

<https://doi.org/10.15407/geotech2020.31.079>  
УДК 504.064.3:(550.4:546.3–34)(477.62)

**Кураєва І.В., Сплодитель А.О.**

**Кураєва І.В.**, докт. геол. н., професор, завідувач відділу геохімії техногенних металів і аналітичної хімії, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, <https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>  
**Сплодитель А.О.**, к. геогр. н., докторант, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, [aspodytel@gmail.com](mailto:aspodytel@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

## РОЗПОДІЛ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У СИСТЕМІ «ГРУНТ-РОСЛИНА» В ЛАНДШАФТАХ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕРИТОРІЙ

*Проаналізовано процеси розподілу важких металів (мідь, нікель, свинець, хром і ін.) у системі «грунт-рослина» в типових видах рослин та основних типах ґрунтів, характерних для ландшафтів Національного природного парку «Нижньосульський». Ділянки спостережень характеризуються середнім та високим рівнем забруднення. Встановлено динаміку накопичення Ni, Zn, Cu, V, Pb та інших важких металів у системі ґрунт-рослина території протягом 2014–2019 років за рівнями імпаکتного забруднення. Аналіз ландшафтно-геохімічних умов території свідчить, що вони в цілому сприяють як міграції хімічних елементів з поверхневим стоком, так і значному вертикальному їх перерозподілу. Це попереджує інтенсивне забруднення переважної більшості ландшафтних комплексів парку забруднюючими речовинами, які мігрують з сільськогосподарських угідь, що підтверджено результатами аналізу джерел та обсягів забруднення. Аналіз вмісту важких металів у системі ґрунт-рослина території НПП «Нижньосульський» засвідчив його залежність від наявних джерел техногенного забруднення, а також високий ступінь відповідності характеру розподілу важких металів загальним закономірностям цих процесів у ґрунтах відповідних типів. Встановлено коефіцієнти концентрації важких металів у зразках ґрунту та інтенсивність міграції політантів з ґрунту в рослини за допомогою коефіцієнту біологічного накопичення. Отримані дані корелюють із загальними закономірностями процесів перерозподілу важких металів у системі «грунт-рослина». За величиною накопичення трав'янистою рослинністю важкі метали утворюють ряд: Mn > Cu > Cr > Pb > V > Ni > Ti. Еколого-геохімічні дослідження території виявили, що в умовах сильного техногенного навантаження бар'єрний тип накопичення характерний для Cu та Pb. Поглинання цих елементів віднесено до акумулятивного типу. Виявлені закономірності можуть бути використані при моделюванні геоecологічного стану території НПП, для нормування антропогенного навантаження на ділянки парку з різним режимом охорони.*

**Ключові слова:** важкі метали, форми знаходження, геохімічний ряд, ландшафт, ландшафтно-геохімічні умови.

**Вступ.** Актуальними для дослідження закономірностей перерозподілу та накопичення важких металів (ВМ) у системі «грунт-рослина» є новостворені національні природні парки (НПП), території яких характеризуються як значним ландшафтним різноманіттям, так і значною кількістю техногенних забруднюючих речовин, у тому числі ВМ. Для успішної реалізації функцій, які виконують НПП (природоохоронної, рекреаційної та ін.), необхідна всебічна геоecологічна оцінка їх територій. Важливою складовою оцінки є якісні показники транслокації ВМ із ґрунту в рослину, адже таким чином вони залучаються до кругообігу і можуть акумулюватися в біоті.

**Стан вивченості питання.** Важкі метали є необхідним компонентом у метаболізмі рослин, однак у високих концентраціях вони здатні до акумуляції та токсичних впливів. Вивчення хімічного складу рослин дозволяє встановити критерії їх індикаторної здатності, а також дає підстави використовувати їх у

якості чутливих біоіндикаторів рівнів забрудненості ґрунтів [15].

Надходження ВМ в рослини з ґрунту контролюють дві групи чинників: вміст рухомих форм ВМ у ґрунті, який регулюється властивостями самого ґрунту та біологічними особливостями рослин по відношенню до іонів ВМ [11].

На процес поглинання ВМ рослинами ґрунт впливає двояким чином. З одного боку, ґрунти в процесі поглинання (сорбції) знижують кількість акумулюючих елементів в рослині. Однак з іншого боку, акумуляція сорбованих елементів у верхніх горизонтах, тобто в зоні найбільшого поширення коренів, сприяє їх поглинанню рослинами та інтенсивному накопиченню, ніж при вільній міграції ВМ у більш глибокі горизонти ґрунту [5,6,12].

Отже, сорбція ВМ ґрунтами регулює їх транслокацію з ґрунту в рослини та як наслідок накопичення їх рослинами. Неоднакова міцність закріплення ВМ в

грунтах свідчить, що їх надходження в рослини, в першу чергу, визначається типом ґрунту і тими його властивостями, які відповідають за поглинаючу здатність. На надходження важких металів впливає кілька факторів: видові особливості рослин, тип ґрунту, концентрація, форма знаходження ВМ, рН ґрунту, гранулометричний склад, вміст органічних речовин, ємність поглинання катіонів у ґрунті, наявність техногенних джерел забруднення ландшафтів тощо [6,9].

Ґрунтам з високим рН, вмістом глинистих мінералів, карбонату кальцію та органічної речовини властива висока поглинаюча здатність по відношенню до ВМ. Такі ґрунти або повністю звільняють рослину від контакту з ними, або роблять ці контакти менш небезпечними.

Видалення ВМ з ґрунтового розчину відбувається в процесі осаду або адсорбції. ВМ мають підвищену здатність до адсорбції органічною речовиною та оксидами, а також до заміщення лужних і лужноземельних металів. У кислих ґрунтах рухливість ВМ підвищується і тим самим збільшується їх доступність. Як правило, з кислих ґрунтів ВМ надходять у рослини в значно більших кількостях, ніж з слаболужних, нейтральних або слабокислих. Так, на дерново-підзолистому ґрунті (рН = 5,3) за однакової концентрації Рb насиченість листової тканини пшениці в 2 рази вище, ніж на високобуферному малогумусному чорноземі (рН = 6,9) [8-13].

У той же час рослини мають захисні властивості щодо поглинання ВМ. У них існує кілька систем контролю за надходженням іонів. В основному вони знаходяться в коренях та репродуктивних органах (насінні і плодах). Тут зосереджені механізми регламентації надходження іонів у рослини. Вивчення транслокації ВМ у рослини показало, що на перших етапах надходження ВМ з ґрунтів їх основна частина затримується в коренях рослин (Lubben, Sauerbeck, 1991). Передбачається, що затримання відбувається по периферії коренів, у зоні так званого паска Каспарі [3,4].

Разом із тим захисні механізми кореневої системи обмежені, і при інтенсивному надходженні токсичних іонів з ґрунту вони не в змозі повністю захистити вегетативну масу від забруднення, ВМ починають проникати в надземну частину рослин. При цьому рослини забезпечені механізмами контролю надходження хімічних елементів в репродуктивну частину (насіння).

Хімічний склад рослин залежить від складу ґрунтів, на яких вони ростуть, але не повторюють його, тому що вибірково поглинають необхідні елементи відповідно до фізіологічних і біохімічних потреб. Механізми стійкості рослин до надмірного надходження важких металів різноманітні: одні здатні накопичувати високі концентрації металів і проявляти до них

толерантність, інші – зменшувати кількість їх надходження шляхом максимального використання бар'єрних властивостей. Рівень накопичення важких металів рослинами залежить від їх генетичних і видових особливостей [13].

Незважаючи на істотну мінливість властивостей рослин щодо накопичення металів, біоакумуляція елементів має певну тенденцію, що дозволяє впорядкувати їх в кілька груп: 1) Cd, Cs, Rb – елементи інтенсивного поглинання; 2) Zn, Mo, Cu, Ni, Pb, As – середнього ступеня поглинання; 3) Mn, Cr, Co – слабого поглинання; 4) Se, Fe, Ba, Te – елементи важкодоступні для рослин [8]. Відомо, що поряд з видовою специфічністю рослин щодо накопичення ВМ існують загальні закономірності: найбільш високий вміст важких металів виявлено в листових овочах і силосних культурах, найменший - у бобових, злакових та технічних культурах [9].

Відомості щодо розподілу ВМ в органах рослин вельми суперечливі (Ільїн, 1973; Добровольський, 1983; Ільїн, 1991). Одні автори вказують на велику акумуляцію ВМ в надземних органах (Леванідов, Давидов, 1961; Ковалевський, 1969), інші - в коренях (Кузіна, 1969; Павлов та ін., 1989). Часто відзначається відмінність концентрацій ВМ у різних надземних органах (листяках, стеблах, плодах), що може бути пов'язане з видоспецифічністю метаболізму рослин та з властивостями елементів (Добровольський, 1993).

Багатьма авторами (Прохорова та ін., 1998; Битюцький, 1999) відзначені видові відмінності рослин у характері металоакумуляції. При цьому встановлено, що видова специфічність металоакумуляції може проявлятися дуже чітко, оскільки для деяких видів нормою стають концентрації ВМ, які в сотні і тисячі разів перевершують фонові (Fernandes, Енрікес, 1991). Такі аномальні властивості до металоакумуляції – рідкісні, але вони є фітоіндикаторами підвищеного вмісту важких металів або окремого елементу в ґрунтах і підстилаючих породах [11-14].

**Постановка завдання та методи.** Системних даних щодо коефіцієнтів біокумуляції ВМ по території НПП «Нижньосульський» немає, що зумовлено як значним рослинним розмаїттям, так і значними відмінностями типів ґрунтів.

Нами проведено дослідження з накопичення деяких техногенних (Cu, Pb, Ni) металів у типових видах рослин території НПП «Нижньосульський» протягом вегетаційного періоду 2015-2019 рр. Для вивчення було обрано ділянки в різних ландшафтних умовах території парку з відмінним режимом охорони. Ділянки пробовідбору рослин відповідають ділянкам дослідження ґрунтових профілів [1-2].

Вміст важких металів у фітомасі рослин визначали в їх зольних розчинах методом атомно-абсорбційної

спектрометрії на приладі марки STE-1 та методом мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-MS) аналізатор ELEMENT-2 (Німеччина) в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України та Національному науковому центрі «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського».

Загалом було відібрано 2037 зразків ґрунту та 570 зразків рослин. Для виявлення ступеню поглинання важких металів у системі «ґрунт – рослина» в досліджуваних зразках проведено хімічний аналіз вмісту в рослинах ВМ I класу небезпеки (Pb) та II класу небезпеки (Ni, Cu, Cr) тощо (Рис.1).

Для характеристики біогенної міграції важких металів і біогеохімічних особливостей рослин застосовано методики, розроблені І.А. Авессаломовою, Ю.Ю. Састом, О.І. Перельманом. Кількісну оцінку надходження токсичних мікроелементів з ґрунту в рослини проводили розраховуючи коефіцієнт біологічного накопичення (КБН), який визначається співвідношенням вмісту металу в одиниці маси акцептора (рослини в перерахунку на її суху масу) і донора (ґрунту) (Avessalomo, 1987).

$$\text{КБН} = \frac{Lx}{Nx},$$

де  $Lx$  – вміст елемента в золі рослин,

$Nx$  – його вміст у ґрунті.

**Метою дослідження** є аналіз закономірностей розподілу важких металів у системі «ґрунт-рослина» в ландшафтах модельного природоохоронного об'єкта – Національного природного парку «Нижньосульський».

**Результати дослідження.** За сучасним фізико-географічним районуванням України територія НПП «Нижньосульський» переважно відноситься до Північно-Дніпровського терасово-рівнинного лісостепу (західна частина досліджуваної території) та Південно-Дніпровського терасово-рівнинного лісостепу (східна частина досліджуваної території) Лівобережно-дніпровського Лісостепового краю Дніпровської терасової рівнини [1]. У межах території дослідження домінують ландшафти лесових та моренно-воднольодовикових надзаплавних терас і річкових заплав.

В геоструктурному відношенні територія дослідження розміщена в межах південно-західного борту Дніпровсько-Донецької западини. Кристалічний фундамент вивопнений товщею осадових відкладів різного віку – від девону до антропогену. Серед кристаліч-

них порід докембрійського часу виділяються біотит-плагіоклазові гнейси і гранітоїди житомирсько-кіровоградського комплексу. Породи докембрію перекриті чохлом осадових порід, потужністю від 60 м на південному заході території до 1600 м на північному сході [1,2].

Рельєф південної частини Дніпровської терасової рівнини генетично представлений флювіогляціальними та алювіальними рівнинами. Геоморфологічні особливості терас подібні терасам північної області терасової рівнини, однак спостерігаються певні відмінності в їх локалізації. Своєрідною особливістю території є нерівномірний характер їх розміщення. В межах області тераса Дніпра фрагментована долинами рік Оржиці та Сули [1].

Основний геохімічний фон тут складають наступні *групи класів ландшафтів* [2]:

**Ландшафти кислого геохімічного класу** - з відповідною роллю іона водню  $H^+$ : Н, Н,Н-Fe, Н-Fe;

**Ландшафти кальцієвого та кальцієво-карбонатного класу** - з абсолютною роллю кальцію  $Ca^{2+}$ : Ca,  $CaCO_3$ ;

**Перехідні групи ландшафтів з участю кальцію і іона водню  $H^+$ - $Ca^{2+}$ :**

**Ландшафти карбонатно-глейового класу:**  $Ca|(H-Fe)$ ,  $Ca|[H-Fe]$ ,  $Ca|H-Fe$ ,  $CaCO_3|[H-Fe]$ ,  $CaCO_3|(H-Fe)$ ;

**Ландшафти кислого кальцієвого класу:** Н-Са, Н-Са|[H-Fe], Н-Са|H-Fe;

**Ландшафти кальцієво-магнієвого карбонатного класу:** Са-Мг| $CO_3$ ;

**Соленосні ландшафти:**

**Ландшафти солонцюватого класу** - за участі іона натрію, що забезпечує рухливість вуглеводу ( $Ca^{2+}$ - $Na^+$ ):Са-На, Са-На|[H-Fe], Са-На|(H-Fe), Са-На|H-Fe, Са-На|Cl, Са-На|Cl|[H-Fe], Са- $SO_4$ |H-Fe;

**Ландшафти содово-солончакового класу** - з участю легкорозчинних солей, в присутності яких відбувається коагуляція органічних з'єднань:

$Na-HCO_3$ ;

**Ландшафти кисло-солончакуватого класу:** Н-Fe|Na- $CO_3$ ;

Аналіз ландшафтно-геохімічних умов території НПП «Нижньосульський» показав, що різко виражені відмінності простежуються на рівні класів, серед яких переважають кальцієві перехідні ( $H^+$ - $Ca^{2+}$ ) та солонцюваті ( $Ca^{2+}$ - $Na^+$ ). Менше розповсюджені кислі, кислі глеуваті ( $H^+$ ,  $H^+$ - $Fe^{2+}$ ), кальцієво-магнієво карбонатні та інші класи.

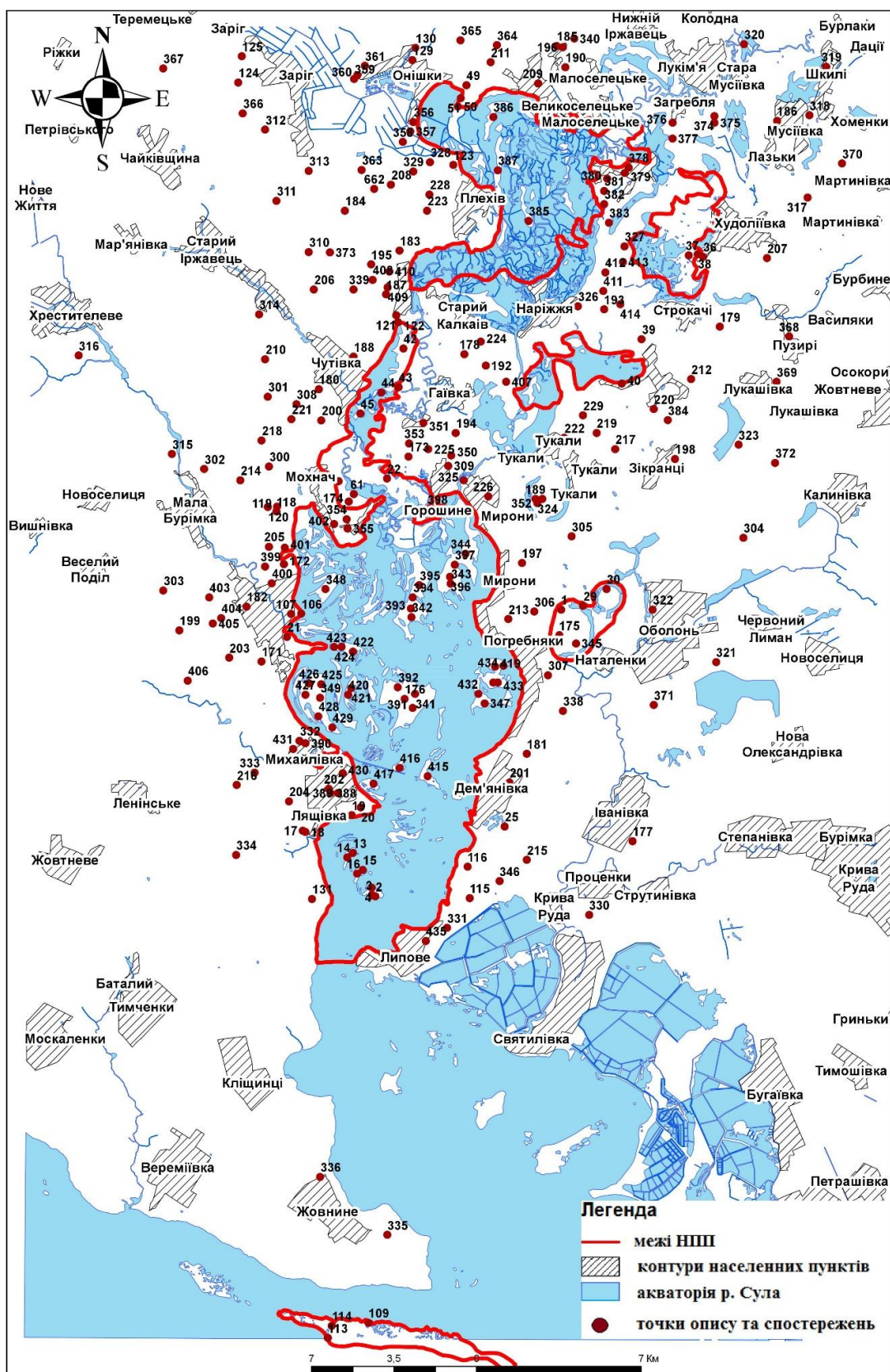


Рис.1 Карта фактичного матеріалу території НПП «Нижньосульський»

Fig.1 Map of the sampling area at the territory of the National Natural Park “Nyzhniosulskiy”



Антропогенний вплив, окрім сільськогосподарської діяльності, на території НПП пов'язаний із великими підприємствами, зокрема ВАТ "Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат" у м. Комсомольськ, АТ "Укртатнафта" у м. Кременчук, ВАТ "Кременчуцький сталеливарний завод", ТОВ "ТФ "Кременчук-нафтопродукт" (АЗС 55, Чернобаївський район), ПАТ "Укрнафта" (АЗС № 230/05, с. Іркліїв, Чернобаївський район), ТОВ "НадеждаРитейл" (АЗС з АГЗП, смт. Чернобай), ПАТ "Укртрансгаз", (с. Мала Бурімка, Чернобаївський район), ВАТ "Полтавський гірничо-збагачувальний комбінат" (м. Комсомольськ, ВАТ "Кременчук нафтопродукт-сервіс" (збереження та збут нафтопродуктів), склад отрутохімікатів ВАТ "Хорольська сільгоспхімія" тощо [1,2].

#### **Вміст важких металів у системі ґрунт-рослина території НПП «Нижньосульський»**

Аналіз даних виявив, що розподіл важких металів у рослинах території НПП характеризується значною неоднорідністю. Мінімальне й максимальне значення концентрацій валових форм забруднювачів різняться до 100 разів. Так, вміст валових форм сполук ванадію змінюється в діапазоні від 1 до 40 мг/кг, сполук хрому – від 2 до 30 мг/кг, купрум – від 4 до 100 мг/кг, нікелю – від 1 до 50 мг/кг, свинцю – від 2 до 25 мг/кг, марганцю – від 10 до 4500 мг/кг, титану – від 2 до 3000 мг/кг. При віддаленні від основних джерел забруднення спостерігається зменшення концентрації валових форм сполук нікелю, свинцю та хрому, а концентрація сполук марганцю та ванадію залишається стабільно високою. Вміст валових форм важких металів у рослинах можна розташувати в наступний ряд:  $Mn > Cu > Cr > Pb > V > Ni > Ti$ . Такий розподіл вказує на можливість надходження значної кількості сполук важких металів перших класів небезпеки з ґрунтів у рослини та опосередкованого впливу на стан здоров'я населення території НПП [4-10].

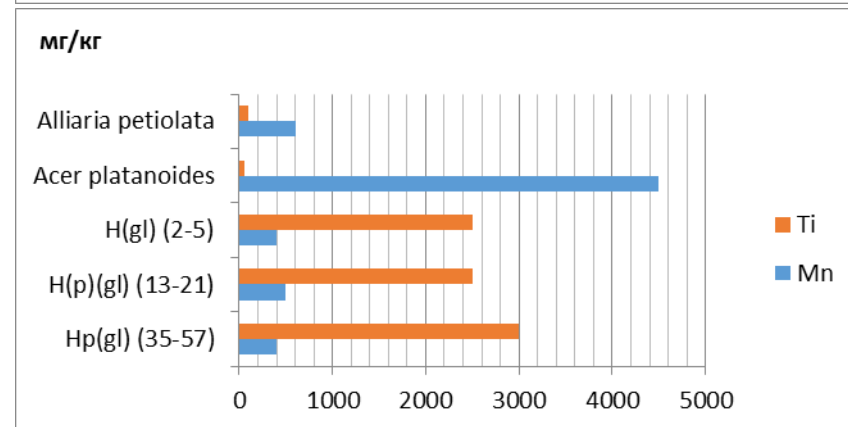
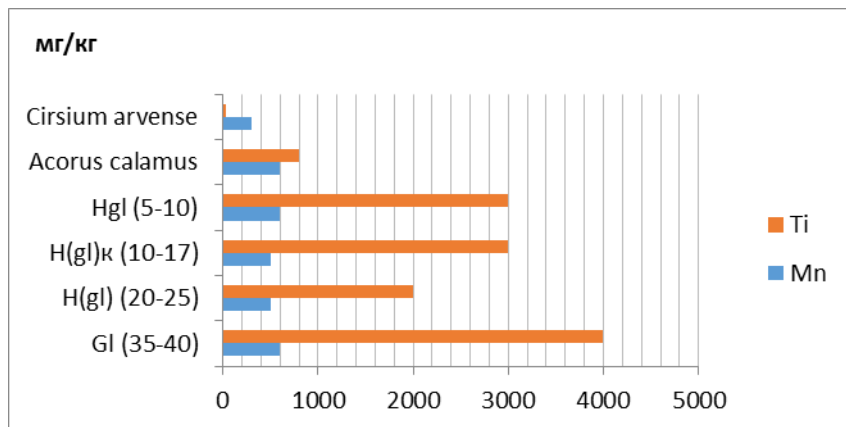
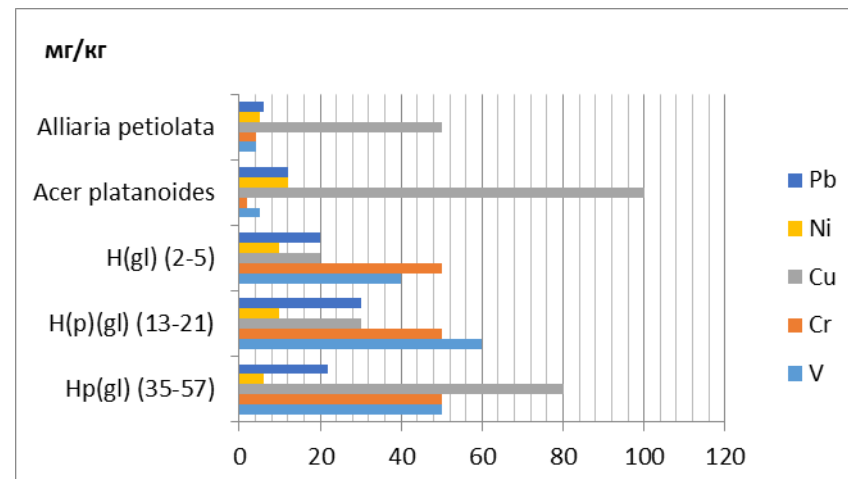
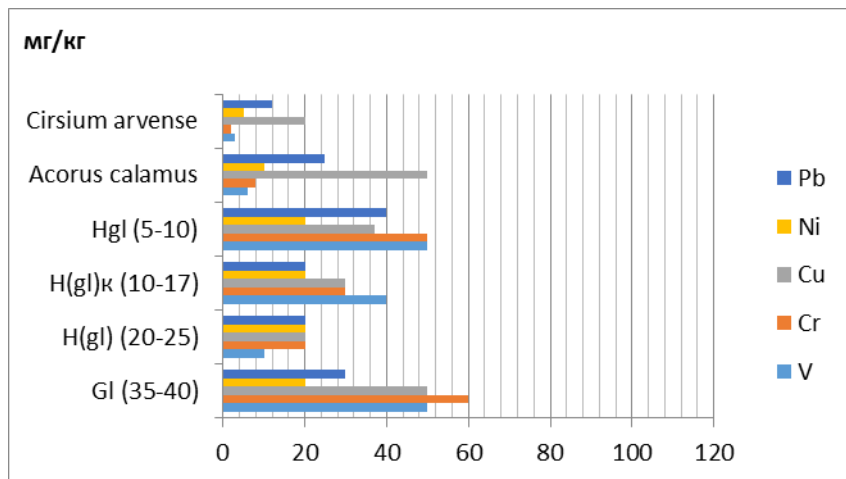
Валові концентрації металів у ґрунтовому профілі алювіальних дернових супіщаних ґрунтів знижуються в 1,5-2 рази в порівнянні з суглинковими аналогами. Найвиразніше ця закономірність проявляється у Cr, V, Ni, Zn, слабше на зміну гранулометричного складу горизонтів реагують концентрації Cu і Pb. Гумусові горизонти алювіальних супіщаних ґрунтів характеризуються менш контрастним зниженням валових концентрацій металів у порівнянні з суглинковими ґрунтами. Це свідчить про конвергенцію вмісту елементів в гумусових горизонтах ґрунтів на різних ґрунтоутворюючих породах [2-4]. Вміст рухомих форм Mn, Pb,

Cu, Zn в супіщаних ґрунтах у 2-3 рази, а Cr, Ni - у 10-15 разів нижче в порівнянні з суглинковими.

В чорноземах типових та дернових суглинкових ґрунтах ґрунтоутворюючою породою є лесовидні суглинки, що підстилаються мореною. Вміст гумусу трохи вищий - від 1,5 до 3,3%. Величина рН практично однакова для обох типів ґрунтів, однак для дернових ґрунтів її варіабельність суттєво вища - від 4 до 6,1. Це сприяє накопиченню катіонів важких металів через зменшення їх міграційної здатності при закріпленні у ґрунтово-поглинальному комплексі. Валовий вміст металів у чорноземах типових малогумусних суглинкових у середньому на 30-40% вищий, ніж у дерново-підзолистих суглинкових ґрунтах, що, ймовірно, зумовлено внутрішньоґрунтовим стоком. Валовий вміст у точках відбору зразків становить вище фонових значень, подекуди фіксувалися перевищення ГДК: Ni - 60 мг/кг (при фонових показниках 22мг/кг), Ti - 3000 мг/кг (2250мг/кг), V - 50-60 мг/кг (41мг/кг), Cr - 50-60 мг/кг (49 мг/кг), Cu - 80-100 мг/кг (12-16мг/кг), Pb - 40-50 мг/кг (10 мг/кг).

Абсолютні значення рухомих форм металів і їх рухливість в дернових ґрунтах близькі до відповідних значень алювіальних суглинкових ґрунтів, тільки у Cr вміст у гумусовому горизонті майже в 2 рази нижчий. Варіабельність рухомих форм металів також зберігається на попередньому рівні у більшості елементів, окрім Pb і Cr, у яких вона зростає у 1,4-2,2 рази. Дернові піщані ґрунти на флювіогляціальних пісках за абсолютним вмістом валових і рухомих форм металів близькі до дерново-підзолистих з аналогічним гранулометричним складом.

Алювіальні дернові глеюваті солонцюваті супіщані ґрунти характеризуються шаруватістю ґрунтоутворюючих відкладів, наявністю похованих гумусових горизонтів, підвищеним вмістом гумусу – 1,9-2,96%. Вплив ґрунтових вод проявляється в оглеєнні нижньої частини або всього профілю, а також в лужності ґрунтового розчину. Тому для нижніх горизонтів характерна відновна слаболужна (рН>7) реакція. Внаслідок легкого гранулометричного складу ґрунтоутворюючих відкладів та значного ухилу днища долини р. Сули рухомі форми ВМ виносяться з алювіальних ґрунтів, тому тут їх у 1,3-1,5 рази менше, ніж в ґрунтах надзаплавно-терасових рівнин, за винятком Ni. Найбільшу концентрацію ВМ мають алювіальні дернові глейові ґрунти, що пояснюється осадженням елементів, які надходять із внутрішньоґрунтовим бічним стоком.



**Розподіл ВМ: Аір звичайний (Acorus calamus) та Будяк польовий (Cirsiium arvense) на лучно-болотних поверхнево-слабосолонцюватих легкосуглинкових ґрунтах, 134-16 (с.Ляшівка)**

**Distribution of heavy metals: Acorus calamus and Cirsiium arvense on meadow-swamp soils, 134-16 (Lyashchivka village)**

**Розподіл ВМ: Клен гостролистий (Acer platanoides) та Кінський часник звичайний (Alliaria petiolata) на алювіальних дернових легкосуглинкових ґрунтах, 136-18 (ур.Березове)**

**Distribution of heavy metals: Acer platanoides and Alliaria petiolata on alluvial soils, 136-18 (Birch tr.)**

**Рис.2** Розподіл ВМ в системі «ґрунт-рослина» території НПП «Нижньосулський»

**Fig.2** Distribution of heavy metals in the soil-plant system of the territory of the National Natural Park “Nyzhniosulskyi”

Тип ґрунту/рослинність	№ точки	Генетичний горизонт, см	Хімічний елемент, мг/кг													
			V	КБП	Cr	КБП	Cu	КБП	Ni	КБП	Pb	КБП	Mn	КБП	Ti	КБП
Лучно-болотні поверхнево-слабосолонцюваті	940-16-4	[H] (44-47)	30		15		20		10		20		300		2000	
	940-16-3	P(gl) (26-33)	25		20		10		15		10		250		1500	
	940-16-2	H(p) (11-18)	20		20		12		27		12		200		1500	
	940-16-1	H (3-7)	30		10		10		30		10		400		1000	
<i>Верба попеляста</i>	<b>940-1</b>	<b>Salix cinerea L.</b>	<b>10</b>	<b>0,3</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>4</b>	<b>0,4</b>	<b>18</b>	<b>0,6</b>	<b>2</b>	<b>0,2</b>	<b>800</b>	<b>2</b>	<b>39</b>	<b>0,04</b>
<i>Щавель кінський</i>	<b>940-2</b>	<b>Rumex confertus</b>	<b>12</b>	<b>0,4</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>21</b>	<b>0,7</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>400</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>-</b>
Алювіальні дернові глейові поверхнево-слабосолонцюваті	1037-19-4	Gl (54-59)	40		40		40		6		30		400		2000	
	1037-19-3	Gl (32-37)	50		43		50		6		20		500		2000	
	1037-19-2	Hgl (16-27)	50		47		40		8		30		500		3000	
	1037-19-1	H(gl)s (3-8)	40		50		30		10		20		500		3500	
<i>Купина запашна</i>	<b>1037-1</b>	<b>Polygonatum odoratum</b>	<b>17</b>	<b>0,4</b>	<b>6</b>	<b>0,12</b>	<b>10</b>	<b>0,33</b>	<b>28</b>	<b>2,8</b>	<b>3</b>	<b>0,15</b>	<b>500</b>	<b>1</b>	<b>500</b>	<b>0,14</b>
<i>Клен гостролистий</i>	<b>1037-2</b>	<b>Acer platanoides</b>	<b>29</b>	<b>0,7</b>	<b>4</b>	<b>0,08</b>	<b>40</b>	<b>1,33</b>	<b>50</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>0,25</b>	<b>800</b>	<b>1,6</b>	<b>210</b>	<b>0,06</b>
Торфувато-болотні карбонатні глибоко-солонцюваті	1552-18-3	Glk(s) (36-42)	50		40		50		20		20		600		1200	
	1552-18-2	Hglks (20-27)	40		35		40		15		10		530		1500	
	1552-18-1	Ht (5-13)	50		30		80		10		20		500		2100	
<i>Щавель кінський</i>	<b>1552-1</b>	<b>Rumex confertus</b>	<b>5</b>	<b>0,1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>40</b>	<b>0,5</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>	<b>2</b>	<b>0,1</b>	<b>500</b>	<b>1</b>	<b>1000</b>	<b>0,4</b>
Солонці лучно-чорноземні напівгідроморфні легкосуглинкові	1759-18-4	Hp (56-60)	60		50		40		20		12		600		3000	
	1759-18-3	Hi(p)glks (33-42)	80		60		40		30		20		570		3000	
	1759-18-2	Hglks (15-23)	60		60		50		40		30		600		3000	
	1759-18-1	H(gl)(k)s (4-10)	80		70		50		47		20		500		3000	
<i>Житняк пустельний</i>	<b>1759-1</b>	<b>Agropyrum desertorum Fish</b>	<b>25</b>	<b>0,3</b>	<b>60</b>	<b>0,8</b>	<b>20</b>	<b>0,4</b>	<b>15</b>	<b>0,3</b>	<b>6</b>	<b>0,3</b>	<b>500</b>	<b>1</b>	<b>870</b>	<b>0,29</b>

Примітка. КБП – коефіцієнт біологічного поглинання

Рис.3 Концентраційні залежності вмісту важких металів у системі ґрунт–рослина

Fig.3 Concentration dependences of heavy metal content in the soil-plant system

Серед болотних ґрунтів переважають торф'яно-глейові ґрунти низинних боліт у старорічних зниженнях. У цих ґрунтах поряд із ґрунтовими водами досить значну роль відіграє специфічна болотна рослинність, яка визначає кислу реакцію середовища верхнього горизонту - рН 4,7-5,4, і накопичення органічної речовини. Вміст більшості металів у болотних ґрунтах майже не відрізняється від такого ж в дернових суглинкових ґрунтах, за винятком (Cu і Mn). Валовий вміст Cu (50-100 мг/кг) у 8-10 рази, а Mn (660 мг/кг) у 2-3 рази вищий за фонові показники, відповідно 5,3 та 166 мг/кг.

З отриманих даних, згідно зі шкалою І.А. Авессаламова та В.В. Добровольського, до елементів сильного накопичення (КБН>1) відносяться Cu, Ni, Mn, Ti. Слабке накопичення (КБН<1) характерне для Cr, V, Pb як для деревних, так і для трав'янистих рослин. Це додатково ілюструють порівняльні ряди інтенсивності накопичення валових форм вмісту досліджуваних важких металів у різних видах рослин території НПП [11].

Результати наших досліджень показали, що всі досліджені види рослин у найбільшій кількості акумулювали мідь та марганець, на другому місці за інтенсивністю накопичення стояв свинець, далі хром і ванадій. В розрізі окремих видів рослин високу акумулюючу здатність по відношенню до міді демонстрували клен гостролистий (*Acer platanoides*), а низьку – верба попеляста (*Salix cinerea* L.) і яглиця звичайна (*Aegopodium podagraria*). Представники цих видів у найменших кількостях накопичували також ванадій та титан, а максимальні кількості цих елементів концентрували представники видів грястиця збірна (*Dactylis glomerata*) і дзвінець пізній вузьколистий (*Rhinanthus major*). Загалом же спостерігалась тенденція щодо збільшення концентрації важких металів у деревних видах, в яких розсічена будова листової пластинки, або ж є опушення чи восковий наліт на листках, що можна пояснити посиленням фіксації забруднювачів, які надходять аеральним шляхом, на листові поверхні. Варто відзначити, що деревна рослинність в цілому накопичувала більше важких металів, ніж трав'яниста. У деревній рослинності найбільше варіює вміст марганцю, а у трав'янистій – свинцю та міді (Рис.2).

У цілому, фітоакумуляція металів в умовах заплави ріки Сули характеризується видовою специфічністю і значною мірою пов'язана з умовами виростання, насамперед з поліметалевим забрудненням ґрунту та атмосфери. В цілому біологічне поглинання зольних елементів в органах листяних порід сильніше, ніж в хвойних. У хвої вміст свинцю в середньому становить 0,1 мг/кг, в

той час як в листі - 0,6 мг/кг. Вміст міді в гілках сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) 0,4 мг/кг, затримання в гілках клену гостролистого (*Acer platanoides*) 2-5 мг/кг. Кора клену активніше накопичує свинець та мідь. Таким чином, абсолютна кількість всіх мінеральних елементів, що беруть участь в біологічному кругообігу під пологом широколистяних лісів, вища, ніж в хвойних [5].

Вміст міді в нормі для трав'янистих вважається в інтервалі концентрацій від 5,0-30,0 мг/кг сухої маси (Cottenie і ін., 1976, Кабата-Пендіас, Пендіас, 1989). Критична концентрація - 150,0 мг/кг сухої маси (Тарабрин, 1980). ГДК для міді визначена на рівні 15,0-20,0 мг/кг сухої речовини (Sauerbeck, 1982). Вміст міді в надземній частині трав'янистих рослин протягом дослідження був високим. На досліджуваних майданчиках вміст металу становив у середньому 25-40 мг/кг сухої маси (Рис.3).

Максимальний вміст Cu був зафіксований для клену гостролистого (*Acerplatanoides*) на алювіальних дернових легкосуглинкових ґрунтах (*точка пробовідбору 136-16*), щитника чоловічого (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott) на дерново-слабопідзолистих піщаних ґрунтах (*139-16*) та будяка польового на алювіальних дернових шаруватих глейових карбонатних легкосуглинкових ґрунтах (*Cirsiumarvense*) (*150-16*).

За літературними даними, вміст нікелю в різних видах рослин становить від 0,1-1,0 (Ільїн, 1991) до 8,1 мг/кг (Бекер, Chesnm, 1975) за критичної концентрації 3,0 мг/кг (Бекер, Chesnm, 1975; Тарабрин, 1980). ГДК нікелю для рослин встановлено в межах 20,0-30,0 мг/кг сухої речовини (Sauerbeck, 1982), фітотоксична концентрація - більше 80,0-100,0 мг/кг (Cottenie і ін, 1976; Verloo і ін, 1982) [15].

Як встановлено проведеними дослідженнями, нікель слабо акумулюється деревними рослинами і не перевищує ГДК. Найменша його концентрація відзначена в листі верби попелястої (*Salix cinerea* L.) і складає в середньому 1 мг/кг сухої маси протягом усього досліджуваного вегетаційного періоду. У клена гостролистого (*Acer platanoides*) концентрація металу значно вища (11 мг/кг) і суттєво відрізняється у всіх досліджуваних деревних видах. В умовах фону концентрація нікелю не змінювалася. У трав'янистих рослинах найвищі показники вмісту були відзначені для купини запашної (*Polygonatum odoratum*) на алювіальних дернових глейових поверхнево-слабосолонцюватих ґрунтах – 28 мг/кг (*137-16*) та аїру звичайного (болотного) (*Asogus salamus*) на лучно-болотних поверхнево- слабосолонцюватих легкосуглинкових ґрунтах – 10 мг/кг (*134-16*).



В цілому, накопичення нікелю в досліджуваних видах не перевищувало ГДК і не змінювалося протягом досліджуваного періоду. Видової специфіки до накопичення металу не відзначено.

Для рослин нормальна концентрація свинцю лежить в межах від 0,1 до 5,0 мг/кг сухої речовини (Бекер, Chesnm, 1975; Ільїн, 1991; Виноградов, 1957), критична - 10 мг / кг (Тарабрин, 1980).

На поглинання Pb рослинами вказує кореляція вмісту металу в коренях із вмістом в ґрунтах. Стійкість рослин до надлишку Pb неоднакова: злаки характеризуються низькою стійкістю, більш стійкі бобові. Цим пояснюється прояв симптомів інтоксикації Pb у різних видів рослин за різної концентрації металу в ґрунті - від 100 до 500 мг/кг.

Найбільший вміст свинцю фіксувався для очерета звичайного (*Phragmites australis*) на торфувато-болотних карбонатних глибоко-слабосолонцюватих ґрунтах – 50 мг/кг (160-16), конюшини лучної (*Trifolium pratense*) на лучних поверхнево-слабосолонцюватих легкосуглинкових ґрунтах – 40 мг/кг (157-16), для будяка польового (*Cirsium arvense*) на алювіальних дернових шаруватих глейових карбонатних легкосуглинкових – ґрунтах – 50 мг/кг (150-16). Мінімальна концентрація даного металу зареєстрована для сосни звичайної (*Pinussylvestris*) та верби попелястої (*Salix cinerea* L.0.) на дерново-слабопідзолистих піщаних та алювіальних дернових шаруватих супіщаних ґрунтах (139-16,140-16).

Концентрація Cr в рослинах корелює з вмістом його розчинних форм в ґрунті. Незважаючи на високий вміст в ґрунті, доступність хрому для рослин невелика. Найбільш високий вміст хрому спостерігається в коренях, а не в надземній частині рослин. Підвищена концентрація хрому була виявлена для дзвінця вузьколистого (*Rhinanthus major*) – 30 мг/кг (144-16) та конюшини лучної (*Trifolium pratense*) – 10 мг/кг (157-16) на лучних поверхнево-слабосолонцюватих легкосуглинкових ґрунтах.

Повільне засвоєння рослинами розчинних форм хрому обумовлено особливостями механізму їх поглинання кореневою системою. Ймовірно, кореневі тканини не здатні відновлювати Cr<sub>3+</sub> до легко засвоюваного Cr<sub>2+</sub>, хоча цей процес є ключовим в процесах абсорбції.

**Висновок.** Аналіз проведених досліджень демонструє, що у межах одного виду рослин розподіл ВМ носить рівномірно-дисперсний характер, але при цьому коливання вмісту окремих ВМ у рослинах може сягати від ± 7% до ± 25-35%. Найбільша здатність до біоаккумуляції виражена у марганця і купруму, адже ці метали

відносяться до біогенних мікроелементів. В цілому, вміст ВМ у рослинах території НПП «Нижньосульський» є невисоким і може вважатись фоновим для даного регіону.

Якщо розглядати акумуляцію ВМ між різними видами рослин, то, як і можна було очікувати, найбільшою здатністю до біокумуляції володіє щитник чоловічий, дзвінець пізній вузьколистий та грядиця збірна, а найменшою – деревні види рослин, зокрема, сосна звичайна. Перераховані види рослин можна використовувати як біоіндикатори забруднення території парку ВМ і як рослини, придатні для **виведення з ґрунту важких металів** (фітореMediaції).

Виявлені закономірності можуть бути використані при прогнозуванні процесів накопичення ВМ у рослинних ценозах, що є важливою складовою моделювання геоекологічного стану території НПП, нормування антропогенного навантаження на ділянки парку з різним режимом охорони.

#### Література

1. Географічна карта «Ландшафтні комплекси Національного природного парку «Нижньосульський» та прилеглих територій» (у цифровому форматі, базовий масштаб 1:25 000). А.О. Сплодитель. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №68925. Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації 06.12.2016.
2. Географічна карта «Ландшафтно-геохімічна карта Національного природного парку «Нижньосульський» та прилеглих територій» (у цифровому форматі, базовий масштаб 1:25 000). Л.Ю. Сорокіна, А.О. Сплодитель, С.Г. Брегеда, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №68926. Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації 06.12.2016.
3. Джанаев, З.Г. Почвенно-агрохимическая оценка состояния плодородия почв Северного Кавказа. Москва: МГУ, 2004. С. 600-725.
4. Лозановская, И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: учеб. пособие для хим., хим.-технол. и биол. спец. вузов. М.: Высш.шк., 1998. 287 с.
5. Лукина, Н.В. Поглощение аэротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова. Лесоведение. 1993. №6. С. 34-41.
6. Майстренко, В.Н. Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. М.: Химия, 1996. 312 с.
7. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометиздат, 1981. 108 с.
8. Панин, М.С. Миграция тяжелых металлов и пути поступления их в растения. Аккумуляция тяжелых металлов растениями Семипалатинского Прииртышья, 1999. С. 23-30.

9. Панин М.С. Контроль уровня загрязненности тяжелыми металлами сельскохозяйственной продукции. Докл. третьей междунар. науч.-техн. конф. Пища. Экология. Человек. М., 1999. С. 126.

10. Позняк С.С. Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах и растительности Центральной зоны Республики Беларусь, Известия Тульского гос. ун-та. Естественные науки 2011 вып. 1, с. 254-264

11. Позняк С.С. Содержание некоторых тяжелых металлов в растительности полевых и луговых агрофитоценозов в условиях техногенного загрязнения почвенного покрова Вестник Томского госун-та. Биология 2011 №1(13)

12. Розподіл та накопичення важких металів в рослинах та ґрунтах на територіях розміщення відходів вугледобутку, В.І. Демура, В.О. Готвянська, А. В. Павличенко. Геотехнічна механіка, 2013. Вип. 111. С. 23-29.

13. Садовникова Л.К. Показатели загрязнения почв тяжелыми металлами и неметаллами в почвенно-химическом мониторинге. Почвоведение, 1985. № 10. С. 84-89.

14. Серія географічних карт: Розподіл важких металів (Ag, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Ti, V) та поліелементного забруднення (за сумарним показником забруднення) у сучасному ґрунтовому покриві (горизонт 0–5 см) Національного природного парку «Нижньосульський» та прилеглих територій» (у цифровому форматі, базовий масштаб 1:50 000). І.В. Кураєва, Л.Ю. Сорокіна, А.О. Сплодитель, Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 68927. Державна служба інтелектуальної власності України. Дата реєстрації 06.12.2016.

15. Тарабрин, В.П. Физиология устойчивости древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Микроэлементы в окружающей среде. Киев: Наукова думка, 1980. С. 17.

## References

1. *Heohrafichna karta «Landshaftni kompleksi Natsionalnoho pryrodnoho parku «Nyzhnosul'skyi» ta prylehlykh terytorii» (u tsyfrovomu formati, bazovyi masshtab 1:25 000)*, (2016), Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir №68925.

2. *Heohrafichna karta «Landshaftno-heokhimichna karta Natsionalnoho pryrodnoho parku «Nyzhnosul'skyi» ta prylehlykh terytorii» (u tsyfrovomu formati, bazovyi masshtab 1:25 000)*, (2016), Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir №68926.

3. Djanaev, Z.G. (2004), *Pochvenno-agrohimicheskaya otsenka sostoyaniya plodorodiya pochv Severnogo Kavkaza*. Moskva, pp. 600-725.

4. Lozanovskaya, I.N. (1998), *Ekologiya i ohrana biosfery pri himicheskom zagryaznenii: ucheb. posobie dlya him., him.-tehnol. i biol. spets. Vuzov, Vyssh.shk.*, 287 p.

5. Lukina, N.V. (1993), *Pogloschenie aerotehnogennykh zagryazniteley rasteniyami sosnyakov na severo-zapade Kolskogo poluostrova. Lesovedenie*, No.6, pp. 34-41.

6. Maystrenko, V.N. (1996), *Ekologo-analiticheskiy monitoring supertoksikantov*, Himiya, 312 p.

7. *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu polevykh i laboratornykh issledovaniy pochv i rasteniy pri kontrole zagryazneniya okrujayushey sredy metallami*, (1981), Gidrometioizdat, 108 p.

8. Panin, M.S. (1999), *Migratsiya tyajelykh metallov i puti postupleniya ih v rasteniya. Akkumulyatsiya tyajelykh metallov rasteniyami Semipalatinskogo Priirtyishya*. pp. 23-30.

9. Panin M.S. (1999), *Kontrol urovnya zagryaznenosti tyajelyimi metallami selskohozyaystvennoy produktsii*. Dokl. Tretey mejdunar. nauch.-tehn. konf. Pisha, Ekologiya, CHelovek, pp.121-126.

10. Poznyak S.S. (2011), *Fonovoe sodержanie tyajelykh metallov v pochvakh i rastitelnosti TSentralnoy zonyi Respubliki Belarus*. Izvestiya Tuls'kogo gos. un-ta. Estestvennyie nauki, No.1, pp. 254-264.

11. Poznyak S.S. (2011), *Soderzhanie nekotorykh tyajelykh metallov v rastitelnosti polevykh i lugovykh agrofitotsenozov v usloviyakh tehnogennogo zagryazneniya pochvennogo pokrova*, Vestnik Tomskogo gosun-ta, Biologiya, No.1 (13). pp. 3-17.

12. *Rozpodil ta nakopichennya vajkykh metaliv v roslinah ta truntah na teritoriyah rozmischennya vidhodiv vuglevidobutku*, (2013), Geotehnichna mehanika, No.15, Vol.111, pp. 23-29.

13. Sadovnikova L.K. (1985), *Pokazateli zagryazneniya pochv tyajelyimi metallami i nemetallami v pochvenno-himicheskom monitoringe*. Pochvovedenie, No.10, pp. 84-89.

14. *Seriia heohrafichnykh kart: Rozpodil vazhkykh metaliv (Ag, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Ti, V) ta polielementnoho zabrudnennia (za sumarnym pokaznykom zabrudnennia) u suchasnomu ґрунтовому покриві (горизонт 0–5 см) Natsionalnoho pryrodnoho parku «Nyzhnosul'skyi» ta prylehlykh terytorii» (u tsyfrovomu formati, bazovyi masshtab 1:50 000)*, (2016), Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskoho prava na tvir № 68927.

15. Tarabrin V.P. (1980), *Fiziologiya ustoychivosti drevesnykh rasteniy v usloviyakh zagryazneniya okrujayushey sredy tyajelyimi metallami*, Mikroelementy v okrujayushey srede. Kiev: Naukova dumka. pp. 17-28.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА-РАСТЕНИЕ» В ЛАНДШАФТАХ ПРИРОДООХРАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

**Кураева И.В.**, доктор геологических наук, профессор, Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семеновко НАН Украины, Киев, Украина, <https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

**Сплодытель А.О.**, кандидат географических наук, докторант, Институт геохимии, минералогии и рудообразования имени Н.П. Семеновко НАН Украины, [asplodytel@gmail.com](mailto:asplodytel@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

*Проанализированы процессы распределения тяжелых металлов (медь, никель, свинец, хром и др.) в системе «почва-растение» в типичных видах растений и основных типах почв, характерных для ландшафтов Национального природного парка «Нижнесульский». На примере репрезентативных ключевых участков рассмотрено содержание тяжелых металлов в почвах и ландшафтные предпосылки их миграции. Отмечено, что ландшафтно-геохимические условия территории определяют геохимическую структуру антропогенно измененных ландшафтных комплексов и характер миграции химических элементов. Анализ содержания тяжелых металлов в системе «почва-растение» территории НПП «Нижнесульский» показал его зависимость от имеющихся источников техногенного загрязнения, а также высокую степень соответствия характера распределения тяжелых металлов общим закономерностям этих процессов в почвах соответствующих типов. Большинство ВМ поступают в акваторию Сулы преимущественно с талыми снеговыми водами. Установлены коэффициенты концентрации тяжелых металлов в образцах почвы и интенсивность миграции поллютантов из почвы в растения с помощью коэффициента биологического накопления. Полученные данные коррелируют с общими закономерностями процессов перераспределения тяжелых металлов в системе «почва-растение». По величине накопления травянистой растительностью тяжелые металлы образуют ряд:  $Mn > Cu > Cr > Pb > V > Ni > Ti$ . Эколого-геохимические исследования территории обнаружили, что в условиях сильного техногенной нагрузки барьерный тип накопления характерен для  $Cu$  и  $Pb$ . Поглощение этих элементов относится к аккумулятивному типу. Выявленные закономерности могут быть использованы при моделировании геоэкологического состояния территории НПП, для нормирования антропогенной нагрузки на участки парка с различным режимом охраны.*

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, геохимический ряд, ландшафт, ландшафтно-геохимические условия.

## DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE «SOIL-PLANT» SYSTEM IN THE LANDSCAPES OF NATURE CONSERVATION AREAS

**Kuraieva I.V.**, D.Sc. (Geol.), professor, Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, <https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

**Splodytel A.O.**, Ph.D.(Geopr), Doctoral Candidate, Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine, [asplodytel@gmail.com](mailto:asplodytel@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-8109-3944>

*The processes of heavy metals (Cu, Ni, Pb, Cr of and others) distribution have been analysed in the 'soil-plant' system for the typical types of plants and basic types of soils characteristic for the landscapes of the National Natural Park "Nyzhniosulskiy". The heavy metal content in the soil along with the landscape based preconditions for their migration have been reviewed using representative key areas as an example. Landscape-geochemical conditions determine the geochemical structure of anthropogenically changed landscapes and the characteristics of chemical elements migration. The content of heavy metals in soils and plants was determined by atomic adsorption using ICP-MS analyzer ELENENT-2 (Germany). Ecological-geochemical assessment of soil contamination on the total index was made by the Yu. Sayeta method. To characterize the biogenic migration of heavy metals and biochemical features of plants we used the method of I. Avessalomova. The areas of research are characterized by medium (moderately dangerous) and high (dangerous) pollution. A geochemical association of heavy metals in soil was identified. Biogeochemical characteristics of plants of technogenesis zones were established. The coefficients of biological accumulation of heavy metals in plants were calculated. The obtained data correlate with the general regularities of the redistribution processes of heavy metals in the 'soil-plant' system. The discovered general regularities can be used while modeling the geoecological state of the national park territory, for setting the norms of the anthropogenic loading on the areas of the park with different protection regimes. The results of this study have been introduced into practice at the NNP "Nyzhniosulskiy" in organizing and conducting the research work, for planning tourist and recreational activities, forming tourist routes, and organizing the recreational infrastructure.*

**Keywords:** heavy metals, geochemical association, landscape, landscape-geochemical conditions.