

СИНЕРГІЗМ ^{137}Cs І ДИСБАЛАНСУ ПОЖИВНИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У АГРОЛАНДШАФТАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Т.М. Єгорова

Інститут агроекології і природокористування НААН

Розглянуто питання комплексного впливу на рослинність і організм людини радіоактивного забруднення і біогеохімічного дисбалансу поживних мікроелементів на території Українського Полісся. Описано синергетичні ефекти впливу радіаційного опромінення і дисбалансу Co , Mo , Zn на сільськогосподарські рослини, худобу і населення. Узагальнено параметри біогенної міграції ^{137}Cs , Co , Mo , Zn у ландшафтах Українського Полісся. Показано синергетичні особливості біогенної міграції між ^{137}Cs і Co та Mo і Zn за переходу їх із ґрунтів у рослинність. Встановлено відповідні кореляційні зв'язки між рівнями радіаційних ризиків територій та поширеністю ендемічних мікроелементозів місцевого населення.

Ключові слова: радіонукліди, біогеохімічний дисбаланс, синергізм, ландшафт, Українське Полісся.

Одним із основних питань сільськогосподарської радіоекології залишається радіаційне забруднення продуктів харчування, смертність та захворюваність населення, яке проживає у зонах забруднення, а також питання реабілітації цих земель. Під час вирішення цих питань основна увага приділяється радіобіологічним особливостям ґрунтів і меліоративним заходам зі зниження вмісту радіонуклідів у сільськогосподарських рослинах [1, 2]. Рівні радіаційного забруднення радіонуклідами внаслідок Чорнобильської аварії розглядаються як головні чинники небезпеки сільськогосподарської продукції і здоров'я місцевого населення на території Українського Полісся. Радіоекологія пов'язує розв'язання проблем реабілітації забруднених територій із особливостями техногенної фізико-хімічної міграції радіонуклідів довготривалого періоду напіврозпаду. Заходи агротехнічної і агрохімічної меліорації радіаційно забруднених ґрунтів, що зменшують зовнішнє опромінення, традиційно прирівнюються до ефективних систем землекористування під час вирощування певних сільськогосподарських культур.

Елементи взаємозв'язку між концентраціями радіонуклідів і мікроелементів

на територіях радіаційного забруднення вивчалися геохіміками і ландшафтознавцями лише впродовж короткого періоду, відразу після Чорнобильської аварії. Основним предметом досліджень були загальні особливості геохімічних бар'єрів і ландшафтів Чорнобильської зони щодо комплексної концентрації і розсіювання штучних радіонуклідів та мікроелементів. У роботах В.С. Давидчука і Р.Ф. Зарудної, О.І. Перельмана, Є.І. Ольшевської, Т.М. Єгорової та ін. наведено порівняльну характеристику динаміки радіоекологічної ситуації залежно від ландшафтно-геохімічної будови забруднених територій [3]. Процеси вертикальної міграції радіонуклідів і стабільних елементів в аспекті де-контамінації забруднених ґрунтів широко вивчалися Ю.Я. Сушиком, Л.В. Кононенко, А.І. Самчуком та ін. [1, 4].

На жаль, і нині доволі незначна увага приділяється як особливостям процесів біогенної міграції штучних радіонуклідів і мікроелементів, так і синергетичним ефектам їх взаємодії у біогеохімічних харчових ланцюгах. Складність та багатофакторність механізмів взаємодії біогеохімічних ланцюгів пояснює їх низьку вивченість [5]. Проте для Українського Полісся агроекологічне значення таких ефектів контрастно проявилось внаслідок проведення регіо-

нальних вапнувань забруднених ґрунтів у перші роки після Чорнобильської аварії. Лише через певний період була визнана екологічна небезпека вапнування через його вплив на зниження загальної рухомості поживних елементів у системі «ґрунт — рослина — тварина» [1, 2].

Відповідно до визначень А. Кабата-Пендіас, синергізм проявляється як посилена спільна фізіологічна дія різних чинників, антагонізм — як послаблення впливу одного чинника під дією інших. У рослинах такі взаємодії можуть бути обумовлені здатністю одного хімічного елемента стимулювати або пригнічувати поглинання інших елементів [5]. У межах територій радіаційного забруднення були розглянуті синергетичні ефекти стану сільськогосподарської продукції рослинництва і тваринництва залежно від агрохімічного стану ґрунтів — вмісту гумусу, забезпеченості основними елементами живлення (N, P, K), карбонатності і кислотності [1, 2, 6]. Наприклад, О.А. Бербовніковою, З.В. Калашніковою, Г.П. Перепелятніковим із фахівцями Інституту сільськогосподарської радіології вивчався вплив на біогенну міграцію ^{137}Cs моноелементної обробки насіння технічних і зернових культур Co, Mo, Zn [7].

Регіональні біогеохімічні дослідження свідчать, що негативний вплив на сільськогосподарські культури штучних радіонуклідів має спільні риси із біологічними ефектами нестачі Co і Mo у агроландшафтах Українського Полісся. Наприклад, радіоекологічне значення Co для тварин і людини обумовлено його біохімічним значенням для структури вітаміну B₁₂, що містить 4,5% цього мікроелемента. За дослідженнями онкологів, саме B₁₂, як і багато інших чинників, здатен підвищувати загальний опір людського та тваринного організму онкологічним захворюванням і є засобом боротьби організму із лейкемією [6, 8, 9].

Взаємодія біохімічного балансу поживних мікроелементів і радіоактивного забруднення на екологічний стан сільськогосподарської продукції і здоров'я населення забруднених територій України

унаслідок аварії на ЧАЕС нині фактично не розглядається.

Метою досліджень було вивчення синергетичних ефектів впливу на сільськогосподарську продукцію Українського Полісся радіоактивного забруднення і біогеохімічного дисбалансу Co, Mo, Zn та їх значення для агроекологічних досліджень на цих територіях.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для досягнення поставленої мети у статті застосовано авторські результати багаторічних біогеохімічних досліджень Українського Полісся, а також радіоекологічних досліджень у Народицькому р-ні Житомирської обл. На території Українського Полісся нами були виділені біогеохімічні субрегіони Co, Mo і Zn. Регіональні біогеохімічні субрегіони кобальтової та молібденової нестачі у ґрунтах агроландшафтів (менше 7 і 1,5 мг/кг — у валовій та менше 2,5 і 0,2 мг/кг — у рухомих формах відповідно) спричиняють і підвищену поширеність серед дитячого населення ендемічної захворюваності на анемію та гломерулонефрит. Локальний біогеохімічний субрегіон надлишку Zn у ґрунті (більше 70 мг/кг у валовій формі) зумовлює широкий спектр гіпермікроелементозів населення [3, 4, 6, 8, 9].

Для досліджень були використані розрахунки показників накопичення радіонуклідів у сільськогосподарських культурах та природній рослинності Полісся, отримані Інститутом сільськогосподарської радіології та іншими організаціями [1, 2, 7, 10]. У кореляційному аналізі впливу біогеохімічних ланцюгів на ендемічну захворюваність населення використано регіональні показники радіаційного забруднення адміністративних областей України [11].

Дослідження проводили із застосуванням методів регіонального ландшафтно-геохімічного аналізу і біогеохімічного районування територій радіоактивного забруднення. Для аналізу процесів біогенної міграції хімічних елементів у ландшафтах нами узагальнено три кількісних параметри системи «ґрунт — рослина»: коефіцієнт

переходу і накопичення ^{137}Cs (КП і КН) та коефіцієнти біологічного поглинання (Ах) Со, Мо, Zn.

Методологія досліджень синергетичного ефекту для здоров'я населення радіаційного забруднення територій в умовах нестачі Со у ґрунтах Українського Полісся базується на принципах ландшафтної екології, біогеохімії і екологічного картування. Поряд із тим для агроекологічного аналізу нами були розроблені і застосовані спеціальні параметри і критерії біогеохімічного аналізу земель сільськогосподарського призначення [6].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На території «західного сліду» радіаційних випадів Чорнобильської аварії поширеними є біогеохімічні субрегіони нестачі Со і Мо, а також надлишку Zn у ландшафтах Українського Полісся. Це свідчить про існування взаємодії цих небезпечних еколого-геохімічних чинників упродовж 30 років на значних площах регіональних агроландшафтів.

Комплексний аналіз впливу радіаційного забруднення і біогеохімічного дисбалансу вказаних поживних мікроелементів свідчить про певні спільні риси їх негативної дії на різні біологічні об'єкти. Такі досліджені радіоморфози зернових і овочевих культур, як карликовість листя, зменшення розміру стебла і колосу, хлорофільні мутації [1], певним чином співпадають із фітопатологіями нестачі Мо і Со (уповільнення процесів росту і зменшення розміру рослин, послаблення процесів фотосинтезу, некроз і хлороз) та надлишку Zn (дрібнолистя) [6, 9]. Вплив радіаційного опромінення на тварин і людину, поряд із іншими наслідками, проявляється зростанням онкологічних захворювань та прогресуванням патологій кровоносної, кістково-м'язової і нервової систем [1]. Подібна захворюваність може проявлятися гіпомікроелементозами Со і Мо (зниження імунітету до онкологічних захворювань, порушення процесів кровотворення і спричинення анемії, підвищена захворюваність на атеросклероз і артрити, нервові розлади і де-

пресії), а також гіпермікроелементозами Zn (підвищення захворюваності на остеопороз) [6, 9]. Отже, найпоширеніші радіоморфози і мікроелементози на території Українського Полісся мають синергетичну взаємодію, а їх спільний негативний вплив на сільськогосподарські рослини, тварин і людину буде лише посилюватися. Відсутність біогеохімічного аналізу агроландшафтів зон радіоактивного забруднення був і залишається чинником посилення синергетичної негативної взаємодії за проведення вапнування ґрунтів, що знижує фізико-хімічну рухомість поживних мікроелементів та, відповідно, їх біогенну акумуляцію сільськогосподарськими рослинами. Безумовно, радіоекологічна ситуація у цьому аспекті має первинне значення, а біогеохімічний дисбаланс поживних мікроелементів — вторинне. Крім того, певна частина живих організмів здатна адаптуватися до існуючих еколого-геохімічних умов територій. Більшою мірою адаптація відбувається до умов природного генезису, що мають регіональне поширення і діють на живі організми постійно. Дещо слабше адаптація формується до техногенних умов, що поширені локально і мають імпульсний, відносно короткостроковий вплив на довкілля.

Механізми переходу радіонуклідів і поживних мікроелементів з ґрунтів у рослинність формують біогеохімічні ланцюги, генезис яких має визначатися як природно-техногенний. Закономірності їх формування обумовлюють як зовнішні, так і внутрішні чинники геохімічної міграції. Основними з них є структура і фізико-хімічні особливості агроландшафтів, система землекористування, водна і біогенна рухомість хімічних елементів. Найпоширенішими кількісними параметрами переходу радіонуклідів у системі «ґрунт — рослина» прийнято КП, а для поживних мікроелементів — Ах. Сполучний аналіз інтенсивності біогенної міграції радіонуклідів і поживних мікроелементів в умовах Українського Полісся дає змогу прогнозувати певні синергетичні ефекти їх взаємодії (таблиця).

**Параметри біогенної міграції ^{137}Cs і поживних мікроелементів
у ландшафтах Українського Полісся (1990–2000 рр.)**

Будова ландшафту	Рослинність	Коефіцієнти					
		переходу (КП)	надходження (КН)	біологічного поглинання (Ах)			
				^{137}Cs	Со	Мо	Zn
Мішані ліси та сільськогосподарські землі на їх місці з дерново-підзолистими ґрунтами на супіщаних льодовикових відкладах	Різнотравно-злакова (трав'яна)	0,9 [10]	0,19 [10]	0,2–0,3	1	9	2–4*
	Кормові буряки, картопля	0,1–0,4 [10]	0,03–0,1 [10]	н.д.	0,1–0,2	н.д.	2–9
Заливні луки з торфовими і глейовими ґрунтами на піщаних алювіальних відкладах	Різнотравно-злакова (трав'яна)	18–71 (4–39)** [2]	н.д.***	0,4–0,6	6	79	1
Глобальні оцінки біогенної міграції стабільних елементів за О.І. Перельманом [12]		Не досліджено		0,1–0,9	2	10	12

Примітка: * для ландшафтів з надлишком цинку, ** після меліоративних заходів (внесення N, P, K, вапна, гною), *** н.д. — немає даних.

Рівні КП характеризуються високою варіабельністю і визначаються переважно активністю первинних радіоактивних випадінь після Чорнобильської катастрофи. Значення коефіцієнтів накопичення ^{137}Cs і біологічного поглинання мікроелементів мають тісний зв'язок із внутрішніми особливостями міграції хімічних елементів у біогеохімічних ланцюгах. Так, Cs і Со є елементами біофобними, яким не властиве інтенсивне накопичення у рослинності. Про це свідчать як мінімальні значення глобальних норм їх біологічного поглинання ($A_x = 0,2-2$), так і отримані значення їх біологічного поглинання овочевими культурами і різнотрав'ям ($A_x = 0,03-1$). Натомість мікроелементи Мо і Zn є елементами біофільними із підвищеною активністю до біогенної акумуляції. Глобальні норми їх біогенної акумуляції є значно вищими ($A_x = 10-12$), а накопичення у овочевих культурах і трав'яних видах рослин досягає рівня $A_x = 4-79$. Тому може проявлятися синергізм біологічних ефектів на сільськогосподарську рослинність з боку ^{137}Cs і Со та їх певний антагонізм із Мо і Zn.

Отримані закономірності підтверджують диференційований вплив агрохімічних меліоративних заходів на біогенну міграцію ^{137}Cs , що були зафіксовані у вегетаційних дослідках під час обробки насіння люпину, ячменю і кукурудзи різними мікроелементами [7]. Вплив поживних мікроелементів і азотних добрив на біогенну міграцію ^{137}Cs доведено експериментальними меліоративними дослідженнями Інституту сільськогосподарської радіології. Обробка насіння мікроелементами свідчить про можливість зниження концентрації ^{137}Cs у травостой на лучних торф'янистих ґрунтах — у 2–17 разів, у сільськогосподарських рослинах (кукурудза, буряк, люпин) на дерново-підзолистих ґрунтах — у 2–3 рази; а також про істотне підвищення інтенсивності біогенного поглинання радіонуклідів рослинами з торфових ґрунтів за внесення азотних добрив [2].

Синергетичну взаємодію ^{137}Cs із Со можна визначити як «закритість» техногенних біогеохімічних ланцюгів: внесення Со у дерново-підзолисті ґрунти не змінювало або збільшувало накопичення ^{137}Cs у лю-

пині. Натомість антагоністичну взаємодію ^{137}Cs із Mo і Zn можна визначити як «відкритість» техногенних біогеохімічних ланцюгів: внесення Mo і Zn знижувало перехід ^{137}Cs у рослини до 2–3 разів. Тому на території біогеохімічного субрегіону із надлишком Zn , якими є агроландшафти болотних і торфових ґрунтів, слід очікувати зниження переходу ^{137}Cs у сільгоспкультури.

Для виявлення медико-екологічних наслідків синергетичних ефектів біогеохімічного дисбалансу поживних мікроелементів і забруднення територій штучними радіонуклідами нами вивчено кореляційні зв'язки між радіоекологічними і медико-геохімічними параметрами на територіях двох біогеохімічних субрегіонів України — з нестачею Co , де спостерігається підвищена поширеність анемії, та нестачею Mo — території із підвищеною поширеністю гломерулонефриту.

Кореляційний статистичний аналіз свідчить про синергетичний медико-екологічний вплив потенційного радіаційного ризику і нестачі Mo у ландшафтах на поширеність анемії серед дитячого населення. На території біогеохімічного субрегіону з нестачею Co поширення захворюваності на анемію має відносно тісний позитивний лінійний зв'язок із рівнем потенційного радіаційного ризику $r = 0,3$. На території біогеохімічного субрегіону з нестачею Mo антагоністичний вплив радіаційного забруднення на поширеність гломерулонефритів проявляється від'ємним коефіцієнтом кореляції ($r = -0,5$).

ВИСНОВКИ

Упродовж 30 років у агроландшафтах зони радіоактивного забруднення Українського Полісся формування техногенних

біогеохімічних ланцюгів штучних радіонуклідів відбувається в умовах дисбалансу поживних мікроелементів — нестачі Mo і Co та надлишку Zn . Вплив цих чинників на сільськогосподарську продукцію та захворюваність населення має спільні ознаки їх екологічної небезпеки: у рослин — хлорофільні мутації, карликовість листя і зменшення розміру рослин; у тварин і людини — зниження імунітету до онкологічних захворювань, підвищене поширення патологій кровоносної, кістково-м'язової і нервової систем. Синергетичні ефекти впливу радіонуклідів і мікроелементів на рослинність визначає біофобність ^{137}Cs і Co та біофільність Mo і Zn у процесах біогенної міграції. У системі «ґрунт — рослина» синергетична взаємодія ^{137}Cs із Co та Mo із Zn зумовлює відповідно — слабку та посилену їх акумуляцію рослинністю. Медико-екологічні наслідки синергетичної взаємодії біогеохімічних харчових ланцюгів радіонуклідів і поживних мікроелементів проявляються позитивною лінійною кореляцією між рівнями радіаційних ризиків та поширеністю ендемічних захворювань на анемію в умовах нестачі Co . Ефективними заходами реабілітації цих територій є внесення Mo і Zn у нижні ланки біогеохімічних ланцюгів (ґрунти, поливні води, насіння, сільгоспкультури), а Co — у верхні (корм тварин, харчові добавки для населення).

Реабілітація забруднених радіонуклідами територій потребує урахування комплексу небезпечних екологічних чинників, зокрема, нестачі поживних мікроелементів у біогеохімічних ланцюгах та ендемічні гіпомікроелементози тварин і людини, що мають стати об'єктами радіоекологічного моніторингу і бути врахованими під час розробки спеціальних агротехнологій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Яблоков А.В. Чернобыль: последствия катастрофы для человека и природы / А.В. Яблоков, В.Б. Нестеренко, А.В. Нестеренко. — Спб.: Наука, 2007. — 376 с.
2. Пристер Б.С. Актуальные проблемы кормопроизводства в условиях радиоактивного загрязнения территорий / Б.С. Пристер, Г.П. Перепелятников, М.И. Ильин // Проблемы сельскохозяйственной радиологии: сборник научных трудов. — Вып. 2. — К., 1992. — С. 71–88.
3. Ландшафтно-геохимические аспекты здоровья населения Полесья Украины и Беларуси / Л.С. Галецкий, Т.М. Егорова, А.В. Матвеев, В.Е. Бордон // Геологический журнал НАН Украины. — 2007. — № 1. — С. 56–65.

4. Єгорова Т.М. Досвід детальних ландшафтно-геохімічних досліджень Житомирського Полісся / Т.М. Єгорова // Вісник Київського університету. — 2000. — Вип. 17. — С. 40–45. — (Сер.: Геологія).
5. Кабата-Пендіас А. Микроэлементы в почвах и растениях; пер. с англ. / А. Кабата-Пендіас, Х. Пендіас. — М.: Мир, 1989. — 439 с.
6. Єгорова Т.М. Наукові основи еколого-геохімічних процесів в агроландшафтах України: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 03.00.16 / Т.М. Єгорова. — К., 2015. — 47 с.
7. Калашникова З.В. Оценка накопления Cs-137 в урожае растений в условиях применения микроэлементов / З.В. Калашникова, Г.П. Перепелятников, Р.В. Медяк // Проблемы сельскохозяйственной радиологии: сборник научных трудов. — Вып. 2. — К., 1992. — С. 89–101.
8. Єгорова Т.М. Біогеохімічні ланцюги кобальту як фактор екологічної безпеки території радіаційного забруднення Українського Полісся / Т.М. Єгорова // Радіоекологія — 2015: зб. матеріалів науково-практичної конференції (Київ, 24–26 квітня 2015 р.). — К., 2015. — С. 61–62.
9. Єгорова Т.М. Прогнози Co, Mo, Mn, Zn біогеохімічні субрегіони України / Т.М. Єгорова // Доповіді НАН України — 2003. — № 11. — С. 201–206.
10. Феценко В.П. Екобезопасность миграции ксенобиотиков та шляхи мінімізації радіоекологічного навантаження на населення / В.П. Феценко, А.Ф. Щербатюк // Радіоекологія–2015: зб. матеріалів науково-практичної конференції (Київ, 24–26 квітня 2015 р.). — К., 2015. — С. 248–253.
11. Україна. Радіаційна безпека: [Карти, масштаб 1:3000000] / В.А. Барановський, О.А. Бобильова, М.І. Омелянець, Л.Я. Табачний. — К.: Вид-во ВЕЛ, 2004. — 35 с.
12. Перельман А.И. Геохимия ландшафтов / А.И. Перельман. — М.: Высшая школа, 1975. — 341 с.

REFERENCES

1. Yablokov A.V., Nesterenko V.B., Nesterenko A.V. (2007). *Chernobyl: posledstviya katastrofy dlya cheloveka i prirody* [Chernobyl: Consequences of the catastrophe for people and nature]. Sankt-Petersburg: Nauka Publ., 376 p. (in Russian).
2. Prister B.S., Perepelyatnikov G.P., Ilin M.I. (1992). *Aktualnye problemy kormoproizvodstva v usloviyakh radioaktivnogo zagryazneniya territoriy* [Actual problems of fodder production under radioactive contamination of territories]. *Problemy selskokhozyaystvennoy radiologii: sbornik nauchnykh trudov* [Problems of Agricultural Radiology: collection of scientific works]. Vol. 2, Kiev; pp. 71–88 (in Russian).
3. Galetskiy L.S., Yegorova T.M., Matveev A.V., Bordon V.Ye. (2007). *Landshaftno-geokhimicheskie aspekty zdorovya naseleniya Polesya Ukrainy i Belarusi* [Landscape-geochemical aspects of public health Polesie Ukraine and Belarus]. *Heolohichnyi zhurnal NAN Ukrainy* [Geological Journal of NAS of Ukraine]. No 1, pp. 56–65 (in Russian).
4. Yehorova T.M. (2000). *Dosvid detalnykh landshaftno-heokhimichnykh doslidzhen Zhytomyrskoho Polissia* [Experience of detailed landscape and geochemical studies Zhytomyr Polissya]. *Visnyk Kyivskoho universytetu Ser. Heolo-hiia. Kyiv. VPTs «Kyivskiyi Universytet»* [Bulletin of Kiev universities. Avg. Geology. Kiev. CUP «Kyiv University»]. Vol., 17, pp. 40–45 (in Ukrainian).
5. Kabata-Pendias A., Pendias X. (1989). *Mikroelementy v pochvakh i rastenyakh* [Trace elements in soils and plants]. Per. s angl, Moscow, Mir Publ., 439 p. (in Russian).
6. Yegorova T.M. (2015). «Scientific basis of environmental and geochemical processes in agricultural landscapes Ukraine», Abstract of Doctor of Agricultural Sciences dissertation, Institute of Agroecology and Environmental, Kyiv, Ukraine, 47 p. (in Ukrainian).
7. Kalashnikova Z.V., Perepelyatnikov G.P., Medyak R.V. (1992). *Otsenka nakopleniya ¹³⁷Cs v urozhae rasteniy v usloviyakh primeneniya mikroelementov* [Evaluation of accumulation of ¹³⁷Cs in plant crops in the conditions of application mikroelementov]. *Problemy selskokhozyaystvennoy radiologii: sbornik nauchnykh trudov* [Problems of Agricultural Radiology: collection of scientific works]. Vol. 2, Kiev, pp. 89–101 (in Russian).
8. Yehorova T.M. (2015). *Bioheokhimichni lantsiuhy kobaltu yak faktor ekolohichnoi nebezpeky terytorii radiatsiynoho zabrudnennia Ukrainiskoho Polissia* [Biogeochemical cobalt chain as a factor of environmental hazard areas of radioactive contamination Ukrainian Polissya]. *Zbirnyk materialiv naukovo-praktychnoi konferentsii* [Proceedings of the conference, 24–26 April 2015]. Kyiv; pp. 61–62 (in Ukrainian).
9. Yehorova T.M. (2003). *Prohnozni Co, Mo, Mn, Zn bioheokhimichni subrehiony Ukrainy. Dopovidi NANU* [Expected Co, Mo, Mn, Zn biogeochemical sub-regions of Ukraine. Reports of the National Academy of Sciences]. No. 11, pp. 201–206 (in Ukrainian).
10. Feshchenko V.P., Shcherbatiuk A.F. (2015). *Ekobezpeka mihratsii ksenobiotyktiv ta shliakhy minimizatsii radioekolohichnoho navantazhennia na naselennia* [Environmental Safety migration of xenobiotics and ways to minimize radiation burden on the population]. *Zbirnyk materialiv naukovo-praktychnoi konferentsii* [Proceedings of the conference, 24–26 April 2015]. Kyiv; pp. 248–253 (in Ukrainian).
11. Baranovskyi V.A., Bobylova O.A., Omelianets M.I., Tabachnyi L.Ya. (2004). *Ukraina. Radiatsiina nebezpeka, masshtab 1:3 000 000* [Ukraine. The radiation risk, scale 1: 3,000,000]. Kyiv: Vyd-vo VEL Publ., 35 p. (in Ukrainian).
12. Perelman A.I. (1975). *Geokhimiya landshaftov* [Geochemistry of landscapes] Moscow : Vysshaya shkola Publ., 341 p. (in Russian).