

БІОГЕОХІМІЧНІ ПРІОРИТЕТИ АГРОЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Т.М. Єгорова

Інститут агроекології і природокористування НААН

Узагальнено теоретичні засади біогеохімічних досліджень агросфери. Розглянуто прикладні напрями агроекологічного аналізу земель сільськогосподарського призначення у площині теорії та методології біогеохімії. Наведено концепцію біогеохімічних досліджень агросфери за формування біоцентричного сільського господарства. Визначено основні напрями біогеохімічних досліджень земель сільськогосподарського призначення, а саме: впровадження загальних методів їх біогеохімічного аналізу, вивчення біогеохімічних циклів хімічних елементів та диференціація їх природної і агрогенної складових. Сформульовано основні методичні принципи біогеохімії, що дають змогу забезпечити об'єктивність і достовірність результатів досліджень стосовно поширення хімічних елементів у ґрунтах і живій речовині сільгосппродукції та їх впливу на здоров'я населення.

Ключові слова: біогеохімія, агросфера, біогеохімічні цикли, агроекологія, біофіли, природні і антропогенні процеси.

Нині господарська діяльність людства супроводжується постійним втручанням у природні процеси біосфери — від озонного шару атмосфери до кілометрових глибин літосфери. Наприкінці ХХ ст. деякі частини біосфери втратили можливість до самовідновлення своїх біоценотичних особливостей, що сформувало певні екологічні проблеми глобального і регіонального рівнів. Констатуючи фізико-хімічний взаємозв'язок між вирубкою лісів на р. Амазонці і змінами клімату в Європі, неоекологія орієнтується переважно на констатацію конкретних наслідків локального рівня, що дає змогу підтримувати ілюзію відповідного їх вирішення. Щодо земель сільськогосподарського призначення, досліджується широке коло екологічних проблем, від глобального до локального рівня, розв'язати які можливо лише на теоретичних і методологічних засадах біогеохімії — науки про процеси міграції і розподілу хімічних елементів між живою і косною речовиною біосфери.

До прийняття міжнародної концепції збалансованого природокористування в Україні, як і інших державах, панувала концепція антропоцентричного господарювання. У 90-ті роки ХХ ст. світ доволі повільно, але невідворотно, почав переходити до формування і розвитку різних форм біоцентричної господарської діяльності. Це означає, що матеріальні потреби населення мають поступитися місцем пріоритетам збереження довкілля та генофонду біосфери для майбутніх поколінь. Важливою умовою формування біоцентричного сільського господарства є виявлення біогеохімічних закономірностей у функціонуванні агросфери та якості сільськогосподарської продукції як провідного чинника безпечності життя загалом.

Біогеохімія є науково-практичною частиною вчення В.І. Вернадського про біосферу, що визначає фундаментальну теорію і методологію природничих наук, пов'язаних із живою речовиною довкілля [1]. Саме взаємодія біогенної (живої) і абіогенної (косної) речовин підтримує «геохімічну організованість біосфери»

та відповідну їй стабільність. Вчений наголошував, що лише біогеохімічні цикли (міграції хімічних елементів між живою і косною речовиною) можуть пояснити поширення, зокрема у ґрунтах, більшості хімічних елементів Землі. Учні В.І. Вернадського обґрунтували і розвинули прикладні напрями біогеохімії, в основу яких покладено взаємообумовленість ланцюга «гірські породи — води — ґрунти — жива речовина рослин і тварин — захворюваність населення» [2, 3]. Було доведено, що незбалансованість біогеохімічних ланцюгів зумовлює часові коливання вмісту хімічних елементів та їх перерозподіл між компонентами територіальних (ландшафтних) систем унаслідок дії як природних процесів (ерозія ґрунтів, ґрунтоутворення, еволюція біоценозів тощо), так і антропогенних (техногенне забруднення, зміни гідродинамічного режиму, агротехнічна і агрохімічна меліорація ґрунтів тощо).

Незважаючи на це, більшість фундаментальних теоретичних та методологічних складових вчення В.І. Вернадського про біосферу залишається в Україні за межами уваги агроекології як науки та аграріїв-практиків зокрема. Головна небезпека ігнорування цих питань полягає у тому, що послаблюється увага до біосферної організованості і взаємозалежності всіх частин агросфери. Втрачається різниця між особливими та спільними рисами кожної ділянки земель сільськогосподарського призначення, а також можливість виявлення синергетичних ефектів функціонування агросфери. В Україні, на відміну від Росії, Білорусі, Казахстану, майже втрачено методологію оцінювання синергетичних ефектів взаємодії біогеохімічних ланцюгів есенційних і небезпечних хімічних елементів [4]. Розв'язання сучасних агроекологічних проблем тісно переплітається не лише із економічними і соціальними важелями держави, але й з критеріями та достовірністю формулювання безпосередньо екологічної проблеми. Саме тому прикладні дослідження земель сільськогосподарського призначення щодо хімічних елементів та їх впливу на сільгосппродук-

цію мають враховувати біогеохімічні закони і закономірності функціонування агросфери.

Метою роботи є загальний аналіз біогеохімічних напрямів дослідження агросфери та визначення перспектив біогеохімії для аграрної науки України.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На сьогодні деякі підрозділи біогеохімії залишаються невід'ємною складовою агроекологічних досліджень. Зокрема такі: взаємозв'язок між хімічним складом сільськогосподарських культур і орних ґрунтів, агрохімічні умови ґрунтів для отримання органічної сільськогосподарської продукції, небезпека техногенного забруднення (радіонуклідами, важкими металами, нітратами, пестицидами) ґрунтів і вод, оцінювання якості продукції рослинництва і рибальства, стандартизація екологічно небезпечних концентрацій токсичних хімічних елементів та сполук. Останніми роками біогеохімічні дослідження поширюються у тематичних розробках Інституту агроекології і природокористування НААН, серед яких: агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель, агроекологічне і біогеохімічне районування, розробка методології інтегрованого управління лісовими ресурсами, екологічна геохімія і біогеохімія агроландшафтів, екотоксикологія орних земель, оцінювання агроекологічного стану сільських селітєбних територій, агроекологічне оцінювання систем удобрення, радіоекологія аграрних і лісових екосистем [5–9].

Розроблена і започаткована В.І. Вернадським загальна методологія біогеохімічних досліджень базується на вивченні живої речовини у системі біогеохімічних ланцюгів хімічних елементів [1, 2]. Впровадження цієї методології для розв'язання екологічних проблем біосфери обумовило створення цільових методик біогеохімічних досліджень прикладного рівня, зокрема таких: геохімічної екології для аналізу захворюваності населення; екологічної геохімії для оцінки впливу хімічного техногенного забруднення на дитяче населення; екології

ландшафтів для визначення особливостей антропогенного впливу важких металів на природні біоценози та урболандшафти [3, 8, 10, 11].

Представлена робота узагальнює концептуальні засади теоретичної і прикладної біогеохімії, формулює біоцентричні принципи та основні напрями цільових агроекологічних досліджень, обумовлених існуючими закономірностями функціонування сучасної біосфери.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Зважаючи на теорію і методологію вчення про біосферу, сутність концепції біогеохімічних досліджень земель сільськогосподарського призначення зводиться до такого узагальнюючого постулату.

Всі частини агросфери (природні біоценози і агроценози, ґрунти і підстильні гірські породи, поверхневі і підземні води) є взаємозв'язаними між собою через міграцію поживних і небезпечних хімічних елементів (їх концентрацію і розсіювання), тому якість сільськогосподарської продукції залежить від особливості чинників (внутрішніх і зовнішніх) і процесів (природних і антропогенних) у біогеохімічних харчових ланцюгах, ланками яких є: гірські породи — води — ґрунти — рослини природні і культурні — свійські тварини — людина.

Застосування біогеохімічної концепції під час фундаментальних екологічних досліджень сучасної агросфери дає змогу ідентифікувати та підтримати функціонування значної кількості природних біосферних процесів і здатна забезпечити формування біоцентричного сільського господарства.

Найближчі перспективи біогеохімічних досліджень земель сільськогосподарського призначення в Україні вбачаються у тісній співпраці з прикладними галузями аграрної науки, які на сьогодні орієнтуються лише на частковий аналіз біогеохімічних харчових ланцюгів деяких есенційних (поживних) хімічних елементів [4, 12–14]. Найчастіше поза увагою цих досліджень залишаються закономірності формування біогеохімічних харчових лан-

цюгів поживних і небезпечних елементів, оцінювання інформативності біооб'єктів сільськогосподарських рослин і тварин, аналітичні методи вивчення живої речовини та інші фундаментальні аспекти вчення про біосферу. З огляду на це, найбільшої актуальності для розвитку фундаментальної агроекологічної науки набувають такі напрями біогеохімічних досліджень агросфери:

1. *Впровадження загальних методів біогеохімічного аналізу земель сільськогосподарського призначення з метою прогнозування ендемічної небезпеки для населення сировинної продукції рослинництва і тваринництва.* Якість та екологічний стан сільськогосподарської продукції є поняттям широким і водночас невизначеним. Методи біогеохімічного аналізу екологічного стану земель і сільгосппродукції мають певні особливості порівняно із загальноприйнятими з агрономії і агрохімії. Проведення польового дослідження передбачає вивчення як продукції, так і інформативних біооб'єктів, що характеризуються позитивною кореляцією вмісту хімічних елементів у ґрунтах та речовині біоценозу; аналітичні дослідження передбачають коректне відокремлення органічної речовини біооб'єкта від неорганічної, що накопичується на поверхні агроценозів і зооценозів унаслідок атмосферного забруднення; первинна просторова однорідність біогеохімічних харчових ланцюгів визначається за ландшафтними принципами. Для біогеохімічного аналізу земель важливе загальнонаукове значення мають відмінності хімічних елементів за атомною структурою та фізико-хімічними властивостями їх природних сполук, що визначають особливості їх рухомості у водних розчинах, біофільності, есенційності і небезпечності (токсичності) для біоценозів. Диференційованість хімічних елементів за цими характеристиками оцінюється за відповідними коефіцієнтами геохімічної міграції і відтворюється їх моноелементними екологічними класифікаціями. Екологічні класифікації хімічних елементів за В.В. Ковальським (1974), О.В. Жолніним (2001), В.В. Івановим (1994) та відповідно до

Державного стандарту ГОСТ 17.4.1.02-83 узагальнено на схемі (рис.).

Застосування аграрною наукою існуючих екологічних класифікацій хімічних елементів наразі спостерігається лише у галузі рослинництва, але значно обмежено і опосередковано. Стосується це питань оцінки впливу на харчову цінність сільськогосподарської продукції, яка відповідає класу небезпечності хімічних елементів у ґрунтах (ГОСТ 17.4.1.02-83), а також оптимального вмісту мікроелементів у ґрунтах, що варіює в інтервалі 0,1–2 чинних за ГДК їх рухомих форм. Однак дослідження перерозподілу хімічних елементів у біогеохімічних ланцюгах агроландшафтів дає змогу оцінити особливості їх надходження і накопичення у сільгосппродукції та прогнозувати її якість.

Так, наші дослідження біогеохімічних ланцюгів мікроелементів (Mo, Co, Mn, Zn) засвідчили, що інтенсивність їх накопичення у сільгоспкультурах визначається рівнем їх біофільності (за коефіцієнтами біологічного поглинання $A_x = 0,8 \div 18,2$) [2] та біогеохімічною категорією ґрунту. Біофільність есенційного фітоелемента підвищується за його біогеохімічної нестачі у ґрунтах та — знижується за нормального рівня або надлишку [7]. В умовах біогеохімічної нестачі у ґрунтах пінських ландшафтів елемента-біофіла Mo його біологічне поглинання є значно інтенсивним; коефіцієнти його біогенної акумуляції у різотрав'ї перевищують глобальну норму до 4 разів, досягаючи $A_x = 79$; у підсумку, накопичення Mo у сільгосппродукції (буяк і картопля) перевищує екологічну нор-

Есенційність (поширеність у живій речовині біоценозів)				
Фітоелементи (Zn, Cu, Mo, Mn, Co, Ti)		Зооелементи (Zn, Cu, Mo, Mn, Co, Ti, V, Ni, Cr, Sr)		
Біофільність (інтенсивність біологічного поглинання фітоценозами)				
Біофіли (Zn, Cu, Mo, Mn, Sr, Ba)	Біофоби (Co, Ni, Pb, V, Cr, Ti)	Метали життя (Cu, Zn, Mn, Co, Mo)	Біогенні елементи (Ti, V, Cr, Ni)	
Небезпечність для фітоценозів (токсична дія за антропогенного надходження у ґрунт)				
Висока (Pb, Zn)	Помірна (Cr, Ni, Co, Mo, Cu)		Низька (Ba, Mn, V, Sr)	
Патологічність для зооценозів (існування захворювань за біогеохімічного дисбалансу в організмах)				
За нестачі (Zn, Cu, Mo, Mn, Co, Ni, Pb)		За надлишку (Zn, Cu, Mo, Mn, Co, Sr, Ba, Ni, Pb, V, Cr)		
Фізико-хімічна водна міграція (розсіювання у природних водах і водних розчинах)				
Рухомі (Zn, Cu, Mo, Mn, Co, Sr, Ba, Ni, Pb, V)		Слабо рухомі (Cr, Ti)		
Фізико-хімічна літогенна міграція (концентрація на фізико-хімічних кисневих бар'єрах ґрунтів та інших гірських порід)				
Кисневі бар'єри A2-A3 (Mn, Co)	Глейові бар'єри C1-C2 (Cu, Mo, Cr, V)	Сорбційні бар'єри G2-G3 (Zn, Ba, Ni, Co, Pb, Cu, V, Mo)	Лужний бар'єр D2 (Sr, Ba, Co, Ni, Cu, Zn, Pb)	Випаровувальний бар'єр F3 (Sr, Zn, Mo, V)

Схема екологічної класифікації хімічних елементів (на прикладі 12 мікроелементів)

му (0,2 мг/кг) у 3–4 рази. За біогеохімічної нестачі у ґрунтах коростенських ландшафтів біофоба Со його біологічне поглинання рослинами значно слабше, ніж решти біофобів; коефіцієнти біогенної акумуляції у різнотрав'ї незначно перевищують глобальну норму, досягаючи $A_x = 1,2$; у підсумку, накопичення Со сільгоспрослинами (бурак, пшениця, вика посівна) є нижчим за екологічну норму (1 мг/кг) — до 10 разів. Залежно від рівня біофільності поживних мікроелементів, їх засвоюваність рослинами може зростати за нестачі останніх у ґрунтах та — знижуватись за надлишку. Дисбаланс поживних мікроелементів у системі «ґрунт — рослина» може проявлятися когерентно для біофобів (Со, Ni, Pb, V, Cr, Ti та ін.) і акогерентно — для сильних біофілів (Mo, Zn, Mn, Cu).

2. *Дослідження біогеохімічних циклів хімічних елементів як умова їх поширення у сільськогосподарській сировині.* Завданнями цього напрямку є виявлення природних закономірностей поширення хімічних елементів у регіональній агросфері, а також агроекологічні наслідки їх біогеохімічного дисбалансу. Виконання цих завдань є невід'ємною частиною досліджень процесів фізико-хімічної і біогенної міграції поживних елементів природного і антропогенного генезису. Найменш дослідженими залишаються біогеохімічні цикли мікроелементів, їх біосферні (природні) і агросферні (природно-техногенні) закони та закономірності. Сутність біогеохімічних циклів у агросфері обумовлено процесами фізико-хімічної і біогенної міграції хімічних елементів у системі «гірські породи — води підземні і поверхневі — ґрунти — жива речовина сільськогосподарських рослин і тварин — людина». Однак їх сполучене дослідження за умов однорідності структури агроландшафтів фактично не передбачено сучасними стандартами та методичними рекомендаціями аграрної науки. У агросфері біогеохімічні цикли мають незамкнений характер — значна біомаса з циклів випадає, але деякі їх особливості успадковуються від замкнених природних циклів. Виокремлення природної та

агрогенної складових екологічного стану агроландшафту є питанням підвищення наукового обґрунтування стратегії агрохімічної меліорації ґрунтів та аграрного виробництва загалом. Результатами кругообігу мікроелементів у біогеохімічних циклах є не лише рівень екологічної безпеки сільськогосподарської продукції, але й ендемічна захворюваність її споживачів — населення і свійських тварин.

3. *Диференціація природної і агрогенної складових біогеохімічних циклів хімічних елементів для формування стратегії біоцентричного аграрного виробництва.* Процеси міграції (колообігу) поживних і небезпечних хімічних елементів у біогеохімічних циклах визначають рівень біобезпеки і якості сільськогосподарської продукції, якість життя та ендемічну захворюваність населення. Поширення хімічних неінфекційних фіто- і зоопатологій знижує якість сільгосппродукції загалом, а також імунітет живих організмів до інфекційних захворювань. Вагомим принциповим недоліком чинної нормативної бази оцінки якості і екологічної безпеки ґрунтів і сільгосппродукції залишається застосування норм умісту хімічних елементів («поживних», «мікроелементів», «важких металів») без урахування ландшафтних, агроландшафтних, біогеохімічних і функціональних особливостей використання земель сільськогосподарського призначення [5]. Біоцентрична стратегія сільського господарства потребує підтримання природної складової біогеохімічних циклів та управління (корегування) антропогенною частиною. Тому насамперед необхідно вирішити питання диференціації цих складових для різних природно-функціональних і біогеохімічно-агроландшафтних умов. Порівняльний аналіз структурно однорідних агроландшафтів природного і техногенного рядів функціонального використання дає змогу визначити показники техногенної деформації земель сільськогосподарського призначення. Це забезпечить просторову локалізацію і наукову обґрунтованість методів агрохімічної меліорації земель, збереження біорізноманіття і можливість

охорони ландшафтів. Результатом біогеохімічного аналізу земель є довгострокова просторова локалізація агрохімічних заходів з підвищення якості сільгоспродукції за вмістом поживних хімічних елементів, а також координація дій щодо продуктів харчування залежно від ендемічної захворюваності місцевого населення.

Підходи та методи біогеохімічного аналізу агроландшафтів відносяться до найменш досліджених проблем агросфери України. Методика розв'язання цієї проблеми передбачає виокремлення агроландшафтів (як частин земель сільськогосподарського призначення) із природною, техногенно-природною і техногенною геохімічною міграцією.

Так, за результатами проведення регіональних біогеохімічних досліджень було встановлено важливі закономірності поширення мікроелементів у агроландшафтах природного і техногенно-природного рядів міграції у функціональних зонах, відповідно — сіножатей і пасовищ та орного землеробства [8]. Особливостями природних процесів геохімічної міграції поживних мікроелементів у ґрунтах і поверхневих водах агроландшафтів України є розсіювання фітоелементів у ґрунтах і концентрація їх у поверхневих водах. Обидва ці процеси негативно впливають на екологічний стан сільськогосподарської сировини. У рівнинних агроландшафтах України дефіцит фітоелементів у ґрунтах та надлишковий їх уміст у поверхневих водах зумовлено зональними процесами їх природного геохімічного розсіювання та концентрації. Особливості аграрних технологій у межах лісостепової зони сприяють компенсації природних процесів розсіювання Mn, Cu і Zn, а на територіях степової зони — розсіюванню Zn. Для 70–100% агроландшафтів України геохімічне розсіювання мікроелементів є основним природним процесом у ґрунтах земель сільськогосподарського призначення і вагомим чинником формування дефіциту поживних мікроелементів у системі «ґрунт — сільгоспрослини».

Слід зауважити, що і решта біогеохімічних напрямів дослідження агросфери

надають змогу істотно підвищити наукову обґрунтованість результатів прикладних завдань природокористування та прогнозування динаміки природно-антропогенних процесів на землях сільськогосподарського призначення України. Серед таких — палеобіогеохімічні дослідження під час прогнозування наслідків змін клімату для сільського господарства, вивчення дисбалансу мікроелементів як чинника біобезпеки сільгоспкультур та здоров'я населення, виявлення синергетичних ефектів впливу поживних елементів на якість сільськогосподарської сировини і захворюваність місцевого населення, розширення нормативної бази з питань медико-біогеохімічних особливостей сівозмін у агроландшафтах.

Біогеохімічні дослідження агросфери та розв'язання цільових агроекологічних проблем мають базуватися на певних методичних принципах біогеохімії, що надасть змогу забезпечити об'єктивність і достовірність отриманих результатів. Нами сформульовано п'ять основних методичних принципів біогеохімічних досліджень сучасної агросфери:

1. *Регіональні особливості біогеохімічних харчових ланцюгів визначають за кларками і фоновими значеннями поживних хімічних елементів у агроландшафтах та порівняльною захворюваністю біоценозів.* Кларки хімічних елементів відображають глобальну диференційованість поширення хімічних елементів у компонентах біосфери. Зміни фонового вмісту хімічних елементів, по суті, є екологічною нормою і відображають регіональну диференційованість природно-техногенних процесів для компонента довкілля.

2. *Агроекологічне оцінювання біогеохімічних харчових ланцюгів виконується для території однорідних природно-антропогенних систем, якими є біогеохімічні зони і провінції, агроландшафти, екосистеми.* Зважаючи на традиційну детальність масштабу агрономічних досліджень та чинну регіональність біогеохімічних оцінок, слід застосовувати методи різномасштабного аналізу та порівняння даних.

3. *Застосування біогеохімічних параметрів та критеріїв для агрохімічної паспортизації і Державного моніторингу земель сільськогосподарського призначення.* Такими параметрами мають стати характеристики живої речовини природної рослинності і сільгоспкультур: біомаса, продуктивність, зольність, вміст елементів-біофілів. Для оцінювання та прогнозування агроекологічних процесів важливо мати розрахунки коефіцієнтів біогенної і фізико-хімічної міграції поживних хімічних елементів — коефіцієнти їх біогенної акумуляції, кларки концентрації, коефіцієнти водної рухомості. Наукова цінність Державного моніторингу земель може зрости у десятки разів, якщо від адміністративного і агрогрунтового зонування перейти на природно-функціональне, а також розшири непараметричну частину агрохімічного паспорта поля та кількість досліджуваних хімічних елементів-біофілів. Підкреслимо, що необхідність комплексного аналізу ґрунтового покриву за нинішніх умов продемонстрував міжнародний проект країн Європейського Союзу, за участю України, «Геохімічне картування сільськогосподарських та пасовищних земель Європи» (GEMAS, 2009–2015 рр.), у межах якого вивчалось поширення 56 хімічних елементів та їх варіацій у сільськогосподарських та пасовищних ґрунтах.

4. *Проведення біогеохімічного картування і районування земель сільськогосподарського призначення.* Взаємодія природних і антропогенних процесів функціонування агросфери в нинішніх умовах значною мірою нівелює зональні агрокліматичні, агрохімічні і біогеохімічні особливості земель. Лімітуюче (обмежувальне) екологічне значення для життя людини і агроценозів, у т.ч. врожайності сільгоспкультур, доволі

часто спричинено мікроелементами або незначними кількостями небезпечних речовин, а також фізіологічними властивостями живих організмів до їх акумуляції. Методика біогеохімічного районування дає змогу оцінити та спрогнозувати наслідки екологічної небезпеки більшості хімічних елементів для живих організмів.

5. *Медико-екологічний аналіз біогеохімічних харчових ланцюгів.* Ця складова вчення В.І. Вернадського про біосферу була сформована методично і досліджена на практиці в межах окремого напрямку біогеохімії — геохімічної екології. Результати порівняльного аналізу біогеохімічного дисбалансу есенційних хімічних елементів у агроландшафтах із поширеністю відповідних фітопатологій і ендемічних захворювань населення є вагомим критерієм для формування територіальних перспектив розвитку харчової промисловості.

ВИСНОВКИ

Визначаючи агроекологію як науку комплексну і міждисциплінарну, дедалі небезпечнішим стає ігнорування її біогеохімічної складової. Біоцентрична стратегія сільського господарства, як умова формування збалансованого природокористування, потребує комплексного вивчення живої речовини агросфери. Дослідження останньої забезпечує об'єктивність агроекологічних прогнозів регіонального і локального рівнів. Застосування специфічних методів біогеохімічного аналізу агросфери є значно обмеженим унаслідок недостатньої наукової обґрунтованості їх актуальності і практичної значущості. Розглянута концепція досліджень, їх основні напрями і принципи надають можливість ввести біогеохімію у систему сучасних агроекологічних досліджень України.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Вернадский В.И.* Биогeoхимические очерки / В.И. Вернадский. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1940. — 241 с.
2. *Добровольский В.В.* Основы биогeoхимии / В.В. Добровольский. — М.: Высш. школа, 1998. — 413 с.
3. *Єгорова Т.М.* Основы біогеохімії: навчальний посібник / Т.М. Єгорова, В.М. Ісаєнко. — К.: Вид. НАУ, 2005. — 170 с.
4. *Єгорова Т.М.* Синергізм ¹³⁷Cs і дисбалансу поживних мікроелементів у агроландшафтах Полісся / Т.М. Єгорова // Агроекологічний журнал. — 2016. — № 1. — С. 59–64.
5. *Патика В.П.* Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель / В.П. Патика, О.Г. Тараріко. — К.: Фітосоціоцентр, 2002. — 296 с.

6. Еколого-економічні основи збалансованого розвитку агросфери Київської області: монографія / за наук. ред. О.І. Фурдичка. — К.: ДІА, 2015. — 736 с.
7. Furdychko O. The influence of water migration of microelements on the ecological soil condition of Ukraine / O. Furdychko, L. Moklyachuk, T. Yehorova // Emirates Journal of Food and Agriculture. 2015. — Vol. 27, 27 (9). — P. 721–726.
8. 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.
9. Коніщук В.В. Агроекологічне районування: методичні рекомендації / В.В. Коніщук, Т.М. Єгорова, Н.Б. Мельник; наук. ред. О.І. Фурдичка. — К.: ТОВ «ДІА», 2014. — 44 с.
10. Вступ до медичної геології: у 2-х т. / За ред.: Г.І. Рудько, О.М. Адаменко. — К.: Академпрес, 2010. — Т. 2. — 530 с.
11. Матвиенко А.В. Подвижность тяжёлых металлов в техногенных дерново-подзолистых почвах Новгород-Северского Полесья и их биогеохимические особенности / А.В. Матвиенко, И.В. Кураева, Ю.Ю. Войтюк // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сб. докл. Междунар. науч. конф. (Минск, 14–17 сентября 2016 г.).— Минск: Беларусская наука, 2016. — Т. 1. — С. 254–257.
12. Агрономічно орієнтоване районування земель за властивостями ґрунтів / В.В. Медведєв, Т.М. Лактіонова, І.В. Пліско та ін. — Х.: КП «Міська друкарня», 2012. — 100 с.
13. Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт — рослина / За ред. А.І. Фатєєва, В.Л. Самохвалової. — Х.: КП «Міськдрук», 2012. — 146 с.
14. Наукові основи виробництва органічної продукції в Україні: монографія / за ред. акад. НААН Я.М. Гадзала, чл.-кор. НААН В.Ф. Камінського. — К.: Аграрна наука, 2016. — 550 с.

REFERENCES

1. Vernadskij V.I. (1940). *Biogeoхимические очерки* [Biogeochemical outline]. Moscow, Leningrad Publ., 241 p. (in Russian).
2. Dobrovolsky V.V. (1998). *Osnovy biogeoхимii* [Basics of biogeochemistry]. Moscow Publ., 413 p. (in Russian).
3. Yehorova T.M., Isayenko V.M. (2005). *Osnovy biogeoхимии: navchal'ny'j posibny'k* [Bases of biogeochemistry: tutorial]. Kiev Publ., 170 p. (in Ukrainian).
4. Yehorova T.M. (2016). *Sy'nergizm ¹³⁷Cs i dy'sbalansu pozhy'vny'x mikroelementiv u agrolandshaftax Polissya* [Synergy ¹³⁷Cs and micronutrient imbalances in agricultural landscapes of Polissia]. *Agroekologichny'j zhurnal* [Agroecological journal]. No 1, pp. 59–64 (in Ukrainian).
5. Patyka V.P., Tarariko O.H. (2002). *Agroekologichny'j monitoring'ng ta pasporty'zaciya sil's'kogospodars'ky'x zemel'* [Agroecology monitoring and certification of agricultural land]. Kiev Publ., 296 p. (in Ukrainian).
6. Furdychko O.I. (2015). *Ekologo-ekonomichni osnovy zbalansovanogo rozvytku agrosfery Ky'yiv's'koyi oblasti: monografiya* [Ecological and economic framework for sustainable development agrosphere of Kiev region: monograph]. Kiev Publ., 736 p. (in Ukrainian).
7. Furdychko O.I., Moklyachuk L.I., Yehorova T.M. (2015). The influence of water migration of microelements on the ecological soil condition of Ukraine. Emirates Journal of Food and Agriculture. Vol. 27, 27(9), pp. 721–726 (in English).
8. Yehorova T.M. (2015). *Naukovi osnovy ehologo-geохимichny'x procesiv v agrolandshaftax Ukrayiny* [Scientific foundation of ecologic-geochemical processes in agricultural landscapes of Ukraine]. Kiev Publ., 47 p. (in Ukrainian).
9. Furdychko O.I., Konischuk V.V., Yehorova T.M., Melnyk N.B. (2014). *Agroekologichne rajonuvannya: metody'chni rekomendaciyi* [Agroecological zoning: methodical recommendations]. Kiev Publ., 44 p. (in Ukrainian).
10. Rud'ko G.I., Adamenko O.M. (2010). *Vstup do medy'chnoyi geologii* [Introduction to Medical Geology]. Kiev Publ., Vol. 2, 530 p. (in Ukrainian).
11. Matvyenko A.V., Kuraev I.V., Voytyuk J.J. (2016). *Podvizhnost' tzhazholyh metallov v tehnogenykh derново-podzolistykh pochvakh Novgorod-Severskogo Poles'ya i ih biogeoхимические особенности* [The mobility of heavy metals in technogenic sod-podzolic soils of Novgorod-Seversky Polissye and there biogeochemical features]. *Problemy racy'onaln'ogo y'spol'zovany'ya pry'rodnny'x resursov y' ustojchy'voe razvy'ty'e Poles'ya* [Problems of rational use of natural resources and sustainable development of the Polissye]. Minsk Publ., Vol. 1, pp. 254–257 (in Russian).
12. Medvedev V.V., Laktionova T.N., Plyskiv I.V. (2012). *Agronomichno oriyentovane rajonuvannya zemel' za vlasty'vostyamy'g'runtyv* [Agronomy oriented zoning of land for soil properties]. Kharkov Publ., 100 p. (in Ukrainian).
13. Fateev A.I., Samokhvalova V.L. (2012). *Diagnosty'ka stanu химichny'x elementiv sy'stemy'g'run't — rosly'na* [The diagnostics of chemical elements state in system soil — plant]. Kharkov Publ., 146 p. (in Ukrainian).
14. Hadzalo J.M., Kaminsky V.F. (2016). *Naukovi osnovy vy'robny'ctva organichnoyi produkciyi v Ukrayini: monografiya* [Scientific bases of organic production in Ukraine: monograph]. Kiev Publ., 550 p. (in Ukrainian).