

УДК 550.84 + 556.334

Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, А. І. Самчук

Основні напрями розвитку пошукової та екологічної геохімії

У статті коротко охарактеризований внесок фахівців Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України у розвиток основних напрямів пошукової та екологічної геохімії — геохімії ландшафтів, геохімії осадових порід, процесів літогенезу та гіпергенезу, геохімії ґрунтів, геохімії окремих елементів, геохімічних методів пошуків, біогеохімії, гідрогеохімії, медичної геохімії, еколого-геохімічного картування.

Основою розвитку сучасної пошукової та екологічної геохімії стали наукові результати багаторічних досліджень, які почали розвиватись в Україні наприкінці 1970-х рр. під час опрацювання проблем, пов'язаних із геохімією токсичних елементів. Але найбільшого розвитку ці дослідження досягли після створення за ініціативою Е. Я. Жовинського в Інституті у 1987 р. відділу пошукової та екологічної геохімії. За короткий час було вивчено закономірності розподілу галогенів, важких металів та інших хімічних елементів в об'єктах довкілля і встановлено особливості їх геохімічної поведінки. Проведені численні дослідження на території України, результати яких викладено в монографіях: "Эколого-геохимические исследования природных сред в условиях городской агломерации" (1991), "Экологическая геохимия и охрана окружающей среды" (1992), "Подвижные формы токсичных элементов в почвах Украины" (1993), "Эколого-геохимические исследования подвижных форм токсичных элементов в условиях сельских агломераций" (1993), "Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины" (2002) та ін. Було встановлено закономірності формування природних і техногенних ореолів розсіювання хімічних елементів і їх рухомих форм

в зоні гіпергенезу різних ландшафтно-геохімічних зон України, зокрема у ґрунтах і природних водах. Результати дозволили визначити фонові і аномальні значення концентрації хімічних елементів. Окрім величезного теоретичного значення ці результати стали основою для розробки принципово нових геохімічних методів пошуків корисних копалин і нових технологій еколого-геохімічного картування, оцінки і прогнозування стану навколишнього середовища, розробки і обґрунтування природоохоронних заходів.

У 1950–1970-х рр. з метою районування території Українського щита (УЩ) для пошуків рудних корисних копалин Б. Ф. Міцкевичем та Ю. Я. Суцником розроблені принципи ландшафтно-геохімічного районування за вторинними механічними ореолами розсіювання. У межах УЩ відповідно до фізико-географічної зональності виділено п'ять ландшафтно-геохімічних районів, що відображає умови протікання геохімічних процесів. Встановлено, що потужність осадових відкладів чохла до п'яти метрів є критичною для утворення відкритих накладених ореолів розсіювання похованих родовищ. На цій основі виділені геохімічні ландшафти прямого, утрудненого і відсутнього

зв'язку з кристалічним фундаментом (Б. Ф. Міцкевич, 1971).

Геохімії процесів літогенезу та гіпергенезу присвячено роботи по вивченню літофаціальних особливостей, речовинного складу і умов утворення різних за віком осадових порід і пов'язаних з ними рудних та нерудних корисних копалин Волино-Поділля, Дніпровсько-Донецької западини, Причорномор'я, Криму, Карпат, Передкарпатського та Закарпатського прогинів. Визначено основні етапи їх перетворення, виявлено провідні геохімічні чинники, які впливають на ці процеси, а також зв'язок їх з диференціацією та інтеграцією рудних компонентів і формуванням родовищ на різних стадіях літогенезу.

Проведено літолого-геохімічне вивчення порід флішової формації Українських Карпат, виявлено та охарактеризовано основні стадії постседиментаційного їх перетворення (І. М. Афанасьєва, 1970). У результаті досліджень змін речовинного складу порід кристалічного фундаменту Мармароського масиву Українських Карпат встановлено два етапи метаморфізму: герцинський, пов'язаний з прогресивним регіональним метаморфізмом (від епідотамфіболітового до зеленосланцевого ступеня), та альпійський, пов'язаний з локальним прогресивним метаморфізмом порід чохла в умовах найбільш низькотемпературних субфацій зеленосланцевої фації (Ю. Р. Данилович, 1978).

Виявлено геохімічні індикатори осадоутворення і постседиментаційної зміни осадових і осадово-вулканогенних формацій. Розроблено методику вивчення тривалості епігенетичного перетворення порід за вмістом фтору в слюдах (Л. Г. Ткачук, Е. Я. Жовинський, Л. С. Сонкін, 1980).

Експериментальні дослідження дозволили визначити провідну роль в літогенезі фізико-хімічних умов рівноваги природної системи розчин — вода, кінетики і динаміки, сорбції і десорбції, комплексоутворення та інших процесів. Вперше обґрунтовано утворення флюоритової і сульфідної мінералізації в осадових породах в результаті їх постседиментаційної

зміни. Важливими ознаками при цьому є літологічний склад порід, ступінь їх тріщинуватості і пористості (Л. Г. Ткачук, Е. Я. Жовинський, 1976). Розроблено методи термодинамічного аналізу стану фтору, берилію, міді та інших елементів у водних розчинах залежно від фізико-хімічних умов середовища, концентрації комплексоутворювальних іонів та інших факторів (Е. Я. Жовинський, Ю. Я. Сущик, А. І. Самчук, 1970).

Значним внеском в теорію екзогенного утворення ореолів розсіювання хімічних елементів є встановлення фізико-хімічних умов формування природних і техногенних ореолів розсіювання хімічних елементів (фтор, берилій, мідь та ін.) та їх рухомих форм в зонах гіпергенезу. Показано, що у ґрунтах різних ландшафтно-геохімічних зон України значну роль відіграють комплексні металоорганічні сполуки (Е. Я. Жовинський, А. І. Самчук, І. В. Кураєва, Г. П. Островська).

Провідне значення гідрохімічних процесів у постседиментаційному перетворенні осадових порід встановлено під час вивчення вторинної пористості давніх товщ. Як показали дослідження, пористість пісковиків у розрізі залежить від хімічного складу і динаміки підземних вод, що впливають на ступінь вилуговування порід та утворення вторинної пористості. Це пояснює збільшення пористості пісковиків з глибиною: на глибині 0–400 м пористість становить 11–15, а нижче (400–600 м) сягає 22–24 %. В той же час пористість аргілітів залежить здебільшого від глибини залягання порід, тому що вилуговування тут дуже незначне. Одержані дані за матеріалами глибинного буріння підтвердили основні висунуті положення і дали можливість розглядати процеси рудоутворення в осадових породах з принципово нових позицій і довести, що пористі осадові породи є природними колекторами. На цій підставі Е. Я. Жовинським висунута гіпотеза стосовно утворення вторинної пористості в осадових породах на значних глибинах.

Результати досліджень дозволили виділити провідну роль фізико-хімічних

умов рівноваги природної системи "розчин – порода", кінетики і динаміки, сорбції і десорбції, комплексоутворення та інших чинників у процесах літогенезу і осадового рудоутворення.

Значну увагу співробітниками відділу приділено вторинним змінам осадових порід і чинникам, що їх спричинили. Зокрема, досліджений вплив підземних вод та їхня роль у виникненні сульфідних рудопроявів, флюоритової мінералізації та інших корисних копалин.

Ретельно вивчались процеси діагенезу і катагенезу (епігенезу). Встановлено, що головним чинником вторинних змін осадових порід Східних Карпат є тиск, особливо стресовий, а осадових порід в платформних умовах – гідростатичний тиск відкладів, що залягають вище, підземні води і тривалість процесів епігенезу (Л. Г. Ткачук, Е. Я. Жовинський, І. М. Афанасьєва, Ю. Р. Данилович, 1969–1980).

В останні роки значну кількість досліджень присвячено вивченню геохімії ґрунтів. Співробітники Інституту більшу частину своїх досліджень на сьогоднішній день акцентують на наступних напрямках вивчення геохімії ґрунтів: встановлення закономірностей розподілу хімічних елементів в основних типах ґрунтів України; вивчення мобільних форм галогенів, важких металів, нітратів та ін. у ґрунтах природних і техногенних ландшафтів; розробка інформаційно-довідкової системи та банку геохімічних даних і еколого-геохімічне картування ґрунтів України.

Вперше розроблено комплексну методику еколого-геохімічного картування ґрунтів на основі визначення показників рухомості й особливостей міграції токсичних елементів. Складено електронні карти, що характеризують природний фон і розповсюдження валових концентрацій та рухомих форм міді, цинку, кобальту, нікелю у ґрунтах Київської обл. (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, Н. О. Крюченко, 2001).

Вивчено закономірності розподілу важких металів в основних типах ґрунтів України (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, 2002). Встановлено залежність вмісту

хімічних елементів у ґрунтах від їх фізико-хімічних властивостей, мінерало-геохімічного складу ґрунтоутворювальних порід, ландшафтних і техногенних умов території України.

Встановлено основні форми знаходження важких металів у зональних типах ґрунтів України, що пов'язані з фракціями ґрунтового гумусу, "залишковою", карбонатною, адсорбованою, обмінною й легкокорозчинною. Рухомість металів у ґрунтах знижується зі збільшенням вмісту гумусу і глинистої фракції. Тому в сірих лісових, дерново-підзолистих, дерново-карбонатних, дерново-борових ґрунтах значна частина металів пов'язана з "залишковою" фракцією (60 %), ґрунтовым гумусом (30), адсорбованою (20), обмінною і легкокорозчинною (25 %). У чорноземах, каштаново-солонцюватих, буроземах, лугово-чорноземних і лугових ґрунтах вміст металів, пов'язаних з фракцією ґрунтового гумусу, зростає до 60 %, пов'язаних з обмінною та легкокорозчинною фракціями – знижується до 12 %. Основою для визначення фонового природного рівня металів у ґрунтах основних ландшафтно-геохімічних зон України є їх вміст у ґрунтах заповідних територій.

ґрунти ряду територій, на які впливають викиди підприємств вугільної, чорної та кольорової металургії, машинобудування, хімічної й металообробної промисловості, вміщують важкі метали в кількості, що перевищує природний геохімічний фон в десятки й сотні разів. Найбільш забруднені важкими металами ґрунти промислових та селітебних зон підприємств вугільної, чорної та кольорової металургії. Менше забруднені металами ґрунти, на які впливають викиди підприємств хімічної промисловості, машинобудування й металообробки. В техногеннозабруднених ґрунтах підвищується вміст металів у обмінній та легкокорозчинній формах і значно збільшується їх рухомість порівняно з ґрунтами фонових територій. Середній вміст рухомих форм металів у ґрунтах в районах розвитку вугільної промисловості складає, % від валового вмісту: цинк – 47,5;

мідь — 34,5; кобальт — 29,7; свинець — 35,5; нікель — 73.

Під час визначення особливостей техногенного забруднення важливим є визначення мобільних форм важких металів у ґрунтах природних і техногенних ландшафтів.

Вперше оцінено ступінь забруднення ґрунтів і визначено генетичну природу геохімічних аномалій за допомогою інтенсивних й екстенсивних показників рухомості важких металів у різних типах ґрунтів України.

Встановлено, що поряд з комплексотворенням, важливу роль у виникненні мобільних форм мікроелементів у ґрунтах відіграють процеси сорбції. Іонообмінні реакції в системі ґрунт — розчин можуть бути описані за допомогою зміни вільної енергії під час переходу іонів з твердої фази в рідину. В природній системі можливі метастабільні стани, що характеризуються локальними ділянками термодинамічної рівноваги, не дивлячись на те, що вся система нерівноважна. Такий підхід дозволяє використати апарат рівноважної термодинаміки для аналізу ґрунтових розчинів і вод для кількісної оцінки процесів у ґрунтах.

За допомогою методів термодинамічного аналізу встановлено основні форми міграції важких металів у ґрунтових розчинах: вільні катіони металів і розчинні металоорганічні комплекси. Наприклад, мідь мігрує в ґрунтових розчинах у вигляді гідросокомплексів, вільних катіонів і фульватних комплексів. Підвищення концентрації іонів металів у ґрунтових розчинах збільшує вміст форм їх міграції у вигляді вільних катіонів. Міграція металів у розчинах чорнозему звичайного у вигляді вільних катіонів складає, %: нікель — 56,1, кобальт — 76,3, мідь — 24,3, цинк — 94,3; у дерново-підзолистих ґрунтах — нікель — 59,1, кобальт — 80,4, мідь — 57,9, цинк — 95,5; у ґрунтових розчинах з каштаново-солонцюватих ґрунтів — кобальт — 74,4, мідь — 40,7, цинк — 80,1, нікель — 70,2.

Розроблено фізико-хімічну модель сорбції міді, цинку, нікелю, свинцю чорноземами і дерново-підзолистими

ґрунтами, яка дозволяє оцінити сорбційну здатність ґрунтопоглинального комплексу і міграційну здатність металів у системі ґрунт — природний розчин — рослина. Встановлено форми знаходження металів, які характерні для різних фракцій ґрунтів (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, Г. П. Островська, Л. Б. Новікова, 1998).

Під час надходження токсичних елементів у ґрунт відбувається їх трансформація. Вони вступають у хімічні реакції з мінеральними та органічними компонентами ґрунту і утворюють різноманітні сполуки. Утворені хімічні форми токсичних елементів відрізняються за своїми фізико-хімічними властивостями. Так, одні можуть акумулюватись у вигляді важкорозчинних сполук, інші утворюють істинний або колоїдний розчин, який є доступним для біоти.

За експериментальними даними була представлена (А. І. Самчук та ін.) фізико-хімічна модель утворення мобільних форм токсичних елементів у системі "ґрунт — розчин", яка об'єднує такі процеси: іонний обмін у ґрунтопоглинальному комплексі; утворення розчинних різнолігандних і різнометалевих хелатних сполук з фульвокислотами; створення абсорбційно-міцелярних комплексів з гуміновою кислотою; утворення абсорбційних сполук важких металів на поверхні гідроксидів заліза і марганцю.

Вперше було створено інформаційно-довідкову систему та банк геохімічних даних як основи еколого-геохімічного картування ґрунтів України (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, 2002).

Нові підходи до еколого-геохімічного картування ґрунтів на основі визначення показників рухомості та особливостей міграції хімічних елементів дозволили розробити принципи комп'ютерного картування і побудувати моно- та поліелементні геохімічні карти розподілу вмісту валового і рухомих форм металів, а також методи оцінки ступеня техногенного забруднення.

У Інституті виконано фундаментальні дослідження з геохімії окремих елементів.

Значну кількість робіт присвячено геохімії фтору. Доведено універсальність фтору під час вирішення теоретичних і прикладних задач: геологічного картування, визначення стадій літогенезу, стратиграфічної кореляції й розчленування німих осадових товщ, фаціальних реконструкцій, пошуків корисних копалин, трасування зон тектонічних порушень, виявлення зон розвантаження глибинних підземних вод, вирішення багатьох інших геологічних і геолого-пошукових задач. Вперше визначено розподіл фтору в породах і мінералах осадових та осадово-вулканогенних формацій південного заходу Східно-Європейської платформи, визначено його мінеральні форми, умови міграції й концентрації за різних фізико-хімічних умов і виділені епохи фторонакопичення (Е. Я. Жовинський, 1978–2006).

Аналіз умов міграції фтору в природних розчинах і експериментальні дослідження з термодинамічними розрахунками і побудовою кінетичних моделей дозволили встановити, що основною формою міграції фтору за гіпергенних процесів у нейтральному та лужному середовищі є фторид-іон. Міграційна здатність фтору у вигляді моно- і поліядерних комплексів металів визначена їх ступенем стійкості за змінних термодинамічних умов природного середовища. Доведено, що провідним чинником, який сприяє розчиненню флюориту, є температура. Розчинність інших фторвмісних мінералів, таких, як апатит, віліоміт тощо, зменшується зі зростанням температури. Крім того, швидкість розчинення збільшується пропорційно зростанню швидкості інфільтрації (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, 1987).

Вивчення геохімії фтору в поверхневих відкладах різних геохімічних ландшафтів, осадових і осадово-вулканогенних формацій, процесах літогенезу і гіпергенезу із врахуванням фізико-хімічних умов рівноваги природної системи "порода – розчин" дозволило визначити умови формування первинних й вторинних ореолів його розсіювання і встановити їх структурно-геохімічні особливості. Це дозволило суттєво вдосконалити фторометричні

методи пошуків плавикового шпату та інших корисних копалин, пов'язаних з рудно-флюоритовими формаціями (Е. Я. Жовинський, 1985).

Встановлено закономірності розподілу ртуті та створена база ртутнометричних даних і на її підставі побудовані карти-схеми вмісту ртуті у ґрунтах і ґрунтоутворювальних породах Криму, які можуть бути використані для комплексної оцінки еколого-геологічного стану довкілля (А. І. Радченко, 2000).

Закономірності розподілу і міграції хрому в об'єктах навколишнього середовища дозволили виділити локальні території з аномальним вмістом хрому різного походження – техногенного (дендропарк "Олександрія", м. Біла Церква) та природного (родовище хромітових руд "Східні Липовеньки"), а також дендропарки, де вміст хрому є фоновим ("Кагарлицький", м. Кагарлик; "Софіївка", м. Умань). Результати геохімічних досліджень, проведених на вказаних територіях, дали змогу розробити практичні рекомендації щодо картування і виділення ділянок з аномальним вмістом хрому, з одного боку, як техногенно забруднених територій та визначення їх ступеня техногенної безпеки і, з другого боку, ділянок, перспективних для пошуків хромітових руд. За результатами випробування ґрунтів, поверхневих і підземних вод отримано нові геохімічні дані, зроблені розрахунки основних форм міграції хрому в різних типах підземних і поверхневих вод, побудовані геохімічні карти розподілу хрому в об'єктах навколишнього середовища на території досліджуваних ділянок та карта забрудненості дендропарку "Олександрія" сполуками хрому та нафтопродуктами (С. М. Кулик, 2004).

На прикладі детального вивчення поведінки фтору, цього надзвичайно чутливого індикатора, Е. Я. Жовинським було показано можливість вирішення цілого спектра проблем прикладної геохімії. Приклади, що ілюструють застосування фторометрії під час встановлення металогенічної спеціалізації порід, визначення їх генезису й стратиграфічної

приналежності, проведення геохімічних пошуків за первинними та вторинними ореолами розсіювання фтору, трасування зон тектонічних порушень, картування зон метасоматозу, грейзенізації тощо, наведені у численних публікаціях. Доведено, що геохімічні асоціації фтору з іншими елементами дозволяють здійснювати кореляцію німих теригенних товщ і визначати вплив основних епігенетичних процесів на перетворення осадових порід. При цьому позитивні кореляційні зв'язки із фтором мають літій, рубідій, цезій, стронцій. Вміст фтору в окремих мінералах може свідчити про тривалість стадій літогенезу, що показано на прикладі гідратації фторвмісного біотиту.

Швидкість виносу фтору із мінералів визначається, в першу чергу, особливостями епігенетичного процесу. Зв'язок між зміною вмісту фтору та структурними особливостями біотиту дозволяє проводити відносно визначення і тривалість епігенетичного перетворення осадових порід.

Утворення накладених ореолів значною мірою залежить від характеру сорбції фтору осадовими породами. У природній системі "порода — розчин" відбувається фізична і хімічна сорбція фтору, які контролюються, в першу чергу, речовинним складом порід. Величина адсорбції залежить від типу порід і зменшується у такому ряду: глини — аргіліти — алеволіти — вапняки — пісковики. У кожному типі порід максимальна адсорбція пов'язана зі збільшенням вмісту глинистої складової, мінімальна — фторвмісних мінералів. Виявлено загальну тенденцію збільшення коефіцієнта адсорбції від давніх до молодих порід.

Встановлено існування двох типів залежності сорбції і десорбції від фактора часу — для уламкових і глинистих порід чи порід з високим вмістом глинистих, карбонатних мінералів та органічної речовини. У другому випадку сорбція значно переважає над десорбцією, бо основним механізмом сорбції тут є необернена хемосорбція.

Надходження фтору в природні розчини рудно-флюоритових провінцій і, відповідно, утворення його екзогенних ореолів кон-

тролюються кінетичними особливостями розчинення флюориту в розчинах різного хімічного складу. Експериментальними дослідженнями розчинення флюориту в розчинах фульвових кислот з використанням методів хімічної кінетики, проведеними під керівництвом Е. Я. Жовинського, встановлено, що швидкість розчинення флюориту лімітується зовнідифузійними стадіями розчинення. Вона зростає зі збільшенням температури, концентрації розчинника й швидкості розмішування. Розрахункові константи розчинення флюориту в розчинах органічних кислот показали, що присутність незначної кількості фульвової кислоти істотно уповільнює швидкість розчинення флюориту в порівнянні з чистою водою, тобто органічні кислоти слугують інгібітором розчинення цього мінералу. Залежно від зміни зазначених параметрів обрховано константи розчинення флюориту в природних умовах, що визначають утворення екзогенних ореолів фтору над рудопроявами і тектонічними порушеннями глибокого залягання.

Доведено, що під час пошуків корисних копалин за накладеними ореолами фтору необхідно в умовах конкретного геохімічного ландшафту проводити попереднє кінетичне вивчення процесу десорбції фтору з метою добору оптимального терміну водної витяжки. Був запропонований принципово новий методичний підхід: доведено доцільність використання гідрофторометричного методу на основі термодинамічного аналізу природної системи "розчин — порода" з визначенням ступеня насиченості води фтором і направленості природного процесу. Це дало можливість, базуючись на засадах нового підходу, розробити і побудувати прогнозні гідрофторометричні карти за насиченістю води фтором для розбракування аномального вмісту і виділення аномалій, пов'язаних із проявами плавикового шпату і зонами тектонічних порушень. Доведено необхідність аналізувати, в першу чергу, вміст фтору в глинистій складовій, застосовуючи літофторометричний метод. Створено й випробувано новий польовий експрес-метод —

десорбційно-фторометричний, заснований на потенціометричному визначенні вмісту фтору у водній витяжці.

Обґрунтовано доцільність комплексування й етапність застосування цих трьох методів для виконання рекогносціювальних, прогнозно-пошукових і пошукових робіт. Гідрофторометричний метод рекомендований для дрібномасштабного картування і регіональних прогнозно-оціночних робіт; літофторометричний — середньомасштабного картування і пошукових робіт; десорбційно-фторометричний — великомасштабного картування і детальних геохімічних пошуків або як польовий експрес-метод пошуку родовищ корисних копалин глибокого залягання під час опробування за потоками розсіювання чи площиною.

Ефективність геохімічних методів пошуків за накладеними ореолами фтору доведена численними прикладами вивчення різних руднофлюоритових формацій, трасуванням зон тектонічних порушень — Гусятинської, Сатанівської, Каменської, Подільської і багатьох ін., а також відкриттям Бахтинського родовища флюориту, Збручанського родовища мінеральних вод і цілої низки рудопроявів. Широке застосування фторометричних методів під час вивчення основних закономірностей розподілу фтору на території УЩ і прилеглих регіонів у комплексі з геолого-структурними, літофаціальними, мінералого-петрографічними, геохімічними, металогенічними та іншими даними дозволили виділити дев'ять рудних тектонічних вузлів, площі яких найбільш перспективні для пошуків флюориту й інших корисних копалин рудно-флюоритових формацій (Е. Я. Жовинський, 1985).

Вперше впроваджено геохімічний метод пошуків за рухомими формами хімічних елементів (на прикладі низки рудопроявів і родовищ на території УЩ: Прутівський рудопрояв (Cu-Ni зруденіння); рідкісноземельний рудопрояв "Балка Корабельна"; Бобринецький рудопрояв флюориту (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, 2002); Пержанський рудопрояв рідкісноземельно-

флюоритового зруденіння; Селищанське скарново-вольфрамове зруденіння; Новоселівський рудопрояв молібдену; Рафалівський рудопрояв міді; Східно-Липовеньківський рудопрояв хрому; Жданівський мафіт-ультрамафітовий масив; Полохівське родовище петалітів (Е. Я. Жовинський, Н. О. Крюченко, О. А. Жук, 2002–2007).

Вперше складено карту флюоритовості масштабу 1 : 500 000 та створено базу даних по родовищах, рудопроявах, мінеральних знахідках флюориту. Розроблено рекомендації щодо виявлення рудно-флюоритових формацій на території УЩ та його обрамлення (Е. Я. Жовинський, Н. О. Крюченко, О. А. Жук, 2007).

На прикладі рідкіснометалево-флюоритових рудопроявів району Пержанського рудного поля встановлено, що крім рухомих форм фтору обмінні форми важких металів утворюють чіткі аномалії безпосередньо над рудним тілом. Геохімічні пошуки за вторинними сольовими ореолами розсіювання з врахуванням кінетики процесу десорбції і даних про рухомі форми хімічних елементів дозволили виявити геохімічні аномалії, пов'язані з рудопроявами в різних геологоструктурних і ландшафтно-геохімічних умовах УЩ. Виявлено закономірності геохімічної поведінки елементів-індикаторів над рудопроявами та родовищами металевих корисних копалин, що дозволило розробити найбільш ефективні геохімічні методи пошуків із застосуванням математичного моделювання. Визначені можливості застосування методу рухомих форм хімічних елементів на глибині понад 100 м. Розроблено рекомендації з використання геохімічних методів з визначенням форм знаходження елементів для розбракування техногенних та природних аномалій. За допомогою методів термодинамічного аналізу та математичного моделювання вперше встановлено основні форми міграції хімічних елементів у різних типах ґрунтів над рудопроявами території УЩ і встановлено, що катіонні і аніонні форми є найбільш ефективними елементами-

індикаторами геохімічних пошуків. Розроблено теоретичні основи визначення кількісного зв'язку інтегрального вмісту хімічного елементу по площі вторинного сольового ореолу з його інтегральним вмістом по площі рудопрояву (Е. Я. Жовинський, Н. О. Крюченко, Н. П. Іваненко, 2007).

Співробітниками Інституту було досліджено вплив вмісту важких металів на мікробіоту ґрунту поблизу Південного гірничозбагачувального комбінату та Криворізького металургійного заводу (Криворіжсталь). Досліджено резистентність, хемотропні реакції та сорбційну здатність мікроміцетів щодо іонів важких металів (І. В. Кураєва, А. І. Самчук).

Вперше встановлено і обґрунтовано коефіцієнт біологічної активності фтору в природних водах, що враховує синергетичні зв'язки його з іншими елементами. За цим коефіцієнтом можна визначати ступінь екологічного ризику територій та вплив питних вод на розвиток ендемічної захворюваності населення (Н. О. Крюченко, 2002).

З метою виявлення індикаторів забруднення навколишнього середовища важкими металами проведені дослідження рослинності на території Українського Полісся. Досліджений валовий вміст мікроелементів у попелі деревної рослинності, розраховані показники коефіцієнтів біологічного поглинання. Визначено, що найбільше в деревах накопичуються мідь, олово та манган (А. І. Самчук, І. В. Кураєва).

З сучасних напрямків гідрогеохімії, над якими протягом декількох десятиліть працюють співробітники Інституту, слід відмітити пошукову гідрогеохімію, фізико-хімічне моделювання, екологічну гідрогеохімію.

Виявлено закономірності розподілу фтору в підземних водах водоносних комплексів, які використовуються для питного водопостачання Львівської, Одеської та Полтавської областей. Визначено основні геохімічні умови формування питних підземних вод з різним вмістом

фтору. Виявлено основні фізико-хімічні умови утворення різних сполук фтору та проведено районування території України за вмістом фтору в питних водах. На прикладі вивчення підвищених значень концентрації фтору у воді та його впливу на організм людини показана необхідність комплексного дослідження, що включає загальнохімічні методи, антропометричні дослідження, стан фактичного харчування, структурно-функціональний стан кісткової тканини тощо. Тільки в такому разі можна вважати достовірною інформацію щодо параметрів джерел ендемічних захворювань (Н. О. Крюченко, 2002).

За даними понад тридцятирічних геохімічних досліджень, що проводять співробітники Інституту, в Україні встановлені регіони з недостатнім вмістом або надлишком есенціальних елементів (мідь, цинк, кобальт, манган, бром та ін.). Досліджено території з небезпечним для проживання людини рівнем забруднення природного середовища (гірських порід, ґрунтових відкладів, підземних та поверхневих вод) токсичними елементами, що віднесені до першого класу небезпеки — ртуть, арсен, селен, кадмій, свинець, цинк, фтор. Виявлено закономірності розподілу та умов фізико-хімічної міграції елементів у природній системі ґрунт — природний розчин — рослина. Встановлено, що основними фізико-хімічними процесами, які визначають геохімічну поведінку мікроелементів у біокосних системах, є комплексоутворення, розчинність, сорбція. Визначені та розраховані параметри техногенної міграції токсичних елементів на урбанізованих територіях, що характеризуються різним ступенем техногенного навантаження, а також розподілу важких металів у ґрунтах, біосі та організмі людини в зоні впливу техногенних об'єктів.

У результаті фундаментальних багаторічних досліджень розроблені узагальнюючі підходи до еколого-геохімічного картування та оцінки ступеня екологічного ризику територій з різним антропогенним навантаженням. На підставі визначення особливостей хімічного складу ґрунтів прове-

дено оцінку екологічного стану заповідників України: "Станично-Луганський", "Провальський степ", "Клепініно", "Сонячне", розташованих у різних еколого-геохімічних зонах (Е. Я. Жовинський, І. В. Кураєва, В. Й. Манічев, Н. О. Крюченко, А. І. Радченко, О. А. Жук, 2005).

Картування територій і створення за його результатами банку еколого-геохімічних даних — найбільш доцільна і змістовна форма зберігання та представлення інформації, що дозволяє комплексно вирішувати різнопланові господарські задачі. Серед них розробка технології визначення ступеня забруднення ґрунтів токсичними елементами та їх рухомими формами; токсичних елементів у трофічному ланцюгу ґрунт — вода — рослина — тварина — людина; виявлення й оконтурювання територій, небезпечних для проживання чи ведення народного господарства; виділення територій, придатних до вирощування екологічно чистої продукції; розробка моделі еколого-геохімічної карти України як основи для створення тематичного атласу екологічного стану території нашої держави. Відповідно до сучасних уявлень про закономірності розподілу і умов фізико-хімічної міграції мікроелементів розроблена базова методика створення еколого-геохімічних карт, сформульовані вимоги до їх тематичного навантаження під час використання як традиційних методів картування, так із застосуванням ГІС-технологій. Перші успішні спроби створення комплексних моно- і поліелементних комп'ютерних карт за показниками рухомості міді, цинку, нікелю й кобальту були проведені для одного з районів Києва і території Київської обл. під час виконання наукових досліджень за загальнодержавною програмою "Земельні ресурси".

Особливо слід виділити комплексний характер досліджень, які тривають сьогодні для вирішення екологічних проблем, що характеризує системність підходу до вирішення як теоретичних, так і прикладних задач сучасної екології на території України. Це розробка і застосування різноманітних методик установлен-

ня рухомості важких металів у ґрунтах і чинників, що на неї впливають; виділення фонових значень вмісту важких металів у ґрунтах як критеріїв природного накопичення на прикладі заповідних зон і рудопроявів України: еколого-геохімічне картування ґрунтових відкладів за рухомими формами хімічних елементів; створення методики визначення ступеня екологічного ризику території за рухомими формами токсичних елементів у ґрунтах і геологічному середовищі природних та техногенних ландшафтів. Цьому питанню присвячені публікації останніх років: "К методике определения подвижных форм тяжелых металлов органической составляющей дерново-подзолистых почв" (1996), "Влияние буферной способности почв на подвижность цинка" (1996), "Тяжелые металлы в почвах заповедных зон Украины" (1997), "Моделирование сорбции тяжелых металлов глинистыми минералами почв" (2001), "Геохимічні критерії оцінки ступеня забруднення ґрунтів" (2003), "Определение территорий экологического риска по подвижным формам токсичных элементов" (2003).

У рамках міжнародної концепції про стійкий екологічний розвиток країн світового співтовариства за ініціативою і під керівництвом Е. Я. Жовинського вперше в Україні наприкінці 1980-х рр. були розпочаті і тривають до сьогодні масштабні дослідження еколого-геохімічного стану ґрунтів об'єктів заповідного фонду України (включаючи біосферні заповідники і національні парки). За результатами цих досліджень створюється комплексна система моніторингу заповідних і прилеглих до них територій з різним антропогенним навантаженням.

Пошук корисних копалин, створення власної мінерально-сировинної бази в Україні і нерозривно пов'язані з цим питання охорони навколишнього середовища набули натепер першочергового значення.

Треба відмітити, що в Інституті за ініціативою та під керівництвом Е. Я. Жовинського створена наукова школа пошукової та екологічної геохімії, у межах

якої підготовлені фахівці (І. В. Кураєва, А. І. Радченко, Н. О. Крюченко, С. М. Кулик та ін.), які активно розвивають ці наукові напрямки.

Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М. П. Семененка НАН України, Київ

Надійшла 13.08.2008

РЕЗЮМЕ. В статті коротко охарактеризован вклад спеціалістів Інститута геохімії, мінералогії і рудообразовання ім. Н. П. Семененко НАН України в розвитку основних напрямів пошукової і екологічної геохімії — геохімії ландшафтів, геохімії осадових порід, процесів литогенеза і гипергенеза, геохімії ґрунтів і окремих елементів, геохімічних методів пошуку, біогеохімії, гідрогеохімії, медичної геохімії, еколого-геохімічного картирования.

SUMMARY. The paper gives a brief characteristic of contribution of specialists from M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine to development of the main trends of exploration and ecological geochemistry: landscape geochemistry, geochemistry of sedimentary rocks, lithogenesis and hypergenesis processes, soil geochemistry, geochemistry of certain elements, geochemical methods of exploration, biogeochemistry, hydrogeochemistry, medical geochemistry, ecologo-geochemical mapping.