

# Отечественная геология

Журнал выходит один раз в два месяца

Основан в марте 1933 года

I/1999

*Учредители:*

Министерство природных  
ресурсов РФ

Российское геологическое общество  
Центральный  
научно-исследовательский  
геологоразведочный институт  
цветных и благородных металлов

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

**Главный редактор А. И. Кривцов**

**Бюро:** И. Ф. Глумов, Р. В. Добропольская (зам. главного редактора),  
В. А. Ерхов, В. И. Казанский, А. А. Кременецкий, Г. А. Машковцев,  
Н. В. Милененко, Л. В. Оганесян (зам. главного редактора), М. В. Рогачева (отв. секретарь), А. Ю. Розанов, Г. В. Ручкин (зам. главного редактора), Б. А. Соколов, В. И. Старостин, А. А. Шпак

**Редсовет:** А. Н. Барышев, Э. К. Буренков, В. С. Быкадоров, Н. Н. Ведерников,  
И. С. Грамберг, А. Н. Еремеев, А. И. Жамойда, А. Н. Золотов, А. Б. Каждан,  
М. М. Константинов, Т. Н. Корень, Л. И. Красный, Н. К. Курбанов, Н. В. Межеловский,  
И. Ф. Мигачев, В. М. Питерский, В. Ф. Рогов, Е. И. Семенов, В. В. Семенович,  
В. С. Сурков, В. А. Ярмолюк

МОСКВА

## Принципы и методические основы эколого-геохимических исследований

Е.П.ЯНИН (ИМГРЭ)

Словосочетания экологическая геохимия, эколого-геохимические исследования сегодня прочно утвердились в научной литературе. Как правило, любые исследования по оценке состояния среды обитания, осуществляемые на основе изучения распределения химических элементов и их соединений в различных природных и природно-техногенных объектах, относят к эколого-геохимическим исследованиям. Подавляющая часть их направлена главным образом на констатацию факта «загрязнения» окружающей среды\*. Работы, посвященные методологическим аспектам указанных исследований, практически отсутствуют. Есть лишь редкие исключения [5, 11]. По-видимому, это нормальное явление, поскольку накопление научных фактов — закономерный этап в развитии любой научной дисциплины. Как писал В.Н.Беклемищев: «...для плодотворного научного исследования вовсе незачем особенно раздумывать над методами и принципами науки; для правильного мышления знание законов, его определяющих, — не нужно. Фактически наука, действительно, всегда развивается раньше своей методологии... Наука развивается интуитивным применением правильных, но еще не осознанных методов, изобретаемых по мере надобности в течение работы... Методология не дает рецептов и не изобретает методов; она не нужна для накопления знаний» [2, с. 18]. Однако он также указывал, что наука — не есть просто собрание установленных сведений, поскольку такое собрание легко может оказаться грудой фактов и обобщений; наука же должна быть зданием, наука есть систематическое единство или, по крайней мере, стремится быть таковой.

В свое время В.И.Вернадский показал, что «...живое вещество в биосфере играет основную роль и по своей

мощности ни с чем, ни с какой геологической силой не может быть сравниваемо по своей интенсивности и непрерывности во времени. В сущности, оно определяет все основные химические закономерности в биосфере» [9, с. 220]. Это позволило ему обосновать положение о биогеохимических функциях живого вещества, которые распространяются на всю планету, не зависят от территориальных условий и химически отражаются на окружающей организме внешней среде. В качестве новой геологической силы В.И.Вернадский выделил биогеохимическую функцию человечества, а в качестве нового для биосферы вида геохимической миграции — биогенную миграцию атомов 3-го рода, идущую под влиянием человека («его жизни, воли, разума») и которая сейчас доминирует на нашей планете. Впервые было показано, что преобразование природы деятельности человека является в основе своей геохимическим процессом, имеет глобальный характер и есть закономерное явление в геологической истории Земли [9]. Новая отрасль знания, призванная изучать влияние жизни (живого вещества) на геохимические процессы, была названа В.И.Вернадским биогеохимией, при этом «биогеохимия... может изучаться в трех аспектах: во-первых, с биологической стороны — ее значение для познания явлений жизни; во-вторых, с геологической — 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» [8, с. 12]. Таким образом, В.И.Вернадский, по нашему мнению, обозначил три важнейших направления геохимического изучения биосферы, которые сейчас оформились в самостоятельные научные дисциплины, тесно связанные между собой: геохимическую экологию [14], включая учение о биогеохимических провинциях [10] и учение о микроэлементозах [1], геохимию окружающей среды [2, 23] и экологическую геохимию.

Экологическая геохимия (экогеохимия) — научная дисциплина, изучающая поведение (поступление, рассеяние, миграцию, концентрирование, трансформацию, биопоглощение) химических элементов в окружающей среде (биосфере) в связи с деятельностью (в самом широком смысле) человека. Основной объект изучения экогеохимии — химические элементы, специфика поведения которых обусловлена деятельностью человека или миграция которых осуществляется в среде, преобразованной деятельностью человекенка, и которые, в свою очередь, оказывают влияние на человека. Предметом экологической геохимии являются геохимические процессы и взаимодействия в окружающей среде, обусловленные сложным сочетанием природных, природно-техногенных и техногенных факторов, а также последствия таких процессов и взаимодействий. Ее важнейшие задачи — установление законо-

\* Общепринятой дефиниции термина (понятия) *окружающая среда* в настоящее время не существует; не ясно также его соотношение с понятием *биосфера*. Чаще всего словосочетание окружающая среда применяют не как общеначинное, а как утилитарное понятие для определения экологических условий жизни человека и живых организмов. Иногда оба понятия — биосфера и окружающая среда — отождествляют, хотя еще В.И.Вернадский писал, что различные части биосферы характеризуются различным состоянием окружающей среды. С практических позиций точное определение этих терминов не имеет принципиального значения; их можно считать синонимами. В методологическом отношении эти понятия, по-видимому, следует различать. Согласно В.И.Вернадскому [7], биосфера — это область существования живого вещества, пределы которой ограничены так называемым полем существования жизни, где условия позволяют организму давать потомство и увеличивать живую массу. В.И.Вернадский писал и о поле устойчивости жизни, в условиях которого организм имеет возможность только выжить. Таким образом, понятие *окружающая среда* более широкое, нежели *биосфера*, и включает поле существования жизни и поле устойчивости жизни.

мерностей формирования, строения и динамики развития техногенных и природных геохимических аномалий — участков аномальных содержаний химических элементов и их соединений, формирующихся в среде обитания человека в результате взаимодействия техногенных и природных факторов, процессов, явлений, и оценка их экологической значимости. Если следовать В.И.Вернадскому, то экологическая геохимия изучает геохимическую роль человечества, геохимические последствия деятельности человечества и влияние последней на организованность биосфера. Кратко можно сказать, что экогохимия изучает биогенную миграцию атомов 3-го рода, «идущей под влиянием человеческой жизни, воли, разума и которая сейчас доминирует на нашей планете».

Научная основа для изучения данного феномена — установленные геохимией закономерности распространения и миграции химических элементов в оболочках Земли. В результате непрерывно идущих процессов миграции формируется единое геохимическое поле земной коры, что определяет состояние среды обитания человека — биосфера. Характерная особенность строения биосфера — ее геохимическая неоднородность. В настоящее время скорость и направленность многих процессов миграции нарушены или изменены в результате человеческой деятельности, что проявляется в изменении химического состава биосферы и обуславливает еще большую ее геохимическую дифференциацию. В геохимии, в широком смысле имеющей экологическую основу, заложены возможности получения достоверных научных знаний об этих процессах и явлениях, а следовательно, для практического применения ее законов и достижений. Экологическая геохимия — составная и неотъемлемая часть общей геохимии. Используемая ею система понятий, терминов, положений органически связывает ее на единой научно-методологической основе с научными и прикладными дисциплинами геологического, географического, биологического и гигиенического профиля. На современном этапе становления экогохимии — это закономерно, поскольку развитию любой научной дисциплины, как и науки в целом, свойственный кумулятивный характер и преемственность. Именно поэтому методология и методические приемы экологической геохимии базируются на понятиях, принципах, обобщениях и методах общей геохимии, биогохимии, прикладной геохимии, геохимии ландшафтов, экологии.

Важнейшими положениями, имеющими первостепенное значение для понимания геохимической структуры и функционирования биосфера и ее составных частей, являются следующие эмпирические обобщения:

1) повсеместное распространение химических элементов во всех геосферах, где они находятся в устойчивых динамических равновесиях, различных для каждой среды (закон Кларка—Вернадского);

2) поведение химических элементов в геосферах определяется в основном строением их атомов, отраженным периодической системой Менделеева; распространение (кларк) в большей степени связано со строением и устойчивостью ядер атомов; миграция определяется главным образом строением внешних электронных оболочек (закон Гольдшмидта—Вернадского);

3) непрерывная миграция химических элементов (атомов и соединений) во времени и пространстве, осуществляется в биосфере или при непосредственном участии живого вещества, или в среде, геохимические особенности которой обусловлены живым веществом (закон Вернадского);

4) цикличность геохимических процессов, в значительной мере осуществляется при участии живого вещества (непрерывный круговой процесс химических элементов В.И.Вернадского);

5) первостепенное значение для геохимических процессов воды; биосфера — область, где вода господствует и по массе и геологическому значению; для воды и живого вещества характерны тесная связь и взаимное влияние;

6) многообразие видов и форм существования элементов в природе, изменяющихся в ходе их миграции; преобладание рассеянного состояния элементов над концентри-

рованным, особенно характерное для химических элементов с малым кларком и высокой технофильностью;

7) неразрывность живого вещества и окружающей среды (принцип неразрывности Вернадского).

8) в основе всех геологических процессов лежит закон дифференциации вещества Земли, определяющий зональность распределения химических элементов во всех изменениях и на всех уровнях организации вещества;

9) закономерное различие (неоднородность, мозаичность, гетерогенность) химического состава биосфера в различных местах земной поверхности;

10) зависимость поведения химических элементов от миграционной и геохимической структуры ландшафтов, в свою очередь подчиненной географической закономерности (закон зональности).

Как уже отмечалось, непрерывно идущая миграция химических элементов под влиянием природных и техногенных процессов обуславливает формирование геохимического поля. На планомерном изучении этого поля и его локальных (природных и техногенных) аномалий и основаны эколого-геохимические исследования, методические принципы которых во многом базируются на достоверно установленных корреляционных связях распределения химических элементов в миграционной цепи: источники эмиссий (природные и техногенные объекты, процессы, явления) — транспортирующие миграционные и главные жизнеобеспечивающие среды (воздух и вода) — временно депонирующие химические элементы (поллютанты) природные среды (почвы, донные отложения, суглинистый покров) — живые организмы. В ходе распространения химических веществ, поступающих от техногенных источников, в окружающей среде образуются ореолы и потоки рассеяния, сходные с вторичными ореолами и потоками рассеяния рудных месторождений. Последние являются своеобразными моделями зон техногенного загрязнения, тогда как собственно месторождение (рудное тело и первичные ореолы) выступает в роли «источника загрязнения». Это позволило использовать для выявления зон загрязнения и эколого-геохимической оценки состояния окружающей среды методы и приемы прикладной геохимии, применяемые при поисках месторождений и геолого-съемочных работах [16—18]. Указанный подход в дальнейшем развился в ряде прикладных и методических разработок и обобщений [6, 15, 19, 22]. В общем случае логика эколого-геохимических исследований такова [22]: 1) выявление источников и путей поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, изучение ассоциаций, уровней содержания и форм нахождения химических элементов в твердых отходах, выбросах, сточных водах, средствах химизации; 2) прослеживание путей и способов миграции химических элементов в среде обитания, установление природных компонентов, взаимодействующих с миграционным потоком, изучение интенсивности и результатов этого взаимодействия, т.е. формирующихся техногенных геохимических аномалий (зон загрязнения); 3) оценка масштабов и площади распространения техногенных (в отдельных случаях, природных) геохимических аномалий, выявление их морфоструктурных особенностей, центров наиболее интенсивного распространения и воздействия, характеризующихся максимальным влиянием на живые организмы, прежде всего на человека; 4) эколого-геохимическая и эколого-гигиеническая оценка выявленных геохимических аномалий, прослеживание накопления поллютантов в трофических цепях, изучение последствий этого накопления. Важнейшие приемы эколого-геохимических исследований — геохимическое картирование и геохимический мониторинг. Геохимическое картирование осуществляется путем площадных геохимических съемок, основанных на опробовании по регулярной сети различных материальных объектов природной среды. Особенно эффективно картирование так называемых депонирующих сред — почв, суглинистого покрова, донных отложений. Геохимический мониторинг базируется на повторных, режимных и непрерывных наблюдениях распределения химических элементов главным образом в динамичных природных средах (атмосферный воздух, природные воды). В практике эколого-геохимических исследований широко используются ма-

ршрутные геохимические съемки (геохимическое профилирование), различные виды специализированных исследований с применением модернизированных методов биогеохимии, геохимии ландшафтов, экологии, гигиены и эпидемиологии. Неотъемлемой частью эколого-геохимических исследований, их основой, являются химико-аналитические исследования.

Изменение химических свойств окружающей среды, проявляющееся в увеличении содержаний химических элементов, но не связанное с естественными природными процессами, в настоящее время в обиходе называется ее загрязнением. При использовании этого термина чаще всего в него вкладывается определенный санитарно-гигиенический (медицинско-биологический) смысл: под загрязнением подразумевают количественное изменение в окружающей среде тех или иных свойств или появление новых свойств, уровень или интенсивность проявления которых может оказывать неблагоприятное влияние на условия жизни и здоровье человека [20]. При таком понимании загрязнение — явление количественное. В этой связи уместно вспомнить о важнейшей концепции, принятой и развивающейся в геохимической экологии, о концепции пороговых, или критических, концентраций химических элементов [14]. Это позволяет согласиться с мнением В.Б. Ильина [13] о том, что правильнее говорить не о токсичных элементах вообще, а о токсичных концентрациях конкретных поллютантов. Загрязнение может возникнуть не только техногенным способом, но и в связи с естественными причинами. Так, районы рудных месторождений и связанных с ними первичных и вторичных ореолов и потоков рассеяния могут рассматриваться как природные зоны загрязнения. Тем не менее, использование понятия загрязнение биосфера (окружающей среды, среды обитания) вполне определено и удобно, поскольку оно достаточно адекватно отражает сущность наблюдаемого явления. В то же время, вряд ли правомочно видеть главную задачу экогеохимии только в изучении последствий загрязнения. В.С. Преображенский и др. [20], анализируя развитие ландшафтоведения, выделяют два класса задач исследования, которые в полной мере, по нашему мнению, могут реализоваться и в экогеохимии: 1) естественноисторические исследования ландшафтов, т.е. изучение ландшафтных систем как одного из фрагментов объективной реальности, имеющее цель — выявление, независимо от сиюминутных практических целей, нового знания о природных и природно-техногенных экосистемах как элементах организации современной биосферы; 2) социфункциональный анализ ландшафтов, который направлен в большей степени на выявление роли ландшафтов (геосистем), его полезных и отрицательных свойств, в жизни общества (включая роль загрязнения). Авторы цитируемой работы справедливо отмечают, что данное разделение в определенной мере условно, поскольку в конкретных исследованиях, оба класса задач могут тесно переплестись, но их выделение целесообразно и оправданно.

Изменение химического состава современной биосфера происходит в результате миграции химических веществ (поллютантов), генерируемых различными природными и техногенными источниками. Сочетание химических элементов и(или) соединений характеризует специфические индивидуальные особенности источников загрязнения. Практически во всех случаях техногенное воздействие — комплексное по составу поллютантов источником загрязнения среды обитания. Интенсивность геохимического воздействия определяется массой химических элементов, поступающей на ту или иную территорию (так называемая нагрузка на окружающую среду). Нагрузка, образуемая поступлением выбросов, стоков и твердых отходов, зависит как от степени концентрации в них поллютантов, так и от общего объема отходов. При оценках степени опасности загрязнения окружающей среды различными видами отходов и средствами химизации необходимо учитывать возможность их попадания в системы жизнеобеспечения: воздух, питьевую воду, пищу. При этом следует различать прямые и отдаленные экологические последствия. С этих позиций выбросы в атмосферу сейчас наиболее опасный источник загрязнения (с прямым экологическим

воздействием). Сточные воды в равной степени обладают признаками прямого и отдаленного воздействия. Твердые отходы характеризуются в основном отдаленным воздействием (за исключением случаев использования их в качестве агромелиорантов) [22].

Одна из главных задач эколого-геохимических исследований — выявление геохимических аномалий и оценка их экологической значимости. Геохимические аномалии — это участки территории (акватории), в пределах которых хотя бы в одном из слагающих их природных тел (компонентов) статистические параметры распределения химических элементов и(или) их соединений достоверно отличаются от вариаций геохимического фона или, при определенном допущении, от кларка или подобных ему показателей. Геохимический фон (фоновое содержание) — это среднее содержание химического элемента (соединения) в природных телах по данным изучения его естественного распределения в пределах однородного в ландшафтно-геохимическом отношении участка, не затронутого техногенезом (на практике — это, как правило, участки, расположенные вне зоны прямого техногенного влияния) [22]. Различные характеристики геохимических аномалий (являющихся в большинстве случаев по сути зонами загрязнения) — масштаб, морфометрия, состав, степень концентрирования, вид существования, форма миграции и нахождения химических элементов и соединений, особенности их трансформации и перераспределения, интенсивность биопоглощения, степень экотоксичности — в конечном счете и определяют качество окружающей среды. Техногенные геохимические аномалии могут быть как моноэлементными, так и полизлементными. Поэтому при эколого-геохимических исследованиях наряду с изучением отдельных химических элементов проводится анализ распределения геохимических ассоциаций, т.е. групп элементов, характеризующих специфические особенности зон воздействия различных источников и обнаруживаемых в изучаемом объекте (компоненте среды) в количествах, отличных от неких нормативных величин (как правило, от геохимического фона) [17]. Обычно в геохимическую ассоциацию включают химические элементы с коэффициентами концентрации относительно фона, равными или больше 1,5, что позволяет достаточно надежно выделить комплекс аномальных ингредиентов и ранжировать их по интенсивности концентрирования. Среди входящих в ассоциацию поллютантов выделяют главные, или приоритетные, ингредиенты. Для фиксации зон воздействия источников загрязнения часто достаточно изучение так называемых типоморфных поллютантов, т.е. тех, которые типичны для данного вида воздействия и которые позволяют судить о состоянии изучаемой системы в целом. Например, приоритетным поллютантом для автотранспортного загрязнения является свинец, типоморфными — свинец и бром. В качестве типоморфных элементов эффективно использование тяжелых металлов. Они типичны для многих источников загрязнения и надежно фиксируют интенсивность и масштабы их воздействия.

При оценках распределения химических элементов в тех или иных объектах (компонентах) среды обычно изучают их абсолютную (общую) или относительную распространенность. Для характеристики абсолютной распространенности используют весовые или объемные показатели, которые в сущности основаны на весовых или объемных содержаниях. Для выражения относительного содержания элементов применяют различные геохимические коэффициенты. В основе большинства подобных показателей лежит так называемый коэффициент распределения, т.е. отношение средних абсолютных содержаний элемента в каких-либо сравниваемых между собой взаимосвязанных объектах или частях одного объекта. В последние годы при оценках распространенности химических элементов стали широко использовать относительные безразмерные единицы, что позволяет сравнивать между собой разные природные среды и представлять определенные удобства при расчетах различных показателей и коэффициентов. Относительная оценка уровней химических элементовается обычно путем сравнения их реальных концентраций с нормативными параметрами состояния окружающей

среды. В настоящее время такими формализованными параметрами являются гигиенические и(или) экологические нормативы, которые однако разработаны не для всех природных сред и не для всех поллютантов, не всегда адекватны истинной опасности последних, имеют тенденцию в силу различных причин, часто субъективных, периодически изменяться. Именно поэтому при оценках интенсивности техногенного воздействия используют фоновые уровни химических элементов (геохимический фон) или их кларки. Опыт свидетельствует, что при использовании для таких целей кларков наибольшую трудность представляют выделение и оконтуривание техногенных геохимических аномалий слабой интенсивности. Контрастные и средние по интенсивности аномалии, т.е. наиболее «информационные» и опасные с эколого-геохимических позиций, фиксируются достаточно надежно. Кларковые содержания химических элементов, по-видимому, приближенно определяют нормальный уровень содержания того или иного элемента, «безопасный» для существования живых организмов [22].

Основной показатель интенсивности техногенного воздействия и важнейший параметр техногенной геохимической аномалии — коэффициент концентрации химического элемента  $K_c$ , который рассчитывается по отношению реального (аномального) содержания поллютанта в природном объекте к его фоновому уровню (кларку) в аналогичном объекте. Данный коэффициент в определенном смысле может рассматриваться как своеобразный показатель экогеохимической опасности аномалий. В тех случаях, когда нормирование осуществляется на гигиенический (экологический) норматив, можно говорить о коэффициенте гигиенической (экологической) опасности. Для характеристики полиэлементных геохимических аномалий используют суммарные показатели, в т.ч. широко известный суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  (показатель Саэта). На основе анализа эмпирического материала при изучении зон загрязнения различных источников воздействия разработаны шкалы оценки загрязнения воздушной и водной сред, основанные на распределении химических элементов в депонирующих средах — почвах и донных отложениях [22]. Важнейшим показателем техногенного изменения является пространственно-временная вариация распределения химических элементов. Как известно, коэффициенты вариации большинства элементов в горных породах и почвах в фоновых условиях независимо от района и типа последних колеблются от 25 до 60 % [21]. В зонах загрязнения даже в пределах небольших участков они достигают 100—300 %. Резкая пространственно-временная дифференцированность геохимического поля — важнейший признак и одновременно важнейшее следствие, можно утверждать, важнейшая закономерность техногенного загрязнения. В условиях техногенеза, как правило, резко изменяются характер и тип проявления аномальности химических элементов: фиксируется не только изменение, в большинстве случаев возрастание общего содержания их, но и трансформация баланса важнейших форм миграции и нахождения. Валовые содержания могут даже не изменяться или изменяться незначительно, тогда как абсолютное содержание или доля, например, подвижных форм может существенно увеличиваться. Это позволяет говорить о новом типе геохимических аномалий, обусловленных изменением и даже появлением специфических форм нахождения химического элемента.

В общем случае для понимания проблем экологической геохимии и постановки задач эколого-геохимического изучения процессов преобразования биосфера человеческой деятельностью важнейшее значение имеют следующие положения (эмпирические обобщения), в той или иной степени обозначенные В.И.Вернадским и А.Е.Ферсманом и получившие развитие в трудах их последователей.

1. Преобразование природной среды деятельностью человека является геохимическим процессом и имеет глобальный характер.

2. Геохимический облик современной биосфера и ее составных частей в значительной степени зависит от биогеохимических функций человечества.

3. Изменение химического состава биосфера есть зако-

номерное явление в ее истории, происходящее при участии человека, но независимо от его воли, «стихийно, как природный естественный процесс», темп которого постоянно увеличивается.

4. Человек постепенно втягивает все химические элементы и все химические процессы, известные в биосфере, в круг своего влияния и создает на земной поверхности «неустойчивые формы нахождения химических элементов».

5. Техногенное воздействие — полиэлементный источник загрязнения окружающей среды и приводит к формированию аномальных геохимических полей, фиксируемых, прежде всего, для химических элементов с высокой техноФильностью, повышенной экотоксичностью, высоким уровнем биопоглощения и(или) обладающих явной биоактивностью.

6. Техногенные процессы способны резко изменять поведение химических элементов, вплоть до появления химических соединений, а также процессов и явлений, чуждых условиям биосфера.

7. Человек не только химически изменяет окружающую среду, но и создает новые типы связанных с ней геологических образований (минералы, отложения, почвы, воды и т.д.), новые типы экосистем и живого вещества, уничтожая существующие живые организмы, природные системы и геологические образования.

8. Наиболее сильное воздействие испытывают атмосфера и водные системы, причем «...нигде явления человеческой работы не сказываются так ярко и глубоко, как для царства вод пресных».

9. Техника (как совокупность средств человеческой деятельности) и технология (как совокупность методов производства) уже не могут рассматриваться только как инструмент преобразования окружающей среды, но сами являются окружающей человека средой, что особенно ярко проявляется в городах и горнопромышленных районах, отражающих наиболее концентрированное воздействие на среду обитания.

10. Устойчивое развитие общества возможно лишь при должной оптимизации состояния окружающей среды с учетом происходящих в ней геохимических изменений; «необходимо изменение химической работы человечества».

В настоящее время в экологической геохимии рационально выделить два подраздела: экогеохимию природно-техногенных систем, которая изучает поведение химических элементов в различных функциональных типах территорий (город, агроландшафты, горно-промышленные районы и т.п.) [4; 25], и экогеохимию элементов, изучающую поведение отдельных химических элементов в разных системах и процессах [12; 25].

Масштабы современного техногенного воздействия на окружающую среду исключительно велики. Техногенные преобразования, захватывая огромные территории, проявляются в коренной трансформации компонентов биосфера и представляют собой главный фактор, определяющий эколого-геохимические особенности этих регионов и условия существования человека. Важнейшая практическая задача наук об окружающей среде — получение материала, необходимого для обоснования и разработки принципов и методов оптимизации взаимодействия человека и окружающей среды. В решении этой задачи особая роль принадлежит экологической геохимии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ацын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементы человека: Этиология, классификация, органопатология. — М.: Медицина, 1991.
2. Беклемищев В.Н. Методология систематики. — М.: KMK Scientific Press. Ltd. 1994.
3. Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1976.
4. Буренков Э.К., Борисенко И.Л., Москаленко Н.Н., Янин Е.П. Экологическая геохимия городских агломераций. — М.: Геоинформмарк, 1991.
5. 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., 1990. С. 4—15.

6. Буренков Э.К., Янин Е.П., Кижаккин С.А. и др. Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды г. Саранска. — М.: ИМГРЭ, 1993.
7. Вернадский В.И. О газовом обмене земной коры // Изв. АН. 1912. № 6. С. 141—162.
8. Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии. — М.: Наука, 1980.
9. Вернадский В.И. Химическое строение биосфера Земли и ее окружения. — М.: Наука, 1987.
10. Виноградов А.П. Биогеохимические провинции и эндемии // Докл. АН СССР. 1938. Т. 18. № 4/5. С. 285—286.
11. Гавриленко В.В. Некоторые актуальные проблемы экологической минералогии и геохимии // Зап. ВМО. Ч. СХХІІІ. № 3. С. 1—8.
12. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник. В 6 кн. Кн. 1. — М.: Недра, 1994.
13. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва — растения. — Новосибирск: Наука, 1991.
14. Ковалевский В.В. Геохимическая экология. — М.: Наука, 1974.
15. Методические рекомендации по геохимическим исследованиям для оценки воздействия на окружающую среду проектируемых горнодобывающих предприятий. — М.: ИМГРЭ, 1986.
16. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами. — М.: ИМГРЭ, 1982.
17. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. — М.: ИМГРЭ, 1982.
18. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. — М.: ИМГРЭ, 1982.
19. Методические рекомендации по геохимической оценке состояния поверхностных вод. — М.: ИМГРЭ, 1985.
20. Преображенский В.С., Александрова Т.Д., Куприянова Т.П. Основы ландшафтного анализа. — М.: Наука, 1988.
21. Принципы и методика геохимических исследований при прогнозировании и поисках рудных месторождений (Методические рекомендации). — Л.: Недра, 1979.
22. Саит Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1990.
23. Фортесью Дж. Геохимия окружающей среды / Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1985.
24. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. — М.: ИМГРЭ, 1992.
25. Янин Е.П. Экологическая геохимия горнопромышленных территорий. — М.: ГеоИнформмарк, 1993.

УДК 550.4:577.4

© В.П.Букарь, 1999

## Определение ультрамальных концентраций ртути в образцах геокосистем

В.П.БУКАРЬ (ИМГРЭ)

Ртуть относится к наиболее токсичным химическим элементам и, попадая на объекты окружающей среды, резко обостряет экологическую обстановку, но вместе с тем в последние годы возросла потребность в ртутьсодержащих материалах, применяемых в различных областях : химической технологии, медицине, приборостроении, электро-промышленности, производстве красителей, горнодобывающей промышленности, сельском хозяйстве и т. д. Прогресс приводит к катастрофическому ртутному отравлению среды. Только в Мировой океан ежегодно сбрасывается со стоком загрязненных речных вод до 500 тыс. т ртути, а в атмосфере над Швецией содержится 900 кг и ежегодно на ее территорию в виде осадков выпадает 16 т Hg [6, 9].

В естественных условиях залегания магматических горных пород содержание ртути довольно низкое и не привышает  $n \cdot 10$  мкг/кг [1]. Более высокие концентрации ее установлены в осадочных породах, глинистых сланцах и особенно в богатых органическим веществом глинистых сланцах 40—400 мкг/кг [3]. Фоновые концентрации ртути в различных почвах, поверхностном слое не превышают 400 мкг/кг. Среднее содержание ртути в растительных пищевых продуктах, для различных культур колеблется от 2 до 86 мкг/кг сухой массы [3].

Фоновые концентрации ртути в природных водах ниже уровня ПДК, т. е. ниже 0,5 мкг/л. Среднее содержание ртути в океанической воде составляет 0,03 мкг/л [1]. Содержание ртути в атмосфере значительно изменяется на 1—2 порядка для различных фоновых районов Мира и составляет 0,5—50 нг/м<sup>3</sup>, а в атмосферных осадках 0,005—2,2 мкг/л [4].

Представляя взаимодействие и динамику ртути и ее соединений в различных средах, необходимо отметить основные геохимические свойства : склонность к образованию сильных связей с серой, восстановление, окисление, образование органометаллических соединений, гидролиз, летучесть элементарной ртути.

Независимо, каким путем поступающая в почву ртуть связывается или в форме элементарной, или в виде катионных либо анионных комплексов, однако накопление в почве происходит преимущественно в процессе осаждения и в форме органоминеральных комплексов. Растворение и биологическое разрушение органортутных соединений, метилирование элементарной ртути приводят к накоплению в почвах легкоподвижной ртути, которая становится легкодоступной и легкоусвояемой живыми организмами и растениями.

Что касается водных растворов ртути, то  $Hg(OH)_2^0$  преобладает над другими формами и легкоподвижна при нейтральных и повышенных pH почв, поэтому может быть источником загрязнения ртутью водных бассейнов.

При восстановительных условиях среды, ртуть переходит в элементарную форму и удаляется из среды в виде паров. Результатом этого процесса, равно как и других, таких, как дегазация и геотермальная активность, антропогенное загрязнение ртутью является источником накопления паров ртути в воздухе атмосферы.

Из краткой характеристики геохимических свойств ртути очевидны миграционные пути ее в различные среды геокосистемы. Следовательно, обязательно ее определение при осуществлении программы мониторинга геокосистемы в образцах горных пород, почв, растительности, водных бассейнов и атмосферного воздуха.

Для мониторинга среды нужны высокочувствительные, избирательные и экспрессные методы, способные работать в системах автоматического контроля.

Среди современных методов определения ртути наиболее перспективен спектральный атомно-абсорбционный анализ с пределом обнаружения на уровне  $n \cdot 10^{-7}$  % [7].

Атомно-эмиссионный спектральный анализ при прямом определении обеспечивает предел обнаружения  $n \cdot 10^3$  %, с применением камерных электродов  $n \cdot 10^{-6}$  %, используя в качестве источника возбуждения спектров индуктивно-связанную плазму  $n \cdot 10^{-6}$  % [7, 2].

Вольтамперометрические методы определения микроколичеств ртути обеспечивают получение низких пределов обнаружения 0,5 мкг/л, но эти методы весьма трудоемки и по многим параметрам не отвечают требованиям мониторинга. Чрезвычайно высокими пределами прямого обнаружения ртути характеризуются и другие методы и методики. Поэтому в связи с низкой предельно допустимой концентрацией ртути (ПДК) определение ее ниже уровня  $1 \cdot 10^{-7}$  % — сложная задача, поскольку ни один метод не обеспечивает прямое определение непосредственно в пробах. Более низкие концентрации ртути устанавливаются в сочетании с различными способами предварительного концентрирования.

Отсюда понятна важность и необходимость создания высокочувствительного, избирательного, экспрессного и универсального приборного обеспечения для анализа ультрамальных количеств ртути в образцах любых сред геокосистемы.

Такой универсальный прибор создан в лаборатории