

Оцінка ступеню екологічного ризику територій гірничопромислових агломерацій за забрудненням важкими металами

*Жовинський Е.Я., Кураєва І.В., Радченко А.І., Білик В.Ж.
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, м.Київ*

Встановлено закономірності розподілу рухомих форм важких металів у системі порода–грунт–рослина–людина для територій гірничопромислових агломерацій.

Вступ.

Україна належить до європейських регіонів з надвисокою концентрацією промислових, хімічних, енергетичних та інших видів виробництва. Проте за інтенсивністю техногенного впливу територія України характеризується значною диференційованістю, регіональні модулі коефіцієнтів ноосферної концентрації промислових районів відрізняються в 300 раз. В процесі основного виробничого циклу на гірничовидобувних, гірничо-збагачувальних, металургійних, хімічних, каменедробильних та інших заводах і комбінатах, на шахтах і вугільних розрізах, теплових електростанціях щорічно утворюється 600–660 млн м³ (близько 1,5 млрд тон) твердих промислових відходів. Внаслідок первинної обробки, збагачування видобутої рудної, гірничорудної, вугільної маси утворюється 75–80 млн м³, а внаслідок вторинної обробки – 20 млн м³ відходів.

Щорічно обсяг забруднення, що припадає на 1 км площі території України, навіть без врахування рівня утилізації, в 6,5 разів вищий, ніж у США та в 3,2 рази вищий, ніж у країнах ЄЕС. Дані цифри не враховують викиди у атмосферу, водне середовище та ґрунти. За орієнтовними розрахунками загальний рівень забруднення території України становить близько 30 млрд м³, а утилізація річного виходу промислових відходів лише близько 12%.

Погіршує наявну ситуацію відсутність чітких та обґрунтованих загальнонаціональних критеріїв оцінки ступеню екологічного ризику населення, яке проживає на територіях зі значним рівнем техногенного навантаження. Немає подібних критеріїв і у зарубіжних країнах. Це спричинило останнім часом збільшення кількості досліджень, і, відповідно, публікацій із приводу розробки методик та результатів комплексних досліджень особливостей розподілу і міграції токсикантів, зокрема важких металів, у

таких природних системах як гірська порода – ґрунт, ґрунт – рослина, рослина – водне середовище, рослина – людина тощо. Проте практично немає досліджень, присвячених міграції важких металів у багатокомпонентних системах (наприклад, гірська порода – ґрунт – водний розчин – рослина – тварина – людина), хоча у світовій практиці зафіксовані чисельні випадки розповсюдження токсикантів (зокрема, техногенного походження) по трофічних ланцюгах.

Найбільш перспективним критерієм визначення ступеню екологічного ризику є показники рухомості (мобільності) важких металів у ґрунтах, які характеризують і здатність токсикантів переходити до сумісних середовищ. Застосовуються також параметри фізико-хімічної міграції (характеристика міграційних форм, коефіцієнт буферності ґрунтів тощо).

Однак привертає увагу незначна кількість досліджень, присвячених питанню якості продуктів рослинництва, що вживає населення у межах промислово-міських агломерацій. Найчастіше ця продукція вирощена на городах ділянок приватної забудови, ділянках садовгородних товариств, які розташовані у межах гірничопромислових агломерацій (ГПА).

Відомо, що характер розподілу важких металів у організмі, ступінь їх накопичення у тому чи іншому органі, токсична дія залежать від спорідненості елемента із різними органами, структурами і біохімічними компонентами тканин, від міцності утворених ними у організмі комплексів і швидкості їх виділення [1].

Дослідження причин підвищеного вмісту мікроелементів у ланцюгу повітря – вода – ґрунт – рослина – продукти харчування – організм людини дозволило зробити наступні висновки:

важкі метали, що містяться у ґрунтах в підвищених концентраціях, у надлишкових кількостях надходять у рослини;

накопичення важких металів у рослинах приводить до токсичних ефектів як у самих рослинах, так і у тварин, що їх вживають;

рослини, які належать до різних видів та родин, мають неоднакову толерантність до надлишку важких металів, що містяться у навколишньому середовищі;

вміст рухомих форм важких металів у об'єктах середовища залежить від таких чинників, як вологість, температура, реакція ґрунту тощо [2].

Нами, у відділі пошукової та екологічної геохімії ІГМР НАН України, у межах науково-технічного проекту "Відтворення земельних ресурсів України" були розпочаті роботи, присвячені дослідженню закономірностей розподілу і міграційних властивостей токсичних металів у ґрунтах, рослинності та біосубстратах людини на територіях промислово-міських агломерацій, поруч з якими (або на території яких) розташовані родовища корисних копалин, ведеться їх видобуток, транспортування, збагачення, переробка тощо. У даній статті наведено короткі відомості про результати першого (регіонально-оціночного) етапу наших робіт.

Об'єкти і методи дослідження.

Для досліджень було обрано регіони із значним техногенним навантаженням, яке пов'язано із видобутком та переробкою корисних копалин: родовища вугілля (м. Макеевка), марганцю (м. Нікополь), залізних руд (м. Маріуполь), ртуті (м. Нікітовка). Опробуванню у цих регіонах підлягали ґрунти, продукти рослинництва, біосубстрати людини. Визначення проводили для 9 металів — свинець, цинк, кобальт, нікель, молібден, мідь, срібло, кадмій, ртуть.

Опробувано найбільш розповсюджені ґрунти даних територій — чорноземні та луково-чорноземні ґрунти, розвинені на різних ґрунтоутворюючих породах та значно змінені внаслідок техногенезу. Проби відібрано на гірничо-видобувних площах, на відвалах родовищ та гірничопромислових відходів, у селітебних зонах. Для порівняння наведено наші дані для аналогічних ґрунтів фонових ділянок. Серед продуктів рослинництва опробуванню підлягали найбільш розповсюджені — картопля, капуста, морква, цибуля, буряк — та вирощені на територіях садово-городніх ділянок, прилеглих до територій розробки родовищ, транспортування та переробки сировини тощо. Визначення у

ґрунтах валового вмісту важких металів та вмісту їх рухомих форм, визначення вмісту важких металів у рослинній масі проведено атомно-абсорбційним методом на приладі С-115 за стандартними методиками [3, 4]. Дослідження вмісту важких металів у біосубстратах людини — волосі, крові, сечі та нігтях — проводилось за прийнятими медиками методиками у дітей дошкільного віку.

Результати та обговорення.

Результати проведеного дослідження представлені у таблицях 1 – 5: у першій частині таблиць ("рухомі форми") наведено, який відсоток від валового вмісту металу становлять РФВМ у ґрунтах різних зон гірничопромислових агломерацій та фонових ділянок; у другій частині ("біологічні об'єкти") – коефіцієнти концентрації валового вмісту важких металів у продуктах рослинництва відносно фонового вмісту (визначений у таких самих продуктах, вирощених на фонових ділянках); у третій частині ("біосубстрати людини") – коефіцієнт концентрації валового вмісту важких металів у біосубстратах людини відносно фонових значень (в разі відсутності – відносно вмісту, встановленому діючими нормативами рекомендованого рівню).

Родовища залізних руд (табл. 1). Кількість рухомих форм важких металів (РФВМ) у ґрунтах фонових ділянок не перевищує 4%. На інших ділянках, що позначені на гістограмах номерами 2 — гірничо-видобувні, 3 — відвалів родовищ, 4 — гірничопромислових відходів, 5 — селітебні, відбувається зміна вмісту важких металів у ґрунтах. Найменш змінним є вміст рухомих форм свинцю й цинку (зростає до 8%). Вміст інших РФВМ на ділянках 2, 3, 4 фіксується в діапазоні 50–90%. У зоні 5 він дещо зменшується — до 15–75%, що дає змогу передбачати істотне зменшення РФВМ при віддаленні від місця видобутку і переробки. Проте закономірне поступове зменшення вмісту рухомих форм при русі від гірничо-видобувної до селітебної зони спостерігається тільки для ртуті (від 75 до 18%), яка взагалі не фіксується на фонових ділянках. У коливанні вмісту рухомих форм інших металів аналогічної закономірності не спостерігається, однак слід відмітити, що ґрунти ділянок відвалів родовищ та гірничопромислових відходів характеризуються більшим вмістом

РФВМ, ніж гірничо-видобувна (зокрема для Mo, Cu, Ag). Загалом, якщо не враховувати різницю з даними фонових ділянок, інтервал коливань вміст РФВМ становить 30%. Найповільніше зменшується вміст рухомих форм Mo, Ni, Co, Cu, Ag, тобто відбувається більш активна (в просторі і часі) міграція цих металів.

Продукти рослинництва, вирощені у вказаному районі розвитку й розробки залізних руд характеризуються найнижчими коефіцієнтами концентрації (Кк) важких металів серед розглянутих нами типів родовищ корисних копалин. Найменше важких металів концентрується у цибулі (Кк більше 3 мають тільки 2 метали — Mo та Cu), трохи активніше концентрація відбувається у буряку (Кк більше 3 має, крім молібдену і міді, ртуть). Найменше у всіх досліджуваних рослинах концентрується срібло (Кк не перевищує 2,5), найбільше — ртуть, свинець, цинк, мідь (Кк 2,5 — 8,5). Найбільша кількість металів, коефіцієнти концентрації яких перевищують 3 встановлена у моркві — 7 металів. Кк вище 7 встановлені у картоплі для свинцю й цинку, у капусті — для свинцю, цинку, нікелю, кобальту й міді, у моркві — для ртуті й свинцю, в цибулі й буряку таких значень коефіцієнти концентрації не досягають. Кк вище 15 немає жоден метал. Очевидно, що досліджувані рослини мають вибірково толерантність по відношенню до деяких металів, зокрема свинцю, цинку, ртуті, що мають найбільші Кк у рослинах при не найвищій рухомості у ґрунтах (здатності до міграції). Це може свідчити, крім особливо активного накопичення певними видами рослин, ще й про наявність інших джерел надходження або способів міграції забруднюючих речовин (наприклад, повітряна міграція), крім переносу із ґрунтовими розчинами.

Біосубстрати людини, так само як і продукти рослинництва, у районі розвитку залізних руд характеризуються найнижчими коефіцієнтами концентрації серед розглянутих типів родовищ. Найменше важких металів концентрує волосся (5), найбільше — нігті і сеча (8 і 7 відповідно). Наявність значної кількості важких металів у сечі свідчить про винос їх з організму, здатність його до самоочищення. Проте концентрація у інших біосубстратах вказує на недостатність цього виносу при такому техногенному навантаженні. У нігтях і сечі коефіцієнти концент-

рації коливаються від 2 до 7, у волоссі і крові — від 1,5 до 9. Волосся концентрує (Кк > 7) свинець, цинк та мідь, кров, яка є найбільш активним концентратором — свинець, цинк, кобальт і мідь. Для жодного металу коефіцієнт концентрації не перевищує 15.

Біосубстратами людини накопичується менше важких металів, ніж рослинами, але так само це накопичення закономірно не зв'язано із вмістом рухомих форм цих важких металів у ґрунті. Найбільше накопичується свинець, цинк і мідь, дещо менше — ртуть і нікель (у рослинах) та кобальт (у крові людини).

Родовища бурого вугілля (див. табл. 2). Кількість РФВМ на фонових ділянках також не перевищує 4% (валовий вміст та вміст рухомих форм ртуті не визначали). Найменше змінюється вміст рухомих форм срібла і кадмію — зростає до 2%. Вміст РФ інших важких металів — Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Cu — на зонах 2, 3, 4 коливається від 20 до 70%, у селітебній зоні — від 5 до 42%. Максимальний вміст рухомих форм вказаних металів характеризує зону зберігання гірничопромислових відходів, можливо, що дана зона є й зоною найбільш активної міграції. Від гірничо-видобувної зони через зону відвалів родовищ до зони гірничопромислових відходів відбувається поступове збільшення вмісту рухомих форм металів у ґрунтах, у селітебній — значне зменшення. Найбільший вміст рухомих форм у всіх чотирьох зонах зафіксовано для свинцю (45 — 47 — 50 — 32% відповідно), цинку (52 — 60 — 67 — 38%), міді (60 — 62 — 70 — 42%). Для цих активно мігруючих металів слід передбачати значний винос із ґрунтовими розчинами і за межі селітебної зони у рухомих (водорозчинних) формах, що легко засвоюються рослинами.

Коефіцієнти концентрації (Кк) всіх досліджуваних важких металів у картоплі, капусті, моркві та буряку перевищують 5. Найменше важких металів концентрується у цибулі (Кк від 1 до 3), найбільше — у картоплі (Кк від 7 до 22). Найрівномірніше накопичення фіксується у моркві. Кк > 15 встановлено — у картоплі для Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Cu, у капусті — для Ni, Mo, Cu, у буряку — для Cd.

Серед біосубстратів людини найменше важких металів концентрується у крові (Кк від 4—12), крім свинцю (Кк 23), трохи більше — у волоссі (Кк 3—16), розподіл порівняно

рівномірний. Волосся проявляє здатність до вибіркового накопичення свинцю, цинку, нікелю, молібдену, міді, кров — срібла, ртуті, свинцю, кобальту, нікелю. У сечі, і, особливо у нігтях, концентрація важких металів значна і відносно рівномірна, тобто не відмічено вибіркового накопичення. Накопичення срібла і кадмію біосубстратами людини відбувається активно навіть за умови практичної відсутності їх рухомих форм у ґрунтах (1–2% від валового вмісту). $K_k > 15$ встановлено — у волоссі для Pb, Zn, Ni, у крові — для Pb, у сечі — для Hg, Zn, у нігтях — для Ag, Cd, Hg, Zn, Ni.

Родовища кам'яного вугілля (див. табл. 3). Кількість РФВМ на фонових ділянках не перевищує 3%, срібла не зафіксовано, валовий вміст та вміст рухомих форм ртуті не визначали. Так само, як і на родовищах бурого вугілля, у зонах 2, 3, 4, 5 найнижчий вміст рухомих форм у ґрунтах мають срібло (до 1%) і кадмію (до 3%). Найбільшу частку у ґрунтах всіх зон рухомі форми становлять для цинку, нікелю і міді. Вміст рухомих форм Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Cu у зонах 2–5 коливається від 20 до 63%. Від гірничовидобувної зони (33–48%) кількість РФВМ збільшується до 42–62% у зоні відвалів родовищ і 42–60% у зоні зберігання гірничопромислових відходів, в селітебній зоні — зменшується до 20–43%. Найістотніше падіння рухомості при переході до селітебної зони спостерігається для молібдену (30%). Найменше змінюється у зонах 2–5 вміст рухомих форм кобальту (37–42%), що свідчить про його високу мобільність і за межами селітебної зони і, можливо, пояснює його інтенсивне накопичення у рослинах (K_k 4–22) і біосубстратах людини (K_k 5–14).

Найменше важких металів містить, як і на інших родовищах, цибуля (K_k 3–7). Коефіцієнти концентрації всіх металів у решті овочів перевищують 5. Відносно рівномірним накопиченням характеризуються буряк та морква. $K_k > 15$ встановлено у картоплі — для Hg, Zn, у капусті — для Hg, Pb, у буряку — Ag, Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Cu. Можливо, крім ґрунтових розчинів, інші джерела надходження у рослини слід передбачати для срібла, кадмію і ртуті.

У біосубстратах коефіцієнти концентрації всіх досліджуваних металів перевищують 3, змінюючись від 4 до 28, що свідчить про активне накопичення у організмі людини важких ме-

талів. Найменші коефіцієнти концентрації зафіксовано у сечі, що також вказує на неспроможність організму систематично виводити надлишкові кількості важких металів. $K_k > 15$ встановлено у волоссі — для Hg, Pb, Zn, у крові — для Cd, Pb, Zn, у сечі — для Ag, Cd, Pb, Zn, у нігтях — для Ag, Cd, Hg, Pb, Zn. Характерно, що у біосубстратах людини відбувається найбільш активне накопичення саме тих важких металів, що й у рослинах — ртуті, цинку, свинцю, срібла. Відмінність становить тільки значне накопичення кадмію всіма біосубстратами людини.

Родовища марганцевих руд (див. табл. 4). Вміст рухомих форм важких металів на фонових ділянках не перевищує 4%. В жодній зоні не встановлено рухомих форм кадмію, рухомі форми ртуті встановлено тільки у ґрунтах гірничовидобувної зони (до 1%), вміст рухомих форм срібла у всіх зонах не перевищує 2%. Вміст рухомих форм решти досліджуваних металів (Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Cu) змінюється в межах 25–80% валового вмісту. В розподілі їх по зонах відмічено таку ж закономірність, як і для родовищ бурого вугілля — поступове збільшення від гірничовидобувної зони до зон відвалів родовищ і гірничопромислових відходів і помітне зменшення при переході до селітебної зони. Найбільшою, при переході до селітебної зони, є зміна частки рухомих форм кобальту — 28%. Практично постійною у чотирьох досліджуваних зонах (крім фонові) є частка рухомих форм цинку (47–53%) і нікелю (56–62%).

Серед рослин найслабшим концентратором важких металів, як і на родовищах інших корисних копалин, є цибуля ($K_k < 7$), найсильнішим — картопля, K_k в якій, за винятком срібла і кадмію, мають значення 15–32. $K_k > 15$ встановлено у картоплі — для Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Cu, у капусті — для Ag, Hg, Pb, у моркві — для Ag, Hg, Pb, Zn, у буряку — Cd, Hg, Pb, Zn.

У біосубстратах людини найменше важких металів концентрується у крові (K_k від 2 до 7), найбільше — у нігтях (7–20). Значні коефіцієнти фіксуються у сечі — від 4 до 20. $K_k > 15$ встановлено у сечі — для Ag, Hg та у нігтях — для Hg, Pb, Zn, Ni.

Родовища ртутних руд (див. табл. 5). Вміст РФВМ у всіх досліджуваних зонах, як і на фоновій території не перевищує 1%. Рухомих форм срібла на фоновій ділянці не встановлено,

Таблиця 1
Розподіл ВМ у ґрунтах, біологічних об'єктах та біосубстратах людини на території ГПА (родовища залізних руд)

метал	Рухомі форми					Біологічні об'єкти					Біосубстрати людини			
	1	2	3	4	5	картопля	капуста	морква	цибуля	буряк	волосся	кров	сеча	нігті
Pb	0,01	1,2	7,2	1,2	0,8	7	7,6	8,2	2	2,5	7,2	8,7	4,5	5,2
Zn	0,2	5	4,2	3,2	2	7,2	8,2	5,2	1,2	2	7,8	8,2	5,2	5,6
Co	2,3	50	7,6	80	7,5	2,3	4	2,6	1,2	2,6	2,7	8,2	6,2	3,5
Ni	1,2	80	6,9	7,2	7,0	3,6	7,2	3,7	2	2	2	1,2	3,5	4,2
Mo	0,7	7,5	8,8	9,0	6,0	2,2	2,8	4,2	3,2	3,2	4	5,2	6,4	2,3
Cu	1,3	66,7	8,0	7,8	5,5	5,2	7,2	5,2	4	5	8,2	7,2	6,8	5,2
Ag	2	6,6	7,5	8,0	5,0	1,6	2,1	2	1,2	2,7	4,2	3,2	2,2	3,5
Cd	1,2	6,0	4,8	5,0	4,4	2,2	3,2	5	2,3	2	2,3	5,7	2,8	4,2
Hg	0,01	7,5	6,6	5,0	16,7	1,4	2	7,2	2,5	3,2	2,1	1,2	3,8	4

Таблиця 2
Розподіл ВМ у ґрунтах, біологічних об'єктах та біосубстратах людини на території ГПА (родовища бурого вугілля)

метал	Рухомі форми					Біологічні об'єкти					Біосубстрати людини			
	1	2	3	4	5	картопля	капуста	морква	цибуля	буряк	волосся	кров	сеча	нігті
Pb	1,2	4,5	4,8	5,0	3,2	21,2	11,2	7,2	2,2	10,3	15,7	21,7	8,4	19,2
Zn	2,6	5,2	6,0	6,6	3,8	18,7	10,2	6,2	1	5,2	12,3	4,2	17,2	18,2
Co	1,6	3,0	3,6	4,2	2,0	12,3	5,2	7,8	2,1	6,3	4,5	8	10,2	10
Ni	2,6	2,6	4,2	4,8	2,0	15,3	16,2	8,7	3,2	5,6	15,2	1,3	1,1	18,2
Mo	0,8	2,0	3,6	4,2	1,5	18,3	15,2	7,2	2,4	6,7	10,2	5,2	8,4	11,2
Cu	2,6	6,0	6,2	7,0	4,2	21,3	17,2	5,2	1,8	7,2	11,2	6	10	5,2
Ag	0,01	0,6	0,6	0,6	0,2	7,2	5,2	6,8	2	10,2	2,7	8,2	12,3	15,6
Cd	0,01	0,2	0,4	0,4	0,06	8,2	6,2	12,3	1,6	15,2	3,4	4,5	10,2	18,2
Hg	-	-	-	-	-	18,2	10,2	9,3	2	12,3	4,2	8,3	15,2	20

Таблиця 3
Розподіл ВМ у ґрунтах, біологічних об'єктах та біосубстратах людини на території ГПА (родовища кам'яного вугілля)

метал	Рухомі форми					Біологічні об'єкти					Біосубстрати людини			
	1	2	3	4	5	картопля	капуста	морква	цибуля	буряк	волосся	кров	сеча	нігті
Pb	1,8	3,8	4,2	4,8	3,0	14,2	1,6	14,2	5,2	17,3	27,2	21,2	18,3	17,2
Zn	2,2	4,8	5,2	6,0	3,8	15,7	1,2	10	7,2	15,2	15,7	17,2	1,6	1,5
Co	1,2	3,7	4,2	4,2	3,6	12,3	10,2	9,2	4,2	20,3	14,2	9,2	5,2	10,2
Ni	2,2	4,5	5,2	5,0	4,2	8,3	7,2	5,2	6,2	17,2	12,3	13,4	7,2	8,2
Mo	1,8	3,2	4,5	5,0	2,0	10	8	8,7	4,2	1,6	9,4	10	4,2	6,4
Cu	2,5	4,8	6,2	6,0	4,4	6,2	11,2	10,2	2,2	1,5	8,2	6,2	7,2	8,3
Ag	0,01	0,8	0,8	0,8	0,6	4,2	4,8	11,3	3,2	1,8	12,3	8,2	17,3	27,3
Cd	0,02	1,2	1,4	1,2	0,8	5,2	10,2	5,7	4,2	12,3	14,2	20	1,6	17,2
Hg	-	-	-	-	-	18,2	1,8	11,2	4,6	18,2	17	12,2	10,2	28,3

Таблиця 4
Розподіл ВМ у ґрунтах, біологічних об'єктах та біосубстратах людини на території ГПА (родовища марганцевих руд)

метал	Рухомі форми					Біологічні об'єкти					Біосубстрати людини			
	1	2	3	4	5	картопля	капуста	морква	цибуля	буряк	волосся	кров	сеча	нігті
Pb	0,8	3,5	3,2	4,0	2,5	30,5	32,3	20,4	5,6	17,2	9,8	5,2	14,2	20
Zn	0,8	5,2	5,0	5,2	4,5	18,4	10,2	17,2	7,2	25,3	7,2	8	10,2	15,8
Co	2,1	7,0	7,7	8,0	5,2	17,3	8,3	8,6	2,3	12	4,2	7,2	8,5	7,8
Ni	1,2	6,2	6,0	6,2	5,5	15,2	12,7	5,2	1,2	7,2	7,2	4	5,2	14,5
Mo	2	5,2	6,2	6,0	4,0	20	10,5	10,2	2,3	4,2	2,3	2	4,7	13,7
Cu	2,3	4,5	5,2	5,0	3,5	15	12,3	7,2	4,2	10	4,2	3	6	8
Ag	0,02	0,5	0,6	0,7	0,3	2,7	17,2	20,3	1,3	12,3	12,3	2,1	20,3	13,2
Cd	-	-	-	-	-	15,2	12,4	5,6	4,2	15,7	7,2	3,2	11,2	14,2
Hg	-	0,2	-	-	-	20,5	1,8	12,3	3,2	20,1	12,3	4,2	15,2	18,7

Таблиця 5
Розподіл ВМ у ґрунтах, біологічних об'єктах та біосубстратах людини на території ГПА (родовища ртутних руд)

метал	Рухомі форми					Біологічні об'єкти					Біосубстрати людини			
	1	2	3	4	5	картопля	капуста	морква	цибуля	буряк	волосся	кров	сеча	нігті
Pb	2,7	3,5	2,5	3,2	2,8	28,3	13,5	15,2	14,7	20,4	37,2	20,3	15,2	28,7
Zn	2,8	4,2	4,0	4,5	3,8	17,8	1,2	14,7	8,2	15,3	16,7	18,2	10,2	21,2
Co	1,8	3,2	4,2	4,0	3,0	17	10,2	17,5	2,3	25	5,2	17,2	27,3	18,4
Ni	2,2	5,2	5,6	6,0	4,2	1,8	5,2	17,2	2,4	20	14,2	15,4	20	11
Mo	1,2	3,8	4,0	4,2	3,0	12,3	7,2	18,3	2,4	17,2	5,2	14,2	13,2	12
Cu	2,2	5,0	6,2	6,0	4,2	1,6	16,2	17,2	11,2	10	4,8	5,6	10,2	4,2
Ag	0,01	0,8	1	0,8	0,4	5,2	12,3	15,6	2,3	17,2	10,2	7,2	21,2	20
Cd	0,02	0,2	0,2	0,2	0,2	6,7	18,2	20	4,2	10,2	8,2	18,2	20	15,2
Hg	-	-	-	-	-	38,2	21,5	22,3	4,2	27,3	27,8	18,2	43,5	100

Примітка. 1-5 – зони: 1 – фонові; 2 – гірничо-видобувні; 3 – відвалів родовища; 4 – гірничо-промислових відходів; 5 – селітебна. Рухомі форми наведено у % від валового вмісту; біологічні об'єкти і біосубстрати людини – Кк відносно фону.

у ґрунтах решти зон – не більше 2%. Вміст РФ інших металів (Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Cu) на фонівій ділянці не перевищує 4%, а у ґрунтах інших зон коливається в діапазоні 25 – 62%. Зміна вмісту рухомих форм Co, Ni, Mo, Cu по ґрунтах зон 2-5 підлягає закономірності, встановленій для родовищ бурого вугілля та марганцевих руд. Вміст рухомих форм Pb та Zn змінюється по зонах не закономірно. Інтервал коливань вмісту металів по зонах становить 10–20%. Найбільшим вмістом рухомих форм у ґрунтах всіх зон характеризуються нікель (42–60%) і мідь (42–62%).

Найслабшим концентратором важких металів, як і на всіх описаних вище типах родовищ є цибуля (Кк 2,5–15). Найбільш однорідне накопичення відбувається у моркві – значення коефіцієнтів концентрації коливається від 15 до 23, найбільш нерівномірне – у картоплі – від 5 до 38. У всіх овочах, крім цибулі, коефіцієнти концентрації всіх досліджуваних металів перевищують 5, половина визначених коефіцієнтів вище 15. Це може свідчити про найбільш давнє та стале забруднення ґрунтів важкими металами, порівняно із іншими розглянутими родовищами, внаслідок чого продукти рослинництва також значно збагачені важкими металами. Кк>15 встановлено у картоплі – для Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Cu, у капусті – для Cd, Hg, Cu, у моркві – для Ag, Cd, Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Cu, у цибулі – Pb, у буряку – Ag, Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Mo. На відміну від інших територій, найбільш активним концентратором всіх важких металів є морква. Поява вказаних високих концентрацій важких металів навіть у цибулі також підтверджує дуже високий рівень забруднення ґрунтів і техногенного навантаження.

Територія родовищ ртутних руд характеризується не тільки надзвичайно високим рівнем концентрації важких металів у продуктах рослинництва, що вказано вище, а й найвищими коефіцієнтами концентрації ВМ у біосубстратах людини. Найменше важких металів тут накопичує волосся, за винятком ртуті і свинцю (Кк від 30 до 40). В крові розподіл важких металів відносно рівномірний – крім срібла (Кк=7) та міді (Кк=6), значення коефіцієнтів концентрації змінюються від 15 до 20. Максимальні коефіцієнти концентрації у крові та волоссі має свинець при значній кількості ртуті; у сечі й нігтях найбільше накопи-

чується ртуть. Це може бути пов'язано із різноманітністю шляхів, і, відповідно, форм її надходження у організм та незначним виведенням із організму завдяки біогеохімічним особливостям. Кк>15 встановлено у волоссі – для Hg, Pb, Zn, у крові – для Cd, Hg, Pb, Zn, Co, Ni, у сечі – для Ag, Cd, Hg, Co, Ni, у нігтях – для Ag, Hg, Pb, Zn, Co. Найвищі коефіцієнти концентрації мають ртуть – від 17 у крові до 100 у нігтях і свинець – від 14 у сечі до 38 у волоссі.

Таблиця 6

Накопичення важких металів продуктами рослинництва і біосубстратами людини на територіях, прилеглих до родовищ корисних копалин різних типів*

Об'єкт	Родовища				
	Залізних руд	Бурого вугілля	Кам'яного вугілля	Марганцевих руд	Ртутних руд
Картопля	—	Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Cu	Hg, Zn	Cu, Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Mo	Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Cu
Капуста	—	Ni, Mo, Cu	Hg, Pb	Ag, Hg, Pb	Cd, Hg, Cu
Морква	—	—	—	Ag, Hg, Pb, Zn	Ag, Cd, Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Cu
Цибуля	—	—	—	—	Pb
Буряк	—	Cd	Ag, Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Mo, Cu	Cd, Hg, Pb, Zn	Ag, Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Mo
Волосся	—	Pb, Zn, Ni	Hg, Pb, Zn	—	Hg, Pb, Zn
Кров	—	Pb	Cd, Pb, Zn	—	Cd, Hg, Pb, Zn, Co, Ni
Сеча	—	Hg, Zn	Ag, Cd, Pb, Zn	Ag, Hg	Ag, Cd, Hg, Co, Ni
Нігті	—	Ag, Cd, Hg, Zn, Ni	Ag, Cd, Hg, Pb, Zn	Hg, Pb, Zn, Ni	Ag, Hg, Pb, Zn, Co

*Примітка. Наведено метали, коефіцієнти концентрації яких у відповідних об'єктах перевищують 15.

Висновки.

1. Рухомість важких металів у ґрунтах підвищується у десятки раз на техногенно навантажених територіях незалежно від типу корисних копалин, що розробляють у даному регіоні. На інтенсивність накопичення впливає тривалість розробки родовища та ландшафтно-геохімічні умови.

2. Збільшення вмісту важких металів у сільськогосподарській продукції і біосубстратах людини пропорційно зростанню їх рухомості у ґрунтах.

3. Зафіксоване на всіх типах родовищ збільшення рухомості важких металів практично не залежить від первинного складу ґрунту, що можна пояснити втратою останнім природних властивос-

тей внаслідок техногенного впливу. Особливості розподілу рухомих форм важких металів на територіях розробки різних корисних копалин визначаються, у першу чергу, формою їх надходження із ґрунтоутворюючих порід та об'єктів техногенезу.

4. Накопичення важких металів у продуктах рослинництва залежить, як зазначено вище, від толерантності їх до певних металів і їх форм надходження, отже від властивостей самих рослин, проте на сьогодні вивчено недостатньо і не є предметом даного дослідження. Нами зафіксовано такі особливості. Найменше концентрує важкі метали на всіх типах родовищ цибуля – коефіцієнт концентрації більше 15 зафіксовано тільки для свинцю на територіях, прилеглих до родовища ртутних руд (Нікітівка), ґрунти яких є найбільш забрудненими із розглянутих родовищ. Порівняно невеликим є накопичення важких металів у капусті – два-три елемента, асоціація яких залежить, скоріше за все не від толерантності капусти до їх накопичення, а від вмісту та форм міграції у ґрунтах і ґрунтових розчинах. Значні (вище 15) коефіцієнти концентрації фіксуються у моркві тільки при значному рівні забруднення та високому вмісті РФВМ (родовища марганцевих та ртутних руд), проте фіксуються одразу практично всі досліджувані важкі метали. У накопиченні важких металів у картоплі і буряку важко виявити якісь чіткі закономірності. Загалом, так само як від типу родовищ практично не залежить асоціація елементів, що мають здатність активно мігрувати (для яких встановлено вміст значної частки рухомих форм), так і накопичення у рослинах відбувається незалежно від специфіки родовища і пов'язане, насамперед, із міграційними властивостями металів. Виняток становить тільки вибіркоче накопичення срібла і кадмію, яке відбувається при незначному вмісті рухомих форм у ґрунтах. Встановлено, що рослинами накопичується ртуть, свинець, срібло й цинк, рідше до них долучається кадмій, мідь, кобальт, нікель, молібден (таблиця 6).

5. Накопичення важких металів у біосубстратах людини також має вибіркочий характер і вивчено недостатньо. Однак, акцентуючи увагу на тому, що нами було досліджено накопичення важких металів у організмах дітей дошкільного віку, можемо відзначити, що асоціація важких металів у біосубстратах людини також не залежить від типу корисних копалин, що видобуваються неподалік від району проживання. Ця асоціація визначається валовим вмістом і вмістом РФВМ у продуктах рослинництва і, очевидно, підземних та поверхневих водах. Значною мірою відбувається концентрація свинцю, ртуті, цинку, кадмію, дещо менше – срібла, кобальту і нікелю. Практично всі ці метали у значних кількостях (коефіцієнти концентрації більше 15) зафіксовані у всіх досліджуваних біосубстратах на території, прилеглої до родовища ртутних руд. На решті родовищ найвищі концентрації практично всіх досліджуваних металів фіксуються у нігтях, дещо менше – у сечі, що свідчить про наявність процесу самоочищення організму. Значно менше важких металів у крові і волоссі (див. табл. 6).

6. Збільшення кількості рухомих форм досліджуваних важких металів (свинець, цинк, кобальт, нікель, молібден, мідь, срібло, кадмій, ртуть) у ґрунтах різних типів від 1–5% на фонових ділянках до 20–80% в зонах розробки родовищ корисних копалин спричиняє зростання вмісту важких металів у продуктах рослинництва (перевищення фону від 1,5 – 35 разів) і у біосубстратах людини (перевищення фону/рекомендованого рівню в 2 – 25 разів). Тип ґрунту та корисних копалин на вказану закономірність істотно не впливають, отже основним чинником та джерелом забруднення довкілля важкими металами слід визнати сам процес видобутку та обробки корисних копалин, які спричиняють вивільнення значних кількостей елементів-домішок із гірських порід.

1. Трахтенберг И.М., Коршун М.Н. Ртуть и ее соединения в окружающей среде. – К.: Здоровье, 1990. – 232 с.
2. Трахтенберг И.М. Книга о ядах и отравлениях. – К.: Наукова думка, 2000. – 366 с.
3. Обухов А.И., Плеханова И.О. Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. – 183 с.
4. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами/ П. ред. Зырина Н.Т., Малахова С.Г., М.: Гидрометеонздат, 1981. – 108 с.

Установлены закономерности распределения подвижных форм тяжелых металлов в системе порода – почва – растение – человек для территорий горнопромышленных агломераций.

Regularities of heavy metals' mobile forms distribution in rock - soil - plant - human being system for territories of mining agglomerations have been defined.