

**Янин Е.П. Экологическая геохимия: предмет и методические основы (к 75-летию со дня рождения Ю.Е. Саета) // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2010, № 5, с. 57–70.**

Введение

Важнейшей задачей геохимии является познание истории химических элементов, участвующих в геологических процессах, которые в конечном счете определяют состояние и организованность биосферы – среды обитания человека. В результате человеческой деятельности скорость и направленность многих процессов изменяются или нарушаются, что обуславливает загрязнение окружающей среды химическими элементами и их соединениями. Для того чтобы понять, оценить и контролировать такие изменения, необходимо изучить их на атомарно-молекулярном уровне. Именно в геохимии изначально были заложены возможности получения научных знаний об этих явлениях и их последующего практического использования.

В развитии учения о геохимической деятельности человека выдающаяся роль принадлежит В.И. Вернадскому, который показал, что преобразование природы деятельностью человека является геохимическим процессом, имеет глобальный характер и есть закономерное явление в геологической истории Земли. Совокупность геохимических и минералогических процессов, вызываемых технической деятельностью человека, была позже названа А.Е. Ферсманом техногенезом. Активное применение методов и приемов геохимии для изучения этого феномена началось в конце 1960-х – начале 1970-х гг. За рубежом целенаправленные исследования геохимического преобразования биосферы в результате деятельности человека, осуществляемые в это время, связаны с именами Дж. Боулса, Р.Р. Брукса, Дж. Вуда, Е. Гольдберга, А. Гордона, Е. Горхема, Г. Каннона, Ф. Кортэ, Дж. Лагервеффа, К. Паттерсон, Д. Пурвиса, И. Торнтон, Х. Уоррена, Д. Уэбба и др., в быв. СССР – А.А. Беуса, Л.Г. Бондарева, И.К. Вадковской, А.П. Виноградова, М.А. Глазовской, Я.М. Глушко, Л.И. Грабовской, В.А. Ковды, К.И. Лукашева, А.И. Перельмана и др.

В 1976 г. планомерные геохимические исследования окружающей среды в связи с ее преобразованием техногенезом, позже получившие название «эколого-геохимических исследований», начались в Институте минералогии и геохимии редких элементов (в МОМГЭ ИМГРЭ для этих целей создается ОМПП-5). В 1977 г. в БГГЭ ИМГРЭ организуется лаборатория агрогеохимии почв, в 1982 г. – эколого-геохимическая партия в ЦОМГЭ ИМГРЭ. Непосредственно в Институте в 1977 г. создается сектор геохимии окружающей среды, в 1980 г. – отдел экологической геохимии, в 1987 г. – лаборатория экологической геохимии, которые возглавлял Ю.Е. Саэт (1934–1988) – научный руководитель соответствующих работ во всех подразделениях «большого» ИМГРЭ. Эти исследования, направленные на разработку эффективных методов выявления зон техногенного загрязнения и оценки состояния окружающей среды, сыграли первостепенную роль в развитии масштабных эколого-геохимических работ в быв. СССР.

В настоящее время многие авторы единодушны в том, что экологическая геохимия есть новое научное направление, новая научная дисциплина [1, 3, 4, 7, 18, 19, 24, 49, 51]. А единодушие, как однажды заметил К. Ясперс [68], есть уже признак общезначимости. Действительно, в различных районах России и сопредельных стран выполняются «эколого-геохимические исследования», проводятся «эколого-геохимическая оценка» и «эколого-геохимическое картирование»; в университетах и вузах России читаются специализированные курсы «Экологическая геохимия» и дейст-

вует магистерская программа по специализации 511015 «Экологическая геохимия»; в научных организациях существуют лаборатории экологической геохимии, защищаются диссертации и издаются учебные и методические пособия, книги, сборники научных трудов, справочники с таким названием; в государственной программе «Университеты России» осуществлялся проект «Экогеохимия»; в Минералогическом обществе РАН создана Комиссия по экологической минералогии и геохимии; на научных совещаниях работают секции экологической геохимии; существует веб-сайт «Экологическая геохимия». Экологической геохимии отводится важное место в структуре современных системных направлений изучения биосферы и природных комплексов [21].

Однако, как правило, большинство публикаций эколого-геохимической тематики посвящены главным образом констатации факта загрязнения окружающей среды химическими элементами и их соединениями и описанию уникальных (по мнению авторов публикаций) с указанной точки зрения ситуаций и объектов. Во многих работах, в том числе в учебных и справочных изданиях, в название которых вынесено словосочетание «экологическая геохимия» [1, 3, 22], определения этого термина, в лучшем случае, даются контекстуально, либо носят формальный характер, часто сумбурны и противоречивы. Сказанное относится также к предмету, содержанию и месту экологической геохимии в системе научного знания.

#### Существующие определения экологической геохимии

Согласно известным публикациям, экологическая геохимия, как пишут их авторы, «занимается»: 1) выявлением изменений геохимического фона биосферы [19, 49]; 2) решением экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды [33]; 3) оцениванием антропогенных изменений химического состава геологической среды и изучением разномасштабных аномалий содержаний химических элементов и их соединений, которые формируются за счет природных и антропогенных факторов [7]; 4) исследованием поведения элементов в условиях взаимодействия живого и косного вещества, факторов их миграции и накопления, а также закономерностей формирования природных и техногенных геохимических аномалий [18]; 5) изучением компонентов природной среды, подверженных техногенному изменению, и геохимических отношений в условиях экосистем различного иерархического уровня [4]; 6) изучением комфортности обитания человеческого сообщества и фокусированием знаний на сохранение экосистем в условиях интенсивного техногенного загрязнения литосферы [51]; 7) изучением общих закономерностей миграции вредных и полезных химических элементов в экосистемах с участием геологической среды [24]; 8) исследованием последствий глобальной природообразующей деятельности человека [1]; 9) выявлением и изучением техногенных объектов [26]. По мнению [5], предметом экологической геохимии является исследование геохимических отношений в экогеосистемах различного иерархического уровня (хотя что такое «экогеосистемы» авторы учебного пособия, к сожалению, не сообщают).

Некоторые авторы «помещают» экологическую геохимию в геоэкологию [7, 50], другие – в экогеологию [19, 51], третьи – убеждены, что экологическая геохимия формируется на стыке ряда наук (геохимии ландшафтов, почвоведения, геохимии почв, гидрохимии, гидрогеохимии, геохимии горных пород и кор выветривания, экологии) и ее важным разделом является биогеохимия [1], четвертые полагают, что она есть часть особого раздела биогеохимии – геохимии антропогенеза [49]. Одни авторы трактуют экологическую геохимию как область знания, объединяющей

достижения многих наук с целью описания содержания и миграции химических элементов в биосфере в условиях возрастающей техногенной нагрузки [17]. Другие ограничивают ее содержание «геохимическим мониторингом» [49].

Приведенный обзор мнений о предмете и сущности экологической геохимии адекватно отражает ситуацию, которая, в терминологии П. Фейерабенда [52], может быть охарактеризована как «методологический анархизм», что само по себе и не является «злом», ибо, как считал В.И. Вернадский, «свобода научного искания есть основное условие максимального успеха работы» [15, с. 105]. Однако ясно, что существование подобного «анархизма» становится уже не условием успеха работы, а причиной, сдерживающей дальнейшее развитие экологической геохимии. Знание, прежде всего, должно иметь предмет, оно должно быть о чем-то, что существует или еще не существует, как сказал бы Парменид из Элеи. При этом научную дисциплину нельзя изобретать и декларировать, она создается естественным, закономерным образом в ходе развития знания, когда четко вычлняются ее предмет и метод (который, в свою очередь, обусловлен, прежде всего, своим предметом, т. е. тем, что именно исследуется). Почти две тысячи лет тому назад автор трактата «О возвышенном» утверждал, что к каждому ученому руководству обычно предъявляются два требования: во-первых, следует определить предмет исследования, во-вторых, найти и указать способы, помогающие овладеть этим предметом [28]. Действительно, определяя свой предмет, наука осознает какие стороны и связи окружающего мира и во имя чего ее интересуют, или, говоря иначе, определяя свой предмет, наука осознает свои цели, задачи, свою практику. Именно предмет (и метод) определяют сущность научной дисциплины.

#### О предмете экологической геохимии

При анализе науки – как теоретического отражения действительности – обычно различают [25, 27]: 1) объект, 2) знание об объекте, 3) предмет. Объект существует независимо от знания; он существовал и до его появления. Предмет знания формируется самим знанием, он независим от субъекта познания. Любая наука направлена на некий объект (т. е. фрагмент реальности, избранный субъектом для исследования), выявляя в нем свой специфический интерес, который формирует определенный взгляд на объект, называемый аспектом рассмотрения (исследования). Объект, рассматриваемый исследователем в избранном аспекте, формирует в сознании субъекта (исследователя) предмет науки (совокупность характеристик, качеств, свойств объекта, представляющих особый интерес для данной науки). Говоря проще, в конкретной научной дисциплине, начиная изучать какой-либо объект, мы берем его с одной или нескольких сторон. Эти выделенные стороны становятся своего рода «заместителем» всего многостороннего объекта и образуют предмет (предметную область) науки, т. е. то, на что направлена мысль исследователя. Всякое предметное знание, – отмечал С.Л. Франк, – выражается в форме суждения. «Суждение есть акт мысли, в котором мы мысленно направлены на “что-то” и как-либо “определяем” это что-то, т. е. улавливаем в его составе что-либо “определенное”». То, на что мы направляемся, есть «предмет» познания; то, что мы в нем находим и о нем высказываемся, есть содержание «знания» [54, с. 199].

Таким образом, в гносеологическом плане различие предмета и объекта относительно и состоит в том, что в предмет входят лишь главные, отличительные, наиболее существенные (с точки зрения данного исследования) свойства и признаки объекта. Как подчеркивал С.Н. Булгаков, наука всегда специальна, такова ее природа. «Научное изучение есть изолирующее, сознательно одно-

стороннее подхождение к предмету. Наука вырезает для себя куски действительности и изучает их так, как будто бы это и была вся действительность. Наука дробит жизнь, разлагая действительность на отдельные части, из которых она затем складывает свой механизм, а схему этого механизма в системе понятий она и дает в своих учениях. Сопредельное или выходящее за пределы данной науки для нее или вовсе безразлично, или же существует лишь постольку, поскольку врывается в ее специальное исследование» [6, с. 75]. Именно поэтому одному и тому же интересующему нас объекту может соответствовать много разных предметов исследования (предметов познания), в каждом конкретном случае являющихся своеобразной понятийной моделью, создаваемой в связи с целью данного исследования. Например, человек является объектом изучения многих наук, однако каждая из них исследует ту или иную сторону этого объекта, составляющую ее особый, специальный предмет (анатомия человека, физиология человека, медицина и т. д.).

Основным объектом геохимии являются химические элементы; вернее, как подчеркивал В.И. Вернадский, в геохимии как «объекты изучения выступают не только химические элементы, т. е. обычные смеси изотопов, но и разные изотопы одного и того же химического элемента» [15, с. 125]. Предмет геохимии – геохимическая история элементов на нашей планете, которая «может быть всегда сведена к их разнообразнейшим движениям» [10, с. 43], т. е. к геохимической миграции. «Геохимическая история химических элементов в значительной мере основана на изучении законов таких миграций» [там же, с. 89]. Именно в результате геохимической миграции создается «атомная геометрия пространства–времени, выражаемая в истории и распределении атомов» Земли [там же, с. 14]. Все протекающие на Земле геохимические процессы в конечном счете проявляются «в движениях химических элементов в земной коре – в переносах, концентрациях, переходах этих элементов из одного соединения в другое» [11, с. 187].

В становлении современной научной картины мира выдающуюся роль сыграло учение В.И. Вернадского о живом веществе, его геохимической роли и об уникальной оболочке Земли, порожденной живым веществом, – биосфере. В сущности, именно В.И. Вернадский впервые показал, что, во-первых, живое вещество (включая человечество) в биосфере играет основную роль и по своей мощности ни с какой геологической силой не может быть сравниваемо; во-вторых, преобразование природы деятельностью человека является в основе своей геохимическим процессом, имеет глобальный характер и есть закономерное явление в геологической истории Земли [12–15]. Способность живых организмов вызывать движение (биогенную миграцию) химических элементов ученый назвал биогеохимическими функциями живого вещества, которые захватывают практически все химические элементы, распространяются на всю планету, не зависят от территориальных условий и химически отражаются на окружающей организм внешней среде. В качестве особой геологической силы ученый выделил биогеохимические функции человечества.

В.И. Вернадский также показал, что существуют различные формы биогенной миграции. Первая и основная форма – это биогенная миграция, генетически, непосредственно связанная с веществом живого организма (дыхание, питание, внутренний метаболизм, размножение), количественное значение которой определяется массой живого вещества, существующего в данный момент на Земле. Вторая форма – миграция, связанная с интенсивностью биогенного тока атомов; она может быть резко различна при одном и том же количестве атомов, захваченных живым веществом. Третья форма – миграция атомов, производимая организмами, но генетически и непосредственно не связанная с входением или прохождением атомов через их тело. Она «производится техникой их жизни» (постройки термитов, муравьев, кораллов и т. п.), а своего исключительного развития достигла после возникновения цивилизованного человечества и максимально проявилась

уже в наше время. В.И. Вернадский выделил и четвертую форму биогенной миграции – те «косвенным образом связанные с живым веществом изменения в положении атомов, которые являются следствием брошенных организмами в биосферу новых соединений» (например, миграция, вызванная созданием свободного кислорода «зелеными организмами или изменением химических комбинаций, созданных гением человека») [11, с. 243].

Оценивая скорость и геологическую значимость биогенной миграции, В.И. Вернадский пришел к заключению, что следует различать: биогенную миграцию атомов 1-го рода для микробов и одноклеточных организмов, и биогенную миграцию атомов 2-го рода для многоклеточных организмов. С точки зрения геологической роли биогенная миграция 1-го рода до недавних пор резко преобладала на Земле. В настоящее время человек овладел новым для биосферы видом биогенной миграцией атомов 3-го рода, «идущей под влиянием его жизни, воли, разума в окружающей среде», и которая сейчас доминирует на нашей планете [14, с. 247]. Этот вид миграции является одним из самых грандиозных геохимических процессов и «представляет форму организованности первостепенного значения в строении биосферы» [11, с. 231]. Совокупность геохимических и минералогических процессов, вызываемых технической (инженерной, горнотехнической, химической, сельскохозяйственной) деятельностью человека, была позже названа А.Е. Ферсманом [53] техногенезом, а миграция элементов, обусловленная этой деятельностью, получила название «техногенной миграции».

В методологическом аспекте для нас важен следующий факт. Так, понятие о биогенной миграции атомов 3-го рода, сформулированное В.И. Вернадским и еще требующее своего терминологического оформления, по своему объему больше, нежели понятие о техногенной миграции химических элементов. С позиций формальной логики они находятся в отношении субординации (подчинения объемов), когда понятие меньшего объема (техногенная миграция) составляет часть понятия с большим объемом (биогенная миграция атомов 3-го рода), т. е. находятся в родовидовых отношениях (техногенная миграция есть вид биогенной миграции 3-го рода). Обычно эти два понятия отождествляют, тогда как биогенная миграция атомов 3-го рода определяется не только технической деятельностью человека. С одной стороны, человечество есть часть живого вещества, в связи с чем способно вызывать миграцию химических элементов, связанную с его материальным субстратом, что, между прочим, может приводить к негативным экологическим и гигиеническим последствиям. С другой стороны, подчеркивал В.И. Вернадский, здесь мы сталкиваемся с новым фактором - с человеческим сознанием, с научной мыслью, которая выявляется как сила, имеющая небывалое значение в истории биосферы и практически всех химических элементов. «Это явилось следствием мощного развития научной мысли, научного исследования и охваченной наукой техники и труда человеческих обществ» [14, с. 251]. Естествознание и неразрывно с ним связанная техника проявляются в наш век как геологическая сила, резко меняющая биосферу [11]. Как писал С.Н. Булгаков, «в науке строятся не только логические модели действительности, но и создаются проекты воздействия на нее» [6, с. 193]. Практически одновременно с В.И. Вернадским близкие идеи высказывал К.Э. Циолковский, особо подчеркнувший, что разум человеческий становится огромной силой на Земле [55].

С точки зрения терминологии (науки о терминах), словосочетание «биогенная миграция атомов 3-го рода» является термином, в котором использованы так называемые произвольные признаки (в одной из работ В.И. Вернадский использовал термин «техническая биогенная миграция»). Такие термины достаточно трудно входят в научную терминологическую систему. Возможно, в силу этого термин «биогенная миграция атомов 3-го рода» как бы заменился термином «техноген-

ная миграция элементов». Одновременно произошла, если не подмена, то, по крайней мере, заметное сужение объема соответствующего понятия. В частности, традиционным является разделение (классификация) геохимической миграции (ближайшее родовое понятие) на 4 вида (ближайшие видовые понятия) [32, 34]: механическая миграция, физико-химическая миграция, биогенная миграция, техногенная миграция, что приводит к логической ошибке, поскольку последняя есть *вид* биогенной миграции (обусловленной технической деятельностью человека, т. е. техногенезом). Более того, во многих публикациях утверждается, что в ноосфере главную роль играет техногенная миграция, которая, будучи (в рассмотренной выше классификации) видовым понятием, тем не менее является «высшей формой миграции» и включает в себя и все «низшие формы» - механическую, физико-химическую и биогенную миграции (таким образом становясь, почему-то, родовым понятием, что также приводит, по крайней мере, к логической ошибке). Может быть, в качестве синонима термина «биогенная миграция атомов 3-го рода» следует использовать словосочетание «антропогенная геохимическая миграция»? При этом техногенная геохимическая миграция, обусловленная технической деятельностью человека (техногенезом), будет являться видом антропогенной геохимической миграции.

Новая отрасль знания, призванная изучать влияние жизни на геохимические процессы, была названа В.И. Вернадским биогеохимией: «Биогеохимия – новая большая отрасль геохимии... изучает влияние жизни на историю земных химических элементов...; она исследует те перемещения земных атомов – миграции их масс, которые вызываются живыми организмами», биогеохимия «может... рассматриваться... как геохимия биогенных процессов». Основная задача ее – точное количественное и качественное, возможно, полное выявление геохимических функций живого вещества в биосфере. При этом «биогеохимия... может изучаться в трех аспектах: во-первых, с биологической стороны – ее значение для познания явлений жизни; во-вторых, с геологической стороны – ее значение для познания среды жизни, т. е. прежде всего биосферы, и, в-третьих, в связи с ее прикладным значением, которое может быть сведено к биогеохимической роли человечества» [13, с. 12–13].

Так были обозначены три важнейших направления геохимического изучения биосферы, которые в настоящее время, по мнению автора этих строк, оформились в самостоятельные научные дисциплины: геохимическая экология [21, 23] – геохимическое познание явлений жизни, геохимия ландшафта [31, 34] – геохимическое познание среды жизни, экологическая геохимия – познание биогеохимической роли человечества. Они обладают признаками, определяющими существование самостоятельной научной дисциплины: имеют достаточно четкое содержание, собственные предмет, методику исследований и терминологию, в той или иной мере характеризуются системностью знаний, что отражается наличием научных фактов, понятий и обобщений. Здесь уместно напомнить, что предмет исследования вновь возникающей науки, как подчеркивал С.Л. Франк [54], может быть определенным, т. е. уже ранее (частично) познанным («психологически это есть преобладающий случай в нашем познании»). Исторически сложилось так, что именно В.И. Вернадским была обозначена важнейшая научная проблема современности – биогеохимическая роль человечества, разрешением которой, по его мнению, должен был заниматься особый раздел биогеохимии, уже в наши дни оформившийся в самостоятельную научную дисциплину – экологическую геохимию, которая научно изучает историю химических элементов в биосфере в условиях проявления биогеохимических функций человечества. Поскольку геохимическая «история... элементов... может быть всегда сведена к их... миграциям» [10, с. 43], то можно сказать, что экологическая геохимия изучает биогенную миграцию атомов 3-го рода и ее проявления в биосфере. Таким образом,

биогенная миграция атомов 3-го рода (антропогенная геохимическая миграция), идущая в окружающей среде под влиянием жизни, воли, разума человека и сейчас доминирующая на нашей планете, является предметом исследования экологической геохимии.

Важнейшие проявления биогенной миграции атомов 3-го рода могут быть сведены к геохимическим процессам и явлениям, их пространственно-временным отражениям и взаимодействиям в биосфере, включая появление в ней новых (с геохимической точки зрения) геологических тел и образований. Можно говорить о двух классах задач, которые реализуются в экологической геохимии: а) задачи эвристические, связанные с научным изучением биогеохимических функций человека и биогенной миграции атомов 3-го рода, состоящие в получении нового знания, как такового, его упорядочении и обобщении; эти задачи определяют фундаментальную сторону эколого-геохимических исследований; б) задачи прикладные, направленные на оценку состояния биосферы как среды «жизни и разума», выявление масштабов и последствий преобразования биосферы деятельностью человека, использование полученных знаний в практике.

### Методические основы экологической геохимии

Теоретическая и понятийная базы экологической геохимии и система используемых методов опираются на законы, принципы, обобщения, понятия, исследовательские приемы общей геохимии, биогеохимии, поисковой геохимии, геохимической экологии, геохимии ландшафта, экологии, гигиены, аналитической химии. Это закономерно, поскольку вновь возникающие научные дисциплины практически всегда используют методы других наук, адаптируют их к своим задачам и формируют на этой основе собственные методические системы научной работы. Еще Г. Спенсер отметил, что «ни одна из наук не развивалась отдельно, ни одна из них не является логически или исторически независимой, все они, в большей или меньшей степени, требовали помощи и сами оказывали ее. Науки суть искусства одна для другой [48, с. 544]. В. Дильтей подчеркивал [20], что каждая наука вытекает из предыдущих наук и отчасти возводит свое здание из входящих в ее область уже известных фактов. Особенно это характерно для наук, говоря словами В.И. Вернадского, «наблюдательного характера, где нет места блестящим открытиям...; где нет возможности путем математического анализа или синтеза достигнуть нового и неизведанного и раскрыть его перед удивленными современниками» [16, с. 270]; где особенно справедлива максима Теренция: «в конце концов не скажешь ничего уже, что не было б другими раньше сказано».

Основными методическими принципами, составляющими, по мнению автора этих строк [64, 66], научную основу экологической геохимии, являются следующие эмпирические обобщения, основанные на идеях В.И. Вернадского, А.Е. Ферсмана, их последователей.

1. Повсеместное распространение («всюдность») химических элементов во всех геосферах, где они находятся в устойчивых динамических равновесиях, различных для каждой среды нахождения, при резком преобладании их рассеянного состояния над концентрированным.

2. В основе геологических процессов лежит закон дифференциации вещества Земли, определяющий зональность распределения химических элементов во всех измерениях и на всех уровнях организации вещества и, соответственно, своеобразии химического состава структурных единиц земного вещества. Явления зональности особенно характерны для биосферы, основным проявлением которой является резко выраженная геохимическая (физико-химическая) гетерогенность.

3. Непрерывная миграция химических элементов во времени и пространстве, имеющая для большинства из них циклический характер и в биосфере осуществляемая или при непосредственном участии живого вещества, или в среде, геохимические особенности которой обусловлены живым веществом.

4. Физико-химическое единство живого вещества, неразрывность и единство живого вещества и окружающей среды; явления жизни и явления мертвой природы есть проявление единого процесса. Живое вещество охватывает и регулирует в области биосферы все или почти все химические элементы.

5. Биогенные миграции и биогеохимические функции могут быть сведены: а) к 1-му биогеохимическому принципу: биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному проявлению; б) к 2-му биогеохимическому принципу: эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию форм жизни, устойчивых в биосфере, идет в направлении, увеличивающем биогенную миграцию атомов биосферы.

6. Поведение химических элементов в биосфере зависит от миграционной и геохимической структуры ландшафтов, в свою очередь подчиненной географической закономерности (закону широтной и вертикальной зональности). Каждая ландшафтная зона - это геохимическая зона с особым типом биологического круговорота атомов и своеобразными условиями их миграции, контролирующими процессы и интенсивность рассеяния и концентрирования химических элементов и их соединений в различных компонентах окружающей среды.

7. Ведущая роль воды в геохимических процессах биосферы, которая является областью, где вода господствует и по массе и по своему геологическому значению. В течение практически всего геологического времени для воды и живого вещества характерны тесная связь и огромное взаимное влияние.

8. В настоящее время изменение геохимической структуры биосферы происходит в результате биогеохимических функций человечества, являющегося неотъемлемой частью живого вещества, основным проявлением которых является биогенная миграция атомов 3-го рода.

Для понимания проблем и постановки задач изучения преобразования биосферы человеком и биогенной миграции атомов 3-го рода (антропогенной геохимической миграции) важнейшее значение имеют следующие положения, в той или иной мере обозначенные В.И. Вернадским и А.Е. Ферсманом, получившие развитие в трудах их последователей и отчасти сформулированные ранее [57–59, 61–67].

1. Изменение химического состава и геохимической структуры биосферы, являющееся следствием проявления биогеохимических функций человечества, – закономерное явление в ее геологической истории, это есть естественный (геологический) процесс, который имеет глобальный характер и проявляется в масштабе природных химических реакций.

2. Современный этап в развитии биосферы может быть охарактеризован как своеобразная геохимическая эпоха, когда человек с нарастающим темпом вовлекает в биогенную миграцию 3-го рода все химические элементы, а в круг своего влияния – все химические процессы, известные в биосфере, создает на земной поверхности «неустойчивые формы нахождения химических элементов» и вмешивается в действия основных биогеохимических принципов.

3. Биогенная миграция атомов 3-го рода (в понимании В.И. Вернадского) определяется не только технической деятельностью человека. Человечество является частью живого вещества, в связи с чем способно вызывать миграцию химических элементов, связанную с его материальным субстратом. Однако здесь мы сталкиваемся с новым фактором – с человеческим сознанием, с на-



учной мыслью, которая выявляется как сила, создающая ноосферу, как сила, имеющая небывалое значение в геологической истории биосферы, в истории практически всех химических элементов. Техногенная геохимическая миграция, обусловленная технической деятельностью человека, есть вид биогенной миграции атомов 3-го рода.

4. Техногенез (в понимании А.Е. Ферсмана) является полиэлементным источником загрязнения и приводит к формированию в окружающей среде техногенных геохимических аномалий, фиксируемых прежде всего для химических элементов с высокой технофильностью, повышенной токсичностью, высоким уровнем биопоглощения и/или обладающих выраженной биоактивностью. При этом наблюдаются выраженные корреляционные связи между техногенными источниками загрязнения, миграцией химических элементов в водных и воздушных потоках и их временным концентрированием в природных телах.

5. Техногенез и техногенные процессы способны резко менять поведение химических элементов, вплоть до появления химических реакций и соединений, а также явлений, чуждых условиям биосферы; или, как писал В.И. Вернадский, человек «совершенно меняет общую картину геохимических процессов земной коры» и создает новые типы связанных с биосферой геологических тел и образований (минералов, отложений, почв, вод и т.п.), новые типы экосистем, живого вещества, уничтожая и(или) преобразуя при этом ранее существовавшие живые организмы, природные системы и геологические образования.

6. В условиях максимального проявления биогеохимических функций человечества геохимические особенности ландшафтов могут всецело определяться химическими элементами, отличающихся высокой токсичностью или выраженной биоактивностью даже при крайне низких уровнях их содержания в объектах среды обитания, что отражается в формировании техногенных биогеохимических районов, областей и провинций.

7. Техника (как совокупность средств человеческой деятельности) и технология (как совокупность методов производства) уже не могут рассматриваться только лишь как инструмент преобразования биосферы, но сами являются окружающей человека средой. Это особенно ярко проявляется в промышленных районах, отражающих наиболее концентрированную форму геохимического воздействия человека на среду обитания и, в свою очередь, обратное действие на человека измененной среды обитания, что в настоящее время уже составляет основной фактор исторического развития. Дальнейшее устойчивое развитие общества возможно лишь при должной оптимизации состояния окружающей среды с учетом происходящих в ней геохимических изменений, или, говоря словами В.И. Вернадского, необходимо кардинальное изменение химической работы человечества.

8. Цивилизация культурного человечества не может прерваться, поскольку это есть «большое природное явление, отвечающее геологически сложившейся организованности биосферы». Важнейшим условием этого является переход биосферы в ее новое эволюционное состояние - ноосферу, когда биогеохимические функции человечества будут урегулированы с окружающей средой как в интересах «свободно мыслящего человечества как единого целого», так и в интересах самой биосферы; когда биогенная миграция атомов 3-го рода в прямом смысле будет руководима человеческим разумом, а человек из существа социально гетеротрофного делается существом социально автотрофным.

Как уже отмечалось выше, в становлении и практическом развитии экологической геохимии особое значение имеют геохимические исследования окружающей среды Москвы и ее окрестностей, которые были начаты в 1976 г. Ю.Е. Саеком и его сотрудниками [2, 8, 36–38, 40–43, 46, 47,

60]. Возникновение эколого-геохимических исследований именно в ИМГРЭ, как заметил А.И. Перельман [33], – закономерное явление. Дело в том, что долгое время важнейшим направлением исследований коллектива Института являлось изучение процессов рудообразования и разработка научных основ геохимических методов поисков рудных месторождений. В основе теории геохимических методов поисков по сути лежит концепция, рассматривающая процесс образования месторождений как единственно возможный переход химических элементов от их изначально рассеянного состояния в земной коре и мантии к концентрированному состоянию с многоступенчатой дифференциацией, приводящей к образованию месторождений и связанных с ними первичных геохимических ореолов [29, 30]. В свою очередь, возникновение вторичных геохимических ореолов и потоков рассеяния, обусловленное разрушением месторождений и их первичных ореолов, является единственно возможным обратным процессом – переходом элементов, также дифференцированным, от концентрирования вновь к рассеянию. В ходе распространения химических элементов, поступающих от техногенных источников, в окружающей среде образуются техногенные геохимические аномалии, аналогами которых являются рудогенные геохимические аномалии. Это априори обусловило возможность применения для выявления техногенных аномалий методов и методических приемов поисковой геохимии, что, в сущности, на практике и было удачно применено Ю.Е. Саетом и его коллегами. Поисковая геохимия располагала также экспрессным и недорогим химико-аналитическим методом на широкий круг химических элементов (атомно-эмиссионный спектральный анализ). Отмеченные факты во многом определили дальнейшее развитие эколого-геохимических исследований. Это, прежде всего, их практический, прикладной характер и широкое использование геохимического картирования. В то же время, уже результаты первых работ, выполненных в Москве и ее окрестностях, установили своеобразие техногенного загрязнения (как геохимического явления) и указали на необходимость адаптации методов поисковой геохимии к новым задачам, разработки новых исследовательских приемов и оценочных показателей, привлечения прецизионных аналитических методов, использования достижений и методических приемов других научных дисциплин (геохимии ландшафта, геохимической экологии, гигиены, эпидемиологии, агрохимии).

К настоящему времени технология эколого-геохимических исследований (в первую очередь, прикладных) разработана относительно детально [7, 9, 35–47, 56, 64]. В общем случае исследовательская схема такова: 1) изучение геохимических ассоциаций, содержания и форм нахождения химических элементов в твердых отходах, выбросах, сточных водах, средствах химизации, выявление источников и путей их поступления в окружающую среду; 2) прослеживание путей, способов и механизмов миграции элементов и их соединений в окружающей среде, установление природных компонентов, взаимодействующих с миграционным потоком; исследование интенсивности и результатов этого взаимодействия (геохимических аномалий, техногенных отложений и т. п.); 3) выявление и оценка площади распространения техногенных геохимических аномалий, изучение их качественного состава, установление количественных параметров, морфоструктурных особенностей, а также центров наиболее интенсивного воздействия, отличающихся максимальными нагрузками токсичных и(или) биологически активных элементов и их соединений и определяющих группы живых организмов с повышенным риском проявления отрицательных реакций; 4) экологическая оценка зон загрязнения и связанных с ними геохимических явлений и техногенных образований; 5) обоснование мероприятий по снижению, ликвидации и предотвращению негативного воздействия человеческой деятельности на окружающую среду.

## Заключение

Существующие в настоящее время подходы к оптимизации взаимодействия человека и биосферы все еще не дают ключа к пониманию того, как эффективнее всего подойти к решению этой сложной проблемы. Декларируемые в последние годы концепции устойчивого развития, экологической безопасности и улучшения среды обитания во многом определены искусственно, без должного обоснования, поскольку зачастую базируются на интуитивном подходе, а иногда просто на эмоциях. Это во многом связано с отсутствием надежных сведений, отражающих влияние деятельности человека на природу, обычно рассматриваемое как совершенно нежелательное и даже случайное явление.

В то же время, как показал В.И. Вернадский, деятельность человека и ее проявление в биосфере «не есть случайное явление, зависящее от воли человека», а есть отдельный факт общего природного явления, закономерного и обусловленного эволюционным развитием биосферы как среды «жизни и разума». Именно поэтому этот факт (и его наиболее концентрированное проявление – техногенез) должен рассматриваться и изучаться как «природный процесс, корни которого лежат глубоко и подготовлялись эволюционным процессом, длительность которого исчисляется сотнями миллионов лет» [15, с. 28]. В идеале решение многих экологических проблем сводится к разумному управлению биогеохимическими функциями человечества и, соответственно, биогенной миграцией атомов 3-го рода, от интенсивности и специфики проявления которых в существенной мере зависят качество среды обитания отдельных районов и организованность биосферы в целом.

Масштабы проявления биогенной миграции атомов 3-го рода чрезвычайно велики, что определяет не только увеличение уровней содержания в окружающей среде химических элементов и их соединений («техногенное загрязнение»), но и кардинальное изменение основных физико-химических параметров среды их миграции, вплоть до формирования геохимических обстановок и образований, до недавнего времени в природе не существовавших. Собственно техногенные преобразования захватывают огромные территории, проявляются в коренной трансформации всех компонентов биосферы и представляют собой главный фактор, определяющий экологические особенности многих регионов мира, а в конечном счете и условия существования человека. «Где остановится этот новый геологический процесс? И остановится ли он?» [10, с. 223]. В поисках ответов на эти вопросы особая роль принадлежит экологической геохимии.

## Литература

1. *Алексеев В.А.* Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. – 828 с.
2. *Алексинская Л.Н., Астрахан Е.Д., Ачкасов А.И. и др.* Эколого-геохимические исследования в Московском регионе. – М.: ИМГРЭ, 1989. – 28 с.
3. *Барabanов В.Ф.* Введение в экологическую геохимию. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1994. – 144 с.
4. *Бочаров В.Л.* Спецкурс «Экологическая геохимия» на геологическом факультете Воронежского университета: опыт и проблемы // Международный симпозиум по прикладной геохимии стран СНГ. 29-31 октября 1997, Москва, Россия. Тез. докл. – М.: ИМГРЭ, 1997. – С. 332.
5. *Бочаров В.Л., Бугреева М.Н.* Учебное пособие по «Экологической геохимии» для студентов 5 курса дневного отделения геологического факультета. – Воронеж, 2001. – 57 с.

6. Булгаков С.Н. Сочинения в 2 т.: Т. 1: Философия хозяйства. Трагедия философии. – М.: Наука, 1993. – 603 с.
7. Буренков Э.К., Морозова И.А., Смирнова Р.С. и др. Задачи и методы разномасштабного эколого-геохимического картирования // Эколого-геохимические исследования в районах интенсивного техногенного воздействия. – М.: ИМГРЭ, 1990. – С. 4–15.
8. Буренков Э.К., Саев Ю.Е. Проблемы ноосферы и эколого-геохимические исследования // Сов. геология, 1988. – № 4. – С. 24–32.
9. Буренков Э.К., Янин Е.П., Кижаккин С.А. и др. Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды г. Саранска. – М.: ИМГРЭ, 1993. – 115 с.
10. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т. 1. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 696 с.
11. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т. 5. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 422 с.
12. Вернадский В.И. Живое вещество. – М.: Наука, 1978. – 358 с.
13. Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии. – М.: Наука, 1980. – 320 с.
14. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 1987. – 339 с.
15. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. – М.: Наука, 1988. – 520 с.
16. Вернадский В.И. Статьи об ученых и их творчестве. – М.: Наука, 1997. – 364 с.
17. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал. – Новосибирск: СО РАН, 1997. – 234 с.
18. Гавриленко В.В. Некоторые актуальные проблемы экологической минералогии и геохимии // Зап. ВМО, 1994. – № 3. – С. 1–8.
19. Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И. Основные проблемы экологической геологии // Геоэкология, 1995. – № 1. – С. 28–35.
20. Дильтей В. Сущность философии: Пер. с нем. – М.: Интрада, 2001. – 155 с.
21. Ермаков В.В. Геохимическая экология как следствие системного изучения биосферы // Тр. Биогеохим. лаб., 1999. – Т. 23. – С. 152–182.
22. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: Кн. 1. – М.: Недра, 1994. – 304 с.
23. Ковальский В.В. Геохимическая экология. – М.: Наука, 1974. – 299 с.
24. Королев В.А., Некрасова М.А., Полищук С.Л. Геопургология: очистка геологической среды от загрязнений. – М.: Геоинформмарк, 1997. – 47 с.
25. Кохановский В.П. Философия и методология науки. – Ростов-на-Дону: Феникс, 1999. – 576 с.
26. Клубов С.В., Прозоров Л.Л. Геоэкология: русско-английский понятийно-терминологический словарь. – М.: ВНИИзарубежгеология, 1994. – 104 с.
27. Логика научного исследования. – М.: Наука, 1965. – 360 с.
28. «О возвышенном». Пер., статьи и прим. Н.А. Чистяковой. – М.–Л.: Наука, 1966. – 148 с.
29. Овчинников Л.Н. Образование рудных месторождений. – М.: Недра, 1988. – 287 с.
30. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. – М.: Недра, 1990. – 247 с.
31. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа, 1975. – 342 с.
32. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.
33. Перельман А.И. Теория геохимических методов поисков рудных месторождений и создание ландшафтно-геохимической модели бальнеологического грязевого курорта на севере Евро-

пейской России // Прогнозно-поисковая геохимия на рубеже XXI века. – М.: ИМГРЭ, 1998. – С. 49–51.

34. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. – М.: Астрейя-2000, 1999. – 768 с.

35. *Ревич Б.А., Сает Ю.Е.* Состояние здоровья детского населения промышленных городов с различной территориальной геохимической структурой // Вест. АМН СССР, 1989. – № 8. – С. 14–18.

36. *Ревич Б.А., Сает Ю.Е., Смирнова Р.С., Сорокина Е.П.* Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 112 с.

37. *Сает Ю.Е.* Антропогенные геохимические аномалии (особенности, методика изучения и экологическое значение): Автореф. дис. д-ра геол.-мин. н. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 53 с.

38. *Сает Ю.Е.* Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду // Геохимия ландшафтов и география почв. – М.: Изд-во МГУ, 1982. – С. 84–100.

39. *Сает Ю.Е.* Геологические проблемы Большого Города // Геохимические исследования городских агломераций. – М.: ИМГРЭ, 1998. – С. 4–12.

40. *Сает Ю.Е., Алексинская Л.Н., Башаркевич И.Л. и др.* Оценка состояния окружающей среды г. Москвы по геохимическим данным и рекомендации по ее улучшению. – М.: ИМГРЭ, 1980. – 70 с.

41. *Сает Ю.Е., Алексинская Л.Н., Янин Е.П.* Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 74 с.

42. *Сает Ю.Е., Башаркевич И.Л., Ревич Б.А.* Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 66 с.

43. *Сает Ю.Е., Онищенко Т.Л., Янин Е.П.* Методические рекомендации по геохимическим исследованиям для оценки воздействия на окружающую среду проектируемых горнодобывающих предприятий. – М.: ИМГРЭ, 1986. – 99 с.

44. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А.* Эколого-геохимические подходы к разработке критериев нормативной оценки состояния городской среды // Изв. АН СССР, сер. геогр., 1988. – № – С. 37–46.

45. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Смирнова Р.С. и др.* Город как техногенный субрегион биосферы // Тр. Биогехим. лаб., 1985. – Т. 20. – С. 133–166.

46. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

47. *Сает Ю.Е., Янин Е.П.* Методические рекомендации по геохимической оценке состояния поверхностных вод. – М.: ИМГРЭ, 1985. – 48 с.

48. *Спенсер Г.* Опыты научные, политические и философские: Пер. с англ. – Минск: Современный литератор, 1998. – 1408 с.

49. *Сутурин А.Н., Кочнев Н.К.* Агрогеохимия – новый раздел биогеохимии // Современные проблемы теоретической и прикладной геохимии. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 200–204.

50. *Сычев К.И.* Геоэкологическое изучение территории СССР // Разведка и охрана недр, 1990. – № 3. – С. 3–10.

51. Теория и методология экологической геологии. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 368 с.

52. *Фейерабенд П.* Против методологического принуждения. Очерки анархистской теории познания: Пер. с англ. – Благовещенск: БГК, 1998. – 352 с.

53. *Ферсман А.Е.* Геохимия: Т. 2. – Л.: Химтеорет, 1934. – 354 с.

54. *Франк С.Л.* Сочинения. – М.: Правда, 1990. – 607 с.

55. Циолковский К.Э Воля Вселенной (неизвестные разумные силы). – Калуга, 1928.
56. Янин Е.П. Экологическая геохимия горнопромышленных территорий. – М.: Геоинформ-марк, 1993. – 50 с.
57. Янин Е.П. Принципы, методы и задачи эколого-геохимических исследований в системе государственного мониторинга геологической среды // Всерос. науч.-практ. конф. «Экологический мониторинг: проблемы создания и развития Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ)». – М.: ГИПЭ, 1996. – С. 167–173.
58. Янин Е.П. Экологическая геохимия: исходные положения и эмпирические обобщения // Проблемы экологической минералогии и геохимии: Тез. докл. Годичного собрания Минералогического общества РАН, Санкт-Петербург, 21–23 мая 1997 г. – СПб., 1997. – С. 5–6.
59. Янин Е.П. Экологическая геохимия: задачи, исходные положения, эмпирические обобщения и методы исследований // Геоэкологическое картографирование. Тез. докл. Всерос. научно-практической конф. (пос. Зеленый, 24–27 февраля 1998 г.): Ч. II. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1998. – С. 126–128.
60. Янин Е.П. К истории эколого-геохимических исследований в ИМГРЭ // Геохимические исследования городских агломераций. – М.: ИМГРЭ, 1998. – С. 158–165.
61. Янин Е.П. Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). – М.: Диалог-МГУ, 1998. – 281 с.
62. Янин Е.П. Истоки, принципы и основные понятия экологической геохимии // Геохимические исследования городских агломераций. – М.: ИМГРЭ, 1998. – С.13–40.
- 63 Янин Е.П. Принципы и методические основы эколого-геохимических исследований // Отечественная геология, 1999. – № 1. – С. 54–58.
64. Янин Е.П. Введение в экологическую геохимию. – М.: ИМГРЭ, 1999. – 68 с.
65. Янин Е.П. Экологическая геохимия: научные основы, предмет, объект и задачи исследований // Вторая Российская школа «Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы». Мат-лы. – М.: ГЕОХИ РАН, 1999. – С. 112–113.
66. Янин Е.П. Экологическая геохимия и проблемы биогенной миграции химических элементов 3-го рода // Тр. Биогеохим. лаб., 2003. – Т. 24. – С. 37–75.
67. Янин Е.П. О предмете экологической геохимии // Прикладная геохимия. Вып. 6: Экологическая геохимия Москвы и Подмосковья. – М.: ИМГРЭ, 2004. – С. 23–38.
68. Ясперс К. Смысл и назначение истории: Пер. с нем. – М.: Республика, 1994. – 527 с.