

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.40.04.005>

УДК 550.93

О.М. Пономаренко¹, Е.Я. Жовинський¹,
Л.М. Степанюк¹, В.М. Загнітко², І.В. Кураєва¹

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України
03142, м. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: stpaniuk@nas.gov.ua

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Навчально-науковий інститут "Інститут геології"
03022, м. Київ, Україна, вул. Васильківська, 90
E-mail: zagnitkow@i.ua

ГЕОХІМІЯ В ІНСТИТУТІ ГЕОХІМІЇ, МІНЕРАЛОГІЇ ТА РУДОУТВОРЕННЯ імені М.П. СЕМЕНЕНКА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Надано історичний опис розвитку наукових досліджень за геохімічними напрямками в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка (ІГМР) Національної академії наук України — ізотопної геології та геохронології, регіональної геохімії, пошукової та екологічної геохімії тощо (за період від створення Інституту до нині). У напрямі ізотопної геохімії та радіогеохронології, який був започаткований в Україні та отримав найбільший розвиток в ІГМР завдяки науковим дослідженням М.П. Семененка, М.П. Щербака та їхніх учнів, продатовано усі найголовніші петротипи та комплекси гірських порід, встановлено основні хронологічні рубежі геологічних подій, створено сучасну стратиграфічну шкалу докембрійських утворень, яка приведена у відповідність із міжнародними схемами. Саме в ІГМР був започаткований новий науковий напрям геологічних наук — ізотопна геологія, що синтезує дослідження в галузях мінералогії, петрографії, геохронології та геохімії стабільних ізотопів. Поєднання усіх цих досліджень дало змогу визначити не тільки вік породних комплексів, але й їх генезис та фізико-хімічні умови утворення порід та мінералів. Визнання отримали розроблені в Інституті геохімічні методи пошуків за рухомими формами хімічних елементів. Завдяки цим методам на території Українського щита виявлено перспективні площі силікатно-нікелевих руд, молібденовий рудопрояв, ділянки флюоритизації. Розроблено концепцію визначення кількісного зв'язку інтегрального вмісту хімічних елементів загальної площі вторинного сольового ореолу з його інтегральним вмістом на поверхні рудного тіла глибокого залягання, що відкриває нові можливості локального прогнозування та пошуків корисних копалин. Вивчено закономірності розподілу хімічних елементів та їхніх сполук в об'єктах навколишнього середовища (грунти, води, донні осадки, сніг) в умовах міських агломерацій. Аналогічні дослідження виконано для агроландшафтів різних природних зон України, що дозволило визначити фонові та аномальні концентрації ряду хімічних елементів різних ландшафтно-геохімічних зон України. Детальні дослідження проведено на території Карпатського біосферного заповідника як приклад комплексних еколого-геохімічних досліджень із визначенням фонових та аномального вмісту хімічних елементів в об'єктах довкілля різних гірських ландшафтів, виявлення особливостей рудних та техногенних аномалій, а також літо-біогеохімічних індикаторів техногенного забруднення.

Ключові слова: ізотопна геологія, геохронологія, пошукова геохімія, екологічна геохімія.

Вступ. У 2018 році Національній академії наук України виповнюється 100 років. Створена у важкі роки становлення державності гетьма-

ном України П.П. Скоропадським та видатним ученим академіком В.І. Вернадським Національна академія наук (НАН) України є осередком наукових знань і рушієм науково-технічного прогресу нашої Батьківщини. Дотепер одним із основних "товарів" експорту є гірни-

© О.М. ПОНОМАРЕНКО, Е.Я. ЖОВИНСЬКИЙ,
Л.М. СТЕПАНЮК, В.М. ЗАГНІТКО, І.В. КУРАЄВА, 2018

чорудна сировина та продукти її переробки. Не останню роль у створенні гірничорудного потенціалу України відіграли науково-дослідні інститути Академії наук України. У зв'язку з сотою річницею НАН України ми хочемо підбити підсумки наукової діяльності нашого інституту — Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України.

Під час створення у 1926 р. Інституту геології Всеукраїнської академії наук України (ВУАН) у його складі була організована лабораторія механічного і хімічного аналізу, з якої 1937 року виділилася самостійна хіміко-аналітична лабораторія, очолювана проф. М.О. Тананаєвим. Тоді ж у складі Сектору мінералогії і петрографії цього Інституту була створена геохімічна секція, трансформована потім у відділ, який очолював член-кореспондент Української академії наук Є.С. Бурксер. У відділі були започатковані систематичні роботи з геохімії рідкісних і розсіяних елементів, а також гідрохімічні та радіологічні дослідження. Окрім Є.С. Бурксера у ній на той час працювали М.М. Івантишин, Ю.Я. Горний та інші дослідники. У 1955 р. була створена лабораторія абсолютного віку гірських порід, яка потім трансформувалася у відділ абсолютного віку і ядерних процесів. Після смерті Є.С. Бурксера (1965) цей відділ очолив М.П. Щербак.

Новий етап розвитку геохімії пов'язаний зі створенням у 1969 р. Інституту геохімії і фізики мінералів*. На той час у його складі було три відділи геохімічного профілю: регіональної геохімії (д-р геол.-мін. наук Б.Ф. Міцкевич), геохімії ізотопів і радіогеохронології (акад. М.П. Щербак), ядерної геохімії і космохімії (акад. Е.В. Собонович). Відділ регіональної геохімії у 1987 р. був реорганізований у відділ геохімії докембрійських формацій; керував ним Б.Ф. Міцкевич, а з 1990 р. — д-р геол.-мін. наук К.Ю. Єсипчук.

Саме тоді з'явилися фундаментальні праці М.П. Семененка, Е.В. Собоновича, В.Ю. Ветштейна, І.П. Лугової, М.П. Щербака, Б.Ф. Міцкевича та ін. [1, 2, 8—19, 24—25]. Багато найновіших геохімічних ідей того часу реалізова-

но названими та іншими вченими в Україні. Зокрема, започатковано ізотопно-геохімічні дослідження. Окрім згаданих вище робіт Є.С. Бурксера, визначними були також роботи О.І. Бродського з колегами, які вже 1937 року могли розділити ізотопи водню та кисню на сконструйованих ними приладах. Геохімічні дослідження завжди займали особливе місце у науковій роботі М.П. Семененка і дали матеріал для багатьох праць [17—19 та ін.]. Деякі з них присвячені розробці геохімічної систематики спектрів хімічних елементів, базованої на їхніх енергетичних параметрах, інші — обґрунтуванню закономірностей розподілу груп елементів у природі. М.П. Семененко виділив геохімічні параметри супутніх елементів, що визначають закономірності їх концентрацій, пов'язані з природою ізоморфізму. Залежно від геохімічної ролі вони об'єднані у такі основні групи: породоутворювальні, рідкіснолужні та лужноземельні, літофільні елементи перехідних металів, сидерофільні, халькофільні, неметали — мінералізатори та атмофільні. Фундаментальним положенням геохімії є визначення М.П. Семененком провідної ролі кисню та водню у сферах Землі, направленою процесу еволюції її флюїдного режиму та енергетичного навантаження. Диференціація малих елементів пов'язана з диференціацією породоутворювальних елементів у різних формаціях літосфери. М.П. Семененко дав кількісну оцінку диференціації малих елементів у різних геологічних формаціях — кератофірових, алюмосилікатних, кислих та середніх, метабазитових та залізо-кремнієвих. Інформативним геологічним критерієм є співвідношення елементів у середині груп. Склад газової компоненти — один із провідних геологічних критеріїв, що використовується для аналізу умов утворення рудних родовищ. Вивчення складу газової компоненти у геологічних формаціях докембрію показало відновний її характер (H_2 , CH_4 , CO). Зроблено висновки про первинні та вторинні флюїди. Відновний характер газової складової посилюється на ділянках рудоутворення, що спостерігається у багатьох метасоматичних зонах Українського щита (УЩ). Такі газові аномалії можуть бути провідниками до глибинних полів концентрації рудних елементів.

Однією з головних праць усього життя М.П. Семененка є "Кислородно-водородная модель Земли", що вийшла спочатку окремим ви-

* 09.01.1969 р. створено Інститут геохімії і фізики мінералів (ІГФМ) Академії наук (АН) УРСР за постановою Ради Міністрів УРСР № 649 від 23.12.1968 р. і постановою Президії АН УРСР № 4 від 09.01.1996 р.

данням (ІГФМ, 1974), а потім, майже через 10 років, окремою книжкою "Геохимия сфер Земли" (1983). Із вказаної моделі випливає дуже багато практичних висновків. Подальші роботи фахівців підтвержували як теоретичні положення цієї роботи, так і прикладні її аспекти.

1982 року за підтримки Президента НАН України академіка Б.Є. Патона у відділі метасоматичних і гідротермальних процесів була організована лабораторія літогеохімічних методів пошуків корисних копалин, на базі якої в 1989 р. був створений відділ пошукової та екологічної геохімії (чл.-кор. НАН України Е.Я. Жовинський). Відділ ядерної геохімії і космохімії разом з відділом мінералогії і геохімії гіпергенезу (канд. геол.-мін. наук М.П. Мовчан) та відділом геохімії трансуранових елементів (д-р геол.-мін. наук Г.М. Бондаренко) увійшов у 1991 р. до складу Відділення радіогеохімії навколишнього середовища, очолюваного академіком НАН України Е.В. Соболичем.

У зв'язку з посиленням рудно-металогенічного напрямку рішенням Президії АН України 1993 року Інститут геохімії і фізики мінералів було перейменовано в Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення Академії наук України**.

Ізотопна геологія та геохронологія. Традиційно до ізотопної геології зараховують геохімію ізотопів і радіогеохронологію. Геохімія ізотопів — розділ геохімії, що вивчає ізотопний склад і поведінку легких ізотопів (водню, вуглецю, кисню, азоту, сірки та ін.) у мінералах і гірських породах, їх розподіл між різними мінеральними фазами. Ці дослідження спрямовані на визначення *РТ*-умов формування та генезису вмісних порід. Радіогеохронологія займається проблемами геологічного віку порід і їх генезису (верхня кора чи мантія).

В Україні найбільшого розвитку ізотопно-геохімічні та радіогеохронологічні дослідження набули в 1980-х рр. У цей час радіогеохронологічні дослідження проводили в Інституті геологічних наук (ІГН) АН УРСР, де для визначення віку використовували калій-аргоновий

ізотопний метод, та в ІГФМ АН УРСР (нині ІГМР НАН України), де вік визначали калій-аргоновим, рубідій-стронцієвим та уран-свинцевим ізотопними методами. В цілому у відділі геохімії ізотопів і радіогеохронології ІГМР тоді за цим науковим методом працювали близько 40 науковців, понад 15 випускників геологічних факультетів навчалися в аспірантурі.

Результати радіогеохронологічних досліджень 1980-х років висвітлені в численних статтях та узагальнені в монографії [11]. В цей період було визначено вік порід переважної більшості інтрузивних комплексів УЩ, метавулканітів зеленокам'яних структур східної частини УЩ, з'ясовано час формування кристалічних порід Українських Карпат. Визначено час протікання деяких рудних процесів, зокрема альбітизації та формування супутнього уранового зруденіння. Значного розвитку набула лабораторна база: використання більш чутливих мас-спектрометрів МІ-1320, разом з новою методикою хімічної підготовки зразків та створення безпилової лабораторії дало змогу перейти до датування наважок цирконів масою 1–2 мг замість 0,5–0,6 г.

Нині Інститут — єдиний в Україні науковий центр з визначення віку гірських порід ізотопними методами та вивчення ізотопного складу легких елементів. Починаючи з 2008 р. тривають активні дослідження з ізотопної геології у відділах геохімії ізотопів і мас-спектрометрії (акад. НАН України О.М. Пономаренко), радіогеохронології (чл.-кор. НАН України Л.М. Степанюк), геології та хроностратиграфії докембрію (проф. Г.В. Артеменко) і геології та геохімії рудних родовищ (д-р геол. наук В.О. Сьомка).

Саме в Україні, зокрема в ІГМР, був започаткований новий науковий напрям геологічних наук — **ізотопна петрологія**, яка синтезує дослідження в галузях мінералогії, петрографії, геохронології та геохімії стабільних ізотопів (М.П. Щербак, В.М. Загнітко, І.П. Лугова). Завдяки поєднанню всіх цих досліджень визначено не тільки вік порід, але й їх генезис та фізико-хімічні умови утворення порід та мінералів. Вперше у світі в ІГМР виконано синтез циркону з паралельним вимірюванням ізотопного складу кисню в кристалічній фазі та воді за різної температури, на основі чого були побудовані ізотопні геотермометри. Грунтуючись на розрахунках за такими геотермометрами, австралійські та американські колеги вивчили

** За постановою № 45 від 18.02.1993 р. Президії АН України ІГФМ перейменовано в Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення (ІГМР) Академії наук (АН) України; за постановою № 326 від 07.12.2006 р. Президії НАН України — в Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка Національної академії наук (НАН) України.

ізотопний склад кисню у найдавніших цирконах Землі (4,3—4,4 млрд рр.) і дійшли сенсаційного висновку про наявність континентальної кори уже через 100—200 млн рр. після утворення планети Земля. Значними є досягнення ізотопної петрології й у вирішенні питань генезису карбонатитів, пара- та ортопорід, металічних і неметалічних родовищ, каустобіолітів та ін.

Досягнення, здобуті українськими вченими-геологами, значною мірою обумовлені великим обсягом польових робіт у цілому та виконанням масштабних бурових робіт виробничими організаціями Мінгео УРСР.

Ретроспективний огляд свідчить про переважне фінансування бурових робіт і лабораторних досліджень керна матеріалу, який зазвичай окрім виготовлення шліфів основних типів порід та їх петрографічного опису, обмежувався вивченням складу за допомогою спектрального методу. З різних причин, часто через брак керна ящиків, керна скорочували, або навіть анулювали.

Від моменту набуття державою незалежності українська наука в цілому і геологічна зокрема переживає перманентний спад із незначними короткими періодами підйому. У перші роки ХХІ століття відбувся новий, але, на жаль, нетривалий підйом ізотопної геології. Нові прилади — п'яти- та восьмиколекторний мас-спектрометри МИ-1201 (виробництво ВАТ "СЕЛМІ", м. Суми), посилили лабораторну базу радіогеохронології, уможливили впровадження самарій-неодимового ізотопного методу визначення віку та використання ізотопного співвідношення $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ як індикаторного для з'ясування походження (верхня кора чи мантия) родоначальних розплавів магматичних порід. Майже на порядок зменшилися похибки вимірювання ізотопних співвідношень під час визначення ізотопного складу свинцю та стронцію. У деяких випадках похибки визначення віку уран-свинцевим ізотопним методом (0,5—2 млн рр.) є меншими за час кристалізації великих мас силікатних розплавів (перші десятки мільйонів років).

Значно більшого масштабу, порівняно з радянським періодом, набули міжнародні зв'язки. Завдяки співробітництву з науковцями провідних лабораторій Європи, у т. ч. Королівського музею натуральної історії Швеції, отримано перші визначення модельного віку порід західної частини УЩ самарій-неодимовим ізо-

топним методом і віку різних генерацій цирконів із порід гранулітової асоціації Побужжя.

Зважаючи на багатоетапність формування земної кори та провідну роль гранітоїдів у будові УЩ, неоціненною є міжнародна співпраця в датуванні полігенних і поліхромних кристалів цирконів локальними методами *SHRIMP*, *LA-ICP-MS*).

За цей час радіогеохронологи практично закрили питання часу формування гранітоїдів УЩ і з'ясували, що породи зеленокам'яних структур східної частини УЩ сформувалися в мезоархеї; мезоархейський вік визначено і для амфіболіт-гнейсової асоціації Середнього Придніпров'я. Встановлено, що гранулітова породна асоціація Побужжя формувалася понад 1,6 млрд рр. Найдавнішими є породи, поширені в басейні р. Пд. Буг між містами Гайворон і Первомайськ. Вони неодноразово зазнавали структурно-метаморфічних перетворень, *PT*-параметри яких коливалися від амфіболітової до гранулітової фації. Завершальні ендегенні процеси, що вплинули на ці утворення, відбулись у палеопротерозої (2,06—1,91 млрд рр. тому) і супроводжувалися вкоріненням жил габроїдів, метасоматозом, метаморфізмом і супутнім йому палінгенно-анатектичним гранітоутворенням.

Однозначно доведено, що породи фундаменту Волинського мегаблоку сформувалися в палеопротерозої (включаючи Осницький блок 2,3—1,95 млрд рр. тому). Архейські ізотопні дати отримано виключно для поодиноких ядер у кристалах цирконів із метавулканітів новгород-волинської товщі та деяких масивів гранітів житомирського комплексу. Ці результати узагальнені в двох монографіях [23, 24].

Протерозойський вік показали результати датування валових проб порід самарій-неодимовим ізотопним методом Росинсько-Тикицького мегаблоку та гранулітової асоціації Верхнього Побужжя.

Кількість науковців, які займаються нині радіогеохронологічними дослідженнями, зменшилася до дев'яти. Із п'яти молодих фахівців, що закінчили аспірантуру протягом останніх десяти років, захистилися чотири, але у відділі радіогеохронології досі працює один. При цьому у різних організаціях геологічного профілю працюють ще два кандидати геологічних наук.

Польові роботи скоротилися до неможливого. Тривалість польових досліджень у середньому на рік не перевищує 30 людино-днів.

Ситуацію дещо рятує те, що сьогодні необхідний для визначення віку об'єм зразків гірських порід складає 1–3 кг.

Ізотопно-геохімічні та радіогеохронологічні дослідження вкрай необхідні з багатьох причин. Насамперед для побудови кондиційних геологічних карт. Геологічні карти є картами історичними і для їх побудови час формування порід є ключовою умовою.

Для молодих незмінених накладеними геологічними процесами порід основним методом визначення віку є палеонтологічний. Магматичні і докембрійські метаморфічні породи не містять органічних решток, тому для визначення їхнього віку основними і часто єдиними придатними є радіогеохронологічні методи.

Пошукова та екологічна геохімія. Активна експлуатація сировинних мінеральних ресурсів на початку ХХ століття сприяла розвитку геохімічних досліджень прикладного напрямку. "Застосування законів і висновків геохімії до проблем практичного характеру змусило виділити цілу область геохімічних дисциплін — прикладну геохімію" (О.Є. Ферсман, 1903). Проблеми прикладної геохімії об'єднують широке коло напрямів, серед яких особливий розвиток отримала на початку 1950-х рр. пошукова геохімія, а починаючи з 1970-х рр. — екологічна геохімія.

Бурхливий розвиток *пошукової геохімії* в Україні в 1950-х рр. і різкий спад на початку 1990-х пояснюється низкою причин: по-перше, родовища корисних копалин, що виходять на земну поверхню або залягають неглибоко, до цього часу вже були відкриті; по-друге, стало значно більше територій із підвищеним вмістом хімічних елементів у об'єктах довкілля за рахунок антропогенного навантаження. Тому в умовах переходу до пошуків родовищ корисних копалин, що залягають на значній глибині, потрібно було розробити нові, більш економічні та ефективні методи.

Розробка геохімічних методів пошуків корисних копалин і з'ясування умов їх застосування на Україні базується на результатах ландшафтно-геохімічних досліджень, а також на фізико-хімічних параметрах, отриманих за допомогою термодинамічного аналізу, експериментальних досліджень і математичного моделювання.

Ландшафтно-геохімічні дослідження стали основою районування території України за умовами ведення геохімічної зйомки [3, 11].

Роботи з геохімії окремих елементів із використанням термодинамічного аналізу і фізико-хімічних методів дослідження дали змогу розробити в ІГМР принципово нові літогеохімічні методи пошуків корисних копалин, трасування зон тектонічних порушень і вирішення інших геологічних задач. Наприклад, результати вивчення геохімії фтору спростували панівні уявлення про його незначну рухомість у зоні гіпергенезу і довели, що над родовищами корисних копалин глибокого залягання, зонами вторинної зміни порід і тектонічними порушеннями утворюються аномалії вмісту рухомих форм фтору. Це склало основу розробки фторометричних методів пошуків родовищ корисних копалин, передовсім, геохімічних методів пошуків за вторинними ореолами фтору [5]. Використання цього методу призвело до відкриття ряду рудопроявів і родовищ флюориту в Україні. Вперше у ході розробки геохімічних методів пошуків був використаний термодинамічний аналіз умов рівноваги системи розчин — порода, що дає змогу визначати навіть спрямування природних процесів, виконувати розбракування рудних та техногенних аномалій і вдосконалювати гідрогеохімічний метод пошуків.

Розроблені в Інституті геохімічні методи пошуків за рухомими формами хімічних елементів отримали визнання. Завдяки цим методам на території УЩ виявлено перспективні площі силікатно-нікелевих руд (Східно-Липовеньківська ділянка, Кіровоградська обл.), молібденовий рудопрояв (Ясинецька ділянка, Житомирська обл.), ділянки флюоритизації (Бобринецька, Кіровоградська обл.; Пержанська, Житомирська обл.) та ін. Сформульована концепція визначення кількісного зв'язку інтегрального вмісту хімічних елементів загальної площі вторинного сольового ореолу з його інтегральним вмістом на поверхні рудного тіла глибокого залягання відкриває нові можливості локального прогнозування та пошуків корисних копалин [9].

Геохімія навколишнього середовища є багатогранною галуззю знань. — Акумуляція досягнень актуальних напрямів розвитку *екологічної геохімії* — геохімії ландшафтів, геохімії ґрунтів, екологічної гідрогеохімії, біогеохімії, урбогеохімії, мікроелементології, фізико-хімічного моделювання геохімічних процесів — забезпечує комплексний підхід до вивчення довкілля.

За короткий час були вивчені закономірності розподілу хімічних елементів та їхніх сполук в об'єктах навколишнього середовища (грунти, води, донні осадки, сніг) в умовах міських агломерацій. Аналогічні дослідження виконано для агроландшафтів різних природних зон України: визначено фонові та аномальні концентрації ряду хімічних елементів у різних ландшафтно-геохімічних зонах України [3]. Детальні дослідження виконано на території Карпатського біосферного заповідника [6]. Вони є прикладом комплексних еколого-геохімічних досліджень з визначення фонового та аномального вмісту хімічних елементів в об'єктах довкілля різних гірських ландшафтів, виявлення особливостей рудних і техногенних аномалій, та літо-, біогеохімічних індикаторів техногенного забруднення [6, 8].

Для з'ясування закономірностей міграції поліютантів в об'єктах навколишнього середовища особливу увагу треба приділяти дослідженню формоутворення хімічних сполук у ґрунтах. Визначення форм знаходження надзвичайно важливе для дослідження біогеохімічних процесів трансформації сполук у біокосних системах. Проведено значний об'єм експериментальних та аналітичних робіт з визначення впливу фізико-хімічних властивостей ґрунтовопоглинальних комплексів, комплексоутворення та сорбції на мобільні форми мікроелементів. Завдяки цьому розроблено молекулярно-колоїдну модель утворення мобільних форм токсичних елементів у ґрунтах. Розроблена модель успішно використовується у еколого-геохімічних дослідженнях техногенно порушених і умовно чистих територій [16].

Накопичено великий фактичний матеріал щодо закономірностей розподілу хімічних елементів в об'єктах довкілля техногенно забруднених ландшафтів України (міст Алчевськ, Запоріжжя, Кам'янське, Київ, Маріуполь, с.м.т. Побузьке, Шостка тощо).

Ці роботи дали змогу комплексно оцінити еколого-геохімічний стан урбанізованих територій, ділянок, що підлягають впливу чорної, кольорової металургії, хімічної промисловості; визначити характерні геохімічні асоціації та побудувати відповідні карти моно- та поліелементного забруднення. Обґрунтовано кількісні критерії окреслення техногенних геохімічних аномалій важких металів на основі визначення форм їх знаходження і показників рухомості у ґрунтах, рослинності та донних відкладах [8].

Визначено кількісні і якісні зміни біогеохімічних показників ґрунтів на основі дослідження коефіцієнтів переходу і накопичення важких металів у різних частинах рослин, а також мікробіологічних угруповань у зонах впливу підприємств чорної металургії та на урбанізованих територіях.

Виявлені закономірності розподілу хімічних елементів в об'єктах довкілля та умов їх міграції та концентрації, а також результати експериментальних робіт з визначення сорбції та десорбції речовин середовища депонування, уможливили не тільки виявлення території екологічної небезпеки, але напрацювання рекомендації щодо їх ліквідації. Так, наприклад, після виявлення природного аномального вмісту фтору в підземних (питних) водах буцацько-канівського водоносного горизонту, що використовуються для водопостачання Полтавської області, було розроблено технологію очищення вод від фтору модифікованим кліноптилолітом, збагаченим алюмінієм [3].

У питних водах Київської агломерації визначено основні форми міграції хімічних елементів за допомогою методів термодинамічного аналізу та математичного моделювання і надано пропозиції стосовно комплексної екологічної оцінки цих вод на основі врахування біологічнозначущої концентрації [3, 10].

За результатами досліджень доведено, що основою для виявлення територій екологічної небезпеки повинні стати принципово нові комплексні еколого-геохімічні карти, які міститимуть повну інформацію про геохімічні особливості об'єктів довкілля та міграції мікроелементів у трофічному ланцюгу.

У багатьох країнах здійснено геохімічне картування ґрунтів із використанням найсучасніших аналітичних методів. Але на таких картах ("Атлас геохімічних карт сільськогосподарських угідь Європи", 2014 р. та ін.) ураховано зазвичай сумарний вміст хімічних елементів, що не дає можливості визначити зони реальної небезпеки, тобто зони переходу мікроелементів із ґрунтів у рослини та природні води). Ці питання можна розглядати і вирішувати за допомогою нових еколого-геохімічних карт за рухомими формами хімічних елементів, технології побудови яких розроблені в Інституті.

Концепція еколого-геохімічного картування враховує особливості хімічних елементів та їх сполук, а також умови міграції у трофічному ланцюгу "ґрунт, гірська порода — вода — рос-

лина — тварина — людина", комплексну інформацію про стан довкілля, особливості та можливі наслідки виникнення природних і техногенних еколого-геохімічних небезпек.

Під час досліджень як пошукова, так і екологічна геохімія використовують єдині аналітичні методи та технології визначення вмісту хімічних елементів та їх сполук в об'єктах довкілля, що стає основою багатоцільових еколого-геохімічних карт. Такі карти дають змогу визначати природу виявлених геохімічних аномалій і використовувати їх для локального прогнозування корисних копалин або виявлення територій екологічної небезпеки.

Про вагомість наукових здобутків науковців школи пошукової та екологічної геохімії (Е.Я. Жовинський) свідчать державні нагороди: премія ім. В.І. Вернадського (1996), Державна премія України у галузі науки і техніки (2006). Традиції школи продовжують молоді

вчені: Премію Президента України для молодих вчених отримали 2015 року Ю.Ю. Войтюк, О.В. Яковенко, Е.С. Попенко, К.С. Злобіна; Премію київського міського голови за особливі досягнення молоді у розбудові столиці України м. Києва — 2018 року Ю.Ю. Войтюк. Численними є державні гранти, конкурсні теми, стипендії за здобутки з вирішення актуальних проблем пошукової та екологічної геохімії.

Попри певні труднощі, які стоять на шляху розвитку геологічної науки в Україні, ІГМР НАН України залишається головним осередком геохімічних, мінералогічних та петрологічних досліджень у нашій державі. Одне з актуальних завдань фахівців — зберегти добрі традиції, закладені нашими великими попередниками, розвивати наявний потенціал і намагатися відповідати світовим вимогам до виконання пріоритетних досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бродский Л.И. Химия изотопов. — М. : Изд-во АН СССР, 1957. — 595 с.
2. Ветштейн В.Е. Изотопы кислорода и водорода природных вод СССР. — Л. : Недра, 1982. — 216 с.
3. Жовинський Е.Я. Еколого-геохімічні дослідження об'єктів довкілля України / За ред. Е.Я. Жовинського, І.В. Кураєвої. — Київ : Альфа-реклама, 2012. — 156 с.
4. Жовинський Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. — Киев : Наук. думка, 2002. — 213 с.
5. Жовинський Э.Я. Фторометрические методы поисков. — Киев : Наук. думка, 1985. — 161 с.
6. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Папарига П.С. Геохимия об'єктів довкілля Карпатського біосферного заповідника. — Київ : ТОВ НВП Інтерсервіс, 2012. — 100 с.
7. Кармазиненко С.П., Кураева І.В., Самчук А.І., Войтюк Ю.Ю., Манічев В.Й. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти). — Київ : Інтерсервіс, 2014. — 168 с.
8. Крюченко Н.О., Жовинський Е.Я., Папарига П.С. Рудні та техногенні геохімічні аномалії заповідних територій Українських Карпат (на прикладі Карпатського біосферного заповідника). — Київ : ТОВ НВП Інтерсервіс, 2018. — 148 с.
9. Крюченко Н.О. Геохімічні пошуки за вторинними сольовими ореолами на території Українського щита // Пошукова та екологічна геохімія. — 2007. — № 2 (7). — С. 3—60.
10. Кураева І.В., Самчук А.І., Слободяник М.С., Стадник В.О., Манічев В.Й., Єгоров О.С., Красюк О.П., Злобіна К.С., Огар Т.В., Батієвський Б.О., Локтіонова О.П., Гайдіхович К.В., Неведомська О.О. Еколого-гідрогеохімічні дослідження природних вод Київського мегаполісу. — Київ : Наук. думка, 2008. — 108 с.
11. Мицкевич Б.Ф. Геохімічні ландшафти Українського щита. — Київ : Наук. думка, 1976. — 232 с.
12. Мицкевич Б.Ф., Беспалько Н.А., Заяц А.П., Куц В.П., Раздорожный В.Ф. Редкие щелочные металлы в породах Украины. — Киев : Наук. думка, 1976. — 232 с.
13. Мицкевич Б.Ф., Беспалько Н.А., Єгоров О.С. и др. Редкие элементы Украинского щита. — Киев : Наук. думка, 1986. — 254 с.
14. Мицкевич Б.Ф., Сущик Ю.Я. Основы ландшафтно-геохимического районирования. — Киев : Наук. думка, 1981. — 174 с.
15. Мицкевич Б.Ф., Сущик Ю.Я., Самчук А.И. Физико-химические условия формирования экзогенных ореолов и потоков рассеяния бериллия. — Киев : Наук. думка, 1984. — 176 с.
16. Самчук А.І., Кураева І.В., Єгоров О.С., Манічев В.Й., Стадник В.О., Строй А.М., Красюк О.П., Худайкулова О.О., Огар Т.В., Білик В.В., Батієвський Б.О. Важкі метали у ґрунтах Українського Полісся та Київського мегаполісу. — Київ : Наук. думка, 2006. — 108 с.
17. Семенов Н.П. Геохимия осадочно-вулканогенных формаций Украинского щита (центральная часть). — Киев : Наук. думка, 1985. — 144 с.
18. Семенов Н.П. Геохимия сфер Земли. — Киев : Наук. думка; 1987. — 2-е изд. — 160 с.
19. Семенов Н.П. Кислородно-водородная модель Земли. — Киев : Наук. думка, 1990. — 248 с.

20. Собо́тович Э.В. Изотопы свинца в геохимии и космохимии. — М. : Атомиздат, 1976. — 160 с.
21. Собо́тович Э.В. Изотопная космохимия. — М. : Атомиздат, 1974. — 208 с.
22. Шербак Н.П., Артеменко Г.В., Бартницкий Е.Н., Верхогляд В.М., Комаристый А.А., Лесная И.М., Мицкевич Н.Ю., Пономаренко А.Н., Скобелев В.М., Шербак Д.Н. Геохронологическая шкала докембрия Украинского щита. — Киев : Наук. думка, 1989. — 144 с.
23. Шербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Архей. — Киев : Наук. думка, 2005. — 321 с.
24. Шербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н., Шумлянський Л.В. Геохронология раннего докембрия Украинского щита. Протерозой. — Киев : Наук. думка, 2008. — 238 с.
25. Шербак Н.П., Бартницкий Е.Н., Луговая И.П. Изотопная геология Украины. — Киев : Наук. думка, 1981. — 248 с.

Надійшла 17.07.2018

REFERENCES

1. Brodskiy, L.I. (1957), *Khimiya izotopov*, Izd-vo AN SSSR, Moscow, RU, 595 p.
2. Vetshtein, V.E. (1982), *Izotopy Kisloroda i Vodoroda prirodnyh vod SSSR*, Nedra, Leningrad, RU, 216 p.
3. Zhovinsky, E.Ya. (2012), *Ekologo-geohimichni doslidzhennya obyektiv dovkillya Ukrayiny*, in Zhovinsky, E.Ya. and Kuraeva, I.V. (eds), *Alfa-reklama*, Kyiv, UA, 156 p.
4. Zhovinsky, E.Ya. and Kuraeva, I.V. (2002), *Geokhimiya tyazhelyh metallov v pochvah Ukrainy*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 213 p.
5. Zhovinsky, E.Ya. (1985), *Ftometricheskie metody poiskov*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 161 p.
6. Zhovinsky, E.Ya., Kryuchenko, N.O. and Paparyga, P.S. (2012), *Geohimiya obyektiv dovkillya Karpatskogo biosfernogo zapovidnyka*, TOV NVP Interservis, Kyiv, UA, 100 p.
7. Karmazinenko, S.P., Kuraeva, I.V., Samchuk, A.I., Voitiuk, Yu.Yu. and Manichev, V.I. (2014), *Vazhki metaly u komponentah navkolyshnogo seredovyscha m. Mariupol (ekologo-geohimichni aspekty)*, Interservis, Kyiv, UA, 168 p.
8. Kryuchenko, N.O., Zhovinsky, E.Ya. and Paparyga, P.S. (2018), *Rudni ta tehnogenni geokhimichni anomalii zapovidnyh teryoriy Ukrayinskyh Karpat (na prykladi Karpatskogo biosfernogo zapovidnyka)*, TOV NVP Interservis, Kyiv, UA, 148 p.
9. Kryuchenko, N.O. (2007), *Poshukova ta ekologichna geokhimiya*, No. 2 (7), Kyiv, UA, pp. 3-60.
10. Kuraeva, I.V., Samchuk, A.I., Slobodyanyk, M.S., Stadnyk, V.O., Manichev, V.I., Egorov, O.S., Krasyuk, O.P., Zlobina, K.S., Ogar, T.V., Batiyevskiy, B.O., Loktionova, O.P., Gaydihovych, K.V. and Nevedomska, O.O. (2008), *Ekologo-gidrogeohimichni doslidzhennya pryrodnyh vod Kyivskogo megapolisu*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 108 p.
11. Mitskevich, B.F. (1976), *Geokhimichni landshafty Ukrainського shchyta*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 232 p.
12. Mitskevich, B.F., Bepalko, N.A., Zayats, A.P., Kuts, V.P. and Razdorozhnyi, V.F. (1976), *Redkie shchelochnye metally v porodah Ukrainy*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 232 p.
13. Mitskevich, B.F., Bepalko, N.A., Egorov, O.S., and et al. (1986), *Redkie elementy Ukrainського shchita*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 254 p.
14. Mitskevich, B.F. and Sushchik, Yu.Ya. (1981), *Osnovy landshafino-geokhimicheskogo rayonirovaniya*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 174 p.
15. Mitskevich, B.F., Sushchik, Yu.Ya. and Samschuk, A.I. (1984), *Fiziko-khimicheskie usloviya formirovaniya ekzogennyh oreolov i potokov rasseyaniya berilliya*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 176 p.
16. Samchuk, A.I., Kuraeva, I.V., Egorov, O.S., Manichev, V.I., Stadnyk, V.O., Stroy, A.M., Krasyuk, O.P., Hudaykulova, O.O., Ogar, T.V., Bilyk, V.V. and Batiyevskiy, B.O. (2006), *Vazhki metaly u gruntah Ukrainського Polissya ta Kyivskogo megapolisu*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 108 p.
17. Semenenko, N.P. (1985), *Geokhimiya osadochno-vulkanogennyh formatsiy Ukrainського shchita (tsentralnaya chast)*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 144 p.
18. Semenenko, N.P. (1987), *Geokhimiya sfer Zemli*, 2-e izd., Nauk. dumka, Kyiv, UA, 160 p.
19. Semenenko, N.P. (1990), *Kislородno-vodorodnaya model Zemli*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 248 p.
20. Sobotovitch, E.V. (1976), *Izotopy svintsya v geokhimii i kosmochimii*, Atomizdat, Moscow, RU, 160 p.
21. Sobotovitch, E.V. (1974), *Izotopnaya kosmochimiya*, Atomizdat, Moscow, RU, 208 p.
22. Shcherbak, M.P., Artemenko, G.V., Bartnitsky, E.N., Verkhoglyad, V.M., Komaristy, A.A., Lesnaya, I.M., Mitskevich, N.Yu., Ponomarenko, O.M., Skobelev, V.M. and Shcherbak, D.N. (1989), *Geochronological chart of the Precambrian of the Ukrainian Shield*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 144 p.
23. Shcherbak, M.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M. and Ponomarenko, O.M. (2006), *Geokhronologiya rannego dokembriya Ukrainського shchita. Arhey*, Nauk. dumka, Kyiv, Ukraine, 321 p.
24. Shcherbak, M.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M., Ponomarenko, O.M. and Shumlyanskyy, L.V. (2008), in Shcherbak, M.P. (ed.), *Geokhronologiya rannego dokembriya Ukrainського shchita. Proterozoy*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 238 p.
25. Shcherbak, M.P., Bartnitsky, E.N. and Lugovaya, I.P. (1981), *Izotopnaya geologiya Ukrainy*, Nauk. dumka, Kyiv, UA, 248 p.

Received 17.07.2018

А.Н. Пономаренко¹, Э.Я. Жовинский¹, Л.М. Степанюк¹, В.Н. Загнитко², И.В. Кураева¹

¹ Інститут геохімії, мінералогії та рудообрання ім. Н.П. Семененко НАН України
03142, г. Київ, Україна, пр-т Акад. Палладина, 34
E-mail: stepaniuk@nas.gov.ua

² Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Учебно-научний інститут "Інститут геології"
03022, г. Київ, Україна, ул. Васильківська, 90
E-mail: zagnitkow@i.ua

**ГЕОХІМІЯ В ІНСТИТУТІ ГЕОХІМІЇ, МІНЕРАЛОГІЇ
І РУДООБРАННЯ ІМЕНІ Н.П. СЕМЕНЕНКО
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ**

Представлены исторические данные о развитии изотопной геохимии и геохронологии: эти направления были начаты в Украине и получили наибольшее развитие в Институте геохимии и физики минералов (ныне Институт геохимии, минералогии и рудообрання ім. Н.П. Семененко (ИГМР) НАН України). Благодаря научным исследованиям Н.П. Семененко, Н.П. Щербака и их учеников, продатированы все главнейшие типы породных комплексов, установлены основные хронологические границы, геологические события, создана современная стратиграфическая шкала докембрийских образований, соответствующая международным схемам. В ИГМР было создано новое научное направление геологических наук — изотопная геология, которая синтезирует исследования в области минералогии, петрологии и геохимии. Сочетание всех этих исследований позволило определить не только возраст пород, но их генезис и физико-химические условия формирования. Признание получили разработанные в Институте геохимические методы поисков по подвижным формам элементов. Благодаря этим методам на территории Украинского щита обнаружены перспективные проявления молибденовых, силикатно-никелевых руд, участков флюоритизации. Разработана концепция определения количественных связей интегрального содержания химических элементов с общей площадью вторичных солевых ореолов, что открывает новые возможности прогнозирования и разведки месторождений полезных ископаемых. Изучены закономерности распространения химических элементов и их соединений в окружающей среде (почва, вода, донные осадки, снег) в городских агломерациях. Аналогичные исследования выполнены для агроландшафтов разных природных зон Украины, что дало возможность определить фон и аномальные концентрации ряда элементов разных ландшафтно-геохимических областей Украины.

Ключевые слова: изотопная геология, геохронология, поисковая геохимия, экологическая геохимия.

O.M. Ponomarenko¹, E.Ya. Zhovinsky¹, L.M. Stepanyuk¹, V.M. Zagnitko², I.V. Kuraeva¹

¹ M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142
E-mail: stepaniuk@nas.gov.ua

² Kyiv Taras Shevchenko National University
Educational-scientific institute "Institute of Geology"
90, Vasylkivska Str., Kyiv, Ukraine, 03022
E-mail: zagnitkow@i.ua

**GEOCHEMISTRY IN THE M.P. SEMENENKO INSTITUTE
OF GEOCHEMISTRY, MINERALOGY AND ORE FORMATION
OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE**

Historical data on the development of isotope geochemistry and geochronology are presented; these scientific directions developed in Ukraine and have achieved the greatest advance in the Institute of Geochemistry and Physic of Minerals (now the M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation (IGMOF) of the National Academy of Sciences of Ukraine). Thanks to the scientific researches carried out by M.P. Semenenko, M.P. Shcherbak and their colleagues, all major types of rock complexes were dated, the main chronological boundaries and geological events were established, and the modern stratigraphic chart of the Precambrian formations, which conforms to the international chart, was created. A new scientific direction of geological sciences, which synthesizes researches in the fields of mineralogy, petrology and geochemistry, called isotope geology, attained development at the IGMOF. The combination of all of these studies allowed identification of not only the age of the rocks, but also establishing of their genesis and physical and chemical conditions of formation. The developed in the IGMOF geochemical methods of exploration based on mobile forms of elements, have got recognition. These methods, in the territory of the Ukrainian shield allowed finding of promising molybdenum and silicate nickel ore occurrences, and of areas of fluoritization. The concept of determination of the quantitative links between the integral concentration of chemical elements and the total area of the secondary salt areoles has been developed, opening up new possibilities in the prediction and exploration of mineral deposits. The patterns of distribution of chemical elements and their compounds in the environment (soil, water, sediments, snow) in urban agglomerations were studied. Similar studies were conducted for the different agricultural landscapes of Ukraine, allowing determination of the background and anomalous concentrations of several elements in different landscape-geochemical areas of Ukraine.

Keywords: isotope geology, geochronology, exploration geochemistry, ecological geochemistry.