістом (Co, Cu, Ni, Zn) та вмістом рухомих форм. Ця залежність не фіксується для ґрунтів степової зони (рН 6,5–7,5). Це пов'язано зі зміною рівня кислотності ґрунтів, що призводить до уповільнення міграції мікроелементів унаслідок збільшення частки важкорозчинних форм.

Інша ситуація щодо рухомості елементів у ґрунтах Чорногірського масиву КБЗ — буроземні ґрунти мають кислу реакцію (рН 5,2), тобто частка рухомих форм мікроелементів повинна бути достатньо високою, але вміст у ґрунтоутворювальних породах карбонатної складової закріплює елементи у карбонатній

формі, яка є важкорозчинною [13]. Поглинання мікроелементів ґрунтом відбувається різними шляхами: мікроелементи можуть входити до складу поглинених катіонів, кристалічних ґраток глинистих мінералів у результаті ізоморфного заміщення; можуть адсорбуватися на поверхні колоїдних частинок. Найбільше значення має закріплення мікроелементів у кристалічній ґратці.

У дослідженнях вітчизняних і зарубіжних вчених показано, що за відсутності сильного техногенного забруднення джерелом надходження у ґрунти мікроелементів є підстиляючі материнські породи [14, 15]. Тому було виконано кореляційний аналіз між вмістом мікроелементів у ґрунтах і ґрунтоутворювальних породах заповідних зон (табл. 4).

Необхідно відзначити, що найтісніший позитивний кореляційний зв'язок ( $r$  0,8–0,9) мікроелементів у ґрунтоутворювальних породах і ґрунтах простежується на території Чорногірського масиву КБЗ. Ґрунтоутворювальні породи — делювіальні відклади середньосуглинистого механічного складу, а глинистих сланців та аргілітів — важкосуглинистого. Глинисті мінерали крейдових і палеогенових відкладів є різними за сталістю складу незалежно від фаціальних умов накопичення осадів. Складені вони гідрослюдами із незначними домішками тонкодисперсного кварцу, хлориту та монтморилоніту. У процесі вивітрювання алевролітова складова флішевих відкладів, представлена зернами кварцу, плагіоклазу, калієвих польових шпатів, лусочками мусковиту, хлориту та біотиту, піддається гідролізу з подальшим аутигенним мінералоутворенням. При цьому склад новостворених глинистих мінералів успадковує склад вихідних порід. Саме цим і

Таблиця 4. Кореляційна залежність (коефіцієнти кореляції) між вмістом мікроелементів у ґрунтах та ґрунтоутворювальних породах заповідних зон

Ґрунт	V	Co	Cu	Mn	Mo	Ni	Zn
Дерново-підзолистий Поліський природний заповідник	0,6	0,6	0,8	0,7	0,6	0,5	0,6
Світло-сірий середньосуглинистий Природний заповідник «Розточчя»	0,6	0,7	0,5	0,6	0,4	0,6	0,6
Світло-сірий легкосуглинистий Канівський природний заповідник	0,5	0,6	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7
Чорнозем південний Біосферний заповідник «Асканія Нова»	0,7	0,7	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7
Темно-бурий гірсько-лісовий Чорногірський масив КБЗ	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8

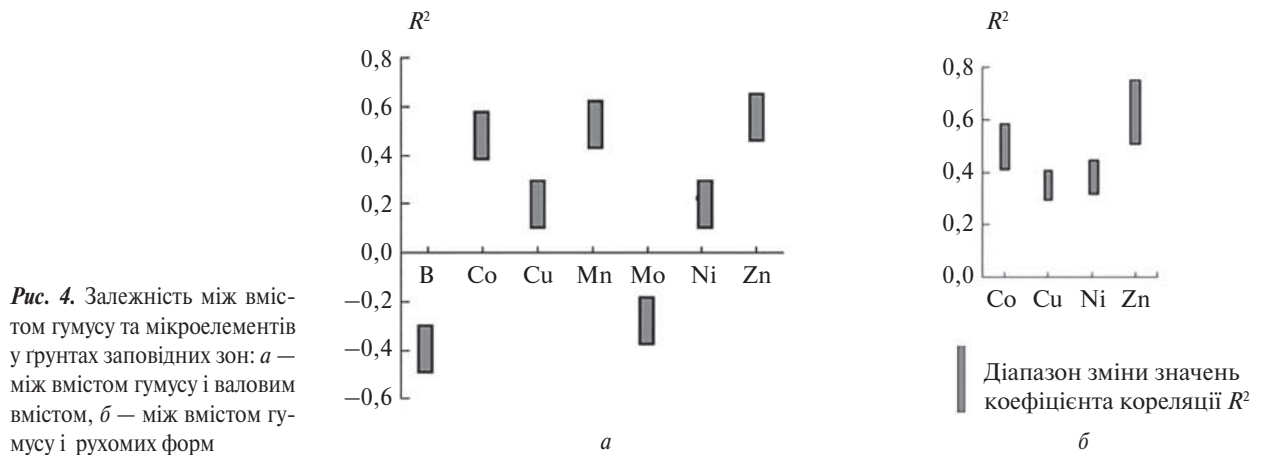


Рис. 4. Залежність між вмістом гумусу та мікроелементів у ґрунтах заповідних зон: а — між вмістом гумусу і валовим вмістом, б — між вмістом гумусу і рухомих форм

пояснюється сильний кореляційний зв'язок ґрунтів та ґрунтоутворювальних порід.

Також ми проаналізували зв'язок вмісту гумусу у ґрунтах і поведінки мікроелементів (зміна вмісту валового та рухомих форм). Дерново-підзолисті ґрунти Полісся мають низьку родючість, обумовлену низьким вмістом гумусу (0,7—2,0 %), для них характерна висока кислотність та незадовільні фізико-хімічні властивості [12, 13].

У гумусовому ґрунтовому горизонті заповідника «Розточчя» вміст гумусу може досягати 6—10 %, середній — 3 %. У ґрунтах Канівського природного заповідника середній вміст гумусу складає 2,3 %, у чорноземах південних заповідника «Асканія Нова» досягає 6 % [10].

У буроземних ґрунтах Чорногірського масиву КБЗ гумусовий горизонт неглибокий, від 12 до 25 см, має сіро-буре забарвлення, добре виражену зернисто-дрібногоріхувату структуру, яка разом з уламками корінних порід зумовлює добру дренажність і сприятливий водно-повітряний режим буроземів. Гранулометричний склад буроземів здебільшого середньо- і важкосуглинистий, рідше легкосуглинистий. Буроземі мають високий вміст гумусу (до 10—15 %, у середньому 12 %). Звичайно гумусований весь ґрунтовий профіль. Склад гумусу буроземів не залежить від породного складу лісу: він приблизно однаковий у буковому, і в ялиновому лісах.

Рослини беруть активну участь у формуванні гумусу ґрунту і тим самим опосередковано впливають на акумуляцію мікроелементів у ґрунтах. Один із основних процесів, що впливає на рухливість у ґрунті — закрі-

плення органічною речовиною, яке здійснюється внаслідок утворення важкими металами солей з органічними кислотами, адсорбції катіонів на поверхні органічних та органомінеральних колоїдних систем [13]. Саме тому міграційні можливості мікроелементів та їх поглинання рослинами переважно знижуються [16].

Для виявлення спільної геохімічної поведінки мікроелементів та вмістом гумусу побудовано графіки кореляційних залежностей (рис. 4). Відсутність однозначної прямої залежності у ґрунтах валового вмісту мікроелементів від вмісту гумусу (Ni, Cu) свідчить про те, що за найвищого вмісту гумусу не спостерігається найвищий вміст мікроелементів, що може бути пов'язано зі значенням рН ґрунтів. Зі збільшенням кислотності ґрунтів можна припускати збільшення вмісту рухомих форм у них.

Ми виявили середній позитивний кореляційний зв'язок ( $r$  0,5—0,7) між вмістом гумусу у верхніх шарах ґрунтів і вмістом у них рухомих форм Zn, Co та слабку кореляцію значень валового вмісту ( $r$  0,2—0,5) з Cu, Ni. У той же час слабкий негативний кореляційний зв'язок спостерігається між B і Mo. Судячи з коефіцієнтів кореляції, ступінь зв'язку з гумусом зменшується в такому порядку (за зменшенням валового вмісту): Mn > Zn > Co > Cu > Ni > B > Mo; за вмістом рухомих форм — Zn > Co > Ni > Cu.

Для елементів, які мають слабку кореляцію з гумусом, суттєвішими виявляються інші форми закріплення в ґрунтовій системі, ніж закріплення гумусовими речовинами. На процес закріплення важких металів гуму-

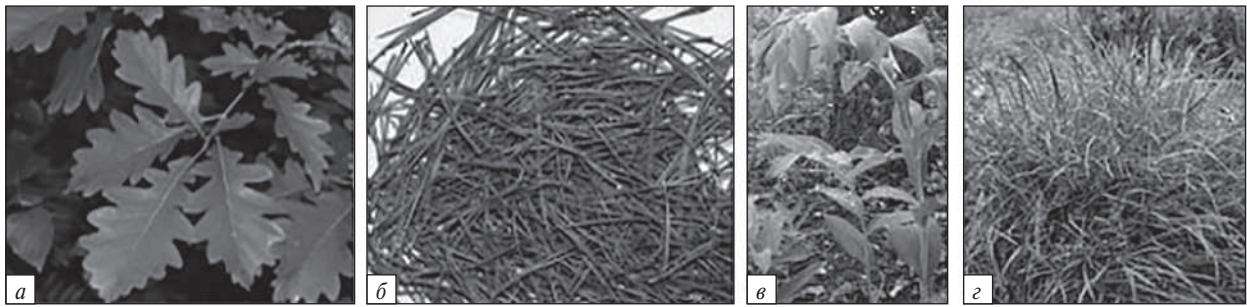


Рис. 5. Об'єкти дослідження: а — листя дуба; б — голки сосни; в — купина багатоквіткова; г — пирій повзучий

совими речовинами впливають невраховані фактори: фракційний склад гумусу, умови зовнішнього середовища тощо. За збільшення вмісту гумусу в ґрунті понад 5,5 % спостерігається зниження вмісту рухомих форм мікроелементів (Cu, Mn, Co, B), що пов'язано

з відносно низькою біогенною акумуляцією цих елементів у найбільш гумусованих шарах ґрунту та міграцією вниз за профілем.

*Дослідження рослин.* Антропогенне забруднення біосфери порушує природні біогеохімічні цикли елементів, що призводить до

Таблиця 5. Вміст мікроелементів (мг/кг) у рослинності заповідників Поліського та «Розточчя», біогеохімічні коефіцієнти – Ах, БХА

Хімічний елемент	Природний заповідник «Розточчя»				Поліський природний заповідник			
	Голки сосни, мг/кг	Ах	Листя дубу, мг/кг	Ах	Голки сосни, мг/кг	Ах	Листя дубу, мг/кг	Ах
Zn	75	6	32	5	73	4,9	45	3
Ag	0,04	0,8	0,03	1	0,035	3,9	0,023	2,6
Cu	12	5	25	4	12	7	14	6
Mn	400	2	1300	4	640	2,4	1000	3,8
Mo	0,47	3	0,4	3,5	2,1	1,8	3	2,5
Pb	3,9	1,9	4,3	2,3	11	0,9	8	1,4
Ni	3,2	1,7	3,1	2,5	3,9	0,4	2,8	0,3
Co	1	3	1,25	4	1,2	1,1	1,28	1,2
Ba	54	0,9	380	1	42	0,125	250	0,2
Cr	5	0,7	5,5	0,6	5	0,3	5,6	0,3
БХА		25		27,9		22,8		21,3
Хімічний елемент	Природний заповідник «Розточчя»				Поліський природний заповідник			
	Листя купини, мг/кг	Ах	Листя пирію, мг/кг	Ах	Листя купини, мг/кг	Ах	Листя пирію, мг/кг	Ах
Zn	65	3,0	60	1,9	22,5	2,0	35	2,3
Ag	0,04	1,2	0,05	2,9	0,01	0,8	0,02	2,2
Cu	25	4,0	24	2,7	13,5	6,0	13,5	4,0
Mn	290	0,7	200	0,5	100	1,0	50	1,0
Mo	5	2,5	6	3,0	0,8	1,7	0,6	1,3
Pb	4	1,2	3	0,7	1,35	0,2	1	0,1
Ni	7	0,5	7	0,5	3	0,3	3	0,3
Co	5	2,7	4	2,0	1	0,9	1	0,9
Ba	260	1,0	230	0,9	110	0,6	50	0,3
Cr	16	0,5	17	0,7	5	0,3	5	0,3
БХА		17,4		15,8		13,8		12,8

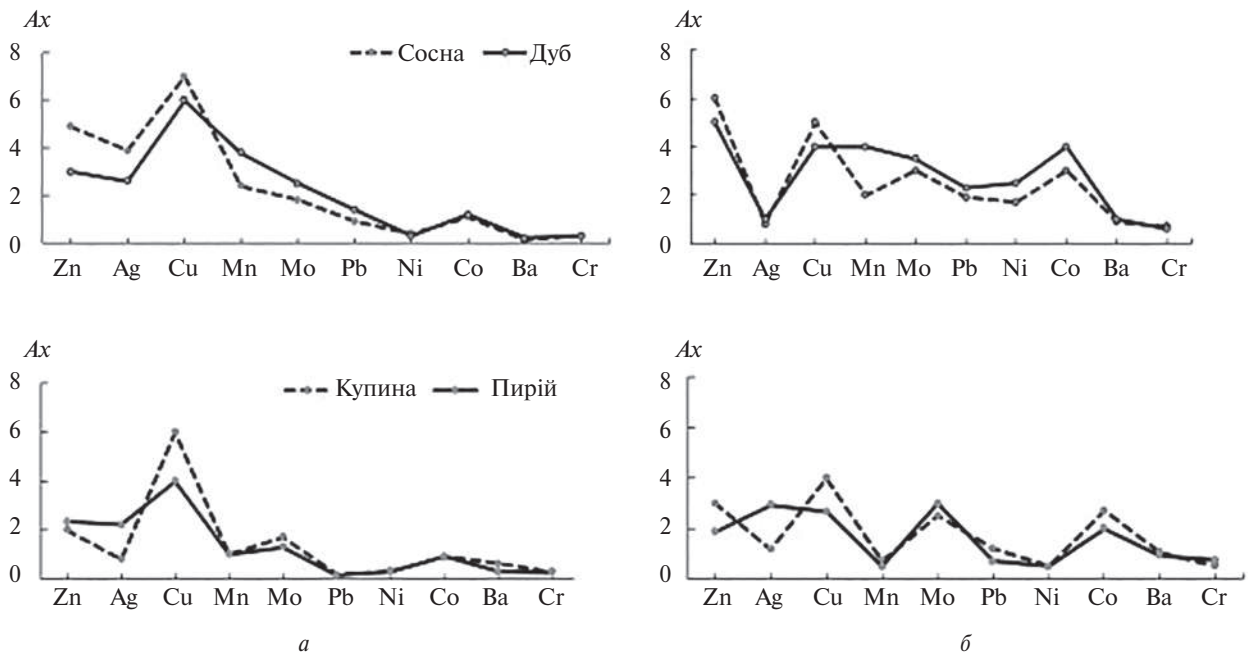


Рис. 6. Коефіцієнт біологічного поглинання ( $A_x$ ) рослин на території: а — Поліського природного заповідника (зона мішаних лісів), б — природного заповідника «Розточчя» (зона лісостепова)

порушення біогеохімічної рівноваги в системі ґрунт — рослина. Вміст і розподіл мікроелементів у ґрунтах і рослинності розглядають як один із діагностичних показників, що характеризують еколого-геохімічний стан фонових територій.

Ступінь впливу мікроелементів на систему ґрунт — рослина залежить від буферної здатності та сорбційних властивостей ґрунту [14]. Важкі за гранулометричним складом ґрунти, що містять багато органічної речовини і мають унаслідок цього високу сорбційну здатність, поглинають значну частину мікроелементів, які стають менш схильними до міграції і, відповідно, недоступними для рослин. У піщаних і супіщаних малогумусних ґрунтах негативний вплив важких металів проявляється сильніше.

Видова приналежність рослин — один із чинників, що визначає вибірковість акумуляції хімічних елементів [17, 18]. Для порівняння досліджено однакові типи рослин зон мішаних лісів: дерева — листя дуба та голки сосни; наземні частини багаторічних трав'янистих рослин — купини та пирію. Об'єкти досліджень зображено на рис. 5.

Купина багатоквіткова (*Polygonatum multiflorum* (L.) All.) — багаторічна трав'яниста рослина родини холодкових 30–60 см за-

вишки. У ґрунті розташовується горизонтальне кореневище, стебло голе, листки довгасті. Цвіте у травні-червні протягом місяця.

Пирій повзучий (*Elymus repens* (L.) Gould) — багаторічна трав'яниста рослина з довгим повзучим кореневищем. Стебла прямі, листки 3–10 мм завширшки, суцвіття — прямий складний колос (до 15 см завдовжки).

Сосна (*Pinus sylvestris* L.) — вид хвойних дерев родини соснових. Дерево 20–40 м висотою, з прямим високо очищеним від гілок стовбуром. Коренева система стрижнева. Укорочені пагони несуть дві хвоїнки 4,5–7 см завдовжки, зверху випуклі темно-зелені, знизу — жолобчасті, загострені, часто скручені, тримаються 3–5 років.

Дуб звичайний (*Quercus robur* L.) — вид дерев родини букових роду дуб. Дерево 20–50 м заввишки з шатроподібною або широкопірамідальною кроною й міцним гіллям. Стовбур завтовшки 1–1,5 м, листки чергові, короткочерешкові, донизу звужені, 7–40 см завдовжки.

У результаті аналітичних досліджень встановлено вміст мікроелементів у рослинності і виконано статистичну обробку даних з метою виявлення медіанних значень вмісту мікроелементів (табл. 5).

Універсальним показником інтенсивності біологічного поглинання елементів є коефі-

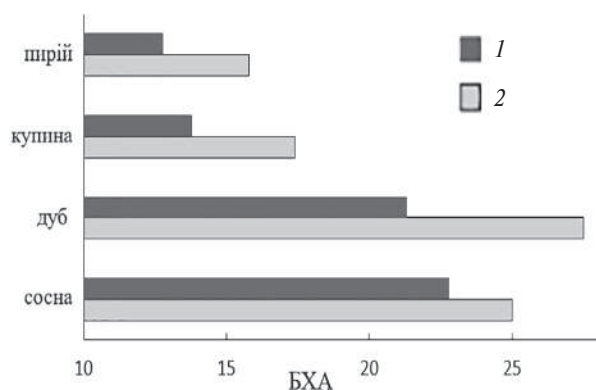


Рис. 7. Біогеохімічна активність рослин (БХА) заповідників: 1 — Поліського (зона мішаних лісів); 2 — «Розточчя» (лісостепова зона)

цієнт біологічного поглинання ( $A_x$ ) — відношення вмісту елементу в рослині до його вмісту у ґрунті. Отже, значення  $A_x > 1$  свідчить про те, що рослини накопичують певний елемент, тобто є його концентраторами, а значення  $A_x < 1$  вказує, що рослини є деконцентраторами хімічного елементу [5]. Відповідно, досліджені нами деревні рослини мішаних лісів (сосна та дуб) належать до концентраторів ( $A_x > 7-3$ ) Cu, Zn, Mn, Mo, а трав'янисті (купина, пирій) — до концентраторів Cu, Zn, Ag, Mo, Co. Інших елементів із досліджених ці рослини не накопичують.  $A_x$  мікроелементів, визначений у рослинах Поліського природного заповідника та заповідника «Розточчя», ілюструє рис. 6. Можна зазначити, що у зв'язку з недостатньою забезпеченістю дерново-підзолистих ґрунтів заповідника Полісся доступними для поглинання формами Cu рослини енергійно накопичують цей елемент: дерева ( $A_x 6-7$ ), трави ( $A_x 6-4$ ).

Для кількісного вираження загальної здатності рослин до концентрації мікроелементів розраховано біогеохімічну активність виду (БХА), що є сумою значень  $A_x$  окремих мікроелементів. Величина БХА залежить від кількості мікроелементів, які енергійно поглинають рослини. Для рослин заповідників Поліського та «Розточчя» побудовано гістограми БХА (рис. 7).

Серед досліджених рослин найбільша БХА (25—27,9) властива деревним рослинам зони — голки сосни та листя дубу (заповідник «Розточчя») лісостепової зони, а цей показник для багаторічних трав'янистих рослин мен-

ший (15,8—17,4). У зоні мішаних лісів БХА менша — для дерев ці значення становлять 21,3—22,8, для багаторічних трав'янистих рослин — 12,8—13,8. Найбільше в цих зонах акумулює мікроелементи купина.

Одержані результати показали особливості геохімічної поведінки мікроелементів природного ландшафту ґрунт — рослина заповідних територій України в різних фізико-географічних зонах.

**Висновки.** Установлено вміст валовий (V, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Zn) і рухомих форм (Co, Cu, Ni, Zn) мікроелементів у ґрунтах заповідних зон України (Поліський природний заповідник (зона мішаних лісів), Природний заповідник «Розточчя», Канівський природний заповідник (лісостепова зона), Біосферний заповідник «Асканія Нова» імені Ф.Е. Фальц-Фейна (степова зона), Чорногірський масив Карпатського біосферного заповідника (Українські Карпати)). На основі статистичної обробки даних визначено фонові значення мікроелементів у ґрунтах. Показано, що на рухомість елементів впливає рівень кислотності ґрунтів: у ґрунтах мішаних лісів, лісостепової зони та Чорногірського масиву КБЗ (рН 4,2—6) спостерігається пряма залежність між вмістом валовим і рухомих форм (Co, Cu, Ni, Zn). У ґрунтах степової зони (рН 6,5—7,5) спостерігається уповільнення міграції мікроелементів і збільшення частки важкорозчинних форм унаслідок збільшення значень рН. Виявлено середній позитивний кореляційний зв'язок ( $r 0,5-0,7$ ) між вмістом гумусу у верхніх шарах ґрунтів та вмістом у них рухомих форм Zn, Co. За зменшенням ступеня зв'язку з гумусом елементи за валовим вмістом формують такий ряд:  $Mn > Zn > Co > Cu > Ni > V > Mo$ ; за вмістом рухомих форм:  $Zn > Co > Ni > Cu$ . За біогеохімічними дослідженнями найпоширеніших рослин заповідних зон мішаних лісів і лісостепової зони (дерева — листя дубу (*Quercus robur* L.), голки сосни (*Pinus sylvestris* L.); наземні частини багаторічних трав'янистих рослин — купина багатоквіткова (*Polygonatum multiflorum* (L.) All.), пирій повзучий, (*Elymus repens* (L.) Gould)) визначена їхня біогеохімічна активність. Доведено, що найбільша біогеохімічна активність властива деревовидним рослинам лісостепової зони.

## Література

1. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. Москва: Логос, 2000. 628 с.
2. Водяницкий Ю. Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах. *Почвоведение*. 2012. № 3. С. 368—375.
3. Кураева И.В. Формы нахождения тяжелых металлов в почвах техногенно-загрязненных территорий. *Минерал. журн.* 1997. 19. № 6. С. 53—57.
4. Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 108 с.
5. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. Москва: Высш. школа, 1975. 342 с.
6. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука, 1991. 151 с.
7. Чорний І.Б. Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства. Київ: Вища школа, 1995. 240 с.
8. Klos V., Birke M., Akinfiiev G., Amashukeli Y. Geochemical Characteristics of Ukrainian Soil Using Landscape-Geochemical Regionalisation Based on the GEMAS Data. *Chemistry of Europe's Agricultural Soils*. Part B. Hannover, 2014. P. 253—270.
9. Заповідна справа в Україні. Канівський природний заповідник. Т. 14. Вип. 2. / голов. ред. Чорний М.Г. Київ: Київський Університет, 2008. 112 с.
10. Лозовицький П.С. Властивості темно-каштанового солонцюватого ґрунту заповідника Асканія-Нова у порівнянні з такими ж ґрунтами оброблених агроценозів. *Заповідна справа в Україні*. 2009. № 2, Вип. 115. С. 106—116.
11. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Папарига П.С. Геохімія об'єктів довкілля Карпатського біосферного заповідника. Київ: Інтерсервіс, 2012. 100 с.
12. Самчук А.І., Кураєва І.В., Егоров О.С. Важкі метали в ґрунтах Українського Полісся та Київського мегаполісу. Київ: Наук. думка, 2006. 108 с.
13. Тейт Р.Т. Органическое вещество почвы. Москва: Мир, 1991. 400 с.
14. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Папарига П.С. Важкі метали у ґрунтах та рослинності Чорногірської ландшафтно-геохімічної зони на прикладі Карпатського біосферного заповідника. *Пошукова та екологічна геохімія*. 2008. № 1 (8). С. 13—22.
15. Жовинський Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. Киев: Наук. думка, 2002. 213 с.
16. Самофалова, И.А. Химический состав почв и почвообразующих пород. Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО Пермская ГСХА, 2009. 132 с.
17. Фіторізноманіття заповідників і національних природних парків України. Ч.1. Біосферні заповідники. Природні заповідники / ред. В.А. Онищенко, Т.Л. Андриєнко. Київ: Фітосоціоцентр, 2012. 406 с.
18. Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений. Москва: ГЕОС, 2005. 457 с.

Надійшла 01.10.2021.

## References

1. Alekseenko V.A. (2000). Environmental geochemistry. Moscow: Logos, 2000.628 p. [in Russian].
2. Vodyanitskiy Yu.N. (2012). Standards for the content of heavy metals and metalloids in soils. *Pochvovedenie*. No. 3. P. 368-375 [in Russian].
3. Kuraeva I.V. (1997). Forms of finding heavy metals in soils of technogenically contaminated areas. *Mineral. Journ. (Ukraine)*. 19, No. 6. P. 53—57 [in Russian].
4. Absalomova I.A. (1987). Geochemical indicators in the study of landscapes. Moscow: Publishing house Moskow University. 108 p. [in Russian].
5. Perelman A.I. (1975). Landscape geochemistry. Moscow: Higher school, 342 p. [in Russian].
6. Ilyin V.B. (1991). Heavy metals in the soil-plant system. Novosibirsk: Nauka, 151 p. [in Russian].
7. Chornij I.B. (1995). Geography of soils with basics of soil science. Kyiv: Higher School, 240 p. [in Russian].
8. Klos V., Birke M., Akinfiiev G., Amashukeli Y. (2014). Geochemical Characteristics of Ukrainian Soil Using Landscape-Geochemical Regionalisation Based on the GEMAS Data. *Chemistry of Europe's Agricultural Soils*. Part B. Hannover, P. 253-270.
9. Chornij M.G. (Ed.). (2008). Reserve area in Ukraine. Kaniv Nature Reserve. V. 14. P. 2. Kyiv: Publishing and Printing Center «Kyiv University», 112 p. [in Ukrainian].
10. Lozovitsky P.S. (2009). Properties of dark chestnut saline soil of the Askania-Nova Reserve in comparison with the same soils of cultivated agrocenoses. *Reserve area in Ukraine*. V. 115. No. 2. P. 106—116 [in Ukrainian].
11. Zhovinsky E.Ya., Kryuchenko N.O., Paparyga P.S. (2012). Geochemistry of environmental objects of the Carpathian Biosphere Reserve. Kyiv: Interservice, 100 p. [in Ukrainian].
12. Samchuk A.I., Kuraeva I.V., Egorov O.S. (2006). Heavy metals in the soils of Ukrainian Polissya and Kyiv metropolis. Kyiv: Naukova Dumka, 108 p. [in Ukrainian].
13. Tate R.T. (1991). Soil organic matter. Moscow: Mir, 400 p. [in Russian].
14. Zhovinsky E.Ya., Kryuchenko N.O., Paparyga P.S. (2008). Heavy metals in soils and vegetation of the Montenegrin landscape-geochemical zone on the example of the Carpathian Biosphere Reserve. *Exploration and ecological geochemistry*. No. 1 (8). P. 13-22.

15. Zhovinsky E.Ya., Kuraeva I.V. (2002). Geochemistry of heavy metals in soils of Ukraine. Kyiv: Naukova Dumka, 213 p. [in Ukrainian].
16. Samofalova I.A. (2009). Chemical composition of soils and parent rocks. Perm: Publishing house of FGOU VPO Perm State Agricultural Academy, 132 p. [in Russian].
17. Onishchenko V.A., Andrienko T.L. (Eds). (2012). Phytodiversity of reserves and national nature parks of Ukraine. Part 1. Biosphere reserves. Nature reserves. Kyiv: Phytosocial Center, 406 p. [in Ukrainian].
18. Bargali R. (2005). Biogeochemistry of terrestrial plants. Moscow: GEOS, 457 p. [in Russian].

Received 01.10.2021.

**N.O. Kryuchenko**<sup>1</sup>

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

**E. Ya. Zhovinsky**<sup>1</sup>

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

**P.S. Paparyga**<sup>2</sup>

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

**O.A. Zhuk**<sup>1</sup>

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

**M.V. Kukhar**<sup>1</sup>

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

**K.E. Dmitrenko**<sup>1</sup>

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

**T.A. Popenko**<sup>1</sup>

<sup>1</sup> M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine  
03142, ave. acad. Palladina 34, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Carpathian Biosphere Reserve of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine  
90600, st. Krasnoe Pleso, 77, Rakhiv, Ukraine

#### COMPLEX GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SOILS AND PLANTS IN NATURAL RESERVE ZONES OF UKRAINE

The results of a comprehensive analysis of the microelement composition of soils — B, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Zn and plants — Ag, Co, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn (oak (*Quercus robur* L.), pine (*Pinus sylvestris* L.) perennial grasses — Kupena (*Polygonatum multiflorum* (L.) All.), wheatgrass (*Elymus repens* (L.) Gould)) of natural reserve belonging to different physical and geographical zones — Polessky reserve (mixed forest zone), Roztochya reserve (broad-leaved forest zone), Kanevsky reserve (forest-steppe zone), the reserve «Askania Nova» (steppe zone), the Chernogorsk massif of the Carpathian Biosphere Reserve (KBR, Ukrainian Carpathians), which are proposed to be considered as background. It was found that in the soils of mixed and broad-leaved forests and the Chernogorsk massif KBR with an increase in the content of gross forms of Co, Cu, Ni, Zn, the content of their mobile forms increases, this dependence is inverse in the soils of the steppe zone, which is associated with a decrease in soil acidity and mobility microelements A positive correlation was revealed between the humus content in soils and Zn, Co (gross and mobile forms) and negative — B, Mo in the soils of all reserve zones. It was found that the greatest biogeochemical activity is characteristic of plants in the zone of deciduous forests — oak leaves (*Quercus robur* L.) and pine needles (*Pinus sylvestris* L.).

**Keywords:** microelements, geochemical features, reserved zones, soils, plants, biogeochemical indicators.