

УДК 550.4(477)

Э.Я. Жовинский, Н.О. Крюченко

Институт геохимии, минералогии и рудообразования
им. Н.П. Семеново НАН Украины
03680, г. Киев-142, Украина, пр. Акад. Палладина, 34
E-mail: zhovinsky@ukr.net; nataliya-kryuchenko@mail.ru

ОСНОВЫ ПОИСКОВОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОХИМИИ

Рассмотрены основные этапы формирования геохимии как науки. Обоснована необходимость использования для поисковых работ не статистических, а детерминированных моделей, что открывает новые возможности определения количественной связи интегрального содержания химического элемента на площади вторичного солевого ореола с его интегральным содержанием на поверхностной площади рудообразования. При рассмотрении основных тенденций экологической геохимии подчеркнуто, что необходимо не только выявлять техногенные аномалии в объектах окружающей среды, но и давать конкретные рекомендации по их возможной ликвидации. Основой для выявления территорий экологического риска должны быть комплексные эколого-геохимические карты.

Ключевые слова: поисковая геохимия, экологическая геохимия, химические элементы, солевой ореол, подвижные формы.

Становление геохимии как науки относится к началу XX в., когда В.И. Вернадский определил безминеральное существование элементов (рассеянные формы) в земной коре: "все элементы есть везде, но в разных концентрациях" [3]. Активная эксплуатация сырьевых минеральных ресурсов способствовала развитию геохимических исследований, основы которых были заложены работами А.Е. Ферсмана (1903), В.М. Гольдшмидта (1911), А.П. Виноградова (1930) о миграции, рассеянии и концентрации химических элементов в геосферах Земли.

А.Е. Ферсман писал: "Применение законов и выводов геохимии к проблемам практического характера заставило выдвинуть целую область геохимических дисциплин — прикладную геохимию" [14]. Проблемы прикладной геохимии объединяют широкий круг направлений, среди которых особое развитие в то время получила поисковая геохимия. Особое значение имели тогда исследования Н.И. Сафронова (1936), который впервые ввел понятие об ореолах рассеяния химических элементов и

показал необходимость определения элементов-индикаторов для поисков месторождений полезных ископаемых.

Важнейшие понятия поисковой прикладной геохимии — геохимическое поле, геохимическая аномалия, геохимический фон. Опираясь на базовые основы геохимической науки известные ученые — А.А. Беус, С.В. Григорян, А.Л. Ковалевский, К.Г. Лукашев, Л.Н. Овчиников, А.И. Перельман, А.А. Сауков, А.П. Соловов и многие другие установили критерии, используя которые можно сделать заключение о перспективности геохимических исследований при поисках полезных ископаемых.

Бурное развитие поисковой геохимии в 1950-х гг. и резкий спад в начале 1990-х объясняется рядом причин: во-первых, месторождения полезных ископаемых, выходящие на земную поверхность или залегающие неглубоко, к этому времени уже были открыты; во-вторых, стало значительно больше территорий, подвергающихся антропогенной нагрузке, вследствие которой формируются поля с повышенным содержанием некоторых элементов, что затрудняет применение традиционных геохимических методов поисков [2].

© Э.Я. ЖОВИНСКИЙ, Н.О. КРЮЧЕНКО, 2014

В условиях перехода к поискам глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых, часто перекрытых мощными толщами осадочных пород, требовалось значительное увеличение объема буровых работ и материальных затрат. Развивающаяся экономика многих стран нуждалась в использовании более экономически выгодных и эффективных методов поисков полезных ископаемых. Значительное развитие в последнее время получили геохимические методы поисков по подвижным формам химических элементов. Благодаря этой методике на территории Украинского щита выявлена площадь силикатно-никелевых руд (Восточно-Липовеньковский участок, Кировоградская обл.), молибденовое рудопроявление (Ясинецкий участок, Житомирская обл.), участки флюоритизации (Бобринецкий участок, Кировоградская обл.; Пержанский участок, Житомирская обл.) и многие другие рудопроявления [6].

В различных ландшафтно-геохимических зонах при разных физико-химических условиях среды поисковое значение могут иметь только конкретные индикаторные формы химических элементов, термодинамически устойчивые в определенных физико-химических условиях среды. Расчет равновесия в многокомпонентных системах, проведенный с использованием компьютерных программ *PHREEQC* и других методов термодинамического анализа и математического моделирования, позволяет учитывать все вероятные формы миграции элементов и конкурирующие реакции, происходящие в природной системе. Например, индикатором при поисках месторождений рудно-флюоритовых формаций в разных ландшафтно-геохимических условиях будет не суммарное содержание подвижных форм фтора, а конкретные формы — F^- , CaF^+ , MgF^+ , Fe_nF_m и т. д. [5].

Необходимо отметить, что ранее используемые методы статистического моделирования в настоящее время (при ограниченном бурении) малоэффективны и ограничивают целесообразность их использования для поисковых целей. Достижение необходимой надежности результатов статистического моделирования требует расширения классификационных признаков для разного типа эталонов и, соответственно, больших массивов экспериментальных данных, а статистические методы не дают качественного понимания физико-химических процессов, происходящих в околорудном про-

странстве. Поэтому наиболее целесообразно использовать не статистические модели, которые количественно отображают самые распространенные случаи, а детерминированные модели, показывающие функциональные связи между элементами геохимической системы на основе фундаментальных законов, описывающих поведение вещества и энергии [12]. Новые возможности при поисках полезных ископаемых открывают разработанные научные основы определения количественной связи интегрального содержания химического элемента на площади вторичного солевого ореола с его интегральным содержанием на поверхностной площади рудообразования.

На современном уровне развития науки нельзя разрывать проблемы поисковой и экологической геохимии. Но методы и методологические подходы к изучению этих проблем должны соответствовать современным условиям. Особенно это важно, когда при поисках месторождений полезных ископаемых мы переходим от регионального прогнозирования к локальному, а при решении проблем экологической геохимии — к объективной оценке, прогнозу и разработке мероприятий по охране окружающей среды.

Переходя к рассмотрению экологической геохимии необходимо ответить на вопрос: в чем же отличие экологической геохимии как науки от экологии и геохимической экологии? Экология — биологическая наука, изучающая связь животного и растительного мира и влияние на них окружающей среды; геохимическая экология изучает последствия воздействия на них окружающей среды; а экологическая геохимия подходит к изучению этих проблем принципиально иначе, охватывая многие другие факторы. В рамках экологической геохимии формируются принципы геохимического мониторинга окружающей среды, выявляются техногенные изменения геохимического фона биосферы в целом и отдельных эколого-геохимических систем, их влияние на природную среду и на человека. Загрязнение окружающей среды происходит в результате миграции загрязняющих веществ, интенсивность которой определяется скоростью обмена, перераспределения химических элементов между компонентами природной среды и зависит от физико-химических и биологических свойств природных систем.

Основная задача экологической геохимии состоит в изучении закономерностей распро-

деления химических элементов и комплекса физико-химических и других условий их геохимического поведения в трофической цепи, что позволяет прогнозировать эколого-геохимическую ситуацию и своевременно разрабатывать меры по защите и реабилитации объектов окружающей среды. Одна из основных проблем экологической геохимии — определение регионального и локального фонового содержания химических элементов и их соединений в природных биокосных системах. Без этого невозможно определить природу аномального содержания химических элементов и источники их поступления — природные или антропогенные.

Решая вопросы экологической геохимии необходимо не только выявлять техногенные аномалии в почвах и водах в районах населенных пунктов и промышленных предприятий, а давать конкретные рекомендации по их возможной ликвидации. Для этого необходимо проведение экспериментальных работ по определению сорбции или десорбции депонирующей средой данного загрязнителя, а также глубины геохимического барьера, где происходит осаждение элемента [1]. Так, например, после обнаружения природного аномального содержания фтора в подземных водах бучакско-каневского водоносного горизонта (палеоген), основного для водоснабжения Полтавской и Сумской областей Украины, было предложено для очистки питьевых вод от фтора применять в качестве сорбента клиноптиллолит, обогащенный алюминием (содержание фтора уменьшается в три раза, до кондиционного) [4].

Базой для выявления территорий экологической опасности должны стать комплексные эколого-геохимические карты, которые могут дать полную информацию о геохимических особенностях объектов окружающей среды [11]. Для решения этих задач во многих странах проводятся специальные работы по базовому геохимическому картированию. Государственная геохимическая съемка производится в Канаде, Финляндии, Швеции, Норвегии, Гренландии и многих европейских странах. В 1996 г. в Словакии было проведено Международное совещание по геохимическому картированию Европы, но, к сожалению, демонстрировались только геохимические карты, составленные на основе традиционных спектрального и других видов анализа, мало отличающиеся от карт 1920—1930 гг.

В 2014 г. был издан Атлас геохимических карт почв сельскохозяйственных угодий Европы. При изучении вещественного состава почв были использованы современные методы, в том числе масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), который отличается высокой чувствительностью. К сожалению, при составлении карт учтено только суммарное содержание микроэлементов, которое не позволяет выделять реальные зоны экологического риска либо территории для выращивания экологически чистой продукции.

Почвы — первый геохимический барьер на пути техногенных загрязняющих веществ — это чрезвычайно чувствительный индикатор антропогенной нагрузки. Следовательно, изучение распределения химических элементов и их форм нахождения в почвах позволяет получить реальную информацию о масштабах загрязнения окружающей среды в целом, а также о составе ассоциации токсикантов, вклад каждого из техногенных источников в преобразование территорий, степень опасности существующего загрязнения для жизнедеятельности. Содержание загрязнителей в почвах, подвергающихся антропогенному воздействию, напрямую зависит от его времени, интенсивности и масштаба.

Одна из задач экологической геохимии — определение состава загрязнителей и основных путей их поступления в объекты окружающей среды, в том числе в питьевые воды и продукты питания. Должны быть получены достоверные данные о составе и содержании токсичных веществ, которые присутствуют в природных водах, почвах, растительности, водной и наземной биоте. Установление закономерностей поступления токсичных веществ в объекты окружающей среды может стать основой для прогнозирования состояния окружающей среды [13].

На сегодня ситуацию с нормированием содержания тяжелых металлов в объектах окружающей среды можно считать критической, поскольку вследствие неудовлетворительного состояния разработки принципов нормирования остались практически необоснованными нормативы, в частности предельно допустимые концентрации (ПДК). Особенно это касается элементов, биологическое значение которых недостаточно изучено. При определении ПДК не учитывается целый ряд показателей. Например, ПДК определяется для одного эле-

мента без учета его взаимодействия с другими элементами и их соединениями. Известно, что вследствие синергизма (суммарного воздействия) может происходить усиление или снижение токсического влияния элемента, соответственно, концентрации на уровне ПДК не обязательно приведут к необратимым изменениям в организме [8]. К недостаткам ПДК можно отнести и то, что нормативы не учитывают формы нахождения химических элементов, которые определяют их подвижность и миграционную способность, биологическую активность и токсичность в целом.

Необходимо отметить также, что одно из главных условий современного прогнозирования территорий экологического риска — составление комплекта эколого-биогеохимических карт, предназначенных для определения характера и масштаба экологических последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения. Концепция эколого-геохимического картирования, разработанная авторами, учитывает био- и геохимические особенности токсичных элементов и их поведение в трофической цепи: "почва — горная порода — вода — растение — животное — человек", комплексную информацию о состоянии окружающей среды, особенности и причины возникновения экологических нарушений и может стать основой для комплексных мониторинговых исследований [9, 10].

Лишь незначительная часть токсичных элементов поступает в организм животного и человека с пищей, более значительное количество — с питьевой водой. Изучение состава питьевых вод и закономерностей распределения в них токсичных элементов, так же как и в почвах, позволяет выделять территории экологического риска. Поэтому, определяя территории для создания сырьевой биотехнологической базы по выращиванию животных, необходимо учитывать комплекс факторов для предотвращения возможного поступления в их организм токсических элементов.

Новые многоцелевые геохимические карты должны давать полную информацию о распределении различных форм химических элементов и их соединений в объектах окружающей среды, условиях их геохимического поведения — миграции, рассеяния и концентрации. Такие геохимические карты позволят выявлять геохимические аномалии, определять их происхождение, проводить прогнозную оценку перспективнос-

ти территории для поисков полезных ископаемых, оценивать степень загрязнения территории и прогнозировать эколого-геохимическую ситуацию, а также решать целый ряд других геологических и экологических задач.

Новым этапом развития поисковой и экологической геохимии должно быть широкое использование современных физико-химических, термодинамических и других методов исследований геохимических процессов, математического моделирования на основе проведения комплексных экспериментальных работ и их апробации на конкретных природных объектах. На основе законов физической химии и термодинамики появилась возможность моделирования сложных геохимических процессов, протекающих в природных системах, и возможность получения их количественной оценки [7]. Применение физико-химических подходов дало возможность создания специальных математических моделей, описывающих закономерности миграции микроэлементов и их соединений в природной системе "горная порода — вода — растение". При исследовании форм миграции микроэлементов в природных растворах необходимо применять имитационные и процессные модели с взаимосогласованными термодинамическими параметрами.

Геохимическое моделирование и прогнозирование геохимических процессов в объектах окружающей среды должно стать основой объективной оценки состояния окружающей среды и разработки мероприятий по своевременному предупреждению чрезвычайных экологических ситуаций природного и техногенного происхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрієвська О.А., Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О. Спосіб очищення природних або стічних вод від катіонів важких металів // Пошук. та екол. геохімія. — 2010. — № 1 (10). — С. 89—91.
2. Беус А.А., Григорян С.В. Геохимические методы поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. — М.: Недра, 1975. — 280 с.
3. Вернадский В.И. Очерки геохимии. — М.: Изд-во АН СССР, 1954. — 365 с. — (Избр. соч.; Т. 1).
4. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О. Полтавська фтороносная провинция. // Вода і водоочисні технології. — 2003. — № 2 (6). — С. 46—50.
5. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О. Подвижные формы химических элементов и их значение при геохимических поисках // Мінерал. журн. — 2006. — 28, № 2. — С. 88—93.
6. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О. Геохимические методы поисков по подвижным формам химических

- элементов на Украинском щите // Дальний Восток-2. — 2007. — С. 213—222.
7. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Іваненко Н.П. Застосування математичного моделювання геохімічного поля в пошукових цілях // Мінерал. журн. — 2007. — 29, № 2. — С. 83—86.
 8. Жовинський Э.Я., Крюченко Н.О. Прикладное значение геохимии фтора // Пошук. та екол. геохімія. — 2007. — № 1 (6). — С. 3—13.
 9. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Дмитренко К.Е. Геохімічні критерії впливу зон тектонічних порушень на екологічну обстановку в Білорусі і Україні // Пошук. та екол. геохімія. — 2009. — № 1 (9). — С. 32—41.
 10. Жовинський Е.Я., Крюченко Н.О., Папарига П.С. Геохімія об'єктів довкілля Карпатського біосферного заповідника. — К.: НВП "Інтерсервіс", 2012. — 100 с.
 11. Жовинський Э.Я., Кураева И.В., Крюченко Н.О. Построение эколого-геохимических карт по показателям подвижности химических элементов (на примере Киевской области) // Прикладная геохимия (Москва, Россия). — 2004. — С. 284—289.
 12. Крюченко Н.О. Геохімічні пошуки за вторинними сольовими ореолами на території Українського щита // Пошук. та екол. геохімія. — 2007. — № 2 (7). — С. 3—60.
 13. Крюченко Н.О., Жовинський Е.Я., Жук О.А. Критерії розбуркування природних і техногенних аномалій (за формами знаходження хімічних елементів) // Пошук. та екол. геохімія. — 2012. — № 1(12). — С. 37—42.
 14. Ферсман А.Е. Очерки по минералогии и геохимии. — М.: Наука, 1977. — 192 с.

Поступила 05.08.2014

REFERENCES

1. Andrievska, O.A., Zhovinsky, E.Ya. and Kryuchenko, N.O. (2010), *Exploration and environmental geochemistry*, No 1 (10), Kyiv, Ukraine, pp. 89-91.
2. Beus, A.A. and Grigoryan, S.V. (1975), *Geochemical methods of prospecting and exploration of solid minerals*, Nedra, Moscow, 280 p.
3. Vernadsky, V.I. (1954), *Essays on Geochemistry*, Academy of Sciences SSSR, Moscow, 365 p.
4. Zhovinsky, E.Ya. and Kryuchenko, N.O. (2003), *Voda i vodoochisnie tehnologii*, No 2 (6), Kyiv, Ukraine, pp. 46-50.
5. Zhovinsky, E.Ya. and Kryuchenko, N.O. (2006), *Mineralogical Journal (Ukraine)*, Vol. 28 No 2, Kyiv, pp. 88-93.
6. Zhovinsky, E.Ya. and Kryuchenko, N.O. (2007), *Far East-2*, Russia, pp. 213-222.
7. Zhovinsky, E.Ya., Kryuchenko, N.O. and Ivanenko, N.P. (2007), *Mineralogical Journal (Ukraine)*, Vol. 29 No 2, Kyiv, pp. 83-86.
8. Zhovinsky, E.Ya. and Kryuchenko, N.O. (2007), *Exploration and environmental geochemistry*, No 1 (6), Kyiv, Ukraine, pp. 3-13.
9. Zhovinsky, E.Ya., Kryuchenko, N.O. and Dmitrenko, K.E. (2009), *Exploration and environmental geochemistry*, No 1 (9), Kyiv, Ukraine, pp. 32-41.
10. Zhovinsky, E.Ya., Kryuchenko, N.O. and Paparyga, P.S. (2012), *Geochemistry of Environmental Objects of the Carpathian Biosphere Reserve*, NVP "Interservis", Kyiv, Ukraine, 100 p.

11. Zhovinsky, E.Ya., Kuraeva, I.V. and Kryuchenko, N.O. (2004), *Applied Geochemistry*, Russia, Moscow, pp. 284-289.
12. Kryuchenko, N.O. (2007), *Exploration and environmental geochemistry*, No 2 (7), Kyiv, Ukraine, pp. 3-60.
13. Kryuchenko, N.O., Zhovinsky, E.Ya. and Zhuk, O.A. (2012), *Exploration and environmental geochemistry*, No 1 (12), Kyiv, Ukraine, pp. 37-42.
14. Fersman, A.E. (1977), *Essays on the mineralogy and geochemistry*, Nauka, Moscow, 192 p.

Received 05.08.2014

Е.Я. Жовинський, Н.О. Крюченко

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення
ім. М.П. Семененка НАН України
03680, м. Київ-142, Україна, пр. Акад. Палладіна, 34
E-mail: zhovinsky@ukr.net; nataliya-kryuchenko@mail.ru

ОСНОВИ ПОШУКОВОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ГЕОХІМІЇ

Розглянуто основні етапи формування геохімії як науки. Обґрунтована необхідність використання для пошукових робіт не статистичних, а детермінованих моделей, що відкриває нові можливості визначення кількісного зв'язку інтегрального вмісту хімічного елемента на площі вторинного сольового ореолу з його інтегральним вмістом на поверхневій площі рудоутворення. Під час розгляду основних тенденцій екологічної геохімії підкреслено, що необхідно не тільки виявляти техногенні аномалії в об'єктах навколишнього середовища, а й надавати конкретні рекомендації щодо їх можливої ліквідації. Основою для виявлення територій екологічного ризику повинні бути комплексні еколого-геохімічні карти.

Ключові слова: пошукова геохімія, екологічна геохімія, хімічні елементи, сольовий ореол, рухомі форми.

E.Ya. Zhovinsky, N.O. Kryuchenko

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of NAS of Ukraine
34, Acad. Palladina Pr., 03680, Kyiv-142, Ukraine
E-mail: zhovinsky@ukr.net; nataliya-kryuchenko@mail.ru

FUNDAMENTALS OF PROSPECTING AND ENVIRONMENTAL GEOCHEMISTRY

The main stages of geochemistry formation as a science have been considered. The necessity of the use of rather deterministic than prospecting models is substantiated that opens up new potentialities in determining the quantitative relationship of the integral content of chemical elements in the area of secondary salt halo with its integral content of the surface area of ore-formation. When considering the main trends of environmental geochemistry it was stressed that it is necessary not only to detect man-made anomalies in the environment, but also to give specific recommendations for their possible elimination. The integrated ecological-geochemical maps should serve a basis for identifying the areas of environmental risk.

Keywords: prospecting geochemistry, environmental geochemistry, chemical elements, salt halo, mobile forms.