

УДК 550.4

И.В. Кураева

Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеновко НАН Украины
03680, г. Киев-142, Украина, пр. Акад. Палладина, 34
E-mail: yuliasun86@mail.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОХИМИИ В УКРАИНЕ

Проведен анализ развития современной экологической геохимии в Украине. Показано, что это направление развивается на базе многих естественнонаучных дисциплин: геохимии ландшафтов, геохимии почв, гидрогеохимии, биогеохимии, урбогеохимии, микроэлементологии, физико-химического моделирования и др. Показан вклад сотрудников Института геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеновко НАН Украины в решение теоретических и практических проблем экологической геохимии.

Ключевые слова: экологическая геохимия, микроэлементы, миграция.

Экологическая геохимия — важная составляющая экологической геологии. Как отмечают многие известные ученые (В.А. Алексеев, 2000; В.Т. Трофимов, 2009; В.В. Куриленко, 2004), в рамках экологической геологии как научного направления в настоящее время выделяются несколько самостоятельных научных разделов, которые составляют ее структуру и направлены главным образом на изучение экологических функций и свойств экогеосистемы (рис. 1).

Определить полный перечень всех разделов экологической геологии достаточно сложно, т. к. он постоянно дополняется и обновляется в соответствии с актуальными практическими задачами. Например, в настоящее время в Украине особое место отводится экологической минералогии (С.А. Довгий, В.И. Павлишин, 2003).

Экологическая геология в соответствии с конкретными объектами литосферных исследований может подразделяться на экологические направления геохимии, геофизики, минералогии и кристаллографии, петрографии,

геодинамики, палеонтологии, гидрогеологии и т. д. Каждая из указанных наук, имея свой объект исследования, опирается на комплекс соответствующих методов, применимых и в геоэкологических исследованиях.

В рамках экологической геохимии исследуется роль и значение природных и природно-техногенных геохимических полей, процессов и явлений в формировании и эволюционном развитии жизни на Земле.

Практические и теоретические вопросы экологической геохимии нельзя рассматривать без знаний структуры экосистемы, особенно — ее геологической составляющей. В.Т. Трофимов (2011) подчеркивает, что на существование и развитие биогеоценоза и экосистемы оказывают влияние верхние горизонты литосферы — их вещественный состав, подземные воды, геохимические и геофизические поля, современные эндо- и экзогенные процессы. Геологическая составляющая оказывает влияние на особенности функционирования биоты, в том числе человека. Схема структуры экосистемы, составленная с учетом всех этих позиций, а также изучения системы приро-

да — человек — общество, показана на рис. 2 (В.Т. Трофимов, 2009).

Техногенное воздействие на окружающую среду служит причиной геологических изменений литосферы и может грозить экологическими катастрофами на локальном, региональном и глобальном уровне.

Современному развитию экологической геохимии в странах дальнего и ближнего зарубежья, в том числе и в Украине, способствовало внедрение в практику геологических исследований геохимических методов поисков полезных ископаемых по вторичным ореолам рассеяния (лито-, гидро-, био- и атмогеохимических) (Б.Ф. Мицкевич, 1971; Э.Я. Жовинский, 1976). С их помощью можно оценивать экологическое состояние объектов окружающей среды, изучать распределение и миграцию химических элементов, их переход в трофические цепи.

Однако решение эколого-геохимических задач требует не только применения традиционных для этой науки методов, но и методов оценки состояния биокосных систем, непривычных для геологов. Особенно это очевидно при рассмотрении таких сложнейших компонентов биосферы, как почвы и донные осадки, природные воды, биота. Полноценное изучение их возможно лишь с использованием совокупности геохимических, минералогических, биологических и прочих методов.

Необходимо отметить, что экологическая геохимия как научное направление в Украине начала свое развитие в Институте геохимии и физики минералов АН Украины (сейчас — Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко НАН Украины).

Среди основных научных школ, которые существуют в Институте геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семененко (ИГМР) НАН Украины, значительное место занимает школа поисковой и экологической геохимии, возглавляемая известным украинским ученым, доктором геолого-минералогических наук, членом-корреспондентом НАН Украины, профессором Э.Я. Жовинским.

Э.Я. Жовинский — один из основателей нового направления прикладной геохимии — экологической геохимии, начавшего развиваться в Украине в конце 1970-х гг. Им и его учениками проведены многочисленные исследования территории Украины, результаты которых изложены в монографиях "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), "Еколого-геохімічні дослідження об'єктів довкілля України" (2012), "Геохімія об'єктів довкілля Карпатського біосферного заповідника" (2012) и ряде других работ. В них установлены закономерности формирования природных и техногенных ореолов рассеивания химических элементов и их подвижных форм в почвах и природных водах разных ландшафтно-геохимических зон Украины. Помимо огромного теоретического значения эти результаты стали основой для разработки принципиально новых геохимических методов поисков и новых технологий эколого-геохимического картирования, оценки и прогнозирования состояния окру-

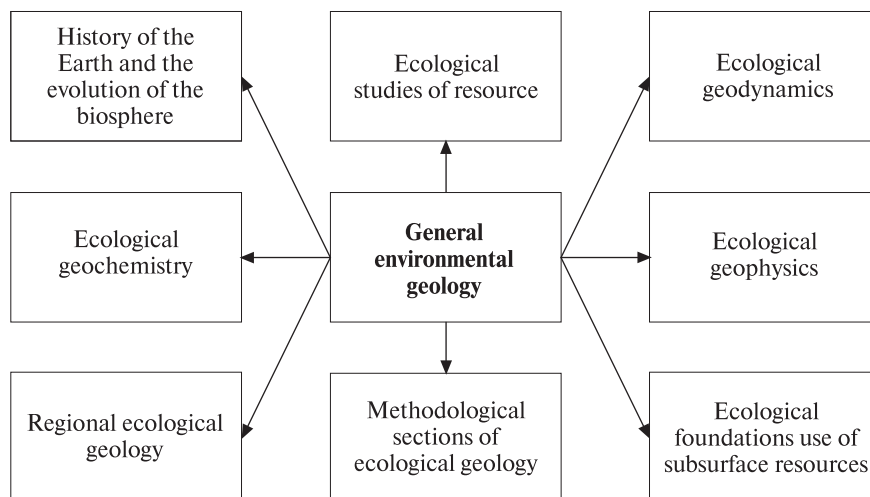


Рис. 1. Структура экологической геохимии (В.В. Куриленко, 2004)

Fig. 1. Structure of environmental geology (V.V. Kurylenko, 2004)

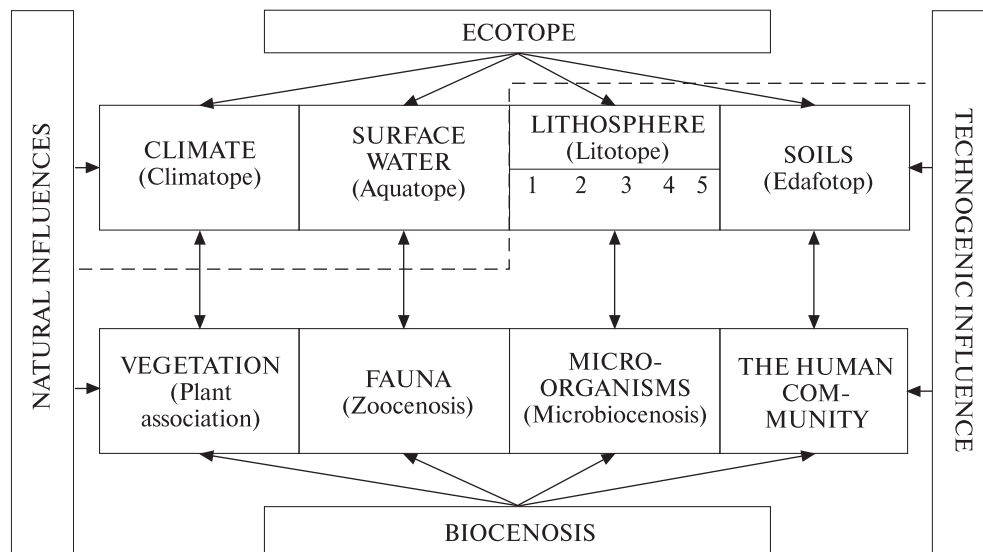


Рис. 2. Схема структуры экосистемы с учетом геологической составляющей и классов воздействия на нее: 1–5 — параметры литосферы: 1 — состав, строение и рельеф геологического массива, 2 — подземные воды, 3 — геохимические поля, 4 — геофизические поля, 5 — современные эндо- и экзогенные процессы; пунктиром выделены границы эколого-геологической системы (В.Т. Трофимов, 2009)

Fig. 2. The scheme of ecosystem structure based on the geological component and classes of effects on it: 1–5 — the parameters of the lithosphere: 1 — composition, geological structure and relief of the geological massif, 2 — groundwater, 3 — geochemical fields, 4 — geophysical fields, 5 — modern endogenous and exogenous processes; dots marked the boundary of environmental-geological system (V.T. Trofimov, 2009)

жающей среды, разработки и обоснования природоохранных мероприятий.

В цикле научных трудов "Геохимия техногенезу: токсичні елементи в навколишньому природному середовищі України" сотрудники ИГМР, ИГН и ГУ "ИГОС" НАН Украины во главе с Э.Я. Жовинским впервые в мировой практике разработали методологию интегрированной геоэкологической оценки окружающей природной среды урбанизированных территорий. С этой целью проведено комплексное геохимическое картирование с использованием ГИС-технологий и моделирования геохимических систем на основе термодинамического анализа, разработаны новые методы исследований вещественного состава пород в геохимии. Эта работа отмечена Государственной премией Украины в области науки и техники (2006).

Остановимся на актуальных направлениях развития современной экологической геохимии в Украине и вкладе в это направление сотрудников ИГМР НАН Украины.

Геохимия ландшафтов. Основываясь на фундаментальных работах Б.Б. Полюнова, сотрудники ИГМР НАН Украины осуществили изучение геохимии ландшафтов Украины. Под руководством доктора геолого-минералогичес-

ких наук Б.Ф. Мицкевича были проведены лито-, гидро- и биогеохимическое исследования территории Украинского щита. В работах Б.Ф. Мицкевича "Геохимические ландшафты Украинского щита" (1971) и "Основы ландшафтно-геохимического районирования" (1981) обобщены данные о содержании химических элементов в кристаллических и осадочных породах, почвах и золе растений. Впервые приведена схема ландшафтно-геохимического районирования территории Украинского щита как теоретическая основа повышения эффективности поисков рудных месторождений, связанных с кристаллическими породами по их вторичным ореолам и потокам рассеивания: выделено пять ландшафтно-геохимических районов, которым соответствуют разные условия протекания геохимических процессов. Рассмотрены физико-химические условия гипергенной миграции металлов и степень участия химических элементов пород докембрийского фундамента в процессах современного гипергенеза. Полученная информация имеет большое значение для решения задач поисковой и экологической геохимии.

В дальнейшем сведения о закономерностях распределения химических элементов в ландшафтах Украины позволили построить ланд-

шафтно-геохимическую карту всей территории Украины (Л.С. Галецкий, В.И. Почтаренко, 2001) с учетом условий гипергенной миграции микроэлементов в биокосных системах различных природных и техногенных ландшафтов.

На основании большого фактического материала отраслевых геологических организаций и институтов геологического профиля системы НАН Украины были созданы атласы "Геологія і корисні копалини України" (ред. Л.С. Галецкий, 2001), "Національний атлас України" (гол. ред. Л.Г. Руденко, 2007). В эти атласы были включены ландшафтно-геохимическая карта Украины, карты экологического состояния природной среды (атмосферы, гидросферы, почвы, растительного и животного мира и др.), а также антропогенного влияния на природную среду, предотвращение ухудшения экологического состояния природной среды.

Геохимия почв. Значительная часть исследований украинских ученых-геохимиков направлена на изучение геохимии почв. По мнению Н.С. Касимова и А.И. Перельмана (1992), это направление включает в себя несколько основных концепций, лежащих на стыке химии почв, агрохимии, почвоведения, геохимии ландшафта и биогеохимии: 1) распространенность микроэлементов, т. е. вопрос о кларковом содержании; 2) геохимия процессов почвообразования; 3) латерально-миграционная дифференциация; 5) техногенное загрязнение, техногенная геохимическая трансформация почв и др.

Изучение геохимии почв в ИГМР НАН Украины в настоящее время проводится под руководством Э.Я. Жовинского. Им впервые были установлены кларки содержания фтора в почвенных разностях Украины (1976, 1979, 1980). На основании этих данных были построены карты закономерностей распределения фтора и других микроэлементов, а также описаны особенности их миграции в разных ландшафтно-геохимических зонах страны. На основании детального изучения физико-химических свойств почв (окислительно-восстановительных, щелочно-кислотных условий, а также минералогических особенностей почвенных отложений) Э.Я. Жовинский установил особенности физико-химической миграции микроэлементов в почвенном покрове Украины (1979). Эти сведения послужили основа-

нием не только в ходе литогеохимических поисков полезных ископаемых, но также и при проведении эколого-геохимических исследований.

Э.Я. Жовинский был инициатором региональных геохимических исследований почв Украины в рамках Международного проекта по геохимическому картированию сельскохозяйственных и пастбищных земель Европы (Э.Я. Жовинский, В.Р. Клос, 2013). Для определения фонового содержания элементов в почвах разных регионов Украины учитывались ландшафтно-геохимические условия территории. Такой подход позволил определить геохимические параметры почв в границах 13 классов геохимических ландшафтов.

Особое значение в настоящее время как в химии почв, так и в экологической геохимии приобретает изучение форм нахождения микроэлементов в почвах.

Как отмечает Г.Н. Бондаренко (2004), у истоков геохимической концепции формирования экологической обстановки в зонах техногенного загрязнения стоял Э.Я. Жовинский, обосновавший приоритет подвижных форм тяжелых металлов, а не их валового содержания в почвах. На основании большого объема фактического материала, а также опытно-методических работ им установлено значительное превышение содержания подвижных форм тяжелых металлов в техногенно загрязненных почвах относительно почв так называемых условно чистых территорий.

Особое значение изучение форм нахождения приобретает во время исследования биогеохимических процессов трансформации химических элементов в окружающей среде. Формы нахождения токсичных и канцерогенных компонентов в среде жизнедеятельности во многом определяют дальнейшие пути их миграции и ту опасность, которую они могут представлять для окружающей среды.

Следует отметить, что за последние десятилетия изучение форм нахождения микроэлементов в почвах вышло на новый научный уровень, т. к. изменились подходы к исследованию почв.

Важный вклад в изучение форм нахождения тяжелых металлов в почвах Украины внесли А.И. Самчук, Г.Н. Бондаренко, В.В. Долин и др. В публикации "Физико-химические условия образования мобильных форм токсичных металлов в почвах" (1998) представлены

результаты изучения влияния физико-химических свойств почвенно-поглощительного комплекса, комплексообразования и сорбции на мобильные формы элементов. На основе исследований и апробации более чем тридцати экстрагентов с разными химическими свойствами в широком диапазоне рН этими исследователями была разработана молекулярно-коллоидная модель образования мобильных форм токсичных элементов в почвах.

В работе Э.Я. Жовинского "Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины" (2002) представлены результаты исследования подвижности элементов в почвенных системах территории Украины. Подвижность обусловлена свойствами почвенных отложений связывать химические элементы в малоподвижные соединения. Показателем подвижности химических элементов служит потенциальная буферная способность почв. Результаты экспериментальных работ позволили рассчитать потенциальную буферную способность почв к загрязнению токсичными элементами. Установлена зависимость потенциальной буферной способности почв от их физико-химических свойств (содержание глины, гумуса, емкости катионного обмена, рН почвенного раствора).

Особое внимание уделяется изучению некоторых токсичных химических элементов в почвах Украины. Рассмотрены закономерности миграции бериллия в различных ландшафтно-геохимических зонах Украины. С применением экспериментальных методов изучено комплексообразование бериллия в водных растворах, определен состав и устойчивость комплексных соединений как с органическими, так и с неорганическими лигандами. Выявлены закономерности накопления бериллия на сорбционных барьерах (А.И. Самчук, 1984).

Установлены особенности распределения ртути в системе почвообразующая порода — почва — раствор. Определено содержание и формы нахождения ртути на условно чистых и загрязненных территориях Крыма. Дана оценка влияния ртути на геологическую среду Крымского п-ова, наработаны критерии разбраковки природных и техногенных аномальных полей ртути. На основе литогеохимического опробования построены карты содержания ртути в почвах и почвообразующих породах, которые можно использовать при оценке и прогнозе эколого-геохимического

состояния ландшафтов Крыма (А.И. Радченко, 2003).

Выявлены закономерности распределения хрома в объектах окружающей среды (почвах, подземных и поверхностных водах) на территории дендропарков "Александрия" (г. Белая Церковь), "Кагарлыцкий" (г. Кагарлык), "Софиевка" (г. Умань) и месторождения хромитовых руд. Рассчитанные формы миграции хрома для природных растворов разного состава условно чистых и техногенно загрязненных территорий позволили обнаружить связь между содержанием хрома и других элементов (Э.Я. Жовинский, С.М. Кулик, 2004).

Установлены закономерности пространственного распределения кадмия в зоне аэрации техногенно загрязненных территорий Украины. Определены основные формы нахождения кадмия в почвах и его миграционная способность в системе почва — раствор — растение (И.В. Кураева, А.В. Яковенко, 2011).

Впервые установлены закономерности распределения селена в почвах и растительности регионов Украины. Для разных типов почв выявлены ассоциации селена с тяжелыми металлами природного и техногенного происхождения. Установлены формы нахождения селена в природных и техногенных почвах ландшафтно-геохимических зон Украины (А.И. Самчук, Э.С. Попенко, 2012).

Особое значение для определения фонового содержания химических элементов в почвах имеет изучение заповедного фонда Украины. Этой проблеме посвящена монография "Геохімія об'єктів довкілля Карпатського біосферного заповідника" (Е.Я. Жовинський, Н.О. Крюченко, П.С. Папарига, 2012), в которой представлены результаты изучения закономерностей распределения химических элементов и их подвижных форм в объектах окружающей среды Карпатского биосферного заповедника.

Экологическая гидрогеохимия занимает особое место среди основных направлений развития современной гидрогеохимии. Ухудшение экологического состояния природных вод в настоящее время происходит быстро: в последние десятилетия эта проблема приобрела качественно новый характер, позволяющий говорить о глобальном экологическом кризисе.

Современные гидрогеохимические исследования в Украине основываются на работах выдающихся отечественных ученых. Результатом

фундаментальных исследований В.М. Шестопалова, В.И. Лялько (1989) и др. стала разработка теоретических основ и методических принципов исследования закономерностей водообмена в гидрогеологических структурах Украины, создание новых и усовершенствование существующих методов и методик гидрогеологических исследований, выявление и всестороннее исследование региональных закономерностей формирования водообмена и ресурсов подземных вод, выявление и исследование процессов формирования качественных и количественных характеристик подземных вод Украины под воздействием техногенных факторов.

Обобщая накопленные многочисленные данные и анализируя соотношение состава воды и горных пород при исследовании постседиментационных изменений домезозойских осадочных пород Подольского Приднестровья Э.Я. Жовинский (1981) разработал новые подходы к поискам флюорита и полиметаллов с учетом физико-химических условий эпигенетического рудообразования. Эти исследования послужили основой разработки современных методов экологической гидрогеохимии, которые можно использовать не только при гидрогеохимических поисках полезных ископаемых, но и экологических исследованиях.

Впервые выявлены особенности распределения фтора в питьевых водах Львовской, Одесской, Полтавской областей Украины. Показана возможность распознавания природных и техногенных аномалий этого уникального элемента. Выявлены основные геохимические факторы формирования некондиционных по содержанию фтора питьевых вод Украины, которые влияют на возникновение эндемических заболеваний (Н.О. Крюченко, 2008).

Особое внимание уделяется изучению йода и брома в нефтяных водах Днепро-Донецкой впадины и их роли для гидрогеохимических поисков углеводородов (Н.О. Крюченко, М.В. Кухарь, 2014).

Актуальна проблематика исследований химического состава подземных вод с целью использования их для лечебно-оздоровительных целей. Добыча минеральных вод, которые используются для профилактического лечения заболеваний в бальнеологии — это прибыльная и развитая сфера промышленности во многих странах мира, в том числе и в Украине. Природные процессы формирования минеральных вод,

формы миграции микроэлементов в них, определение специфических и неспецифических компонентов и физических свойств — основа отечественной классификации минеральных вод Украины, разработанной В.М. Шестопаловым, Г.Н. Негодой, Н.П. Моисеевой (2003) и др.

Селенитые минеральные воды впервые выявлены на территории Ивано-Франковской и Львовской областей. Их можно рекомендовать для бальнеологического использования (В.М. Шестопалов, А.И. Самчук, Э.С. Попенко, 2012).

В последнее время сотрудники ИГМР НАН Украины, следуя теоретическим разработкам Э.Я. Жовинского в области геохимии природных вод, получили новые данные об особенностях распределения макро- и микроэлементов (Ba, Cr, Ag, Fe, Mn, Cu, Sr, Mo, V, Ni, Zn, Cd, Ti, Zr, Ce, Sc, La, Y, Yb) в артезианских питьевых водах бортовой части Днепровского артезианского бассейна, используемых для бюветного водоснабжения. Установлено повышение концентрации Na и Cl в бюветных водах северо-восточной части Киева, которые определяются природными гидрогеологическими процессами. Впервые определены основные формы миграции химических элементов в подземных водах сеноманского и юрского горизонтов бортовой части Днепровского артезианского бассейна с помощью методов термодинамического анализа и математического моделирования и установлено преобладание свободных незакомплексованных ионов (И.В. Кураева, Е.С. Злобина, 2012).

Изучены геохимические особенности распределения микроэлементов в поверхностных водах Киевской городской агломерации. Доказано, что концентрация, формы нахождения и степень токсичности микроэлементов в водных системах зависят от соотношения процессов коагуляции, осаждения, сорбции, комплексобразования с растворенными органическими и неорганическими лигандами. Полученные данные свидетельствуют о сложных санитарно-гигиенических условиях территории (И.В. Кураева, А.И. Самчук, 2011).

Урбогеохимия. Это новое направление в экологической геохимии. Геохимические исследования крупных городских агломераций в Украине были начаты под руководством Э.Я. Жовинского сотрудниками ИГМР НАН Украины. Был составлен экологический паспорт Святошинского района г. Киев, работы выполнены

с применением современных методов исследований. Получена информация о характере и степени загрязнения территории Киева, выделены участки с аномальным содержанием токсичных элементов и спроектированы детальные эколого-геохимические исследования и мероприятия по охране окружающей среды города (Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева, 1991).

Также были исследованы урбанизированные территории Восточной Украины, пребывающие под влиянием разных промышленных предприятий. Накоплен большой фактический материал о закономерностях распределения химических элементов в почвах техногенных ландшафтов Украины. Техногенно загрязненные объекты окружающей среды исследованы в Луганской, Днепропетровской, Донецкой, Кировоградской, Черкасской, Киевской областях (Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева, 2002).

Продолжая исследования в этой области ученики школы Э.Я. Жовинского установили особенности геохимического распределения и определили геохимические ассоциации тяжелых металлов в объектах окружающей среды под влиянием предприятий черной металлургии (на примере городов Мариуполь, Днепродзержинск, Алчевск). Построены карты моно- и полиэлементного загрязнения почв этих территорий. Установлены количественные критерии выделения техногенных геохимических аномалий тяжелых металлов на основе определения форм их нахождения и показателей подвижности в почвах, растительности и донных отложениях. Определены качественные и количественные изменения биогеохимических показателей почв на основе исследования микробиологических сообществ в зоне влияния предприятий черной металлургии по сравнению с фоновыми участками (И.В. Кураева, Ю.Ю. Войтюк, 2012).

В результате комплексного эколого-геохимического опробования зоны аэрации техногенно загрязненных ландшафтов под влиянием предприятий цветной и химической промышленности впервые исследованы основные закономерности распределения кадмия и других тяжелых металлов в объектах окружающей среды с использованием ГИС-технологий. Исследована миграционная способность кадмия в системе почва — растительность, изучено влияние агрохимических средств на эколого-геохимическое состояние почв сельскохозяйст-

венных агломераций (И.В. Кураева, А.В. Яковенко, 2009, 2011).

В рамках международной концепции об устойчивом экологическом развитии стран мирового сообщества по инициативе и под руководством Э.Я. Жовинского впервые в Украине в конце 1980-х гг. были начаты и продолжают до настоящего времени масштабные исследования эколого-геохимического состояния почв объектов заповедного фонда Украины, включая биосферные заповедники и национальные парки, и создание на этой основе комплексной системы мониторинга заповедных и прилегающих к ним территорий с разной антропогенной нагрузкой (Э.Я. Жовинский, 2000, 2013).

Биогеохимия. Как указано выше, одним из основных направлений экологической геохимии служит биогеохимия. Основные положения биогеохимии были изложены В.И. Вернадским. В ИГМР НАН Украины несколько десятилетий ведутся работы в биогеохимическом направлении.

Для территорий зон влияния предприятий цветной металлургии и химической промышленности в почвах определены специфические микомицеты *Aspergillus niger* и *Paecilomyces variotti*, индекс меланизации которых в три раза выше, чем в почвах условно чистых территорий (И.В. Кураева А.В. Яковенко, 2011). Проведен ряд исследований по изучению видового разнообразия микроскопических грибов в почвах промышленных агломераций Украины. Установлено, что в почвах вблизи предприятий черной металлургии доминируют не типичные для фоновых участков микроскопические грибы: *Mucor plumbeus*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Rhizopus stolonifer* и *Aspergillus niger* (И.В. Кураева, Ю.Ю. Войтюк, 2013). Были проведены исследования микроскопических грибов в образцах питьевой воды из бюветных скважин сеноманского и юрского водоносных горизонтов на территории Киева (Е.С. Злобина, 2013).

Определено содержание селена в ассоциации с тяжелыми металлами в болетальных грибах Украинского Полесья и установлены особенности миграции в трофической цепи. Получены данные о содержании селена и геохимических условий его поступления в разные виды водорослей. Рассчитаны коэффициенты биологического поглощения селена и тяжелых металлов водорослями в акватории Черного

моря (А.И. Самчук, Т.В. Огарь, Э.С. Попенко, 2012).

Микроэлементология. В последние десятилетия возникло новое направление в медицине — микроэлементология, изучающая сбалансированное обеспечение микроэлементами тканей и органов человека. Накопился значительный фактический материал о болезнях, патологическую основу которых составляет дисбаланс определенных микроэлементов. В предложенной классификации А.П. Авцына и П.П. Жаворонкова (1983) известные в настоящее время микроэлементозы разделены на четыре группы: 1) природные эндогенные — наследственные, вызываемые патологией хромосом; 2) природные экзогенные — связанные с содержанием микроэлементов в среде обитания человека (почва, вода, воздух); 3) техногенные — обусловленные избытком микроэлементов в зоне производственной деятельности; 4) ятрогенные — возникающие под влиянием лечебных препаратов.

По данным геохимических исследований, проводимых сотрудниками ИГМР НАН Украины, установлены регионы с недостатком или избытком эссенциальных микроэлементов (2002, 2008). Исследованы территории с опасным для проживания человека уровнем загрязнения природных сред. В результате проведения такого рода геохимических исследований появилась основа для создания биогеохимического районирования территорий Украины.

Особое внимание было уделено изучению геохимии микроэлементов в природных водах Украины. Специальные исследования показали, что важное значение приобретает содержание различных форм фтора, зависящее от химического состава воды, pH, Eh, температуры и других факторов (Н.О. Крюченко, 2006).

На основе комплексного анализа химического состава вод сеноманского и юрского горизонтов Днепровско-Донецкого артезианского бассейна впервые рассчитаны биологически значимые значения концентрации микроэлементов, что может быть положено в основу медико-экологической оценки подземных вод для питьевого водоснабжения (И.В. Кураева, Е.С. Злобина, 2008).

Необходимо отметить, что изучение микроэлементозов, связанных с природными и техногенными факторами, следует начинать с детального изучения геохимического поведе-

ния микроэлементов в таких жизненно важных для человека природных средах, как вода, почва, растительность.

Физико-химическое моделирование. Изучение миграции химических элементов в биокосных системах в настоящее время невозможно проводить без использования методов математического моделирования.

Например, в 1960-е гг. считали очень сложным, практически невозможным расчет ионного микроэлементного состава природных вод (С.А. Брусиловский, 1963). Позже развитие и усовершенствование вычислительной техники и накопление массивов термодинамических данных обусловили развитие нового направления в геохимии подземных вод — физико-химического моделирования гидрогеохимических процессов. Оно позволяет решать на принципиально новом научном уровне гидрогеохимические проблемы, связанные с экологическим состоянием среды. При этом моделирование геохимических процессов, связанных с миграцией тяжелых металлов и радио-нуклидов в объектах окружающей среды, выдвигает новые требования к подходам физико-химического моделирования природных систем, а также к чувствительности и точности аналитического определения содержания компонентов в них.

Расчеты равновесия в природных многокомпонентных системах — подземных водах Украины, выполняли с использованием термодинамического анализа и математического моделирования, в том числе программы *PHREEQC*. Основой для таких расчетов послужили современные представления о миграционных формах химических элементов в природных растворах (Н.О. Крюченко, 2008). Термодинамическое моделирование форм миграции тяжелых металлов в пресных артезианских водах сеноманского и юрского водоносных горизонтов, используемых для бюветного водоснабжения г. Киев, было выполнено с использованием программного комплекса *GEMS*, который основывается на методе минимизации энергии Гиббса (Е.С. Злобина, 2013). Определение миграционных форм металлов в почвенных растворах загрязненных почв Украины определяли по программе *MINTEQA2* (Э.Я. Жовинский, И.В. Кураева, 2002).

Кинетическая модель физико-химической трансформации техногенных радионуклидов в почве, разработанная Г.Н. Бондаренко, Л.В. Ко-

ноненко (1992), охватывает совокупность процессов мобилизации, иммобилизации и ремобилизации. Авторы рассматривают кинетику трансформации техногенного вещества, кинетику образования мобильных и фиксированных физико-химических форм радионуклидов в почвах. Принципы, предложенные в этой модели, можно использовать и для изучения физико-химической трансформации тяжелых металлов в почвах техногенно загрязненных территорий.

Использование методов физико-химической термодинамики, кинетики и моделирования позволяет проводить исследования, выполнять интерпретацию и прогнозирование геохимических процессов и явлений на новом качественном уровне.

Обзор научных работ (В.Т. Трофимов, 2009; В.В. Куриленко, 2004; Ю.Н. Водяницкий, 2009; Э.Я. Жовинский, 2002; Г.Н. Бондаренко, 1992) по основным направлениям развития экологической геохимии позволил выделить ключевые на современном этапе проблемы: отсутствие систематического эколого-геохимического исследования территорий; отсутствие единой системы получения и анализа геохимических данных; недостаток знаний об условиях миграции и накопления химических элементов в природных и природно-техногенных условиях; недостаток знаний о влиянии химических элементов на биологические виды, индивиды, биоту в целом; отсутствие знаний об особенностях влияния природных и техногенных геохимических полей на возникновение и развитие микроэлементозов у населения.

Поступила 16.06.2014

I.V. Kuraeva

Институт геохимии, минералогии та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03680, м. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладіна, 34
E-mail: yuliasun86@mail.ru

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ ГЕОХІМІЇ В УКРАЇНІ

Проаналізовано розвиток сучасної екологічної геохімії в Україні. Показано нову структуру екосистеми з урахуванням геологічної складової. Розглянуто параметри, що визначають еколого-геохімічні умови екосистеми та фактори формування цих умов. Доведено, що екологічна геохімія розвивається на основі багатьох навчальних дисциплін: геохімії ландшафтів, геохімії ґрунтів, гідрогеохімії, біогеохімії, урбогеохімії, мікроелементології, фізико-хімічного моделювання. Розкрито внесок співробітників Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України у вирішення теоретичних і практичних проблем екологічної геохімії.

Ключові слова: екологічна геохімія, мікроелементи, міграція.

I.V. Kuraieva

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry,
Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladina Pr., 03680, Kyiv-142, Ukraine
E-mail: yuliasun86@mail.ru

CURRENT STATE AND MAIN PROBLEMS OF ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY IN UKRAINE

The analysis of development of environmental geochemistry is conducted in Ukraine. It is shown that the environmental geochemistry was developed based on the following academic disciplines: geochemistry of landscapes, geochemistry of soils, hydrogeochemistry, biogeochemistry, urban geochemistry, physical and chemical modeling. The scientific contribution of E.Ya. Zhovynsky, his students and participation of employees of M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine is considered to be the main force of development of these trends. The paper studies the main problems of the current state of environmental geochemistry.

Keywords: environmental geochemistry, trace elements, migration.