МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ МИНЕРАЛОГИИ, ГЕОХИМИИ И КРИСТАЛЛОХИМИИ
РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Е.П. ЯНИН

ВВЕДЕНИЕ В ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ГЕОХИМИЮ

МОСКВА - 1999

УДК 504.4:577,4:574

Янин Е.П. Введение в экологическую геохимию.- М.: ИМГРЭ, 1999.- 68 с.

В работе рассматриваются теоретические основы экологической геохимии. Изложены ее основные понятия, объект и предмет, обоснованы исходные положения, цель и задачи. Особое внимание уделяется методам эколого-геохимических исследований и важнейшим особенностям техногенеза.

Табл. – 33; список лит. – 138 назв.

Ответственный редактор

Э. К. Буренков

© Янин Е.П., 1999

© ИМГРЭ, 1999

Мысль изреченная есть ложь…

Ф.И. Тютчев

…научный аппарат
не есть неподвижное собрание понятий-слов,
а есть живая, вечно пересматриваемая,
логически обрабатываемая система
научно установленных понятий-вещей...

В.И. Вернадский

Предисловие

Химический состав биосферы в разных местах земной поверхности закономерно различен и, как писал В.И.Вернадский, теснейшим образом связан с геологическим характером местности, с ее литологическим составом, со сгущениями разных форм жизни; живое вещество охватывает и регулирует в области биосферы все или почти все химические элементы. Геохимическая гетерогенность является характерной особенностью строения биосферы, основным ее проявлением. С геохимической точки зрения любые естественные образования – природный компонент, геологическое тело, ландшафт, экосистема - определяются, прежде всего, своим элементарным химическим составом, т.е. характерным только для них количественным распределением химических элементов.

Установление закономерностей изменения химического состава биосферы и ее составных частей в условиях техногенного воздействия является важнейшей задачей естествознания. Решением указанной задачи занимается комплекс научных дисциплин геохимического профиля, среди которых называют геохимию окружающей среды, геохимию антропогенеза, геохимию техногенеза, инженерную геохимию, технобиогеохимию окружающей среды, биогеохимию окружающей среды, а также экологическую геохимию. Возможно, что любое из приведенных понятий, определяющих, по мнению их авторов, новую научную дисциплину, имеет право на существование. В.И.Вернадский, говоря о проблеме терминологии в науке, подчеркивал, что «название... безразлично и условно. Гораздо важнее факт, научное явление, здесь выявляющееся» [32, с. 41]. Геохимическое преобразование биосферы человеческой деятельностью, в обиходе называемое техногенным (антропогенным) загрязнением окружающей среды, – факт общеизвестный.

Практически все научные дисциплины развиваются двумя путями: по образцу номотетического знания, т. е. путем формулирования общих законов, и(или) используя идиографический подход, который оперирует описанием нестандартных (уникальных) ситуаций безотносительно к общим законам. Экогеохимия в значительной степени развивалась как прикладная наука, направлен-

ная на изучение, как правило, уникальных с эколого-геохимической точки зрения объектов и ситуаций. Большинство известных публикаций подобной тематики посвящены описанию таких объектов и ситуаций и направлены преимущественно на констатацию факта техногенного загрязнения окружающей среды. Работы, посвященные методологическим аспектам эколого-геохимических исследований и систематизации знаний, практически отсутствуют. Есть лишь редкие исключения.

Видимо, это нормальное явление, поскольку «простое» накопление научных фактов есть закономерный этап в развитии любой науки. Как писал В.Н. Беклемишев, «для плодотворного научного исследования вовсе незачем особенно раздумывать над методами и принципами науки; для правильного мышления знание законов, его определяющих, - не нужно. Фактически наука… всегда развивается раньше своей методологии… Наука развивается интуитивным применением правильных, но еще не осознанных методов, изобретаемых по мере надобности в течение работы…» [7, с. 18]. Однако он подчеркивал, что наука не есть просто собрание установленных сведений, поскольку такое собрание легко может оказаться грудой фактов и обобщений; наука должна быть зданием, наука есть систематическое единство или, по крайней мере, стремится быть таковой. «Точность и определенность понятий, единообразие и отсутствие противоречий в употреблении терминов - вот первые условия наукообразности знания» [7, с. 18].

Еще одна причина, на которую указывает С.С.Розова [79], связана с тем, что основная масса ученых, как правило, не занимаются методологией науки, роль которой они могут оценивать высоко, но часто лишь на уровне общей декларации. В итоге методология науки оказывается чем-то внешним по отношению к деятельности исследователя. Новая научная дисциплина, рождаясь из какого-либо определенного теоретического или практического интереса, идет вперед без предварительной критики основных понятий и методов, «просто хотя бы потому, что новаторы, увлеченные содержанием новых открывающихся им фактов и идей, не имеют ни времени, ни вкуса изучать те формы, в которые они их облекают» [7, с. 20]. Именно поэтому часто обнаруживается противоречие между ростом фактических данных и общими схемами (концепциями), не отражающих действительность, тем более что исследования природных объектов, явлений и процессов почти всегда носят выборочный характер.

Тем не менее, по мнению автора этих строк, уже сейчас экогеохимии присущи три основных признака, определяющих существование самостоятельной научной дисциплины: наличие собственного предмета исследований, соответствующей методики исследований и специальной терминологии. Важным признаком научного познания является также его системность, т. е. совокупность знаний, приведенных в порядок на основании определенных теоретических и методологических принципов [58]. Знания превращаются в научные, когда целенаправленное собирание фактов, их описание и обобщение доводится до уровня их включения в систему понятий, в состав теории. Отсюда убежден-

ность в том, что в настоящее время исследователям (экогеохимикам) необходимо направить свои усилия на систематизацию концептуальных основ и формулировку парадигмы (сути, главного объекта, метода и понятийного аппарата) экогеохимии, на систематизацию и классификацию научных фактов, или, выражаясь словами В.В. Вернадского, на создание ее научного аппарата, без которого нет науки*.

Предлагаемая вниманию читателя работа представляет попытку подобной систематизации и формулирования концептуальных основ экогеохимии. Цель работы – стимулировать обсуждение поставленных проблем исследователями-экогеохимиками.

Любые дополнения, замечания, критика будут приняты с благодарностью.

Автор выражает искреннюю признательность ответственному редактору Э.К.Буренкову, а также А.А. Головину, Н.К. Дмитренко и Т.И. Нефеловой за поддержку и помощь в издании работы.

---

* В России (быв. СССР) приоритет в использовании методов прикладной геохимии для изучения техногенного загрязнения окружающей среды и оценки экологического состояния различных территорий принадлежит Институту минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов [127]. В 1976 г. по рекомендации Исполкома Моссовета и заданию Министерства геологии СССР ИМГРЭ начал планомерные геохимические исследования загрязнения химическими элементами окружающей среды г.Москвы и Московской области. В это же время в составе Института были созданы специализированные эколого-геохимические научно-методические и научно-производственные подразделения. Большой вклад в организационное оформление указанных структур внесли руководители ИМГРЭ и его опытно-методических экспедиций, прежде всего, Л.Н.Овчинников и Э.К.Буренков. Непосредственное научное руководство эколого-геохимическими работами «большого» ИМГРЭ осуществлял Ю.Е.Сает (1934-1988), возглавлявший (в 1977-1980 гг.) сектор геохимии окружающей среды, затем отдел экологической геохимии (1981-1986) и (с 1987) лабораторию экологической геохимии. В 1982 г. им была защищена докторская диссертация, посвященная проблемам геохимического изучения окружающей среды [80]. Комплексные исследования распространения в среде обитания загрязняющих веществ, выполненные сотрудниками Института (среди которых - Л.Н. Алексинская, А.И.Ачкасов, И.Л. Башаркевич, А.А.Волох, Р.И.Ефимова, Л.И.Кашина, Н.И. Несвижская, Т.Л.Онищенко, Л.Н.Павлова, Б.А.Ревич, Р.С.Смирнова, Е.П. Сорокина, Н.Я.Трефилова, Е.П.Янин и др.), позволили установить важнейшие геохимические особенности техногенного преобразования окружающей среды и разработать методические основы изучения загрязнения и оценки состояния окружающей среды [76; 82; 84; 86; 88; 90].

В настоящее время словосочетания «экологическая геохимия», «экогеохимия», «эколого-геохимическая оценка» прочно утвердились в научной литературе, а эколого-геохимические исследования окружающей среды являются одним из основных направлений в научно-методической деятельности ИМГРЭ.

К истории становления экологической геохимии как научной дисциплины

В.И.Вернадский, касаясь вопросов генезиса новых научных дисциплин, писал, что «новые науки... создаются по своим собственным законам; эти законы не стоят ни в какой связи ни с нашей волей, ни с нашей логикой» [36, с. 8]. С этой точки зрения, по мнению ученого, показательно зарождение и развитие геохимии: «Мы, современники, не в состоянии дать историю выделения этой науки. Мы видим проблемы, которыми она занимается, мы знаем, что сейчас она вступила в область конструирования, но дать точные даты, выявить когда… эта отрасль знания явилась на историческую арену человеческой мысли мы не можем» [36, с. 9]. Вернадский подчеркивал, что нет особого смысла рассуждать о том, правильно или неправильно то, что выделяется новая отрасль знания: «Мы должны считаться с тем явлением, что ход зарождающегося процесса новой науки нам не ясен. Это есть для нас стихийное явление, естественноисторический факт, который подчиняется закономерному выявлению; он отвечает процессу развития человеческой мысли...» [36, с. 9].

Тем не менее возникновение и развитие научных дисциплин во многом диктуется насущными проблемами, обусловленных развитием общества, техники, хозяйства. Возникновение проблемы является необходимым этапом познания действительности, а важнейшим средством ее решения служит научный метод. «Подходя к научному изучению природы, - писал В.И. Вернадский, - мы никогда не должны и не можем забывать, что оно… неизбежно связано с практическим значением его в жизни человечества.... Особенно это должно чувствоваться, когда мы касаемся вопросов геохимии, где культурная жизнь человечества является могучей силой, меняющей химические явления нашей планеты. Очевидно, что изучение хода развития роста геохимического значения человечества должно повести за собой и большее проникновение человека в понимание прикладного характера научной работы» [30, с. 21].

Важнейшей задачей геохимии является детальное познание истории химических элементов, участвующих в основных процессах на Земле, которые, в конечном счете, определяют состояние среды обитания человека. В настоящее время скорость и направленность многих процессов нарушены или изменены в результате его деятельности. Для того чтобы понять, оценить и контролировать эти процессы, необходимо изучить их на атомарно-молекулярном уровне. Изначально, именно в геохимии, имеющей экологическую (в широком понимании этого термина) основу, были заложены возможности открытия новых путей для получения научных знаний об этих процессах, а следовательно, для практического применения ее законов и достижений.

В нач. XYIII в. А. ван Левенгук занимался изучением «пищевых цепей», существующих в биологических сообществах. В конце XVIII в. Г. Форстер высказывал идеи, очень близкие к современному пониманию биогеохимического круговорота веществ на Земле и роли живых организмов в этом процессе. Он писал: «Материя, из которой состоят тела,

находится в постоянном движении… Что за большое и великолепное зрелище этот непрекращающийся круговорот!… На земле, в воздухе, в воде, всюду имеются живые зародыши, которые усваивают видимую материю, превращают ее в свою собственную сущность, размножаются в новых зародышах того же рода или же ответвляются, служа другим пищей… Животное, вскормленное растениями, которых она превращает в свою субстанцию, умирает, распадается и его материя снова жадно всасывается корнями растений. Те же первоначальные элементы имеются в минеральном виде в камне, в растительном виде – в растении, в животном виде – в животном» [111, с. 459-460]. В 1780 г. Ж. Бюффон «поставил проявление контроля природы человеком в *рамки истории планеты* не как идеал, а как возможное для наблюдения природное явление» [33, с. 37]. Российский академик И.Ф.Герман в 1790 г. рассматривал «историю химических элементов в связи с человеческой техникой как известного рода естественноисторический процесс и прослеживал судьбу элементов в тех изменениях, которые он получает как в естественной, так и в искусственной постановке» [36, с. 12]. В 1790-х гг. А.Гумбольдт, по словам В.И.Вернадского, подошел чрезвычайно близко к проблеме влияния жизни на окружающую среду и предпринял попытку охватить живые организмы с точки зрения их химических элементов [35].

В 1802 г. Ж.-Б.Ламарк писал о необходимости исследования «изменений природы…, обусловливаемых живыми телами». Он впервые четко поставил вопрос: «Каково влияние живых организмов на вещества, находящиеся на поверхности земного шара и образующие покрывающую его кору, и каковы главные результаты этого влияния» [14, с. 59]. И сделал попытку ответить на него: «… В природе существует особая сила, могущественная и непрерывно действующая, которая обладает способностью обра-зовывать сочетания, умножать их, разнообразить их…; все существа, наделенные жизнью, обладают способностью с помощью своих органов одни образовывать непосредственные сочетания, т. е. объединять свободные элементы и непосредственно образовывать химические соединения, другие преобразовывать эти соединения…» [14, с. 59]. В 1817 г. Ж. Кювье дал гениальное (по словам В.Н.Беклемишева) определение жизни (как, в сущности, геохимического явления): «…жизнь – это вихрь более или менее быстрый, более или менее сложный, направление которого постоянно и который увлекает всегда молекулы того же сорта, но где индивидуальные молекулы входят и постоянно выходят таким образом, что форма живого тела для него более существенна, чем материя» [52, с. 86]. К. Бэр в своих работах вплотную подошел к современным представлениям о трофических связях в водоемах и высказал немало плодотворных эколого-геохимических идей. В 1840-х гг. К.Рулье были начаты эколого-биологические исследования, во многом основанные на тесной взаимозависимости живых организмов и окружающей среды. Ю.Либих в сер. XIX в. обосновал теорию минерального питания растений и открыл биологический круговорот вещества в природе.

Событием был выход книги Дж.П.Марша (в США в 1864 г., русский перевод в 1866 г. [60]), который одним из первых понял необходимость изучения воздействия человека на природу и происходящих при этом изменений ее органической и неорганической составляющих. Он показал, что вмешательство человека во все окружающее его приводило и приводит часто к непредвиденным последствиям, главным образом, из-за недоучета взаимных связей между различными природными компонентами и нарушения сложившегося между ними равновесия («природной гармонии»). Марш ставит задачу количественной оценки происходящих явлений. Он писал, что наука (география) должна заниматься не только описанием внешних очертаний земной поверхности, но и изучать все живое, произрастающее или движущееся на нем, все разнообразные влияния друг на друга различных форм жизни, взаимное действие и воздействие между этими формами и населяемою ими

землею [60]. В 1866 г. Э.Геккель предложил название «экология» для ветви биологии, изучавшей отношение организмов с окружающей средой, определив ее как «познание экономики природы, одновременное исследование всех взаимоотношений живого с органическими и неорганическими компонентами среды, включая непременно неантагонистические и антагонистические взаимоотношения животных и растений, контактирующих друг с другом. Одним словом, экология – это наука, изучающая все сложные взаимосвязи и взаимоотношения в природе, рассматриваемые Дарвиным как условия борьбы за существование» (цит. по [2, с. 4]). В 1875 г. Э.Зюсс впервые употребил слово «биосфера». В 1896 г. С.Аррениус опубликовал работу, в которой количественно оценил влияние изменения концентрации атмосферного CO_2, в том числе антропогенного происхождения, на температуру земной атмосферы. Э.Реклю (последняя четверть XIX в.) обосновывал необходимость бережного отношения к природным ресурсам и охраны природы от загрязнения. А.И.Воейков считал главной задачей географии изучении взаимодействия человека и природы и, в частности, показал, что деятельность человека приводит к образованию новых типов осадочных отложений. К началу XX в. многими исследователями был осознан тот факт, что хозяйственная деятельность человека нарушает естественные циклы вещества и энергии, изменяет химический состав земной коры и направленность геохимических процессов.

Выдающаяся роль в развитии учения о геохимической деятельности человека принадлежит В.И.Вернадскому, который, по его словам, столкнулся с биогеохимическими проблемами в 1891 г. и с этого времени «непрерывно работал, читал и размышлял над вопросами биогеохимии». В.И.Вернадский впервые 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, ее структуру», т. е. «динамическое равновесие, колеблющееся около статического состояния атомов, соединений или химических элементов… Эту форму равновесий удобно назвать организованностью биосферы…» [32, с. 220-221]. «Организованность обозначает, что эта среда – биосфера – не случайна, имеет определенное строение, сопряженное с явлениями жизни» [31, с. 18]. Живое вещество есть планетное явление и является геологической функцией биосферы, от которой не может быть оторвано; живое вещество – могущественная геохимическая сила нашей планеты, а вызываемая ею биогенная миграция атомов представляет форму организованности первостепенного значения в строении биосферы.

Влияние живых организмов на миграцию химических элементов проявляется двояким путем [30]: а) частью путем природного обмена, когда организмы проводят химические элементы через свои тела; б) частью путем изменения природных соединений без проведения их через свои собственные тела, что особенно ярко представлено в геохимической работе человечества. Способность организмов вызывать движение химических элементов В.И.Вернадский назвал биогеохимическими функциями живого вещества [26; 31], которые захватывают все без исключения элементы, распространяются на всю планету, не зависят от территориальных условий и химически отражаются на окружающей организм внешней среде (табл. 1).

Положение о биогеохимических функциях нашло свое выражение в эмпирических обобщениях о биогеохимических принципах, которые связаны с особым энергетическим характером проявления живого вещества в биосфере, где одновременно существуют два явления, два типа биогенных миграций атомов:

биогенная миграция, в геологическое время не меняющаяся, и биогенная миграция эволюционного процесса, в масштабе исторического времени не меняющаяся, но резко меняющаяся в аспекте геологического времени [1987].

Таблица 1. Биогеохимические функции живого вещества [16; 19; 22; 23; 27; 32]

Группа	Основные функции	Примечание
Газовые функции	Кислородно-углекислотная Углекислотная (независимая от кислородной) Озонная и перекисьводородная Азотная Углеводородная Терпеновая Сероводородная и сульфидная Водная	Газы, образующиеся в биосфере, теснейшим образом связаны своим происхождением с живым веществом, всегда биогенны и изменяются главным образом биогенным путем. Биогенное происхождение выражается в 2-х различных процессах: 1) как прямое выражение жизненного процесса живого вещества – биогенной миграции атомов; 2) биогенный процесс 2-го рода, когда разрушаются с выделением газов биогенные и биокосные породы и образования.
Концентрационные функции	Функции 1-го рода: захват живым веществом тех химических элементов, соединения которых встречаются в теле всех без исключения живых организмов. Функции 2-го рода: характеризуют некоторые определенные группы живых веществ.	Сводятся к избирательной концентрации организмом из окружающей среды определенных химических элементов, что является наиболее ярким проявлением вещественного характера в явлениях жизни и создает совокупность живых организмов, т. е. живое вещество.
Окислительно-восстановительные функции	Окислительная: окисление более бедных кислородом соединений (в почвах, в коре выветривания, в гидросфере). Восстановительная: резко выражена для сульфатов, создание H_2S, FeS, FeS_2.	Окислительная функция характерна для бактерий и, может быть, для грибов, большей частью автотрофных. Агентами восстановительной функции являются в природе многочисленные бактерии и, может быть, грибы.
Биохимические функции	Первая (связана с питанием, дыханием, размножением организмов). Вторая (связана с разрушением тела живого вещества и переходом его в косную материю; способна создавать биогенные минералы).	Неразрывно связаны с организмом и имеют место в их телах. Для живого вещества с планетной точки зрения основным явлением должна считаться функция размножения и роста организмов, которая выявляется внутри тел живого вещества. Источники этих проявлений лежат в окружающей данное живое вещество среде, и эти явления могут быть представлены в атомарной форме как закономерная биогенная миграция химических элементов из внешней среды в живое вещество и из последнего в окружающую среду. Необходимо различать: а) биогенную миграцию 1-го рода для микроскопических одноклеточных и микробов; б) биогенную миграцию 2-го рода для многоклеточных организмов.
Биогеохимические функции человека	Новая геологическая сила, которая никогда не существовала на нашей планете в таком размере.	Человек может менять химические процессы биосферы в такой степени, которая сравнима в своем геологическом значении с биогенной миграцией 1-го и 2-го рода всех организмов, вместе взятых. Сейчас в биосфере начинает доминировать биогенная миграция атомов 3-го рода, вызываемая человеческим разумом и трудом, резко отделяющими Homo sapiens от всего живого вещества.

Все биогенные миграции могут быть обобщены как *первый биогеохимический принцип* [26]: «биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремиться к максимальному проявлению. Все живое вещество планеты, взятое в целом, таким образом, является источником действенной свободной энергии, может производить работу» [32, с. 248]. Все биогеохимические функции могут быть сведены ко *второму биогеохимическому принципу*: «эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию форм жизни, устойчивых в биосфере, идет в направлении, увеличивающем биогенную миграцию атомов биосферы» [121; 32, с. 250]. Первый принцип, по мнению Вернадского, есть простое эмпирическое обобщение, прямо вытекающее из факта устойчивости геологического процесса в ходе исторического времени и положения термодинамики, что для этого необходимо, чтобы вся работа, которая может быть сделана, была сделана, т. е. чтобы действенная энергия приближалась к нулю. Второй принцип заключает некоторое допущение, но которое неизбежно вытекает из фактов геологически медленного изменения эволюции видов организмов. Основываясь на работах Дарвина, Уоллеса, палеонтологических данных, Вернадский сформулировал *третий биогеохимический принцип*: «в течение всего геологического времени, с криптозоя, заселение планеты должно было быть максимально возможное для всего живого вещества, которое тогда существовало» [32, с. 265].

В качестве новой геологической силы В.И.Вернадский выделил биогеохимическую функцию человечества (см. табл. 1), являющегося неотъемлемой частью живого вещества, а в качестве нового для биосферы вида геохимической миграции - биогенную миграцию атомов 3-го рода, идущую под влиянием человека («его жизни, воли, разума»). Впервые было показано, что преобразование природы деятельностью человека является в основе своей геохимическим процессом, имеет глобальный характер и есть закономерное явление в геологической истории Земли*. Так была сформулирована важнейшая проблема современности – проблема изменения химического состава биосферы под воздействием человеческой деятельности, или, в утилитарном понимании, проблема загрязнения окружающей среды, и обоснованы методологические принципы изучения этого феномена.

---

* Техногенное геохимическое преобразование биосферы часто рассматривается как случайный и нежелательный процесса. Однако, живое вещество (включая человечество) «есть природное тело или явление в биосфере» [33, с. 25]. Как образно выразился Э.Реклю, «человек не только живет на Земле, но и происходит из нее. Он сын Земли… Мы все… являемся, подобно деревьям и тростникам рек, детьми одной общей «матери-кормилицы» – Земли» [78, с. 1]. Техногенные процессы, спровоцированные человеком, в сущности являются процессами природными. Изменение биосферы «организованным человеческим трудом (т. е. техногенезом - Е.Я.) есть стихийный природный процесс». Как бы не был изменен природный ландшафт человеком, он остается частью природы, частью биосферы, в нем продолжают действовать законы природы: законы технической биогенной миграции элементов деятельности Homo sapiens те же, что и для других форм биогенной миграции [25].

Новая отрасль знания, призванная изучать влияние жизни (живого вещества) на геохимические процессы, была названа В.И.Вернадским биогеохимией: «Биогеохимия – новая большая отрасль геохимии, изучающая влияние жизни на геохимические процессы; биогеохимия «изучает влияние жизни на историю земных химических элементов… исследует те перемещения земных атомов – миграции их масс, которые вызываются живыми организмами», биогеохимия «может… рассматриваться… как геохимия биогенных процессов» [31, с. 12-13].

Основная задача биогеохимии – 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» [31, с. 12].

Таким образом, Вернадским были обозначены три важнейших направления геохимического изучения природы (биосферы), которые а настоящее время, по мнению автора этих строк, оформились в самостоятельные научные дисциплины, тесно взаимосвязанные и взаимодействующие между собой: геохимическая

А.Е.Ферсман определял техногенез как один из геохимических типов процессов гипергенеза. Тем не менее, с методической точки зрения, да и в практическом отношении использование (определенное противопоставление) понятий «природный» и «техногенный» не только удобно, но и оправданно.

Проявление и последствия этого «стихийного природного процесса», названного А.Е.Ферсманом техногенезом, в утилитарном понимании могут быть как отрицательными, так и положительными. В случае отрицательного воздействия происходит разрушение биосферы и деградация слагающих ее компонентов и природных тел; положительное влияние способствует, по мнению В.И.Вернадского [26; 27], переходу биосферы в ее новое эволюционное состояние - ноосферу, которая отличается благоприятными условиями для проживания человека и нормального функционирования всей биосферы в целом. И когда-то - Вернадский считал, что в ближайшем историческом будущем - человек от неразумного, бессознательного, во многом негативного вмешательства в природные процессы перейдет к разумному преобразованию биосферы в интересах своих и самой биосферы. «Человек… меняет характер биосферы, изменяет лик планеты, создает бесчисленное множество новых в истории биосферы физико-химических процессов, пока действует более или менее бессознательно. В ноосфере урегулирование этой функции человека должно явиться одной из основных черт ее будущей структуры» [32, с. 230-231]. При этом урегулирование указанной функции человечества должно осуществляться на научном знании закономерностей функционирования биосферы. Ноосфера – это такое состояние биосферы, когда биогеохимическая функция человечества урегулирована с окружающей средой как в интересах «свободно мыслящего человечества как единого целого», так и в интересах самой биосферы [27], а человек из существа социально гетеротрофного сделается существом социально автотрофным и в значительно меньшей степени будет жизненно зависеть от окружающей среды, т. е. будет способен существовать за счет использования естественных энергетических потоков, прежде всего за счет энергии солнца.

экология* [53], геохимия ландшафтов** [46; 72, 74] и экологическая геохимия [43; 123; 125; 126; 128; 129].

Объект, предмет и содержание экологической геохимии

В настоящее время известны попытки отдельных исследователей дать определение экологической геохимии как новой научной дисциплины. В.Ф.Барабанов [5] считал, что экогеохимия исследует «последствия глобальной природопреобразующей деятельности Человека». Э.К.Буренков и соавт. [12] пишут, что экогеохимия является составной частью геоэкологии, нового научного направления, возникшего на стыке геологии и экологии. По их мнению, основной задачей экогеохимии является оценка антропогенных изменений химического состава геологической среды; основными объектами изучения – «разномасштабные аномалии содержаний химических элементов и их соедине-

---

* «Геохимическая экология - раздел биогеохимии и экологии - это наука о взаимодействии организмов и их сообществ с геохимической средой в биосфере, а также организмов между собой в условиях популяций, биоценозов, биогеохимических провинций и зон как структурных частей единой целой экосистемы – биосферы» [53, с. 5]. Основная ее цель - выяснение процессов приспособлений организмов, популяций и других биологических сообществ к геохимическим условиям окружающей среды. Геохимическая экология исследует живые организмы и их реакции на воздействие природных геохимических факторов. Если воспользоваться аналогией В.И.Вернадского, то подходы геохимической экологии к рассматриваемой проблеме носят определенный физиологический «оттенок»: необходимыми для жизни организма считаются те химические элементы, отсутствие или нахождение которых ниже (выше) известного минимума (максимума) вредно действует на организм. В.В.Ковальский [53] подчеркивал, что геохимическая экология изучает, прежде всего, жизненно необходимые элементы.

** Геохимия ландшафтов изучает химический состав и миграцию химических элементов в ландшафте (т. е. изучает ландшафт и процессы, протекающие в ландшафте, на атомарном уровне) - [72]. В качестве научного направления геохимия ландшафтов сформировалась на основе учения Б.Б. Полынова о геохимическом ландшафте как участке земной поверхности, отмеченном определенным типом (определенными условиями) миграции химических элементов. Основная идея геохимии ландшафтов состоит в том, что различные природные тела (горные породы, кора выветривания, рыхлые наносы, почвы, воды, животные и атмосфера) той или иной территории связаны встречными потоками вещества и энергии в единое целое и образуют различные по степени сложности, устойчивости, тесноте обратных связей и типам функционирования природные ландшафтно-геохимические системы [44]. Цель геохимии ландшафтов – изучение свойств ландшафтной системы и особенностей ее функционирования и развития с помощью анализа миграции атомов [69]. Таким образом, по словам А.И. Перельмана, у географии геохимия ландшафтов позаимствовала объект (ландшафт), а у геохимии – метод исследования.

ний, которые формируются за счет природных и антропогенных факторов» [12, с. 4]. Согласно В.В.Гавриленко, экогеохимия исследует «поведение химических элементов в условиях взаимодействия живого и косного вещества, факторы их миграции и накопления, а также закономерности формирования природных и техногенных геохимических аномалий» [43, с. 2]. В.Т.Трофимов и Д.Г.Зилинг утверждают, что научное направление экологическая геохимия «связано с изучением комфортности обитания человеческого сообщества и фокусирует знания на сохранении экосистем в условиях интенсивного техногенного загрязнения литосферы» [101, с. 95]. По В.А.Королеву и соавтр. [ ], экологическая геохимия изучает общие закономерности миграции элементов (как вредных, так и полезных) в экосистемах с участием геологической среды.

Как известно, понятие науки включает два взаимосвязанных, но различных аспекта: науку как знание и науку как познание. В первом значении наука – это открытая система объективных знаний о действительности; во втором – это деятельность, направленная на получение, сохранение и развитие научного знания. Рассматривая науку как знание, следует отличать от объекта науки (т. е. действительности) само знание в качестве предмета науки (т. е. совокупность идеальных вещей, отношений и свойств, которые адекватно прямо или опосредованно отображают и моделируют действительность, или объект науки). Любая наука направлена на некоторые объекты, выявляя в них свой предмет.

Объект (и знания, и познания) – это явление внешнего мира, материальная действительность, предмет, на который направлена соответствующая деятельность; объект существует вне нас и не зависит от нашего сознания; он не может менять свои характеристики в зависимости от точки зрения субъекта. Один и тот же объект может быть предметом различных видов исследования. По мере развития знаний об объекте открываются новые его стороны и связи, которые становятся предметом познания [58]. В данном случае предмет познания – это то, на что направлена мысль, что составляет ее содержание; та сторона объекта (свойства и характеристики), которая рассматривается в данном исследовании (может явиться объектом рассуждения). Предмет может иметь материальную (атом, живой организм) или идеальную природу (математическая формула, концептуальный образ, взятые как предмет познания). Различные науки об одном и том же объекте имеют различные предметы познания. В общегносеологическом плане противопоставление предмета и объекта является относительным [110]. Основное структурное отличие предмета от объекта заключается в том, что в предмет входят главные, наиболее существенные (с точки зрения данного исследования) свойства и признаки.

Выше сказанное, а также убежденность автора этих строк в том, что экологическая геохимия – как научная дисциплина - входит в цикл геохимических наук, позволяют утверждать, что экогеохимия изучает историю химических элементов в окружающей среде (биосфере), распределение и поведение (поступление, рассеяние, миграцию, концентрирование, трансформацию, биопоглощение) которых определяются биогеохимической функцией человечества. Ос-

новной объект изучения экогеохимии - химические элементы, специфика поведения которых определяется деятельностью человека или миграция которых осуществляется в среде, преобразованной деятельностью человека. Предметом познания экологической геохимии являются геохимические процессы и взаимодействия в окружающей среде* (биосфере), обусловленные сочетанием природных, природно-техногенных и техногенных факторов, а также эколого-геохимические последствия таких процессов и взаимодействий.

---

* В настоящее время нет общепринятой дефиниции понятия «окружающая среда»; не ясно его соотношение с понятием «биосфера». Следует согласиться с Н.Ф.Реймерсом [77], что с точки зрения семантики русского языка словосочетание «окружающая среда» в определенной степени бессмысленное. Тем не менее оно прочно вошло в язык, с чем, видимо, нельзя не считаться. Сейчас словосочетание «окружающая среда» часто применяют как утилитарное понятие для определения экологических условий жизни человека или группы живых организмов в условиях антропогенного воздействия. Окружающая среда – это наш биотоп, в котором мы вместе со всеми организмами составляем соответствующий биоценоз. С практических позиций точное определение этих двух широко используемых терминов – биосфера и окружающая среда - не имеет принципиального значения: актуальны мысли В.И. Вернадского о том, что «мы не можем дать сейчас ясных и точных научных и философских определений ни в одной области изучения природы. Все основные понятия естествознания... всегда неизбежно вызывают возражение, и они заключают элемент иррационального, не поддаются точному и ясному логическому выражению. Это не мешает им, однако, быть для нас понятными и быть объектами… научного исследования, раз только они являются не абстрактными созданиями нашего ума, а определенным проявлением Природы, реально существующей» [30, с. 181]. Согласно В.И. Вернадскому [19; 23; 31; 32], биосфера - это область существования живого вещества, организованная определенная оболочка земной коры, сопряженная с жизнью. (Под земной корой В.И. Вернадский, его ученики и последователи подразумевали наружную «пленку» земли, глубиной в среднем около 16 км, состоящую из атмосферы - в части тропосферы, всей гидросферы и верхней части литосферы.) Эта оболочка принадлежит к той области нашей планеты, где могут существовать в устойчивом состоянии все три физических состояния вещества – твердое, жидкое и газообразное. Пределы биосферы определяются существованием воды в жидком состоянии. Они ограничены полем существования жизни, в котором условия позволяют организму давать потомство и увеличивать живую массу. Вернадский писал и о так называемом поле устойчивости жизни, в условиях которого организм имеет возможность только выжить. Таким образом, окружающая живой организм среда включает в себя и поле существования жизни, и поле устойчивости жизни. Дж.Хатчинсон [11] отмечал, что для биосферы как особой оболочки земного шара, характерно следующее: 1) это область, в которой имеется в значительных количествах жидкая вода; 2) на нее падает мощный поток энергии от Солнца; 3) здесь есть поверхности раздела между веществами, находящимися в жидком, твердом и газообразном состояниях. Следует добавить, что, поскольку человек социально гетеротрофное существо, то только в биосфере он способен получать (производить) в необходимых количествах пищу. С химической точки зрения биосфера – это, прежде всего, сфера подавляющего преобладания в ее элементарном составе (по массе и по количеству атомов) водорода, углерода, кислорода и азота. В любом случае, видимо, сегодня оба понятия (биосфера и окружающая среда) имеют право на существование, а имеющиеся между ними различия вряд ли способны внести методологическую путаницу в соответствующие исследования. Очень часто использование термина «окружающая среда» («среда обитания») оправданно и удобно, поскольку позволяет говорить о природной, жилой, производственной, городской среде и т.п.

Если следовать В.И.Вернадскому, то коротко можно сказать, что экогеохимия изучает биогенную миграцию атомов 3-го рода, «идущей под влиянием человеческой жизни, воли, разума в окружающей среде», и ее проявления в биосфере. С позиций временно́го масштаба изучаемые экогеохимией процессы и явления имеют достаточно выраженные границы: они ограничены историческим временем (В.И. Вернадский), или, если использовать понятие, предложенное Дж.Фортескью [112], техногенным временем.

Главная цель экогеохимии – установление закономерностей изменения химического состава биосферы и ее частей в связи с проявлением биогеохимической функции человечества. В этом плане, если рассматривать экогеохимию как знание (т. е. как открытую систему объективных знаний о действительности), то в качестве предмета науки экогеохимии выступают знания о закономерностях изменения химического состава биосферы и поведения химических элементов в ней в связи с проявлением биогеохимической функции человека. В общем случае можно говорить о двух классах задач исследования, которые должны реализовываться в экогеохимии: а) задачи эвристические («чисто научные»), состоящие в получении нового знания, как такового; б) задачи прикладные, заключающиеся в выяснении путей и способов практического использования нового знания, а также в решении проблем, которые ставятся перед экогеохимией и экогеохимиками извне.

Первые задачи связаны с изучением биогенной миграции атомов 3-го рода как одного из фрагментов объективной реальности, с получением, независимо от сиюминутных практических целей, нового знания о природных и природно-техногенных процессах и явлениях, происходящих в различных экосистемах и в конечном счете обусловливающих состояние биосферы (выявление и изучение физико-химических процессов, обусловленных человеческой деятельностью, и их геохимического проявления в окружающей среде; установление закономерностей поведения химических элементов и их соединений в условиях взаимодействия техногенных и природных факторов; выявление закономерностей формирования, строения и динамики развития техногенных геохимических аномалий, формирующихся в среде обитания человека в результате его деятельности, и оценка их экологической значимости и др.). Очень часто эти задачи связаны с решением проблем, возникающих внутри самой экогеохимии, что в значительной степени и определяет фундаментальную сторону эколого-геохимических исследований, направленных на установление законов поведения химических элементов в условиях техногенеза.

Второй класс задач в большей мере связан с прикладными исследованиями, направленных на оценку состояния (качества) окружающей среды, выявление масштабов и последствий геохимического преобразования биосферы в связи с деятельностью человека, на использование полученных знаний в практических целях, на разработку рекомендаций и мероприятий по предотвращению, снижению и ликвидации негативных последствий человеческой деятельности.

На первых этапах своего формирования экогеохимия в основном развивалась как прикладная наука. В настоящее время прослеживается тенденция к изучению техногенеза как закономерного феномена в истории биосферы; перед экогеохимией ставятся «чисто научные» задачи; экогеохимия решает проблемы, возникающие внутри нее. Известно, что в ряде вузов страны читаются специализированные курсы «Экологическая геохимия». Это особенно показательно. Как писал В.И.Вернадский, «область знания, по тем или иным причинам вызвавшая к себе особый интерес, требующая долгого ознакомления с обширной специальной литературой, трудной и медленной предварительной подготовки, обладающая специальными своеобразными методами или приемами работы, выделяется… в особую науку. В этой науке создаются специалисты, она получает особое название».

Теоретические основы экологической геохимии

Теоретический базис и понятийный аппарат экогеохимии в значительной степени опираются на основные концепции, принципы, обобщения и понятия общей геохимии, биогеохимии, поисковой геохимии, геохимии ландшафтов, экологии, геогигиены. Это закономерно, поскольку развитию любой научной дисциплины, как и науки в целом, свойственны кумулятивный характер и преемственность. Суть методологической деятельности, как отмечает С.С.Розова [79], заключается в адаптации к новой задаче или к новой ситуации всего предшествующего познавательного и практического опыта с целью выработки на его базе плана или проекта деятельности по решению новой задачи или по осознанию новой ситуации.

Важнейшими положениями, имеющими первостепенное значение для понимания геохимической структуры и функционирования биосферы и ее составных частей, являются следующие эмпирические обобщения (т. е., по В.И. Вернадскому, закономерности реальности, выведенные только из совокупности точно установленных эмпирических фактов и поэтому практически независимые от широко принятого в науке домысливания ненаблюдаемых сторон реальности с помощью приемов формальной логики):

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

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);

3) в земной коре ведущее значение имеют элементы с низким атомным весом и малыми порядковыми номерами (правило Менделева-Ферсмана); кларки

элементов четных порядковых номеров выше кларков нечетных элементов (из трех соседних – по периодической системе - элементов больший кларк принадлежит элементу четному)-(закон четности Оддо-Гаркинса);

4) непрерывная миграция (перемещение) химических элементов (атомов и соединений) во времени и пространстве, осуществляемая в биосфере или при непосредственном участии живого вещества, или в среде, геохимические особенности которой обусловлены живым веществом (закон Вернадского); все биогенные миграции и все биохимические функции могут быть сведены:

- к 1-му биогеохимическому принципу: биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремиться к максимальному проявлению;

- 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;

5) цикличность геохимических процессов, в значительной мере осуществляемая при участии живого вещества, включая переход элементов в течение геологического времени из одной геосферы в другую (непрерывный круговой процесс химических элементов В.И. Вернадского);

6) в биосфере в ходе биологического круговорота атомы поглощаются живым веществом и заряжаются энергией; покидая живое вещество, они отдают накопленную энергию в окружающую среду; за счет этой биогенной энергии осуществляются многие химические реакции; в результате биологического круговорота формируется окислительно-восстановительная зональность биокосных систем (закон биологического круговорота);

7) все земное вещество проникнуто и охвачено водой, играющей огромную роль в геохимических процессах; биосфера 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 (постулат Дюбуа: «жизнь есть одушевленная вода»);

8) многообразие видов и форм существования элементов в природе, меняющихся в ходе их миграции; преобладание рассеянного состояния элементов над концентрированным, особенно характерное для химических элементов с малым кларком и высокой технофильностью;

9) неразрывность живого вещества и окружающей среды; «все наиболее распространенные и важные в живом веществе элементы принадлежат к наиболее распространенным элементам земной коры» (принцип неразрывности Вернадского: «явления жизни и явления мертвой природы... являются проявлением единого процесса»);

10) все живое вещество Земли физико-химически едино (закон физико-химического единства живого вещества В.И.Вернадского);

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

12) поведение химических элементов в процессах земной коры, их распределение по типам расплавов-растворов, породам и рудам, изоморфизм в минералах и геохимическая периодичность определяются близостью отношений порядковых номеров и атомных весов соответственных элементов (в форме катионов или анионов) к числам 1, 2, 4 (общее геохимическое правило К.А.Власова);

13) закономерное различие (неоднородность, мозаичность) химического состава биосферы в различных местах земной поверхности (физико-химическая гетерогенность биосферы);

14) зависимость поведения химических элементов от миграционной и геохимической структуры ландшафтов, в свою очередь подчиненной географической закономерности (закону широтной и вертикальной зональности); каждая ландшафтная зона – это особая геохимическая зона с особым типом биологического круговорота атомов и своеобразными условиями их миграции.

Повсеместная распространенность химических элементов в настоящее время не вызывает сомнения. «В капле воды мы должны найти все химические элементы», - образно писал В.И.Вернадский [32, с. 210]. Закон о повсеместном распространении всех элементов периодической системы Менделеева в любом объеме земного вещества (названный Н.И.Сафоновым законом Кларка-Вернадского) лежит в основе представлений о геохимическом поле. По А.П. Соловову [97], геохимическим полем именуется геологическое пространство, охарактеризованное цифрами содержаний химического элемента как функциями координат и времени. Согласно Л.В.Таусону и его коллег, под геохимическим полем понимается «геологически однородное горное пространство, характеризующееся близкими физико-химическими условиями образования минеральных ассоциаций, имеющих сходные парагенезисы и уровни содержания химических элементов» [100, с. 5]. Авторы различают две большие группы геохимических полей: геохимические поля рассеяния, которые абсолютно преобладают на Земле, и геохимические поля концентрирования. Н.Н.Трофимов и А.И.Рычков [103] предлагают различать нормальные геохимические поля и аномальные геохимические поле. Первые - отражают характер распределения близких к кларкам соединений химических элементов в неизмененных объектах; образование их связано с процессами рассеяния элементов. Аномальные геохимические поля, включающие геохимические аномалии и ореолы, выделяются на фоне нормальных полей. Геохимическая аномалия – это любое отклонение в содержаниях и распределении элементов от нормального поля. Геохимический ореол – это отклонение от нормального поля, связанное непосредственно с процессами рудной минерализации. Специфическими особенностями геохимических полей является их многомерность, обусловленная участием в их формировании многих (в принципе всех) химических элементов, и высокая дискретность их строения [6].

Н.И.Сафроновым [94; 95] было сформулировано понятие о всеобщем геохимическом поле рассеяния элементов в земном пространстве. Отражением

всеобщей распространенности элементов служат их кларки, т.е. «количественное соотношение элементов для определенного пространственного, термодинамического, исторически сложившегося энергетического уровня (например, для отдельных геосфер)»-[108, с. 402]. Ферсман называл кларк «величайшей константой» космической системы и данного элемента и указывал на необходимость постоянного уточнения значений кларков земной коры и космических тел и определения кларков геохимических и космохимических систем по отдельным химико-энергетическим уровням [105]. А.А.Беус (1981), характеризуя особенности распределения химических элементов в литосфере, предлагал различать глобальные параметры распределения, которые отражают статистические закономерности содержания элементов в различных типах пород для земной коры в целом; региональные параметры – характерные для отдельных геохимических провинций; локальные параметры – типичные для ограниченных по площади геологических образований*.

Для характеристики относительного содержания химических элементов В.И. Вернадским был предложен так называемый кларк концентрации, который представляет собой отношение содержания элемента в рассматриваемом объекте к кларку его в земной коре. Как правило, кларки элементов не зависят от химических свойств последних (от строения электронных оболочек атомов, определяющих эти свойства). В то же время, отчетливо устанавливается их связь со строением атомного ядра. В земной коре преобладают элементы с легкими ядрами, содержащими четное число протонов. Эта особенность распространения элементов была установлена В.Гаркинсом, развившего идеи Г.Оддо (элементы, атомный вес которых может быть разделен на 4, сильно преобладают в земной коре [35]). А.Е.Ферсман [106] обратил внимание на то, что с утяжелением атомного ядра кларки элементов уменьшаются.

---

* При оценках распределения химических элементов в природных (геологических) объектах (телах, компонентах) обычно изучают их абсолютную (общую, валовую) или относительную распространенность. Для характеристики абсолютной распространенности используют весовые или объемные показатели, которые в сущности основаны на весовых или объемных процентах. Для выражения относительного содержания элементов применяют геохимические коэффициенты, в основе которых лежит так называемый коэффициент распределения, т.е. величина отношения средних 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 представляет определенные удобства при расчетах различных показателей и коэффициентов. Наиболее известными являются ppm (parts per million parts) и ppb (parts per billion parts). Фортескью предлагает различать парциальное содержание элемента: «часть от общего.. его содержания, которое извлекается из образца… , отобранного и обработанного по стандартной методике с использованием экстрагирующих растворов единого состава в течение определенного времени и при заданных температурах» [112, с. 54].

Подходы к изучению геохимических процессов, протекающих в различных геосферах, базируются на учении о геохимических циклах, о «непрерывных круговых процессах химических элементов», идущих при участии живого вещества [28; 29; 32]. Эти циклы осуществляются как посредством круговорота химических элементов из одной геосферы в другую (первичный круговой процесс, по В.И.Вернадскому, или большой геохимический цикл, по Б. Мейсону [61), так и в пределах конкретной геосферы (вторичный круговой процесс, или малый геохимический цикл). Различают два основных типа геохимических циклов: круговороты газообразных веществ и осадочные циклы. Как заметил Дж.Фортескью [112], малый геохимический цикл, по сути, представляет собой экологическую часть схемы геохимического цикла. Именно в эту часть цикла наиболее активно вмешивается человек.

В.И.Вернадский [16; 17] считал, что геохимическая история большинства элементов, образующих около 99,7% массы биосферы, может быть понятна только с учетом круговых миграций, поскольку в значительной мере основана на изучении законов таких миграций атомов. Тем не менее он отметил [20; 35], что геохимические циклы обратимы лишь в главной части атомов, часть же их закономерно неизбежно и постоянно выходит из круговорота, т. е. круговой процесс не является вполне обратимым. По мнению В.А.Ковды [54], степень повторяющегося воспроизводства геохимических циклов в природе очень велика и вероятно достигает 90-95-98%. Ведущая роль в круговороте химических элементов и соединений принадлежит живому веществу. Всякий растворимый, но нелетучий химический элемент может совершать замкнутый естественный круговорот только через биосферу [11]. Образование живого вещества и разложение органических веществ образуют единый биологический круговорот атомов, который идет в биосфере повсеместно, в разных формах и с разной интенсивностью [73].

В биосфере протекают две основных разновидности циклов – атмогидрохимический круговорот в системе суша – океан и внутриконтинентальные круговороты. В.А.Ковда [54] выделяет следующие основные группы и типы биогеохимических циклов: на уровне микробных экосистем и популяций, на уровне низших беспозвоночных организмов почв и водоемов, в лесных и травянистых биогеоценозах, регионально-бассейновые циклы, циклы в системе суша-атмосфера-океан. Особое значение имеют локальные биогеогеохимические циклы, примером которых служит локальный круговорот ртути [136; 137]. Основная часть металлов, вовлекаемых в глобальные круговороты, обычно происходит из природных источников; в локальных круговоротах могут преобладать «техногенные» элементы.

Современное состояние геохимического поля является временной стадией длительных процессов перегруппировки элементов, осуществляемых путем миграции, т. е., по А.Е.Ферсману [107], комплекс процессов, идущих во времени и ведущих к пространственному перемещению химического элемента, с изменением его содержания в данном участке, с накоплением или рассеянием в дру-

гих участках. Ферсман выделил внутренние и внешние факторы миграции, а также обосновал понятие «геохимические свойства элементов» (такие черты химических элементов, которые проявляются у них в природных процессах миграции). Обычно различают четыре основных вида миграции химических элементов: механическая, физико-химическая, биогенная, техногенная.

Интенсивность миграции во многом обусловлена химическими свойствами элементов, одновременно определяясь и их кларками. Согласно В.М. Гольдшмидту [134], кларки элементов в земной коре в основном зависят от строения их атомных ядер, а миграция - от строения электронных оболочек и ядер. Основываясь на идеях Гольдшмидта, А.Н. Заварицкий [49] сформулировал закон, гласящий, что нахождение химических элементов в земной коре зависит от строения их атомов. Этот закон, в несколько измененной формулировке (см. выше), логичнее называть законом Гольдшмидта-Вернадского, поскольку зависимость распространенности элементов в земной коре от строения их атомного ядра еще раньше была показана В.И.Вернадским (средний химический состав земной коры «связан со строением атомов» [36, с. 66]).

К важнейшим внутренним факторам миграции относятся [41; 71; 107]: 1) термические свойства элементов, их летучесть или тугоплавкость; 2) химические свойства соединений; 3) энергетические свойства ионов, определяемые их кристаллохимическими параметрами и связанные с ними явления изоморфизма; 4) гравитационные свойства – массы атомов, плотности различных элементов и их соединений; 5) радиоактивные свойства, определяющие изменение изотопного состава элементов. Особенно велика зависимость миграционной способности элементов от типа химической связи, электроотрицательности, размеров атомов и ионов, валентности – важнейших геохимических параметров элементов. Основными внешними факторами миграции являются: 1) температура; 2) давление; 3) концентрация вещества, определяющая ход событий согласно закону действующих масс; 4) степень ионизации растворов и расплавов; 5) концентрация водородных ионов, величина pH; 6) окислительно-восстановительный потенциал растворов, Eh; 7) поверхностные силы природных коллоидных систем и связанные с ними явления сорбции элементов и их соединений; 8) равновесие фаз (правило фаз); 9) действие живых организмов. Сочетание факторов миграции создает геохимическую обстановку миграции, в которой протекают геохимические процессы, обусловливающие перераспределение химических элементов, приводящее к их рассеянию или концентрированию.

При изменении внешних условий в пространстве и(или) во времени меняются и условия миграции химических элементов, что может сопровождаться их концентрированием на контактах различных сред с контрастными физико-химическими параметрами в виде гипергенных новообразований. Такие геохимические сопряжения, в пределах которых на коротком расстоянии происходит резкая смена условий миграции элементов, называют геохимическими барьерами [71]. Обычно они имеют механический, физико-химический или биогеохимический характер, хотя, как правило, геохимический барьер сочетает в себе

черты всех трех основных типов. В различных геохимических обстановках миграции конкретный химический элемент, обладая присущими только ему геохимическими свойствами, характеризуется специфическим поведением. А.И. Перельман [72] ввел понятие о разнообразии миграции химического элемента и обратил внимание на зависимость разнообразия миграции от кларка – чем ниже кларк, тем у химически сходных элементов она меньше. Им также был сформулирован принцип подвижных компонентов: геохимические особенности гипергенных процессов характеризуются наиболее активно мигрирующими и одновременно накапливающимися главными (типоморфными) элементами [71]. В природных условиях типоморфность элемента зависит от его кларка элемента и миграционной способности. Каждая ландшафтная зона характеризуется наиболее ярким проявлением типичных лишь для нее геохимических процессов (типоморфный комплекс геохимических процессов [46]).

При изучении процессов миграции химических элементов необходимо учитывать их геохимическую периодичность. Согласно К.А.Власову [40], под геохимической периодичностью (по аналогии с химической периодичностью) понимается периодическое повторение химических и физико-химических свойств элементов, которые определяют сходство в их поведении в различных геохимических и минералообразующих процессах земной коры (их сочетание в парагенетические ассоциации, совместная миграция и т. д.). Геохимическими аналогами оказываются элементы, отношения атомных весов и порядковых номеров которых близки к 1, 2 или 4. Количество геохимических аналогов больше, чем химических, а потому геохимическая периодичность характеризуется более обширными сферами действия, нежели химическая.

В ходе миграционных процессов осуществляется дифференциация земного вещества, что определяет зональность распределения химических элементов в геологических системах. Дифференциация вещества Земли - есть закономерное отражение движения и развития материи в пространстве и времени, что особенно проявляется в геологических процессах и в тех закономерностях, которые определяют образование продуктов этих процессов [66]. Последние характеризуют единство зональности и стадийности - дифференциации в движении, динамической дифференциации, осуществляемой с помощью различных процессов и механизмов. Основу зональности и стадийности составляет разная подвижность химических элементов, зависящая как от их внутренних свойств, так и от внешней среды, в которой происходит миграция. Протекание всех природных процессов в гравитационном поле Земли разделяет подвижные компоненты и неизбежно формирует ту или иную зональность. К.А.Власовым [40] было сформулировано общее геохимическое правило, согласно которому, поведение химических элементов в процессах земной коры, их распределение по типам расплавов-растворов, породам и рудам, изоморфизм в минералах и геохимическая периодичность определяются близостью отношений порядковых номеров и атомных весов соответственных элементов (в форме катионов или анионов) к числам 1, 2, 4. Все разнообразие путей дифференциации магм и растворов, об-

разование горных пород, рудных месторождений и других минеральных ассоциаций сводится к группировке и пространственному разобщению элементов по сходству и различию их физико-химических свойств в соответствии с указанной закономерностью [66].

В результате непрерывно идущих процессов рассеяния и концентрирования, для разных элементов проявляющихся различно, химический состав экосистем, геологических тел, природных компонентов отличается количественной неоднородностью (геохимической гетерогенностью). В.И. Вернадским было введено в науку понятие о парагенезисе химических элементов [15], т. е. о совместном, закономерном нахождении их в различных компонентах земной коры (закон геохимической корреляции [107]). Практически каждое геологическое тело отличается индивидуальностью химического состава (ему соответствует определенный участок геохимического поля, отличный по ряду признаков от других участков, соответствующих геологическим типам того же уровня). Для характеристики свойств таких геологических тел используют понятие «геохимические ассоциации», под которыми А.Е.Ферсман [107] понимал сообщества химических элементов, отражающих дифференциацию геохимического поля, исторически и закономерно сложившихся на тех или иных участках земной коры и характеризующихся определенными качественно-количественными параметрами.

Геохимическая неоднородность (мозаичность, гетерогенность) - важнейшая особенность биосферы. Химический состав организмов неизбежно меняется в зависимости от состава окружающей среды, однако состав организмов стабильнее, благодаря регуляторным процессам гомеостаза, являющимся адаптацией к жизни в изменчивой среде [53]. Поэтому организм способен существовать не только в пределах поля существования жизни, но и в пределах поля устойчивости жизни. Тем не менее в зависимости от химического состава среды могут изменяться обмен веществ и приспособляемость организмов к геохимическим условиях. Это позволило А.П. Виноградову [38] ввести понятие о биогеохимических провинциях, которые представляют собой области на Земле, отличающиеся от соседних областей по уровню содержания в них химических элементов и вследствие этого вызывающие различную биологическую реакцию со стороны местной флопы и фауны. В результате резкой недостаточности или избыточности содержания какого-либо химического элемента (или элементов) в пределах биогеохимических провинций возникают биогеохимические эндемии, заболевания растений и животных. В концепции биогеохимических провинций существенны два момента [48]: 1) признание очевидной гетерогенности химического состава биосферы (живого вещества и геохимической среды); 2) исключительно важная биохимическая и функциональная роль химических элементов в жизнедеятельности организмов. Идея биогеохимической гетерогенности и зональности биосферы (континентов) послужила основой для выделения регионов биосферы, субрегионов биосферы и биогеохимических провинций. Биогеохимические провинции рассматриваются как специфические (атипич-

ные) экосистемы в пределах континентов и классифицируются по различным признакам (табл. 2).

Таблица 2. Классификация биогеохимических провинций [48]

Основной признак	Тип провинции
1. Время генезиса	1.1. Современные 1.2. Палеобиогеохимические
2. Территориальный	2.1. Региональные 2.2. Субрегиональные 2.3. Азональные (интерзональные)
3. Фактор воздействия: 3.1. Генезис	 3.1.1. Природные 3.1.2. Природно-техногенные 3.1.3. Техногенные (антропогенные)
3.2. Концентрационный признак	3.2.1. Позитивные 3.2.2. Негативные
3.3. По степени локализации и трансформации	3.3.1. Первичные 3.3.2. Вторичные (аккумулятивные)
4. По особенностям структуры и свойств геохимической среды	4.1. Геохимические 4.2. Ландшафтно-геохимические 4.3.Собственно биогеохимические
5. По ответным реакциям отдельных организмов	5.1. С выраженными реакциями микроорганизмов 5.2. Реакции растений 5.3. Реакции животных 5.4. Реакции человека
6. Тип биологических реакций	6.1. С различной степенью аккумулирования химических элементов и соединений 6.2. С выраженной биогеохимической дифференциацией флоры и фауны 6.3. С биогеохимическими и умеренными морфологическими изменениями 6.4. С проявлением биогеохимических эндемий и микроэлементозов
7. Степень экологического состояния	7.1. С относительно благополучной экологической ситуацией 7.2. Зоны риска 7.3. Зоны кризиса 7.4. Зоны экологического бедствия

При характеристиках геохимического поля, миграции, рассеяния и концентрирования особое значение имеет знание форм нахождения химических элементов. Это понятие, введенное В.И.Вернадским, является одним из основополагающих в геохимии и, как не странно, наименее обоснованным с методологических позиций. Вернадский, как известно, предложил различать четыре основных формы нахождения химических элементов в земной коре: 1) минералы и строящиеся ими горные породы; 2) магмы; 3) рассеяние химических элементов («осколки атомов», «микрокосмическое состояние»); 4) нахождение химических элементов в живых организмах. По мнению автора этих строк, указанные общие научные положения были восприняты последующими исследователями без должного осмысления. Это привело к тому, что в геохимической литературе можно встретить разные точки зрения,

как о самом понятии «формы нахождения», так и об их классификации, способах выделения и критериях различия.

А.Е.Ферсман [106], рассматривая «типы природного нахождения элементов в земной коре и в мироздании», выделил разные типы состояний атомов, ионов и их групп: однотипные (свободные ионы, молекулы в газовых смесях, атомы в виде металлов), многотипные (простые или сложные ионные кристаллы, атомные кристаллы, полуметаллические смеси, молекулярные кристаллы), многотипные и сложные (изоморфные кристаллические смеси, эндокриптные смеси, микрокосмические смеси), сложные смеси (коллоиды, абсорбционные системы коллоидов и кристаллов, внутрикристаллические твердые растворы), механические системы (механические смеси, закономерные механические смеси). А.А. Сауков [92] различал формы нахождения химических элементов в состоянии концентрации и рассеяния с последующим подразделением для различных фаз. В состоянии концентрации формы нахождения элементов в твердых фазах – это минералы соответствующих компонентов; в жидких – вода и растворенные в ней соединения элементов; в газообразных – компоненты газовых смесей. В состоянии рассеяния в твердых фазах формы нахождения элементов представлены изоморфными смесями, сорбированным состоянием элементов, элементами, растворенными в водах, пропитывающих горные породы и минералы.

Н.И.Сафронов [95] считал, что все многообразие видов и форм существования химических элементов в природе целесообразно рассматривать с двух позиций – качественной и количественной характеристик поведения элементов, выделяя минеральную и безминеральную форму, концентрированное и рассеянное состояние. В минеральной форме различают макро- и микроформы; в безминеральной – природные истинные и коллоидные растворы, газовые смеси, органическое вещество, изоморфные примеси, структурные и неструктурные включения в минералах, скопления в межминеральных полостях аморфные соединения, квазигазообразное состояние, сорбированное состояние в минеральном поглощающем комплексе, растворы во внутрикристаллических, пленочных и гравитационных водах, пары и газы в порах и трещинах, металлоорганические соединения [99]. Н.Н.Трофимов и А.И. Рычков [103] под формой нахождения понимают физико-химическое сос-тояние элемента в объекте в момент исследования. По их мнению, наиболее полное представление о формах нахождения элемента могут дать две основ-ных характеристики: 1) связь элемента с окружающей средой (где находится элемент в исследуемом объекте и каким образом они связаны); 2) тип химического соединения элемента (валентность элемента и состав химического соединения). В горных породах возможны, например, следующие формы нахождения элементов: 1) минералы, 2) изоморфные примеси элементов в минералах, 3) сорбированное состояние элементов в породе и минералах, 4) газо-жидкие включения в минералах, 5) нахождение в поровых водах.

Л.В.Антропова [3] определяет форму нахождения химического элемента как его состояние, зависящее от физико-химических условий окружающей среды. А.И.Перельман [71] указывал, что в каждой выделяемой Вернадским группе форм нахождения можно выделить «ряд более мелких форм». Основными из них в зоне гипергенеза, по А.И. Перельману, являются: газообразная, легкорастворимые соли и их ионы в растворах, труднорастворимые соли и их ионы в растворах, элементы в телах живых организмов, коллоидные осадки и растворы, адсорбированные ионы, межблочная форма в нарушения кристаллов, элементы в узлах кристаллических решеток медленно разрушаемых и устойчивых (в данной среде) минералов. В свою очередь, каждая форма нахождения представлена конкретным химическим элементом или химическим соединением. Л.В. Антропова [3], выделяя в горных породах водорастворимую форму нахождения элементов, отмечает, что она представляет собой группу форм, включающих элементы, находящиеся в жидкой фазе, а также в соединениях твердой фазы, растворимых в воде. В литературе, посвященной изучению «форм нахождения» и «форм закрепления» химических элементов (например, в горных породах), упоминаются неструктурные примеси, изоморфные, атомарные, молекулярные, водорастворимые, сульфидные, силикатные, сульфатные, карбонатные, сорбированные, взвешенные, растворенные, коллоидные формы элементов и др.

Ю.Е.Сает и Н.И.Несвижская [85] предлагают различать так называемые минералого-геохимические формы нахождения, выделяемые, например, во вторичных ореолах рассеяния по формально-генетическому признаку. Так, важнейшими минералого-геохимическими формами, заключающими элементы-индикаторы во вторичных наложенных ореолах в аллохтонных отложениях, являются: водорастворимые соединения (преимущественно сульфаты и хлориды тяжелых металлов), обменно-сорбированный комплекс, карбонаты и труднорастворимые сульфаты, гидрооксиды железа, марганца, алюминия и кремния, органическое вещество, глинистые минералы, сульфиды (гипергенные, преимущественно пирит).

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что обоснование принципов и критериев выделения «форм нахождений элементов» и создание иерархической системы «форм нахождения» – одна из насущных теоретических и методологических проблем в геохимии.

В русском языке слово «форма» имеет несколько значений, но наиболее распространены из них два: а) внешнее очертание, наружный вид предмета; 2) способ существования содержания, неотделимый от него и служащий его выражением. Во втором смысловом значении понятие «форма» выступает как философская категория. Если внимательно проанализировать рассуждения В.И. Вернадского, то можно сделать вывод о том, что он – говоря о породах, магмах и живых организмах как о «формах нахождения элементов» - имел в виду, прежде всего, местонахождение химического элемента («форма нахождение» - это, по сути, «место», где находится элемент). Так, по словам ученого, история химических элементов всегда выражается круговыми процессами, элементы по-

стоянно проходят через одинаковые формы нахождения и, в конце концов, возвращаются в те же исходные формы [17]; «каждый химический элемент, каждый его атом находится в постоянном движении. Каждый конкретный атом будет переходить из одной формы нахождения в другую» [36, с. 23], т. е., например, из магмы в горные породы, из горных пород в живые организмы и т. д. В результате таких миграций создаются системы разнообразных химических равновесий («области разного состояния атомных систем»), способные удерживать химические элементы неопределенное время [35]. Понятие «формы нахождения элементов» обозначает «те резко отличные друг от друга по составу и природе участки – области в земной коре, которые мы должны изучить для того, чтобы получить полную историю химического элемента» [36, с. 21]. Таким образом, форма нахождения – это, прежде всего, область (участок) земной коры (геологическое тело), рассмат-риваемый как система разнообразных химических равновесий, способных удерживать элементы неопределенное время.

Нахождение элементов в «форме рассеяния»– это уже способ их существования, поскольку в таком состоянии они могут находиться в горных породах, живых организмах и т. д. Более того, говоря о рассеянных элементах, Вернадский, возможно, в большей степени имел ввиду их «всюдность». Именно представление Вернадского о рассеянии элементов – как особой формы нахождения - вызвало наиболее оживленные споры. В.В.Щербина и В.С. Неаполитанская [114] считали атомарное состояние рассеянных элементов в минералах умозрительным и неверным, поскольку рассеянные элементы могут находиться либо в виде изоморфных гетеровалентных примесей, либо в виде интерстициальных включений в дефектах или дислокациях кристаллической решетки, либо в сорбированном состоянии, либо в концентрированных растворах в виде газово-жидких включений в кристаллах. К.А.Власов [39] предполагал, что редкоментальные элементы находятся в горных породах, скорее всего, в молекулярном состоянии, а указанные молекулы в сущности представляют собой также минералы. Действительно, в каждом конкретном случае существующий свободный атом всегда связан с несущей средой (местом нахождения) посредством каких-либо физических или химических процессов и явлений.

В ряде своих работ В.И.Вернадский конкретизирует представления о формах нахождения элементов. Он пишет, что в биосфере все физико-химические явления и процессы подчиняются законам равновесия и должны совершаться за счет некоторой внешней энергии [18; 35; 36]. Особое значение имеют параметры равновесия (температура и давление), а также физическое (фазовое, агрегатное) состояние вещества, слагающего равновесие, и, в свою очередь, определяющего физическое состояние химических элементов, которые строят земную кору (фазы геологических тел). Дальнейшие рассуждения ученого позволили ему выделить так называемые компоненты равновесия, или конкретные формы выявления химических элементов. Земная кора включает несколько оболочек, характеризующихся присущими только им параметрами равновесия, фазами равновесия и компонентами равновесия.

Химический элемент - это совокупность (изотопическая смесь, как писал Вернадский) атомов с одинаковым зарядом ядра.* В свою очередь, атомы состоят из различных сочетаний нуклонов в их ядрах. В зависимости от характера сочетания различают три типа нуклидов - изотопы, изобары и изотоны [41]. А.Е.Ферсман [106] называл изотопы видами атомов, принадлежащих к одному типу элемента, а их совокупность в составе данного элемента – плеядой изотопов. По виду существования изотопы делят на стабильные (устойчивые) и нестабильные (радиоактивные). Вид существования обусловлен внутренними свойствами химического элемента, формы миграции и нахождения – преимущественно внешней средой. Различное сочетание этих двух факторов определяет поведение химического элемента в геохимических процесса, пути его миграции и условия накопления [66].

---

* Нарушение изотопного состава элементов в природе связано с ядерными процессами (ядерные реакции, спонтанное деление ядер, естественная радиоактивность) и с фракционированием уже готовых стабильных изотопов в определенных физико-химических условиях. В последнем случае небольшое различие в изотопных массах определяет разную кинетику хода химических реакций, достаточную для заметного разделения изотопов. Разделение их происходит также при физических процессах: диффузии, испарении, изменении агрегатных состояний вещества в процессе круговорота в верхних оболочках Земли. Одна из важнейших, интереснейших и наименее изученных проблем геохимии - выяснение роли живого вещества и, в частности, деятельности человека в дифференциации изотопического состава элементов. Она была поставлена В.И.Вернадским [125; 34]. По его словам, в настоящее время работа геохимика связана с изучением не самих атомов, а химических элементов – изотопических смесей. В чисто химических процессах все изотопы одного и того же элемента проявляются одинаково. Поэтому, пишет Вернадский, пока мы остаемся в области чисто химических процессов, можно химический элемент отождествлять с атомом. Тем не менее проблема изотопического состава элементов живого вещества имеет, видимо, особое значение, но полной ясности в этом вопросе нет. Имеет ли какое-либо значение определенный изотопный спектр для жизненных функций и процессов обмена веществ? Или изотопический состав элементов не играет существенной роли в процессах жизни, и мы действительно «можем отождествлять химический элемент с атомом»? А.Е.Ферсман [т. 1] склонялся к тому, что предположение Вернадского о разделении изотопов в жизненных процессах вряд ли имеет место, хотя частично и может проявляться в отдельных случаях. Ферсман полагал, что состав каждой плеяды изотопов подчинен определенным законностям, которые теоретически предопределяют, из каких изотопов данный элемент должен состоять и в каких отношениях эти изотопы должны количественно быть смешаны. Он же высказал мысль, что постоянство состава изотопов вызывается тем, что между ними существуют определенные соотношения, которые в случае их нарушения восстанавливаются. Н.И.Сафронов (1959), указывая на необходимость изучения изотопного состава химических элементов в пределах первичных геохимических ореолов рассеяния, обязанных своим происхождением диффузии, предполагал, что изотопический состав элементов в пределах таких ореолов должен несколько меняться: более легкие изотопы пройдут более значительный путь от начала движения и, следовательно, несколько обогатят периферические части ореолов, по сравнению с центральными, где будут накапливаться более тяжелые изотопы.

В биосфере, по В.И.Вернадскому [32], существует семь типов вещества: 1) живое вещество (совокупность живых организмов); 2) биогенное вещество, создаваемое и перерабатываемое живыми организмами; 3) косное вещество, образуемое процессами, в которых живое вещество не участвует; 4) биокосное вещество, которое создается одновременно живыми организмами и косными процессами; 5) вещество, находящееся в радиоактивном распаде в форме немногих относительно прочных радиоактивных элементов; 6) рассеянные атомы; 7) вещество космического происхождения.

Если суммировать сказанное, то следует, видимо, различать (безусловно, в самом первом приближении и с определенной долей условности) следующие «формы и способы нахождения» химических элементов в биосфере:

- местонахождение химических элементов, т. е. системы разнообразных химических равновесий, способных удерживать элементы неопределенное время («области разного состояния атомных систем»): а) оболочки-геосферы, б) геологические тела, в) тип биосферного вещества;
- состояние химических элементов – концентрированное и рассеянное;
- вид существования химических элементов – стабильные (устойчивые) и нестабильные (радиоактивные) изотопы;
- форму выявления элементов - минеральная и безминеральная;
- фазовое (агрегатное) состояние вещества (фазы геологических тел), слагающего указанное выше равновесие (газообразное, растворенное, коллоидное; твердое), что позволяет говорить о фазовых формах нахождения химических элементов (газообразная, растворенная, твердая, коллоидная);
- минералого-геохимическую форму, заключающую (закрепляющую, фиксирующую) химические элементы;
- тип состояния химических элементов, или конкретную форму нахождения (выявления) элементов (ион, комплексный ион, молекула, макромолекула, химическое соединение и его вид и т. д.).

А.И.Перельман [71] предложил различать в литосфере подвижные и инертные формы нахождения химических элементов. Подвижная форма представляет собой такое состояние элемента в горных породах, почвах и т. д., находясь в котором он легко может переходить в раствор и мигрировать. Инертная форма - это такое состояние элемента, в котором он в условиях данной обстановки обладает низкой миграционной способностью и не способен или почти не способен переходить в раствор и мигрировать. В.И.Вернадский [28] выделял так называемое поле устойчивости минерала (химического соединения), т. е. среду, в которой они могут существовать без распадения на другие соединения или на свои составные элементы. Среда определяется химическим своим характером и физическими своими свойствами. Поэтому, видимо, логичнее говорить об условно (потенциально) подвижных и условно инертных (прочносвязанных) формах нахождения элементов (типах состояния).

В геохимической литературе такие понятия, как «формы нахождения» (которых множество) и «формы миграции» (число которых ограничено) химиче-

ских элементов, очень часто используются как синонимы, что вряд ли правомочно. Форма миграции химического элемента зависит от местонаждения химического элемента и в значительной мере определяется фазовым состоянием вещества, минералого-геохимической формой, заключающей элемент, и его конкретной формой нахождения (типом состояния), а также физико-химическими особенностями среды миграции. Так, в условиях зоны гипергенеза химические элементы могут мигрировать преимущественно в четырех фазовых формах нахождения - газообразной, растворенной (в растворах), коллоидной и твердой. Например, некий химический элемент мигрирует в речных водах в двух фазовых формах нахождения - взвешенной и растворенной, где, в свою очередь, может закрепляться в различных минералого-геохимических формах и/или проявлять специфический тип состояния.

В настоящее время известно, что преобладающим для всех химических элементов является рассеянное состояние. Так, суммарные учтенные запасы металлов всех известных месторождений составляют ничтожную часть массы первых двух километров земной коры континентов: соотношение равно $1:4\cdot10^{-8}$ [67]. А.Е.Ферсман [107] называл рассеянным такое существование элемента в природе, при котором его содержание не превышает кларка (кларк концентрации меньше единицы). Концентрирование элементов - явление, обратное рассеиванию, приводящее в предельных случаях к формированию месторождений. А.П.Соловов предлагал понимать под рассеянным состоянием элемента такое, когда его содержание близко его кларку, а под концентрированным – когда содержания элемента близки к его содержанию в полезных ископаемых, из которых этот элемент извлекается в промышленных целях. Процесс концентрирования вещества в естественных условиях земной коры крайне редок и протекает в очень специфичных условиях. Для большинства рудных и редких элементов кларк концентрации в промышленных рудах колеблется от 100 до 500. Более низкие уровни концентрирование – от 10 до 100 (средние уровни) и от 1 до 10 (низкие уровни) в природе развиты значительно шире [100]. Концентрированное состояние характеризуется не только степенью концентрации, но и массой (запасами) элементов в объекте [99]. Замечено, что элементы широкого распространения с высокими кларками в своем концентрированном выражении в собственных минералах никогда не достигают тех кларков концентрации, которые свойственны элементам с низкими кларками [94]. Создается впечатление, что, с одной стороны, подобные элементы распределены более равномерно, чем те, у которых кларки низкие, с другой - элементы с низкими кларками способны к более интенсивному концентрированию в объектах биосферы. Низкие кларки многих элементов – одна из причин ограниченности числа их минералов [92].

В основе теории геохимических методов поисков рудных месторождений лежит концепция, рассматривающая процесс образования месторождений как единственно возможный переход химических элементов от изначально рассеянного состояния в земной коре и мантии к концентрированному состоянию с многоступенчатой дифференциацией, приводящей к обязательному образова-

нию первичных геохимических ореолов [65-67]. Возникновение вторичных гипергенных ореолов и потоков рассеяния, связанное с разрушением месторождений и их первичных ореолов, является единственно возможным обратным процессом - переходом, также дифференцированным, от концентрирования вновь к рассеянию. Концентрирование химических элементов в результате тех или иных процессов может приводить к образованию месторождений, в строении которых схематично можно выделить рудную часть, т.е. собственно рудные тела, и ореольную часть (первичные ореолы), т.е. участки околорудного пространства, обогащенные (или обедненные) определенными компонентами, всегда сингенетичные с рудными телами и представляющие собой их естественные продолжения [99]. В силу различных обстоятельств рудные тела и первичные ореолы подвергаются воздействию разнообразных внешних факторов, что активизирует геохимические процессы и обусловливает миграцию вещества рудных тел и первичных ореолов. В конечном счете это приводит к формированию в зоне гипергенеза геохимических аномалий - вторичных ореолов и потоков рассеяния химических элементов, на изучении которых основаны геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых [66; 93-95; 99].

В ходе распространения загрязняющих веществ, поступающих от техногенных источников, в окружающей среде также образуются ореолы и потоки рассеяния, сходные с таковыми рудных месторождений. Последние, по сути, являются своеобразными моделями зон техногенного загрязнения, тогда как собственно месторождение (рудное тело) выступает в роли «источника загрязнения». Это, в свое время [76; 80; 82; 84], позволило использовать для выявления зон загрязнения окружающей среды методы и приемы поисковой геохимии и геохимии ландшафтов, апробированные при поисках месторождений полезных ископаемых и геолого-съемочных работах.

Основные понятия и методы экологической геохимии

Изменение химического состава биосферы происходит в результате поступления и миграции в ней химических веществ, генерируемых природными и техногенными источниками.

Согласно Р.Мартину [64], существует пять типов веществ, в том числе ионов металлов, отличающихся своей значимостью для живых систем: 1) вещества, необходимые для живого организма (при недостатке возникают функциональные нарушения, устраняемые путем введения в организм этого вещества); 2) вещества-стимуляторы 3) инертные вещества; 4) вещества-тер-апевтические агенты; 5) токсичные вещества (при определенных концентра-циях причиняют вред организму, ведут к функциональным нарушениям, де-формациям, смерти). В зависимости от концентрации и времени контакта конкретный химический элемент может действовать по одному из пяти указанных типов (в одном и том же организме). Металлы и металлоиды, играющие биологическую роль, Вуд и

Голдберг [138] разделили на три основные группы: 1) легкие металлы, обычно транспортируемые как подвижные катионы в водных растворах (Na и K); 2) переходные металлы, которые могут быть токсичными в высоких концентрациях (Fe, Co, Cu, Mo); 3) тяжелые металлы и металлоиды, которые могут быть необходимы для биологической активности клеток в микроуровнях, но токсичны для последних при высоких содержаниях (Hg, Pt, Au, Pd, Sn, Be, As, Se, Te).

Следует отметить, что для многих химических элементов известен очень чувствительный баланс (порог, равновесие) между использованием металлов для каталитических процессов в клетках высших организмов и биоаккумуляцией металлов до токсичных уровней. Для тяжелых металлов (т. е. металлов, с плотностью более 5 г/м^3), накапливающихся в среде обитания и отличающихся высокой токсичностью (табл. 3), прямая детоксикация («самоочищение») в принципе практически невозможна, поскольку в большинстве случаев их токсичность обусловлена главным образом свойствами самого элемента (атома), а не вещества (соединения), в состав которых он входит.

Таблица 3. Классификация химических элементов по их токсичности [136]

Некрити-ческие	Токсичные, но очень плохо растворимые или очень редкие	Очень токсичные и относительно распространенные
Na C F	Ti Ga	Be As Au
K P Li	Hf La	Co Se Hg
Mg Fe Rb	Zr Os	Ni Te Ti
Ca S Sr	W Rh	Cu Pd Pb
H Cl Al	Nb Ir	Zn Ag Sb
O Br Si	Ta Ru	Sn Cd Bi
N	Re Ba	Pt

Г.Спозито показал [64], что с экологических позиций Cu, Zn, Ag, Cd, Sb, Sn, Hg и Pb представляют собой наибольшую потенциальную опасность в региональном масштабе, причем наиболее значительное обогащение окружающей среды наблюдается Pb, Hg, Cd и Ag. Свинец, ртуть, ряд органических соединений (ПАУ, ПХБ и т. п.) уже затрагивают глобальную сферу. Объединенная группа экспертов ООН по научным аспектам загрязнения моря считает потенциально опасными для человека следующие элементы: Be, V, Cd, Co, Mn, Cu, As, Ni, Hg, Pb, Se, Ag, Sb, Cr, Zn. В локальном аспекте загрязнение среды обитания может быть связано с более разнообразным комплексом химических элементов и соединений. Известно, что в мире ежегодно производятся сотни миллионов тонн различных химических веществ, число которых насчитывает порядка 80 тыс. видов. Многие из них являются для биосферы ксенобиотиками (т. е. чужеродными). Каждый год на рынок поступает еще более тысячи новых химикатов. Химические факторы окружающей среды уже играют ведущую роль в этиологии некоторых опасных заболеваний [102].

Обычно изменение химических свойств окружающей среды, проявляющееся в увеличении содержаний химических элементов (соединений), но не

связанное с естественными процессами, называют ее техногенным (антропогенным) загрязнением (химическим загрязнением). При использовании этого термина в него вкладывается определенный санитарно-гигиенический (медико-биологический) смысл, поскольку, как правило, говорят об увеличении концентраций «токсичных элементов». Ю.Е.Сает [88] под загрязнением – с позиций геохимии окружающей среды - понимает количественное изменение в последней тех или иных физико-химических свойств или появление новых подобных свойств, уровень или интенсивность проявления которых может оказать неблагоприятное влияния на условия жизни и здоровье человека. Н.Ф.Реймерс [77] определяет загрязнение как привнесение в среду или возникновение в ней новых, обычно не характерных для нее физических, химических, информационных или биологических агентов или превышение в рассматриваемое время естественного среднемноголетнего уровня (в пределах его крайних колебаний) концентрации перечисленных агентов в среде, нередко приводящие к негативным последствиям. В любом случае загрязнение - явление количественное. Это дает основание согласиться с мнением В.Б.Ильина [51], что следует говорить не о токсичных элементах вообще, а о их токсичных концентрациях.

Таким образом, загрязнение может возникнуть не только техногенным способом, но и в связи с естественными причинами. Поэтому рудные месторождения и связанные с ними первичные и вторичные ореолы и потоки рассеяния рассматриваются как своеобразные природные зоны загрязнения [45; 80]. По мнению В.Н.Солнцева [96], современное загрязнение, приписываемое исключительно хозяйственной деятельности, на самом деле является тенденцией, заложенной в особенностях функционирования любых ландшафтных систем, и поэтому представляет нередко собой совокупность процессов самозагрязнения, усиленных хозяйственной активностью. Тем не менее использование словосочетания «загрязнение биосферы, (окружающей среды, среды обитания)» вполне оправданно и удобно, поскольку оно, в определенной мере, адекватно отражает сущность наблюдаемого явления. В то же время, вряд ли правомочно видеть главную задачу экогеохимии только в изучении последствий этого феномена. Техногенез приводит не только к росту уровней содержания химических элементов и их соединений в среде обитания человека. Геохимическое воздействие человека на биосферу отличается спецификой и своеобразной уникальностью, что, в частности, проявляется в многообразии геохимических процессов и явлений, наблюдаемых в техногенно измененных природных компонентах, геологических телах, ландшафтах, экосистемах.

Интенсивность геохимического воздействия техногенных источников загрязнения определяется массой химических элементов (веществ), поступающей на ту или иную территорию (техногенная нагрузка на окружающую среду). Величина нагрузки, образуемой 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 загрязняющими веществами (поллютантами) необходимо учи-

тывать способ их поставки и возможность попадания в системы жизнеобеспечения: воздух, питьевую воду, пищу. Следует также различать прямые и отдаленные экологические (гигиенические, медико-биологические) последствия [81; 88]. С этих позиций выбросы в атмосферу являются сейчас наиболее опасным способом поставки поллютантов (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, применения в строительстве и т. п.). Сочетание химических элементов и/или соединений в различных отхода характеризует специфику конкретного источника загрязнения. Практически во всех случаях техногенное воздействие является комплексным по составу загрязняющих веществ источником воздействия на биосферу [70; 84; 88; 91; 116; 119; 124; 133)-(табл. 4-8).

Таблица 4. Ассоциации химических элементов в фосфорных удобрениях [88]

Удобрение	Кларк концентрации				
	>100	100-30	30–10	10-3	3–1,5
Апатитовый концентрат					
Аммофос	P_{235}	-	-	F-As-La-Ce-Y-Sn	Sr-Cd
Нитроаммофос	P_{110}	-	-	As-F-La-Sn-Ce	Y-Cd
Фосфоритовый концентрат микрозернистых фосфоритов					
Аммофос	P_{192}	-	As_{20}-F_{15}	Cd-Sn	Y
Диаммоний фосфат	P_{247}	-	As_{13}	Sn-Cd	F
Монокальций фосфат	P_{256}	-	As_{14}	Cd-Sn-Pb	F-Y
Фосфоритовый концентрат ракушечных фосфоритов					
Двойной суперфосфат	P_{185}	-	As_{15}-F_{12}-La_{12}	Y-Ce-Sr-Cd-Ba	-
Фосфоритовый концентрат желваковых фосфоритов					
Фофоритовая мука	-	P_{80}	As_{28}-F_{16}	Cd-Pb-Sr-Sn	Zn-La-Ce-Y

Таблица 5. Геохимические ассоциации элементов в пылевых выбросах Тырныаузского молибденово-вольфрамового комбината [98]

Источник выбросов	Кларк концентрации				
	>10000	10000-1000	1000-100	100-10	10-1
Карьер	Bi	-	As-Sb-Mo-Sn	W-Pb-Zn-Cu	B-Ag-Mn-V-Co-Ba-Ga
Шахта	Bi	Hg	W-Mo-Sb-As	Sn-Ag-Pb	Zn-Cu-Mn-B
ГОФ: дробление	Bi	Sb	W-Pb-Mo	Sn-Ag	Zn-Cu-Mn-B
грохочение	-	Bi	W-Mo-Sb	Sn-Pb	Ge-Zn-Mn-Cu-Ag-V
метатели с грохотов на мельницы	Bi	-	Pb-Sb-W-Mo	Sn-Sc	Ag-Mn-Cu-V
Сушка и загрузка: Mo-концентрата	Bi	As	Sb-W-Mo	Ag-Sn-Pb	Cu
W-промпродукта	-	Sb-Bi	W-Pb-Mo	Ag-Zn	Ge-Sn
Cu-Bi концентрата	Bi	As-Cd-Ag	Sn-W-Pb-Zn-Mo-Cu	In	Co-Ni-Nb-Cr-V-Mn-P

Таблица 6. Геохимические ассоциации в различных разновидностях промышленной пыли, г.Саранск

Завод	Пыль	Коэффициенты концентрации относительно содержания в природных почвах					
		>300	300-100	100-30	30-10	10-3	3-1,5
Электро-	1	Sb-Cd	Hg-W	Pb-Sn-Ba-As	Zn-Mo-Cu-Sr-Ge	Mn-Cr-Ag	Co-B-V-Ni
лампо-	2	-	-	Pb	Hg	Zn-Cd-Cu	-
вый	3	Cd	Pb-Cu	Hg	Zn	Mn	-
Источников	1	Cu	B-Ag	Pb-Zn-	Sb-W-Bi-Cr	Ni-Cd-Mo-Co-Hg-Mn-	Ge-V-Sn-Ti-
света и электрова-	2	Cu	Ag-Pb	Cr-Zn	Sb-Ba-Mo-Ni	Hg-Cd-Co-W-Sn-Mn	B-V-Ge-Ti-Sr
куумного стекла	3	Pb	-	W	Sb-Bi	Zn-Hg-B-Cu-Ga-Co-Ag-V	Mo-Sn-Ni-Ti-Cr
Электро-	1	-	-	Cd-Mo-Cu	Cr-Pb-Co-Ni	Ag-Zn	Mn
выпрямитель	3	-	-	Pb-Mo-Zn-Cd	-	Cu-Cr-Fe	Co
Силовой	1	Cd		Pb-Mo	-	Cr-Cu-Zn-Ag	Co
электроники	3	Ag	Mo	Cd-Zn-Pb	Cu	Cr-Fe	Co
Силовых	1	-	-	Cu	Cd-Ag	Zn-Ni-Co-Mo-Cr-Mn	Pb
полупровод-	3	-	-	Cd-Pb	-	Zn	Cu-Fe-Cr
ников							
Кабельный	2	Cu-Sn	Pb-Sb-Cd	Zn	Ag-Bi-W	Mo-Hg-Cr-Ni	Ba
	3	-	Cu-W-Pb-Sn	Sb	Bi-Zn-Ag	Mo-Hg	Co-Cr-Ba

Примечание: 1 – пыль технологическая; 2 – пыль вентиляционная; 3 – пылесметы из рабочих помещений.

Таблица 7. Геохимические ассоциации в шламах промышленных предприятий и осадках сточных вод г. Саранска

	Коэффициенты концентрации относительно содержаний в природны почвах						
	> 1000	1000-300	300-100	100-30	30-10	10-3	3-1,5
Автокомбинат	-	-	-	-	Cd-Pb-Sn	Cu-Zn-Ag-Sb	Mo-F
Инструменталь-ный	-	Sn-Cr	Mo	Cu	F-Ni	Pb-Ag-W	Cd-B
Механический	-	Sn-CrPb	Cd-Ag-Cu	Mo-Bi-Zn-P-Sb	W-F-Ni	-	-
Мясокомбинат	-	-	-	Cu	Sn-P	Zn-Cd	Mo-F-Ag-Ni-Pb
Полупроводни-ковых изделий	Sn-Bi-Au-Ag	-	F	Ni-Cu-Mo-Cr-Zn-Pb-Cd	W-P	B	Co-Sr
Резинотехни-ческий	Bi-Cu	-	Zn	Sr-P	Sn-Cd-Cr-Pb-Ge-Ni-Mo-Ag	F-Fe-Sb	B
Стройтранс	-	-	-	Sn	-	Pb-Mo-W-Hg-Ag-Cu	Zn-B-Cr-V
СИС-ЭВС	-	Zn-F-Cu	Ni-Mo	Pb	Cr-W-P	Ag-Cd--Sb	Sr-B-Sn
СЭЛЗ	Hg-Mo	Bi-Sb-Cd-Ni	Cu-W-Ag	Sn-Pb	Tl-Cr-F-B-P-Sr	Zn	Mn-Ba
Точных приборов	Au	-	W-Sn-F	-	Ni	Mo-Cu-Sb	Ag-Cd-Pb
Хладокомбинат	-	-	-	-	Pb	Cu-W-Hg-Sn-Zn-Ag-P-F-Sb	Mo
Центральная котельная	-	-	-	Sn	Sr-Ag	Cd-Pb-Cu-B-Hg	F-Mo-Ni
Электро-выпрямитель	Mo-Cd	Bi-Sn-Ag	Cu-Zn	W-Ni-F	Cr	B-Pb	P-Sr
ОСВ	Bi	Cd	Sn-Ag	Zn-Mo-Hg-W-Cu-Sb	P-Cr-Pb-Ni	As-F-Yb	B-Sr-Be-U

Таблица 8. Химические элементы в отходах горнорудных и горнометаллургических предприятий [по Криночкину и др., 1998; Саету и др., 1987; Янину и Тимошкину, 1989]

Месторождение, отходы		Кларк концентрации				
		>>100	100-30	30-10	10-3	3-1,5
Колчеданно-полиметаллическое, отходы обогащения		Bi-Te-Cd-Ag-As	Se-Pb-Zn	Se-Mn	S	-
Полиметаллическое	Отходы обогащения	Ag-As	Pb-Cd-Sb	Cu-Bi-Zn-	Sn	Ba-Co-Nb
	Шлам завода	Ag-Cd-Zn-Pb	Cu-Mo	Co-Sn-Ni	Mn-Bi	W
Колчеданно-полиметаллическое, отходы обогащения		Bi-Pb-Zn-As-Ag-Cd-Sb-Cu	-	Ba-Tl-Mo	Mn-Co	W-Ge

Сравнительная оценка реальных (наблюдаемых) уровней содержания химических элементов (соединений) в различных компонента окружающей среды осуществляется обычно путем сравнения их с нормативными параметрами состояния окружающей среды (по каждому рассматриваемому ингредиенту или их сумме). В настоящее время такими параметрами являются гигиенические и экологические нормативы и стандарты (ПДК и т.п.), которые, однако, разработаны не для всех природных сред, не для всех поллютантов, не всегда адекватны истинной опасности последних, имеют тенденцию периодически изменяться. При разработке предельно допустимых концентраций используются, как правило, чрезвычайно упрощенные системы, опыт ставится с немногими компонентами, внешние условия его остаются неизменными, т. е. наблюдается ситуация, которая, по меткому замечанию Э.Неефа [63], передается на языке логики формулой *ceteris paribus* (при прочих равных условиях). Коротко говоря, при разработке подобных показателей практически никогда не учитывается принцип эмерджентности.

Именно поэтому в экогеохимии в качестве своеобразных нормативных величин (наряду с гигиеническими и экологическими) используются фоновые уровни химических элементов (соединений). Геохимический фон – важное понятие в геохимии. Однако его толкование до сих пор не однозначно. В поисковой геохимии достаточно долго геохимическим фоном именовалось среднее или модальное содержание химического элемента в пределах геохимически однородной системы (например, для конкретного типа пород в определенном районе). А.П.Соловов [97] геохимическим фоном называет среднее содержание химического элемента в однородном участке в удалении от явных аномалий. А.А.Сауков [93] использовал термин «натуральный фон», понимая под ним среднее содержание элемента в породах, водах, атмосфере и считая его синонимом термина «нормальное поле». В экогеохимии под геохимическим фоном или фоновым содержанием химического элемента (часто пишут – «природный фон», «природное, естественное содержание») понимается средняя концентрация его в природных телах (компонентах) по данным изучения естественного распределения (с учетом вариации) в пределах однородного в ландшафтно-геохимическом отношении участка, не затронутого техногенезом [88]. Понятия

«фон» и «аномалия» в определенной мере условны, поскольку количественные параметры их определяются районом, задачами и масштабом исследований, а при детализации последних могут уточняться.

Дж.Фортескью [112] считает, что значения глобальной распространенности химических элементов в различных геосферах (кларки) могут использоваться для оценки состава ландшафтов, для которых известны свойства геологического субстрата, и подсчетов относительной распространенности ингредиентов. Опыт свидетельствует, что при использовании кларков наибольшую трудность представляет выделение и оконтуривание геохимических аномалий слабой интенсивности. Контрастные и средние по интенсивности аномалии, т.е. наиболее «информативные» и опасные с эколого-гигиенических позиций, фиксируются достаточно надежно. Кларки, видимо, определяют нормальный уровень содержания химических элементов, условно безопасный для существования живых организмов [88]. В свое время В.И.Вернадский писал, что биогеохимическая организованность биосферы, ее химический состав должны рассматриваться «как равновесия, подвижные, все время колеблющиеся в историческом и в геологическом времени около точно выражаемого среднего» [33, с. 23]. С эколого-геохимической точки зрения такими средними являются кларки элементов.

Воздействие источников загрязнения приводит к формированию в окружающей среде техногенных геохимических аномалий, т.е. участков территории (акватории), в пределах которых хотя бы в одном из слагающих их природных тел (компонентов) статистические параметры распределения химических элементов и их соединений достоверно отличаются от вариаций геохимического фона (фонового содержания). Различные характеристики геохимических аномалий, являющихся, по сути, зонами техногенного загрязнения - масштаб, морфометрия, состав, степень концентрирования, вид существования, формы миграции и нахождения поллютантов, особенности их трансформации и перераспределения, интенсивность биопоглощения, степень экотоксичности и т. п. - в конечном счете определяют качество окружающей среды.

Основываясь на традициях и понятийной базе поисковой геохимии, принято различать техногенные геохимические ореолы и техногенные геохимические потоки рассеяния химических элементов. Термин поток рассеяния применяется при описании геохимических аномалий в водных объектах, прежде всего в водотоках (водный раствор, взвесь, эпифитовзвесь, донные отложения, иловые воды), и в атмосферном воздухе (парогазовая и аэрозольная фракции), а ореол рассеяния - в почвах, грунтах, горных породах, снеговом покрове, подземных водах. В случае с живыми организмами следует говорить о биогеохимических аномалиях. Для аномалий в снеговом покрове иногда используют словосочетание «сноухимические ореолы». В зоне воздействия конкретного источника загрязнения можно различать зону влияния, зону заражения и зону полной деградации. Зона влияния - это участок территории (акватории), где концентрации поллютантов не превышают (либо превышают кратковременно) гигиеническую(экологическую) и в определенной мере сохраняется естественный харак-

тер биохимических процессов. Зона заражения – это такой участок, где нарушаются естественные биогеохимические и биохимические процессы, а концентрации поллютантов превышают гигиенические и/или экологические нормы. Зона деградации характеризуется превращением природного ландшафта в антропогенную пустошь.

Основным показателем интенсивности техногенного воздействия и важнейшим параметром техногенной геохимической аномалии является коэффициент концентрации химического элемента ($К_с$), который определяется отношением реального (аномального) содержания поллютанта в конкретном природном объекте к его фоновому уровню [88]. Этот показатель по существу аналогичен коэффициенту аномальности элемента ($К_{ан}$), который используется в поисковой геохимии и представляет собой отношение концентрации этого элемента в пределах ореола (С) к концентрации его за пределами ореола, обозначаемой как натуральный фон (N), т. е. $К_{ан}$=C/N [93].

Коэффициент концентрации может рассчитываться как для частных концентраций элементов, так и для средних содержаний их (в конкретном объекте или компоненте среды, в пределах определенной территории и т.п.). В тех случаях, когда нормирование осуществляется на гигиенический (экологический) норматив, можно говорить о коэффициенте гигиенической (экологической) опасности ($К_{ог}$, или $К_{оэ}$). Для характеристики полиэлементных геохимических аномалий используют различные показатели, в том числе широко известный суммарный показатель загрязнения Z_c (показатель Саета) -[76; 80; 88]:

$$Z_c = \sum_{j=1}^{n} K_c - (n-1),$$

где n - число учитываемых аномальных ($К_с \geq 1,5$) химических элементов.

При сравнении различных компонентов и объектов можно применять коэффициент накопления элементов Р. Моксхэма [113]:

$$R = \sum_{j=1}^{n} (k_1/K_1),$$

где k_1 – реальная концентрация элемента в исследуемом объекте; K_1 – содержание этого же элемента в литосфере.

Как отмечалось выше, резкая пространственно-временная дифференцированность геохимического поля, проявляющаяся в его мозаичности является важнейшим следствием техногенного загрязнения и, естественно, важнейшим признаком техногенных геохимических аномалий. Так, если для химических элементов в фоновых условиях характерно преимущественно равномерное распределение (коэффициент вариации 30-50%), реже контрастное (50-60%), иногда крайне неоднородное (60-100%)-[75], то в условиях загрязнения большая часть поллютантов отличается чрезвычайно неоднородным пространственно-временным распределением (коэффициенты вариации могут достигать 100-300% и даже более).

Техногенные геохимические аномалии (ореолы и потоки рассеяния) могут быть как моноэлементными, так и полиэлементными (т.е. включать широкий спектр поллютантов). Поскольку воздействие многих техногенных источ-ников загрязнения проявляется в формировании полиэлементных геохимичес-ких аномалий, то при экогеохимических 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)-[76; 88]. Обычно в геохимическую ассоциацию включают химические элементы с коэффициентами концентрации не менее 1,5, что позволяет выделить комплекс аномальных ингредиентов и ранжировать их по интенсивности концентрирования. Среди входящих в ассоциацию поллютантов всегда можно выделить 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 позволяют судить о состоянии изучаемой системы в целом. Например, приоритетным поллютантом для автотранспортного загрязнения может быть свинец, типоморфными - свинец и бром. В качестве типоморфных элементов эффективно использование тяжелых металлов. Они типичны для многих источников загрязнения и фиксируют уровень и масштабы их воздействия.

В настоящее время в практике эколого-геохимических исследований применяется комплекс количественных и качественных показателей, разработанных специально или заимствованных из общей и поисковой геохимии, геохимии ландшафтов, биогеохимии, геогигиены, экологии [1; 8; 12; 46; 66; 88; 112]. В частности, при описании, анализе и оценках техногенных геохимических аномалий могут быть использоваться следующие показатели:

1) качественный состав; характеризуется техногенной геохимической ассоциацией, т. е. группой (комплексом) химических элементов, накапливающихся в илах под воздействием определенного миграционного потока, связанного с единым источником или группой источников;

2) комплексность; характеризуется показателем комплексности N_a (количеством входящих в геохимическую ассоциацию химических элементов);

3) интенсивность (геохимическая контрастность); определяется степенью накопления элементов по сравнению с природным фоном и характеризуется показателем K_c (коэффициент концентрации относительно регионального или локального геохимического фона) или показателем $K_к$ (коэффициент концентрации относительно кларка и других глобальных параметров распределения);

4) средняя аномальность; характеризуется значениями коэффициента R (коэффициент накопления Моксхэма);

5) общий уровень загрязнения; определяется значениями суммарного показателя загрязнения Z_c (показатель Саета);

6) потенциальная экотоксикологическая опасность; определяется значениями показателя $Z_{пэо}$, зависящих от интенсивности накопления химических элементов 1-го и 2-го классов опасности.

Можно использовать и так называемый коэффициент аномальности, по И.И.Гинзбургу (1957), т. е. процент проб с аномальным соедержанием (от общей выборки). Обычно в ближних зонах воздействия техногенных источников, особенно в депонирующих средах, его значения приближаются к 100%.

На основе эмпирического материала, полученного при сопряженном изучении техногенных геохимических аномалий в различных компонентах среды обитания, разработаны шкалы оценки опасности загрязнения воздушной и водной сред, основанные на уровнях концентрирования химических элементов в депонирующих средах - почвах и донных отложениях (табл. 9-11).

Таблица 9. Ориентировочная шкала опасности загрязнения почв населенных пунктов по суммарному показателю загрязнения [62]

Категория загрязнения	Величина Zc	Изменения показателей здоровья населения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16-32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32-128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детей, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикоза беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости и др.

Таблица 10. Ориентировочная шкала оценки аэрогенных очагов загрязнения [88]

Уровень загрязнения	Степень опасности	Состояние атмосферного воздуха	Показатели загрязнения снегового покрова
Средний	Умеренно опасный	Превышение ПДК отдельными поллютантами (пыль, оксиды углерода, азота, сернистый ангидрид); содержание тяжелых металлов выше фона	Средний уровень загрязнения почв (Zc=16-32) и снегового покрова (64-128). Повышенная запыленность снегового покрова (среднесуточная нагрузка 250-450 кг/км^2). Содержание Pb в почве > 100 мг/кг.
Высокий	Опасный	Превышение ПДК комплексом поллютантов (пыль, оксиды углерода, азота, сернистый ангидрид); содержание отдельных металлов (осо-бенно Pb) выше ПДК	Высокий уровень загрязнения почв (Zc=32-128) и снегового покрова (128-256). В составе аномалий присутствуют поллютанты 1 класса опасности (особенно Pb, Cd, Hg) в высоких концентрациях (Кс>10). Содержание Pb в почве >250 мг/кг. Уровень выпадения пыли 450-800 кг/км^2/сут.
Очень высокий	Чрезвычайно опасный	Превышение ПДК (иногда многократное) комплексом поллютантов, в том числе рядом тяжелых металлов	Очень высокий уровень загрязнения почв (Zc>128) и снегового покрова (>256). В составе аномалий в почве присутствуют Pb (>400 мг/кг) и Hg (2,1 мг/кг), что является индикатором превышения ПДК этих поллютантов в воздухе. Очень высокая запыленность снегового покрова (>800 кг/км^2/сут.)

Таблица 11. Ориентировочная шкала оценки уровня загрязнения рек по суммарному концентрированию химических элементов в донных отложениях [88]

Уровень загрязнения	Zc в донных отложениях	Содержания токсичных элементов в воде	Потенциальная токсичность отложений
Низкий	Менее 10	Слабо повышенные относительно фона	Отсутствует
Средний	10-30	Повышенные относительно фона; эпизодическое превышение ПДК	Слабая
Высокий	30-100	Во много раз выше фона; стабильное превышение отдельными элементами ПДК	Повышенная
Очень высокий	Более 100	Практически постоянное присутствие многих элементов в концентрациях > ПДК	Высокая

С методических позиций система способов и приемов экологической геохимии может рассматриваться в трех аспектах. Первый связан со способами получения эколого-геохимической и сопутствующей информации (точность, репрезентативность, достоверность). Второй отражает особенности исследовательской стратегии (полевые и лабораторные эксперименты, полученные результаты, приемы обработки и представления данных). Третий аспект имеет отношение к синтезу данных, внедрению полученных знаний в практику и переводу их в общедоступную форму. Можно считать, что к настоящему времени основные методические принципы и общая технология эколого-геохимических исследований (в первую очередь, прикладных) разработаны достаточно детально, особенно для главных типов природно-техногенных территорий: городов и городских агломераций, сельскохозяйственных и горно-промышленных районов. В значительной мере они основаны на существующих корреляционных связях между источниками поставки (техногенными источниками загрязнения), миграцией химических элементов в транспортирующих средах (водные и воздушные потоки) и их концентрированием в природных средах, временно депонирующих поллютанты (почвы, снеговой покров, донные отложения)-[80; 88].

В общем случае логика исследований такова: 1) выявление источников и способов поступления поллютантов, изучение ассоциаций, содержания и форм нахождения химических элементов в твердых отходах, выбросах, сточных водах, средствах химизации; 2) прослеживание путей и изучение механизмов миграции поллютантов в среде обитания, установление природных компонентов, взаимодействующих с миграционным потоком, оценка интенсивности и результатов этого взаимодействия (техногенных геохимических аномалий и образований); 3) оценка масштабов и площади распространения геохимических аномалий, выявление их морфоструктурных особенностей, центров наиболее интенсивного распространения и воздействия, характеризующихся максимальным влиянием на живые организмы, прежде всего на человека; 4) экогеохимическая и экогигиеническая оценка выявленных геохимических аномалий, прослеживание накопления поллютантов в трофических цепях, изучение последствий этого накопления.

Эколого-геохимические исследования направлены на изучение двух аспектов распределения и поведения химических элементов и среде обитания чело-

века: пространственного и временно́го. Этим определяет комплекс используемых методов и методических приемов. В пространственном отношении эколого-геохимические исследования осуществляются на импактном (площадь изучаемой территории не более 10 км^2), локальном (площадь изучаемой территории обычно не превышает 100-500 км^2), региональном и глобальном уровнях. Во временном аспекте эколого-геохимические исследования могут относиться к конкретному (одному) моменту времени, к нескольким временным моментам, связаны с постоянными (непрерывными, регулярными, режимными) наблюдениями или с ретроспективными исследованиями.

Важнейшими приемами пространственных исследований относящихся, по сути, к одному временно́му моменту, являются: 1) наблюдения в отдельной точке; 2) геохимическое профилирование (наблюдения на одном или нескольких профилях, включая исследования на ландшафтно-геохимических профилях); 3) геохимическое картирование, основанное преимущественно на регулярном площадном опробовании депонирующих поллютанты сред (аналитическом измерении) по заданной сети точек; 4) «объемные» геохимические исследования, направленные на изучение и геологических тел (почвенные разрезы, донное зондирование и т. п.), которые могут сочетаться с указанными выше методическими приемами. Основными приемами временны*х* исследований являются: 1) выполнение выше указанных исследований в разные временные моменты (без строгой периодичности); 2) динамические наблюдения (относительно короткопериодные) на отдельных точках, створах, профилях, по сети точек и т. п.; 3) геохимический мониторинг, основанный на непрерывных, повторных и режимных наблюдениях (со строго определенной периодичностью); 4) ретроспективный геохимический мониторинг и ретроспективные экогеохимические исследования, связанные с изучением распределения и поведения элементов в предшествующее время. Особую группу составляют методы, в основу которых положены разработки биогеохимии, геогигиены, эпидемиологии, аналитической химии, связанные с исследованиями конкретных компонентов среды, механизмов миграции, форм нахождения и миграции химических элементов и соединений, оценкой биогеохимических и гигиенических последствий загрязнения и т. п. При необходимости комплекс экогеохимических методов дополняется гидрометеорологическими, гидрологическими, геологическими, литологическими, минералогическими и другими видами исследований. Особое место принадлежит химико-аналитическим исследованиям геохимических проб. Как писал В.И.Вернадский [37, с. 282], «...геохимия и биогеохимия - по существу основаны на *аналитической химии* - области знания огромного практического и научного значения». В значительной своей части экогеохимические исследования базируются на использовании количественных химико-аналитических методов.

В геохимии ландшафтов (геохимии окружающей среды) Дж.Фортескью [112] определил четыре уровня научных исследований: 1) описательный эмпирический, 2) описательный статистический, 3) описательный с использованием

системного анализа, 4) прогнозный на основе использования имитационных моделей. По мнению автора цитируемой работы, эти четыре уровня, при всем своем упрощении, отражают общую эволюцию геохимии ландшафтов (геохимии окружающей среды) от науки чисто эмпирической, описательной, до науки, способной заглянуть в будущее. Сказанное, видимо, можно отнести и к экогеохимии, в которой в последние годы активно используются методы системного анализа и прогноза, в том числе с использованием компьютерных технологий.

Важнейшие особенности деятельности человека как геохимического фактора

Деятельность человека как геохимического фактора и ее проявления в биосфере, по словам В.И.Вернадского, есть отдельный факт великого общего, исторического нового природного явления: «… мы имеем природный процесс…, имеющим тот же самый характер, как и все остальные геохимические процессы, с которыми нам приходится сталкиваться» [36, с. 91]. «С геохимической точки зрения труд человечества является одной из величайших геохимических сил... Это явление выступает на первое место в вопросах, изучаемых в геохимии. Здесь мы всегда должны принимать деятельность культурного человечества как такое же проявление естественных сил, как и все другие формы живой материи» [30, с. 71]. «Человечество закономерным движением..., со все усиливающимся в своем проявлении темпом, охватывает всю планету, выделяется... как новая небывалая геологическая сила. Со скоростью, сравнимой с размножением, выражаемой геометрической прогрессией в ходе времени, создается этим путем в биосфере все растущее множество новых для нее косных природных тел и новых больших природных явлений. На наших глазах биосфера резко меняется. И едва ли может быть сомнение..., что проявляющаяся этим путем ее перестройка научной мыслью через организованный человеческий труд не есть случайное явление, зависящее от воли человека, но есть стихийный природный процесс, корни которого лежат глубоко и подготовлялись эволюционным процессом, длительность которого исчисляется сотнями миллионов лет...» [33, с. 27-28]. «Где остановится этот новый геологический процесс? И остановится ли он?» [35, очерки, с. 348].

Специфика и своеобразная уникальность воздействия человека на биосферу и химические процессы Земли проявлены в том, что оно в большей степени связано не с его материальным субстратом, а с его формой деятельности: «человек оказывается геохимической силой не благодаря прохождению химических элементов при его жизни в этой материи, которая захвачена его организмом», а благодаря тем изменениям, которые производятся в «окружающих земных химических процессах его жизнедеятельностью…» [36, с. 90-91]. «Мы сталкиваемся с новым фактором – человеческим сознанием» [30, с. 46].

В.И.Вернадский отмечает возможность непредвиденных последствий воздействия человека на биосферу и называет наименее устойчивые среды - атмосферу и гидросферу. «Лик планеты - биосферы - химически резко меняется человеком сознательно и главным образом бессознательно. Меняется человеком физически и химически воздушная оболочка суши, все ее природные воды» [31, с. 219]. Один из крупнейших экологов нашего времени Р.Маргалеф подчеркивает, что человек, являясь очень важным компонентом природных экосистем, в «возрастающем темпе изменяет все экосистемы на Земле, и изменения эти кратко можно сформулировать следующим образом: повышение скорости круговорота, уменьшение разнообразия в остальной части биосферы и ускорение окисления некросферы. Это вызывает деградацию очень сложных структур, их движение назад к более активным и однообразным процессам» [59, с. 177].

А.Е.Ферсман [104] также называл человека грандиозным геохимическим агентом и писал, что хозяйственная и промышленная деятельность человека по своему масштабу и значению сделалась сравнимою с процессами самой природы, человек производит колоссальное распыление вещества в своей технической деятельности и геохимически переделывает мир во все растущих темпах. Совокупность геохимических и минералогических процессов, вызы-ваемых техническою (инженерною, горно-техническую, химическою, сельско-хозяйственною) деятельностью человека, была названа им техногенезом [107]. Он показал, что геохимическая работа человека может быть сведена к следующим основным пунктам [104; 107; 109]: 1) извлечение химических элементов из недр; 2) перераспределение (распыление) их на земной поверхности; 3) сельскохозяйственная и инженерная перегруппировка химических элементов на поверхности земли; 4) колоссальное накопление масс, изъятых из естественной обстановки и поставленных в новые геохимические условиях, включая образование новых видов химических соединений и отложений. Ферсман предпринял попытку сгруппировать химические элементы по особенностям участия их в промышленном производстве в три основные группы [104]: а) C, Cl, K, P, N – поступают в промышленный обиход без большого изменения, без сильной концентрации, участвуют в дальнейших химических процессах в том виде, в каком извлекаются из недр; б) Fe, Cu, Pb, Zn, Sn, Al, Ag, Au, Mn – путем сложнейших металлургических процессов обогащаются и переводятся в самородное металлическое состояние; в) S, Ca, Mg - занимают промежуточное положение, лишь частично обогащаемые и концентрируемые человеком. Основными типами геохимических реакций, которые производит человек, являются [108]: 1) сжигание C, H, S в CO_2, H_2O, SO_3,; 2) выплавка из окисленных и сернистых соединений металлов (Fe, Cu, Al, Zn, Pb и др.); 3) перемещение и создание устойчивых строительных или дорожных материалов; 4) промышленное использование редких и дисперсных элементов; 5) химическая переработка природных солей (растворимых, с большими кларками).

В конечном счете человек в той или иной степени нарушает существующие геологически длительное время равновесия и изменяет скорости потоков

вещества как в границах одной геосферы, так и между главными геосферами (атмосферой, гидросферой, литосферой, биосферой), при этом наиболее явственные нарушения в балансе и круговороте проявлены для биофильных элементов – углерода, кислорода, азота, фосфора и др. [9; 11; 54]. «Человек всюду увеличивает количество атомов, выходящих из старинных циклов – геохимических «вечных циклов». Он усугубляет нарушение этих процессов, вводит туда новые, расстраивает старые… Равновесие в миграции элементов, которое установилось в течение геологического времени, нарушается разумом и деятельностью человечества. Мы находимся в настоящее время в периоде изменения этим путем условий термодинамического равновесия внутри биосферы» [35]. Человеческая деятельность укоряет движение многих веществ таким образом, что круговороты становятся несовершенными или процесс теряет цикличность. Это приводит к тому, что в одних местах возникает недостаток, а в других - избыток тех или иных элементов или соединений.

В настоящее время ясно, что глобальная техногенная поставка химических элементов и соединений в окружающую среду осуществляется со скоростью, соотносимой со скоростями в общем осадочном цикле (табл. 12-14). Еще более возросла техногенная поставка на региональных и особенно на локальных уровнях (табл. 15). По данным М.Мейбека (Meybek, 1982), в некоторых высокоразвитых странах и районах антропогенный поток фосфора в воду превышает естественный фон в 50-100 раз. Принципиальная перестройка круговорота биогенных элементов предопределила развитие большинства озер нашей планеты.

Техногенное поступление химических элементов и соединений обусловливают направленный рост концентраций их в различных компонентах окружающей среды, о чем свидетельствуют многочисленные данные, полученные при хронологическом изучении состава полярных льдов, донных отложений озер и океанов, слоев сфагнового торфа, музейных экспонатов биообъектов, коллекций пищевых продуктов и т. п. В освоенных районах увеличение уровней содержания поллютантов отмечается не только для депонирующих сред, но и для динамичных и одновременно основных жизнеобеспечивающих природных сред – вод и атмосферного воздуха (табл. 16; 17). Поступление значительных количеств разнообразных веществ в биосферу обусловливает их включение в биологические круговороты и последующее накопление в пищевых цепях, что наиболее ярко проявлено для тяжелых металлов и некоторых органических ксенобиотиков (ДДТ, ПХБ).

Отмеченные явления, в сущности, и определяют возникновение современной экологической проблемы, обусловленной техногенезом и связанной с изменениями химического состава биосферы и характера протекающих в ней геохимических процессов. В то же время, как отмечалось выше, геохимическое воздействие человека на биосферу отличается спецификой и своеобразной уникальностью, что проявляется в многообразии геохимических процессов и явлений, наблюдаемых в техногенно измененных природных компонентах, геологических телах, ландшафтах, экосистемах. К настоящему времени наиболее полно

экогеохимические данные систематизированы для трех основных в функциональном отношении типов территорий: городов и их обрамления (городских агломераций), сельскохозяйственных (агроландшафтов, агроэкосистем) и горно-промыш-ленных районов [13; 83; 87; 88; 117; 119; 124].

Таблица 12. Природные и техногенные характеристики биосферы (по данным различных авторов)

Показатель	Значение
Живое вещество планеты, т/год	n x 10^{14}
Биомасса, т/год	n x 10^{13}
Подземный сток в Мировой океан, $км^3$/год	~ 2,2 x 10^3
Годовой сток рек, $км^3$	~ 47 x 10^3
Потребление воды, $км^3$	~ 3-4 x 10^3
Объем фекалий (в населенных пунктах), т/год	~ 1,5 x 10^9
Индустриальные и городские сбросовые воды, $м^3$/год	до 55 x 10^{11}
Твердый сток рек, т/год	~ 24 x 10^9
Химический сток рек, т/год	~ 3 x 10^9
Общая глобальная денудация суши, млрд/т в год; в том числе антропогенная составляющая, млрд/т в год	~ 23-25 x 10^9 ~ 10 x 10^9
Годовое производство удобрений (в туках), т	~ 5 x 10^8
Выбросы индустриальной пыли, т/год	~ 0,25 x 10^9
Аэрозоли и газовые выбросы, т/год	до n x 10^9
Природная эмиссия CO_2, т/год	6 x 10^{11}
Техногенная эмиссия CO_2, т/год	2,2 x 10^{10}
Природная эмиссия метана, т/год	15 x 10^8
Техногенная эмиссия метана, т/год	11 x 10^7
Природная эмиссия серы, т/год	25 x 10^7
Техногенная эмиссия серы, т/год	9 x 10^7
Мусор, отходы, отбросы, т/год	2 x 10^{10}
Осадки городских сточных вод, т/год	~ 3 x 10^8
Выемка рудных пород, т/год	5 x 10^9
Объем перемещаемых горных пород, $км^3$/год	1 x 10^4
Масса городов мира (1964 г.), т	~ 22,4 x 10^6

Таблица 13. Поставка химических элементов в окружающую среду техногенными источниками и вынос их реками в океан, т/год [138]

Элемент	Сжигание ископаемого топлива	Производство цемента	Вынос реками (мобилизация процессами выветривания)
Zn	7000	32000	720000
Pb	3600	30000	110000
As	700	3200	62000
Se	450	710	7200
Hg	1600	100	2300

Таблица 14. Изменение глобальных природных и антропогенных потоков фосфора [56]

Год	Природные потоки		Антропогенные потоки		Доля урожая в суммарной первичной продукции	Доля антропогенного выноса в суммарном в водные системы
	Первичная продукция суши	Вынос в водные системы	Урожай	Вынос в водные системы		
	млн. т Р/год				%	
1900	275	5,5	6,0	1,2	2	18
1940	235	4,7	9,1	2,5	4	35
1980	150	3,0	17,8	10,9	11	78

Таблица 15. Поставка химических элементов в водотоки крупного города [81]

Элемент	Поставка, т/год			
	С условно чистыми промышленными стоками	С канализационным стоком	С ливневым стоком	Фоновый сток
Cr	0,76	52,2	24,57	17,6
Mn	6,63	33	129,85	92,8
Co	-	0,45	4,48	4,96
Ni	1,14	5,16	11,83	8,48
Cu	6,96	20,4	55,86	12,96
Zn	3,47	80,1	885,5	81,6
Sr	20,58	14,1	30,24	81,6
Mo	0,15	2,28	5,95	8
Cd	0,47	2,76	4,69	0,8
Sn	-	4,2	2,38	1,38
Pb	0,78	5,19	41,12	13,44

Таблица 16. Увеличение уровней фосфора в водном стоке под воздействием хозяйственной деятельности [56]

Регион	Медианные значения, мкг/л		Соотношение II/I
	Природные воды (I)	Загрязненные воды(II)	
Вост. Европа	23	137,5	6
Зап. Европа	32,5	1272	39,1
Сев. Америка	35,5	210	5,9
Юж. Америка	41,5	163,5	3,9
Юж. Азия	27	753,5	27,9

Таблица 17. Содержание химических элементов в атмосферном воздухе (аэрозоль), нг/кг воздуха (1 $м^3$ воздуха при 15°С и 760 мм рт. ст. равен 1,226 кг)-[132]

Элемент	Фоновые районы		Промышленно-урбанизированные районы	
	Шетландские острова	Антарктида	20 городов Великобритании (среднее)	Центральные районы Юж. Уэльса
Al	43	0,67	-	370
As	<0,3	0,006	6,4	15
Br	6,7	1,1	-	320
Cd	<0,8	-	2,8	-
Co	0,040	-	1,4	4,5
Cr	<0,2	<0,03	14	6,1
Cu	<12	0,51	19	57
Fe	40	-	680	940
Mn	1,8	-	31	25
Ni	<2	-	13	66
Sb	0,24	-	7,3	4,0
Se	0,31	0,005	-	2,7
V	1,3	-	17	21
Zn	6,5	0,027	260	310

Город отличается от природных экосистем гораздо более интенсивным метаболизмом на единицу площади, большим притоком концентрированной энергии извне (поступающей главным образом в виде горючих ископаемых), большими потребностями в поступлении веществ извне (пища, вода, другие материалы), более мощным и более «ядовитым» потоком отходов жизни, многие из которых – синтетические соединения, более токсичные, чем естественное сырье [68], а также ярко выраженным разорванным циклом круговорота элементов

[135]. Город, как правило, оказывает прямое или опосредованное воздействие на территории, превосходящие его по площади. Именно в городе наиболее проявлен закон развития системы за счет окружающей ее среды. И именно город характеризуется особенно ярким выражением двух явлений техногенеза: концентрированием значительных масс химических веществ и их рассеиванием.

Важнейшая особенность города - значительное разнообразие и большое количество источников загрязнения. Техногенные потоки вещества, образующиеся в городах, чрезвычайно многообразны, характеризуются высокими концентрациями многих химических элементов и их соединений. Включаясь в природные циклы миграции, они приводят к быстрому распространению поллютантов в различных компонентах городского ландшафта, что обусловливает загрязнение среды обитания, создающему для населения специфические эколого-геохимические условия, неизвестные до недавнего времени в природе, что проявляется в образовании техногенных геохимических аномалий, выраженных в виде взаимоувязанных в пространстве зон повышенных концентраций химических элементов и соединений во всех природных средах (табл. 18-20).

Таблица 18. Геохимические ассоциации в воздухе в зоне влияния различных источников [42]

Город, источник (производство)	Коэффициент концентрации относительно фона			
	>100	100-50	50-10	< 10
Владикавказ, цветная металлургия	Zn-Hg-Pb	As-Sb	Sn-Ni-Mn-Mo-Co-Au	W-V-Fe-Br-La-Ce-Sm-Eu-Th
Дзержинск, теплоэнергетика	-	Sb-Se-Hg	Cr-Ni-Pb-Zn	Mo-Sn-Mn-La-Ce-Sm-Eu-Th
Воскресенск, завод минеральных удобрений	-	Sr	La-Ce-Eu-Ca-Sm-Th-Hg-Zn-Cr-Ni-U	Fe-As-Sb-Pb-Mn-V-W
Курск, Подольск, электротехника	Pb	Cd-Ni	V-Cr-Mo-Zn-Sn-La-Sm-Ce-Eu-Au	-
Ялта, автотранспорт	-	Pb-Br	Ni-Hg-V-Cr-Zn-Co	-
Темиртау, черная металлургия	-	Fe-Mn-Sb	Ni-Cr-V-Sn-Co-Sm-Hg	Pb-Zn-V-Mo-W-Eu-Th-Ba-As-Se
Москва, машиностроение	-	-	Co-Pb-Ni-Cr-Mn-Sb	Zn-V-Sn-Mo

Таблица 19. Геохимические ассоциации в почвах промзон г.Саранска

Завод	Кс относительно фона в почвах				
	>100	100-30	30-10	10-3	< 3
Электроламповый	Hg	Sb-Ag-Pb	Mo-Cd-Tl-W-Zn	Cu-Ba-Ge-F-Sn	Cr-Co-V-Ni-Bi-As-Be-
Источников света и электростекла	-	Pb	Hg	Mo-W-Cu-F-V-Zn-Sb	Cd-Ge-Cr-Li-Ag-Bi-As-Sn-B
Электровыпрямитель	-	Mo	Cd-W-Cu-Ag	Sn-Hg-Pb-Ge-Bi-F-Be-Zn	B-Co-V
Силовой электроники	-	-	Mo-	W-Pb-F-Be-Cu-Bi	Ge-Mn-Cr-Cd-Co-B-Zn-Ag-
Полупроводниковых изделий	-	-	-	Pb-F-Bi-Be	Cu-Ge-B-Co-Mo-Hg-Zn-V-Li
Точных приборов	-	-	-	Be-F-Pb-Bi	Ge-Cu-Hg-Mo-B-V-Co

Таблица 20. Геохимические ассоциации в донных отложениях водотоков Московской области

Город, водоток	Коэффициенты концентрации относительно фона					N_a	R	Z_c	$Z_{пэо}$
	>100	100-30	30 - 10	10 - 3	3 - 1,5				
Щелково, р. Клязьма	Ag-Hg_3	Bi-Zn-Cu-Ni	Cd-Sn-Cr	Sr-Pb-Ba-Co	W-Mo-V-Mn	18	40,2	1570	1395
Ногинск, р. Клязьма	Ag	Zn	Cu-Sn-Cr	Mn-Pb-Ni-W-Co-Cd	Mo-B-V	14	7,1	243	144
Электросталь, р. Вохонка,	Ag-W-Mo	Ni-Cu-Zn	Pb	Sn-Cr-Cd-Co-V-Mn	B	14	19,7	748	572
Электросталь, ручей	-	Zn	Ag-Pb	Sn-Cu-W-Co-Cd-Ni	Mo-Cr	11	3,5	99	29
Коломна, Москва-река	-	Ag	Cu	Zn-P-Hg-Pb-Cr-Ni-Ba-Co-F	V-Sn-Sr-Mo	15	3,9	116	82
Дмитров, ручей	-	Hg	-	Pb-Ag-Sr-Ba	Cu-Zn-Mo-Mn	9	2,4	57	54
Воскресенск, Мокква-река	-	Ag-Hg	Cu	Zn-Sr-Sn-P-Pb	Bi-Ba-Cr-Co-Mo	13	3,6	104	70
Волоколамск, р.Лама	-	Hg-Ag	Bi	Cu-W-Ba-Pb-Zn-P-Sn	Sr-Mo-Co-V-Cr-Ni	16	4,9	156	137
Высоковск, р. Вяз	-	-	Ag-Hg-Cu	Zn-Ba-Pb	Sr-Co-Sn-Mo-Cr-P	12	2,8	71	53
Хорлово, ручей	-	-	-	Ag	P-Nb-Cu-Pb	5	1,2	9	7
Верея, Протва	-	-	-	Ag	P-Ba-Sr-Mo-Cu-Nb-Pb	8	1,3	12	9
Зарайск, р. Осетр	-	-	-	P-Ag	Cu-Co-Nb-Pb	6	1,3	13	7
Дмитров, ручей	-	-	Mo-Nb	Ag	Ba-Pb-Cu-Mn-Sr-Co-V-Ga	11	1,8	34	28
Карасево, ручей	-	Hg	Ag	Cu-Ba-V-Co	Ni-Zn-P-Ga-Sr-Pb-Mn-Cr	14	3,1	86	69
Катуар, ручей	-	Hf	B-Hg	Zn-Zr-Sr-Pb-Ba-Cu	Ag-Co-Ga	12	3,6	104	44
Лотошино, р. Лобь	-	-	-	Ag-Ba-Cu-P	Co-V-Cr-Ga-Pb-Mo-Ni	11	1,6	24	11

Типичные особенности техногенных геохимических аномалий, формирующихся в городе, заключаются в полиэлементном составе, высокой степени концентрирования многих элементов, прежде всего с малым кларком и повышенной экотоксичностью, обязательным присутствием тяжелых металлов и углеводородов, высоком уровне пространственно-временной вариации с синхронным проявлением пиков максимальных концентраций поллютантов в динамичных средах, в преобладании для многих металлов подвижных форм.

В экстремальных ситуациях в городских агломерациях формируются техногенные биогеохимические районы, отличающиеся чрезвычайно высокими концентрациями либо комплекса элементов, либо одного специфического компонента практически во всех природных средах (табл. 21).

Таблица 21. Структура загрязнения территории г.Темиртау ртутью и ее запасы в верхнем (0-10 см) слое почв [118]

Уровень загрязнения	Площадь аномалий		Содержание, мг/кг		Кс	Запасы Hg, т
	км^2	% от площади города	среднее	пределы		
Фоновый	1,1	2,6	0,015	0,01-0,02	1,5	0,002
Слабый	10,6	26,3	0,08	0,021-0,1	8	0,102
Средний	6,7	16,6	0,3	0,11-0,39	30	0,241
Сильный	18,8	46,4	0,9	0,40-2,09	90	2
Опасный	0,5	1,3	3	2,10-21	300	0,180
Очень опасный	1,7	4,2	10	4-21	1000	1,4
Чрезвычайно опасный	1,1	2,6	375	21-2000	37500	49
Общее	40,5	100	-	-	-	~ 53

Примечание: в городе расположен химический завод, использующий при производстве ацетальдегида ртуть, общая эмиссия которой оценивается в 1200 т.

Формирование геохимических аномалий в различных компонентах городской среды неизбежно приводит к повышенному концентрированию поллютантов в организме людей и негативно сказывается на состоянии их здоровья [13; 88; 102]. Известны случаи массовых заболеваний людей в результате техногенного заражения среды обитания химическими элементами и соединениями (болезни Минамата, Итай-итай и др.).

Сельскохозяйственные территории (агроландшафты, агроэкосистемы) отличаются от естественных или полуестественных экосистем в основном тремя особенностями [68]: 1) они получают находящуюся под контролем человека вспомогательную энергию, дополняющую или заменяющую солнечную; 2) разнообразие организмов здесь резко снижено, чтобы максимизировать выход какого-то одного продукта; 3) доминирующие виды растений и животных подвергаются искусственному, а не естественному отбору. Геохимическую структуру агроландшафтов обусловливают три группы процессов [83; 88]: 1) агрогенные геохимические преобразования, связанные с технологей сельскохозяйственного производства; 2) техногенные преобразования, не связанные с сельагропроизводством; 3) природная геохимическая дифференциация.

Агрогенные геохимические преобразования связаны с неизбежным воздействиями, вызванными технологическими циклами сельскохозяйственного производства: обработкой почв, водной и химической мелиорацией, уборкой урожая и т. д. Среди агрогенных воздействий, прежде всего, следует выделить использование средств химизации (минеральных и органических удобрений, ядохимикатов, агромелиорантов и т. п.). С экогеохимических позиций особое значение имеет применение фосфорных удобрений, поскольку они производятся на основе природных фосфатов, отличающихся повышенными концентрациями многих химических элементов, которые в значительных количествах переходят (часто концентрируясь) из апатитовых и фосфоритовых руд в концентраты. Повышенная поставка химических элементов в агроландшафтах связана с калийными (Mo) и азотными (As, Cd, Hg, Co, Mo, Pb, Sn) удобрениями, микроудобрениями (B, Mo, Cu, Zn, Mn, Co), пестицидами (Hg, Cu, F, Sn, Zn, V, Mn, As, Pb), кормовыми добавками (As, F, Sr и др.), микроудобрениями, антисептиками, а также с отходами и сточными водами животноводческих комплексов (P, N, K, Zn, Ag, Sr, Hg, W, Sn и др.). Специфическую группу источников составляют применяемые в сельском хозяйстве в качестве удобрений и агромелиорантов бытовые и промышленные отходы (шлаки, осадки сточных вод, компосты из отходов, фосфогипс, зола ископаемых углей и сланцев, отличающиеся присутствием широкой группы химических элементов), сельскохозяйственные и бытовые сточные воды и загрязненные поверхностные воды для орошения [8; 50; 51; 83; 84; 115; 122].

Техногенные геохимические преобразования агроландшафтов являются следствием загрязнения в результате поступления поллютантов при локально-региональном их переносе от промышленных источников, при разливах интенсивно загрязненных рек и т. п. Неоднородность природной геохимической структуры агроландшафтов связана с ландшафтно-геохимическими факторами, которые весьма разнообразны и обусловливают разные площади и уровни проявления химических различий в составе почв, растений, вод. В горнорудных районах сельскохозяйственные земли могут захватывать вторичные геохимические ореолы рассеяния.

Геохимические аномалии, формирующиеся в сельскохозяйственных районах, отличаются, как правило, относительно невысокой интенсивностью концентрирования поллютантов, однако проявляются они на значительных территориях [83; 88; 115]. Более контрастные, но локальные аномалии фиксируются в зонах воздействия промышленных объектов и животноводческих комплексов, в районах использования в качестве мелиорантов и удобрений бытовых и промышленных отходов, сточных вод, загрязненных поверхностных вод (табл. 22). Длительное использование загрязненных речных вод для орошения приводит к чрезвычайно сильному загрязнению ландшафтов, особенно пойменных. Известны случаи, когда в таких ситуациях формируются специфические, например, ртутные агроирригационные ландшафты [118]. Особую опасность представляет загрязнение органическими поллютантами, а также соединениями азо-

та. В пределах Московской области, например, выделен техногенных нитратный биогеохимический район, формирование которого в значительной мере обусловлено массовым применением минеральных удобрений и который характеризуется высокими содержаниями нитратов в почвах, растительности и грунтовых водах [9]. Глобальной проблемой стало евтрофирование водных объектов, во многом связанное с сельскохозяйственными фосфором и азотом.

Таблица 22. Геохимические ассоциации в донных отложениях рек агроландшафтов

Тип воздействия	Z_c	Коэффициенты концентрации		
		30-10	10-3	3-1,5
Животноводство	54	Hg-Ag	Zn-As-Se-P	Sn-Mo-Cd-Cu-Sr-Sc-Y-Pb-
Комплексное агроосвоение	11	-	P-Ag	As-Mn-Sn-Cd-Nb-Hg-Cr-F-Se-Zn-Y-Mo-La-Yb-Ba-Cu-V
Земледелие	8	-	Ag-P	Mn-Sc-Cd-F-Mo-Cu-Ni-Pb-As-Nb-Yb-Co
Агропоселки	20	Ag	P	Bi-Ni-Zn-Pb-Ba-Ga-Mn-Zr-Mo
Дачи	7	-	P-Sn-Mn-Ga	Mo-Zn-Co-V-Pb-Hg-Cr

Масштабы техногенного воздействия на окружающую среду в горнорудных районах настолько велики, что всецело определяют их геохимические особенности. «Рудная деятельность человечества, - отмечал В.И.Вернадский, - является одним из больших биогеохимических процессов современной эпохи и вносит новое в геохимию всех химических элементов» [24, с. 229].

Характер и интенсивность проявления последствий техногенеза в горнорудных районах зависят от типа месторождения и состава руд, гидрогеологических и ландшафтно-геохимических условий водосбора (особенно важно различать гумидные и аридные ландшафты), а также от принятой системы добычи, обогащения и передела минерального сырья. Особое значение имеют такие факторы, как количество сульфидов в разрабатываемой горной массе, состав рудовмещающих пород, степень проработки сульфидосодержащих пород процессами окисления, время существования поверхностных техногенных литоаккумуляций, объемы и состав образующихся отходов (отвалов пустых пород, хвостов обогащения, шламов металлургических заводов, сточных вод, пылегазовыбросов), степень очистки стоков и способ хранения отходов, интенсивность поставки твердого материала и поверхностного стока [4; 47; 86; 88; 119].

Техногенные преобразования захватывают территории, многократно превышающие площади горных отводов, проявляются в глубокой трансформации химического состава практически всех компонентов биосферы. Размеры зон влияния эксплуатируемых месторождений на прилегающие территории достигают десятки, часто сотни кв. км (в исключительных случаях - тысячи кв. км); радиус образующихся при осушении месторождений депрессионных воронок составляет десятки км (при понижении напоров, измеряемых иногда сотнями метров). В отвалы и хвостохранилища ежегодно поступают миллиарды куб. м отходов добычи и обогащения руд. В большинстве случаев степень извлечения из руд полезных компонентов невелика; часто из них извлекается только 1-3

компонента при содержании в рудах в несколько раз большего числа полезных элементов. Из шахт и рудников, с обогатительных фабрик и металлургических предприятий отводятся и сбрасываются колоссальные объемы сточных вод, содержащих взвешенные вещества, органические и неорганические соединения. В атмосферу выбрасываются огромные количества пыли, газов, различных соединений. Все это приводит к формированию в окружающей среде контрастных и комплексных техногенных геохимических аномалий (табл. 23-25).

Таблица 23. Поступление химических элементов с пылью, осажденной со снегом, в зоне влияния Тырныаузкого Mo-W комбината [98]

Место	Пыль, $г/м^2$ в сут.	Выпадение химических элементов, $мкг/м^2$ в сут.			
		Cu	Mo	Sn	W
Фоновые участки	0,0223-0,60	2,37-77,4	0,1-7,0	0,35-18,1	0,48-40,2
Карьер	16,38	1147	1600	164	1640
Город Тырныауз	0,05-4,72	0,5-707	2-360	0,05-36,4	0,15-375

Таблица.24. Геохимические ассоциации в донных отложениях рек горнопромышленных районов (обобщенные данные по Северной Осетии)

Источник воздействия (период)	K_c относительно фонового содержания					Протяженность аномалий, км
	> 100	100-30	30-10	10-3	3-1,5	
Природные	-	-	-	-	Pb-Zn-Bi-Sn-Y	0,1-0,6
Разведочные выработки	-	-	-	Pb	Zn-Cu-Ag-Bi	1-3
Горнорудные (20 лет)	-	-	Zn-Ag	Pb	Cu-Nb-Ga-Y-As	5*
То же (35 лет)	-	-	Zn	Pb-Ag	Ba-Nb-Cu-Y-Sr-Bi-As	6**
То же (150 лет)	-	Pb	Zn	Ag-Cu	Ga-Ni-Co-Sn-Bi-Nb-As	> 6
Горнообогатительные (15 лет)	-	-	Zn	Pb-As	Y-Cu-Sc-Ag-Co-Ba-Sb-Bi	> 40
То же (90 лет)	-	Zn-Ag-Pb	Cu	Ba-Bi-Cd-As	Mn-Mo-Sn-Co-Zr-Nb-Hg-Sb	> 60
Металлургический завод	Ag-Cd-Zn-W-Pb-Hg	Mo-Sn-Bi-In	As-Co	Nb-Sb	Ga-Ni-Mn-Sr	> 80***
Материал из хвостохранилищ	Ag	Pb-Cd	Ba-Zn-Cu-As	Bi-Mo-Sb	Sn-Co-Nb	-
Полиметаллические руды	Cd-Zn-Ag-Pb	Cu-Bi	Mo	Sn-Co	Y-Ga-Sr	-
Шламы завода	Ag-Cd-Zn-Pb	Cu-Mo	Co-Sn-Ni	Mn-Bi	W	-

* Прослеживается в водотоках первого порядка до устья; ** переходит в водоток следующего порядка; *** переходит в водотоки следующих порядков.

В общем случае принципиальными являются следующие факты: 1) несмотря на то, что в горнорудных районах качественный состав техногенных истоников в принципе адекватен природным, соотношения между элементами в техногенных аномалиях принципиально иные, чем в природных; 2) как пра-

вило, уровень загрязнения сопутствующими элементами (элементами-примесями) заметно выше, чем таковой главными компонентами добываемых руд; 3) для техногенных аномалий характерно почти повсеместное присутствие в высоких концентрациях редких элементов, что, по-видимому, является важнейшим их признаком; 4) интенсивность, комплексность и масштабы загрязнения заметно (часто многократно) увеличиваются в ряду воздействия «разведка-добыча-обогащение-переработка руд»; 5) формирующиеся зоны загрязнения отличаются чрезвычайно высокой устойчивостью; их негативное воздействие сказывается многие десятки лет после прекращения функционирования предприятий; 6) по своим размерам, комплексности состава и интенсивности концентрирования химических элементов техногенные аномалии в большинстве случаев многократно превышают природные аналоги.

Таблица 25. Геохимические ассоциации в почвах различных типов ландшафтов в районе Тырныаузского молибденово-вольфрамового комбината [98].

Зона воздействия, ландшафт	Кларк концентрации				
	>100	100-10	10-5	5-2,5	2,5-1
Прямого: Горно-луговой	Bi-W-As	Mo	Sn	-	Pb-Yb-Nb-Mn-Zn-Cu-Ag-Co
Горно-степной кустарниковый	-	As-Bi-W-Sn-Mo	Pb-Ag	Cu	Zn-V-Yb-Li-Cr-Ni
Горно-сухостепной	Bi-W	Mo-Sn	Mn	Be-Ge-Zn-Ag	V
Косвенного: Горно-степной	Bi-W	Mo-Pb-As	Sn	Yb-Ag	Ga-Zn-Cu-Ni-B-V
Горно-степной кустарниковый	W-Bi	Mo	Sn	Yb-Pb-Sc-As	B-Cu-Ag-V-Zn-Mn-Li
Территория г.Тырныауза	W	Bi-Mo-Pb-As	Sn	Yb-Ag	Zn-Cu-V-Ga-B-Ge

С эколого-геохимической точки зрения особенно опасными являются промышленно-генетические типы месторождений, разработка которых приводит к резкому увеличению мощности зоны гипергенеза и изменению условий миграции поллютантов. Наиболее существенные изменения важнейших условий миграции химических элементов (окислительно-восстановительный потенциал, кислотно-щелочное равновесие, доминирующий вид лиганда, способствующего водной миграции элемента) будут происходить при разработке сульфидных месторождений, характеризующихся наличием в рудах большого количества двойных сульфидов (pH 2-4, Eh до 700 mV), - колчеданных, магматических ликвационных, стратиформных медно-полиметаллических и др.[55]. В водах этих месторождений будут концентрироваться значительные количества тяжелых металлов переходных периодов с низкой валентностью (Pb, Zn, Cu, Co, Ag, Ni и др.). Полярная этой группе по рассматриваемым показателям – группа месторождений, связанных со щелочными породами (позднемагматические, карбонатитовые), в водах которых (pH 8,5-12, Eh 200 mV) накапливается значительное

количество лигандов-комплексообразователей, способствующих миграции химических элементов. В щелочных водах наиболее активно будут мигрировать токсичные элементы с высокой валентностью (TR, Cr и др.) и аниогенные элементы (F, As). Особенно опасным представляется разработка месторождений в северных тундрово-лесных района, где развиты процессы выщелачивания.

Как уже отмечалось, геохимические последствия техногенеза проявляются в формировании специфических геохимических условий, поведение и токсикологическая значимость химических элементов и соединений, в которых могут принципиально отличаться от таковых в природных условиях. При этом может фиксироваться не только возрастание валового содержания химических элемента, но и снижение концентраций некоторых из них. Это приводит к нарушению существующих в природе соотношений между элементами и к формированию чрезвычайно специфических их комплексов (типомрфных ассоциаций); в условиях загрязнения характерно появление химических реакций и соединений (ксенобиотиков), ранее в природе не существовавших. Многие химические элементы, являющиеся антагонистами, ведут себя как геохимические аналоги, а элементы, слабоподвижные в природных условиях, могут оказаться подвижными (растворимыми). Валовые содержания элемента в сравнении с фоном могут вообще не изменяться или изменяться незначительно, тогда как относительная доля подвижных форм может заметно возрастать. Это позволяет говорить о новом типе геохимических аномалий, обусловленных изменением и даже появлением специфических форм нахождения химического элемента. Трансформация баланса важнейших форм нахождения химических элементов, проявляющаяся, прежде всего, в появлении в биосфере неустойчивых и миграционно подвижных соединений – одна из особенностей техногенеза (табл. 26; 27).

Таблица 26. Сравнительная характеристика содержаний условно подвижных форм металлов в фоновом аллювии, техногенных илах и осадках сточных вод (ОСВ)-[122]

Металл	ОСВ г.Саранска		Техногенные илы, р.Инсар ниже Саранска		Фоновый аллювий, р.Инсар выше Саранска	
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%
Cr	1338	0,7	270	9,6	31	3
Co	8,4	13,2	10	36	8	6
Ni	320	55,6	185	71,4	15	8
Cu	866	3,3	530	2,7	12,4	1,9
Zn	2080	41,6	360	45	33	13,3
Cd	37,2	52,7	24	55	0,13	5
Pb	166	1,9	140	11,6	19	6,8

Примечание: мг/кг – валовое содержание; % - относительная доля форм, ивлекаемых ацетатно-аммонийной вытяжкой.

Техногенное воздействие приводит и к резкому изменению соотношения двух основных форм миграции элементов в поверхностных водах - растворенной и взвешенной (табл. 28). Важнейшим следствием является резкое увеличение доли взвешенных форм миграции элементов [88; 89; 90]. Это связано как со

значительным увеличением мутности водотоков, так и с резким возрастанием абсолютных концентраций поллютантов в самой взвеси.

Таблица 27. Распределение ртути в природно-техногенных образованиях

Объект	Вал, мг/кг	Выход ртути (%) при различных температурах, С°				
		20-100	100-200	200-300	300-400	400-500
Шлам	422,61	1,8	53,5	23,2	19,6	2,0
ОСВ	233,19	32,4	32,7	32,4	2,1	0,4
Эпифитовзвесь	21,36	11,2	82,0	2,4	1,3	3.0
Ил (0-60 см)	47,62	37,7	54,5	6,4	0,9	0,4
Почва (0-10 см)	6,81	1,6	80,8	5,4	4,5	9,7

Примечание: Шлам – поля усреднения; ОСВ – с иловых карт; эпифитовзвесь – взвесь, сорбированная на макрофитах, р. Нура ниже места сброса стоков; ил – р. Нура ниже места сброса сточных вод; почва – пойма ниже города, заливаемая в половодье и поводки; исследование образцов осуществлялось методом получения термического спектра выделения форм при непрерывном линейно-ступенчатом нагреве пробы с последующим детектированием образовавшейся атомарной Hg на анализаторе ИМГРЭ-900.

Таблица 28. Химические элементы в воде р. Камбилеевка в зоне влияния заводов по выплавке цветных металлов (Электроцинк и Победит, г.Владикавказ)

Створ*	Cu			Zn			Cd			Pb		
	В	Р	%	В	Р	%	В	Р	%	В	Р	%
2 км	43	2,3	88	33	4,2	93	325	24	89	65	2	96
30 км	11	1,1	80	18	3,8	89	58	14	72	16	1,2	60
50 км	3	1,7	41	5,6	2	82	31	33	48	3,8	1	50
Фон	1	1	29	1	1	62	1	1	38	1	1	30

Примечание: * ниже устья р. Собачья балка, принимающей сток заводов; “В” и “Р” - соответственно Кс относительно фона во взвешенной и растворенной формах; % - доля взвешенной формы от суммы В + Р; приведены средние значения за 5-дневный период опробования в каждом створе.

Важнейшим следствием техногенного преобразования речных вод в освоенных районах является изменение (техногенная метаморфизация) исходного (зонального) химического типа, группы и даже класса речных вод. В частности, наиболее широко распространенные гидрокарбонатные кальциевые речные воды трансформируются в гидрокарбонатно-натриевые, гидрокарбонатно-магниевые, сульфатно-кальциевые, хлоридно-калиевые, хлоридно-натриевые и даже в практически не существующие в природе азотные (нитратные) воды. Такие изменения химического состава вод отмечены для многих не только для малых, но даже для крупных рек (табл. 29; 30).

Таблица.29. Сравнительная характеристика общего состава воды р. Пахры ниже г.Подольска в разные годы наблюдения в летнюю межень

Год	HCO^{3-}	SO_4^{2-}	Cl^-	NO^{3-}	NO^{2-}	Ca^{2+}	$Na^+ + K^+$	Mg^{2+}	Мин
1960	182	22	6	0,25	0,002	45	8,9	12,2	276
1979	317	52	89	8,3	0,6	65	99,5	18,5	663
Ку	1,74	2,36	14,8	33,2	300	1,44	11,18	1,52	2,40

Примечание: пробы отбирались на одном и том же створе наблюдения; расход воды в 1979 г. практически равен расходу воды в 1960 г.; Ку - коэффициент увеличения в 1979 г.; Мин – минерализация.

Таблица 30. Химический состав воды р.Рейн (район Майнца) и р.Везер (район Бремена) в разные годы наблюдений [133]

Компонент,	Рейн			Везер		
мг/л	1887	1971	Ку	1893	1971	Ку
HCO_3^-	146	153	1,1	124	168	1,4
SO_4^{2-}	20	146	7,3	64	235	3,7
Cl^-	7	159	22,7	49	1233	25,2
Ca^{2+}	57	65	1,1	52	56	1,1
Mg^{2+}	7	16	2,3	9	151	16,7
Na^+	4	94	23,5	29	574	19,8
K^+	2	11	5,5	5	42	8,4
Минерализация	243	644	2,7	332	2459	7,4

В конечном счете, это обусловливает резко выраженную пространственную мозаичность геохимического облика водотоков («гидрохимическую пестроту»), когда в пределах относительно однородного в ландшафтном отношении и небольшого по площади участка бассейна возможно одновременное существование речных вод разного химического состава (разного типа, группы, класса). Пространственная неоднородность состава воды в свою очередь подвержена временно*й* динамике.

Техногенная метаморфизация отмечается и в интенсивно эксплуатируемых подземных водах [121; 130]. Так, интенсивная эксплуатация подземных вод для водоснабжения Саранска обусловила понижение пьезометрического уровня их и, как следствие этого, формирование депрессионной воронки, что привело к изменению химического класса подземных вод и росту содержаний макрокомпонентов, фтора, некоторых других ингредиентов, а также к изменению соотношения между компонентами (табл. 31; 32).

Таблица 31. Классификация подземных вод Саранского месторождения.

Водозабор	Сезон	Классификация вод по О.А.Алекину (класс, группа)
Руднянский	Лето	Гидрокарбоныtный, магниевая (Ca^{2+})
	Осень	Гидрокарбонатный, кальциевая (Na^+)
Пензятский	Лето	Гидрокарбонатный, магниевая (Ca^{2+})
	Осень	Гидрокарбонатный, кальциевая (Na^+)
Октябрьский	Лето	Сульфатный, натриевая (Cl^-)
	Осень	Хлоридный, натриевая (SO_4^{2-})
Центральный	Лето	Хлоридный, натриевая (SO_4^{2-})
	Осень	Хлоридный, натриевая (SO_4^{2-})
Резинотехника	Лето	Хлоридный, натриевая (SO_4^{2-})
	Осень	Хлоридный, натриевая (SO_4^{2-})

Примечание: В скобках указан ион, эквивалент которого имеет высокое значение (приближается к эквиваленту преобладающего катиона); первые два водозабора расположены в пределах города, третий – находится на его окраине, два последних – за его пределами (7 и 27 км соответственно).

Другим важнейшим геохимическим последствием человеческой деятельности является изменение специфики, интенсивности и направленности процессов осадкообразования и осадконакопления. Участие в этих процессах огром-

ных объемов материала техногенного происхождения неизбежно порождает существенные экологические проблемы. В настоящее время техногенез не только меняет естественные условия осадконакопления, но и приводит к формированию в областях транзита и аккумуляции осадочных отложений, являющихся, по сути, геологическими образованиями нового типа (промышленные пыли, отходы, техногенные илы, сельскохозяйственные и городские почвы и др.). Ф.В. Котлов [57] назвал геологический процесс формирования наиболее молодых в истории Земли образований, связанных с инженерно-хозяйственной деятельностью человека, антропогенным литогенезом.

Таблица 32. Соотношение между компонентами в подземных водах Саранского месторождения.

Водозабор	Сезон	rMg/rCa	rNa/rCa	rSO_4/rCl	rNa/rCl
Руднянский	Лето	1,53	0,78	1,76	1,38
	Осень	0,68	0,77	1,55	2,07
Пензятский	Лето	1,22	0,92	1,40	1,46
	Осень	0,63	0,87	1,37	1,65
Октябрьский	Лето	1,38	2,01	0,98	1,18
	Осень	0,80	1,99	0,85	1,22
Центральный	Лето	1,54	1,89	0,83	0,97
	Осень	0,71	1,78	0,73	1,07
Резинотехника	Лето	0,88	2,22	0,64	0,94
	Осень	0,73	2,20	0,48	0,99

Наиболее яркое проявление антропогенного литогенеза характерно для промышленно-урбанизированных районов. Сброс сточных вод и поступление поверхностного стока с городских территорий способствуют поставке в речную сеть значительных объемов техногенного материала, что принципиально изменило процессы аллювиального осадконакопления в поверхностных водотоках. В настоящее время в руслах рек и ручьев таких районов широко распространен особый тип аллювиальных отложений – техногенные илы [117; 118; 120; 131], которые по своим облику и параметрам отличаются от природного аллювия (табл. 33). Именно илы являются ареной развития контрастных и полиэлементных техногенных геохимических аномалий.

Как уже отмечалось, разработка рудных месторождений интенсифицирует процессы выветривания и физико-химическую денудацию и увеличивает не только объемы поставок, но миграционную способность химических элементов. Выщелачивание элементов из хвостохранилищ активизируется кислотными остатками флотореагентов, поступающих вместе со сбросными водами. Сернокислотный процесс может прогрессировать под воздействием выбросов заводов по выплавке металлов, содержащих металлонесущие аэрозоли и сернистый газ [4; 47]. В процессе аэрального переноса осуществляется окисление сернистого газа до сульфатов и соответствующее подкисление атмосферной влаги, способст-вующее растворению указанных аэрозолей. Атмосферная влага в таких районах представляет собой в разной степени разбавленные растворы серной кислоты, которые активизируют процессы сернокислотного гипергенеза.

Таблица 33. Химический состав фонового аллювия и техногенных илов р. Инсар, %.

Компонент	Фоновый аллювий	Инсар, 0,1 км ниже ГОС, слой 0-60 см	Инсар, 1 км ниже ГОС, слой опробования илов, см					Инсар, 50 км ниже ГОС, слой 0-60 см
			0-60	60-120	120-180	180-240	240-300	
SiO_2	83,63	55,61	62,32	58,42	57,64	59,24	64,35	53,42
TiO_2	0,33	0,60	0,64	0,64	0,60	0,61	0,59	0,57
Al_2O_3	5,22	13,25	10,52	10,98	11,00	10,64	9,92	9,16
Fe_2O_3	2,03	6,02	4,24	3,73	3,93	4,72	5,17	3,75
FeO	0,57	2,51	1,36	2,66	3,74	2,30	1,41	2,16
MnO	0,078	0,057	0,076	0,079	0,076	0,070	0,057	0,095
CaO	0,78	1,88	2,20	2,20	1,80	1,72	1,72	2,43
MgO	0,37	1,05	1,16	1,36	1,05	1,05	0,84	1,05
Na_2O	0,56	0,87	0,96	0,92	0,95	1,00	1,00	0,97
K_2O	1,05	2,10	1,89	1,89	2,10	2,10	1,89	1,89
P_2O_5	0,19	0,40	0,49	0,62	0,38	0,33	0,25	0,49
H_2O^-	1,37	1,17	2,50	2,53	1,82	2,44	2,13	2,40
ППП	3,66	13,50	10,48	12,23	13,17	12,01	9,88	14,31
$S_{своб}$	< 0,1	0,37	0,17	0,16	0,16	0,37	0,29	0,14
$S_{общ}$	< 0<1	0,74	0,35	0,32	0,32	0,74	0,58	0,28
CO_2	0,66	0,88	1,32	1,32	0,77	0,66	0,66	1,40

Примечание: ППП – потери при прокаливании; ГОС –очистные сооружения города Саранска.

Таким образом, важнейшим проявлением техногенеза является не только увеличение уровней содержания в окружающей среде различных химических элементов и их соединений, но и кардинальное изменение основных физико-химических параметров среды их миграции, вплоть до формирования обстановок, до недавнего времени в природе не существовавших.

Для понимания важнейших проблем и постановки основных задач изучения геохимического преобразования биосферы человеком важнейшее значение имеют следующие положения, в той или иной мере обозначенные Вернадским и Ферсманом и получившие развитие в трудах их последователей:

1) преобразование природной среды деятельностью человека является геохимическим и биогеохимическим процессом; имеет глобальный характер и проявляется в масштабе природных химических реакций;

2) геохимический облик современной биосферы и ее составных частей в значительной степени зависит от биогеохимической функции человечества;

3) изменение химического состава биосферы и ее составных частей есть закономерное явление в ее истории, происходящее при участии человека, но независимо от его воли, «стихийно, как природный естественный процесс», темп которого постоянно увеличивается; «быстрота процесса является совершенно исключительной в земной истории»;

4) человек постепенно (с нарастающим темпом) втягивает 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», вмешивается в действия основных биогеохимических принципов (законов);

5) современный этап в развитии биосферы может быть охарактеризован как своеобразная геохимическая эпоха, отличающейся специфическим накоплением отдельных элементов и их ассоциаций в различных компонентах среды;

6) техногенное воздействие является полиэлементным источником 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;

7) техногенные процессы способны резко менять поведение химических элементов, вплоть до появления химических реакций и соединений, а также процессов и явлений, чуждых условиям биосферы; человек «совершенно меняет общую картину геохимических процессов земной коры»;

8) в условиях техногенеза эколого-геохимические особенности ландшафта могут всецело определяться элементами с низким кларком и отличающихся высокой токсичностью (например, формирование техногенных ртутных биогеохимических районов, областей и провинций и т. д.);

9) человек не только химически изменяет окружающую среду, но и создает новые типы связанных с ней геологических (природно-техногенных и техногенных) образований (минералов, отложений, почв, вод и т.п.), новые типы эко-

систем, новые типы живого вещества, при этом уничтожая живые организмы, природные системы и геологические образования;

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

11) техника (как совокупность средств человеческой деятельности) и технология (как совокупность методов производства) уже не могут рассматриваться только лишь как инструмент преобразования окружающей среды, но сами являются окружающей человека средой, что особенно ярко проявляется в городах и горно-промышленных районах, отражающих наиболее концентрированную форму воздействия человека на среду обитания;

12) антропогенный стресс и загрязнение окружающей среды химическими элементами и соединениями уже рассматриваются в качестве одних из основных лимитирующих факторов для человека;

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

14) цивилизация культурного человечества не может прерваться и уничтожиться, так как это есть большое природное явление, отвечающее исторически, вернее геологически, сложившейся организованности биосферы.

Масштабы техногенного воздействия на окружающую среду исключительно велики. Техногенные преобразования захватывают огромные территории, проявляются в глубокой и коренной трансформации всех компонентов биосферы и представляют собой главный фактор, определяющий эколого-геохимические особенности многих регионов мира, а в конечном счете и условия существования здесь человека. Важнейшей задачей наук о Земле является получение знаний, необходимых для обоснования и разработки принципов и методов оптимизации взаимодействия человека и биосферы. В решении этой задачи особая роль, по мнению автора этих строк, принадлежит экологической геохимии.

Литература

1. *Авессаломова И.А.* Геохимические показатели при изучении ландшафтов.- М.: Изд-во МГУ, 1987.-108 с.

2. *Агесс П.* Ключи к экологии: Пер. с франц.- Л.: Гидрометеоиздат, 1982.- 96 с.

3. *Антропова Л.В.* Формы нахождения элементов в ореолах рассеяния рудных месторождений.- Л.: Недра, 1975.- 144 с.

4. *Аржанова В.С., Елпатьевский П.В.* Геохимия ландшафтов и техногенез.- М.: Наука, 1990.- 198 с.

5. *Барабанов В.Ф.* Введение в экологическую геохимию.- СПб.: Изд-во СПбГУ, 1994.- 144 с.

6. *Баранов Э.Н.* Геохимические поля рудообразующих систем: генетические и прикладные аспекты // Междунар. симп. по прикл. геохимии стран СНГ: 29-31 октября 1997, Москва, Россия. Тез. докл.- М.: ИМГРЭ, 1997, с. 16-18.

7. *Беклемишев В.Н.* Методология систематики.-М.:КМК Scientific Press, 1994.-250 с.

8. *Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В.* Геохимия окружающей среды.- М.: Недра, 1976.- 248 с.

9. *Биогеохимические* основы экологического нормирования.-М.: Наука, 1993.-304 с.

10. *Биогеохимические* циклы в биосфере. - М.: Наука, 1976.- 356 с.

11. *Биосфера*: Пер. с англ.- М.: Мир, 1972.- 183 с.

12. *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.

13. *Буренков Э.К., Янин Е.П., Кижапкин С.А. и др.* Эколого-геохимическая оценка состояния. окружающей среды г.Саранска.- М.: ИМГРЭ, 1993.- 115 с.

14. *Вассоевич Н.Б., Иванов А.Н.* К истории учения о биосфере // Методология и история геологических наук.- М.: Наука, 1977.- 176 с.

15. *Вернадский В.И.* Парагенезис химических элементов в земной коре // Дневник XII съезда русских естествоиспыт. и врачей 1909-1910.- М.: Тип. Лисснера и Собко, 1910, с. 73-91.

16. *Вернадский В.И.* О газовом обмене земной коры//Изв. АН,1912,6,№ 2, с. 141-162.

17. *Вернадский В.И.* Живое вещество в химии моря.- Пг.: Научн. хим.-техн. изд-во, 1923.-36 с.

18. *Вернадский В.И.* Ход жизни в биосфере // Природа, 1925, № 10/12, с. 25-38.

19. *Вернадский В.И.* Биосфера.- Л.: Научн. хим.-техн. изд-во, 1926.- 146 с.

20. *Вернадский В.И.* Очерки геохимии.- М.-Л.: Гос. изд-во, 1927.- 368 с.

21. *Вернадский В.И.* Эволюция видов и живое вещество // Природа, 1928, № 3, с. 227-250.

22. *Вернадский В.И.* Об условиях проявления жизни на Земле // Изв. АН СССР, сер. 7. ОМЕН, 1931, № 5, с. 633-653.

23. *Вернадский В.И.* О пределах биосферы // Изв. АН СССР. ОМЕН, сер. геол., 1937, № 1, с. 3-24.

24. *Вернадский В.И.* Геохимия марганца в связи с учением о полезных ископаемых // Тр. Конф. по генезису руд железа, марганца и алюминия.- М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1937, с. 229-246.

25. *Вернадский В.И.* О некоторых основных проблемах биогеохимии // Изв. АН СССР. ОМЕН, сер. геол., 1938, 18, № 1, с. 19-34.

26. *Вернадский В.И.* Бигеохимические очерки.- М.-Л.: Изд-во Ан СССР, 1940.

27. *Вернадский В.И.* Несколько слов о ноосфере // Успехи совр. биологии, 1944, 18, вып. 2, с. 113-120.

28. *Вернадский В.И.* Избранные сочинения. Т. 3.- М.: Изд-во АН СССР, 1959.- 508 с.

29. *Вернадский В.И.* Избранные сочинения. Т. 4, кн. 2.-М.: Изд-во АН СССР, 1960.-651 с.

30. *Вернадский В.И.* Живое вещество.- М.: Наука, 1978.- 358 с.

31. *Вернадский В.И.* Проблемы биогеохимии.-М.: Наука, 1980.- 320 с.

32. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения.- М.: Наука, 1987.- 339 с.

33. *Вернадский В.И.* Философские мысли натуралиста.- М.: Наука, 1988.-520 с.

34. *Вернадский В.И.* Научная мысль как планетное явление.- М.: Наука, 1991.- 271 с.

35. *Вернадский В.И.* Очерки геохимии // В.И. Вернадский. Труды по геохимии.- М.: Наука, 1994, с. 159-468.

36. *Вернадский В.И.* Очерки геохимии (Введение в геохимию): Лекции, прочитанные в Академии наук в Петрограде в 1921 г. // В.И. Вернадский. Труды по геохимии.- М.: Наука, 1994, с. 7-158.

37. *Вернадский В.И.* Статьи об ученых и их творчестве.-М.: Наука, 1997.- 364 с.

38. *Виноградов А.П.* Биогеохимические провинции и эндемии // ДАН СССР, 1938, т. 18, № 4/5, с. 283-286.

39. *Власов К.А.* Эманационный процесс и кристаллизационная дифференциация как ведущие факторы образования ряда месторождений рудных элементов // Вопросы геохимии и минералогии.- М., 1956, с. 83-93.

40. *Власов К.А.* Периодический закон и изоморфизм элементов.-М.:ИМГРЭ,1963.-96 с.

41. *Войткевич Г.В., Закруткин В.В.* Оновы геохимии.- М.: Высш. шк., 1976.-368 с.

42. *Волох А.А.* Опыт контроля за загрязнением атмосферного воздуха металлами и летучими органическими соединениями на городских и фоновых территориях // Геохимические исследования городских агломераций.- М.: ИМГРЭ, 1998, с. 40-58.

43. *Гавриленко В.В.* Некоторые актуальные проблемы экологической минералогии и геохимии // Зап. ВМО, 1994, ч. CXXIII, № 3, с. 1-8.

44. *Глазовская М.А.* Ландшафтно-геохимические системы и их устойчивость к техногенезу // Биогеохимические циклы в биосфере. - М.: Наука, 1976, с. 99-118.

45. *Глазовская М.А.* Природные аналоги техногенных геохимических аномалий // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем.- М.: Наука, 1982, с. 131-166.

46. *Глазовская М.А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР.- М.: Высш. шк., 1988.- 328 с.

47. *Елпатьевский П.В.* Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах.- М.: Наука, 1993.- 253 с.

48. *Ермаков В.В.* Биогеохимические провинции: концепция, классификация и экологическая оценка // Основные направления геохимии.- М.: Наука, 1995, с. 183-196.

49. *Заварицкий А.Н.* Введение в петрохимию изверженных горных пород.- М.: Изд-во АН СССР, 1944.

50. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов. В 6 кн.: Кн. 1.-М.:Недра, 1994.-304 с.

51. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва-растения.- Новосибирск: Наука, 1991.- 151 с.

52. *Канаев И.И.* Жорж Кювье. 1769-1832.- Л.: Наука, 1976.- с. 212.

53. *Ковальский В.В.* Геохимическая экология.- М.: Наука, 1974.- 299 с.

54. *Ковда В.А.* Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком // Биогеохимические циклы в биосфере. .- М.: Наука, 1976, с. 19-85.

55. *Колотов Б.А.* Прогноз экологической опасности при разработке рудных месторождений // Экология и экономика природопользования. Тез. док. науч.-прак. конф.- М.,1995, с. 67-68.

56. *Коплан-Дикс И.С., Назаров Г.В., Кузнецов В.К.* Роль минеральных удобрений в эвтрофировании вод суши.- Л.: Наука, 1985.- 181 с.

56а. Королев В.А., Некрасова М.А., Полищук С.Л. Геопургология: очистка геологической среды от загрязнений. Обзор.- М.: Геонформмарк, 1997.- 47 с.

57. *Котлов Ф.В.* Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека.- М.: Наука, 1978.- 264 с.

58. *Кохановский В.П.* Философия и методология науки.-Ростов-на-Дону: Феникс, 1999.- 576 с.

59. *Маргалеф Р.* Облик биосферы: Пер. с англ.- М.: Наука, 1992.- 214 с.

60. *Марш Г.* Человек и Природа или о влиянии человека на изменение физико-географических условий природы: Пер. с англ.- СПб.: Изд. Полякова и К°, 1866.- 587 с.

61. *Мейсон Б.* Основы геохимии: Пер. с англ.- М.: Недра, 1971.- 312 с.

62. *Методические* указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими элементами.- М.: Минздрав СССР, 1987.- 25 с.

63. *Нееф Э.* Теоретические основы ландшафтоведения: Пер. с нем.- М.: Прогресс, 1974.- 219 с.

64. *Некоторые* вопросы токсичности ионов металлов: Пер. с англ.-М.:Мир, 1993.-366 с.

65. *Овчинников Л.Н.* Образование рудных месторождений.- М.: Недра, 1988.

66. *Овчинников Л.Н.* Прикладная геохимия.- М.: Недра, 1990.- 247 с.

67. *Овчинников Л.Н.* Прогноз рудных месторождений.- М.: Недра, 1992.- 308 с.

68. *Одум Ю.* Экология: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ.-М.: Мир, 1986.- 328 с.

69. *Охрана* ландшафтов. Толковый словарь.- М.: Прогресс, 1982.- 272 с.

70. *Оценка* состояния окружающей среды г. Москвы по геохимическим данным и рекомендации по ее улучшению.- М.: ИМГРЭ, 1980.-70 с.

71. *Перельман А.И.* Геохимия эпигенетических процессов.- М.: Недра, 1965.- 272 с.

72. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафтов.-М.: Высшая школа, 1975.-342 с.

73. *Перельман А.И.* Геохимия.- М.: Высшая школа, 1989.- 528 с.

74. *Полынов Б.Б.* Избранные труды.- М.: Изд-во АН СССР, 1956.- 752 с.

75. *Принципы* и методика геохимических исследований при прогнозировании и поисках рудных месторождений (Методические рекомендации).- Л.: Недра, 1979.- 247 с.

76. *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.

77. *Реймерс Н.Ф.* Природопользование: Словарь-справочник.-М.:Мысль, 1990.-637 с.

78. *Реклю Э.* Земля. Описание жизни Земного шара. В 12 т. Т. 11: Пер. с франц.- М.: Изд. Т-ва И.Д.Сытина, 1914.- 88 с.

79. *Розова С.С.* Классификационная проблема в современной науке.- Новосибирск: Наука, 1986.- 223 с.

80. *Сает Ю.Е.* Антропогенные геохимические аномалии (особенности, методика изучения и экологическое значение): Автореф ... дис. док. г.-м. н.- М.: ИМГРЭ, 1982.- 53 с.

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

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

83. *Сает Ю.Е., Ачкасов А.И., Башаркевич И.Л. и др.* Геохимические особенности сельскохозяйственных территорий // Тр. Биогеохим. лаб., 1991, т. 22, с. 147-171.

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

85. *Сает Ю.Е., Несвижская Н.И.* Изучение форм нахождения элементов во вторичных ореолах рассеяния.- М.: ВИЭМС, 1974.- 45 с.

86. *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.

87. *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.

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

89. *Сает Ю.Е., Янин Е.П.* Геохимические закономерности образования антропогенных потоков рассеяния химических элементов в малых реках // Методы изучения техногенных геохимических аномалий.- М.: ИМГРЭ, 1984, с. 31-44.

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

91. *Сает Ю.Е., Янин Е.П.* О комплексном составе техногенных гидрохимических аномалий // Водные ресурсы, 1991, N 2, с. 135-140.

92. *Сауков А.А.* Геохимия.- М.: Наука, 1975.- 480 с.

93. *Сауков А.А.* Геохимические очерки.- М.: Наука, 1976.- 556 с.

94. *Сафронов Н.И.* Основы геохимических методов поисков рудных месторождений (методическое пособие): Ч. 1. - Л.: ВИТР, 1962.- 145 с.

95. *Сафронов Н.И.* Основы геохимических методов поисков рудных месторождений.- Л.: Недра, 1971.- 216 с.

96. *Солнцев В.Н.* Системная организация ландшафтов.- М.: Мысль, 1981.- 239 с.

97. *Соловов А.П.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых.- М.: Недра, 1985.- 294 с.

98. *Сорокина Е.П., Янин Е.П., Авессаломова И.А. и др.* Разработка геохимической основы методики изучения загрязнения окружающей среды химическими элементами в условиях Европейской части СССР. В 3 т. Т. 3.- М.: ИМГРЭ, 1983, с. 1-88.

99. *Справочник* по геохимическим поискам полезных ископаемых.- М.: Недра, 1990.- 335 с.

100. *Таусон Л.В., Гундобин Г.М., Зорина И.Д.* Геохимические поля рудномагматических систем.- Новосибирск: Наука, 1987.- 202 с.

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

102. *Токсикометрия* химических веществ, загрязняющих окружающую среду.- М.: Внешторгиздат, 1986.- 426 с.

103. *Трофимов Н.Н., Рычков А.И.* Геохимические поля элементов широкого рассеяния и поиски глубокозалегающих рудных месторождений.- М.: Недра, 1979.- 172 с.

104. *Ферсман А.Е.* Химические проблемы промышленности.-Л.:Химтехиздат,1924.-52 с.

105. *Ферсман А.Е.* Периодический закон количества элементов // ДАН СССР, сер. А, 1932, № 11, с. 261-266.

106. *Ферсман А.Е.* Геохимия: Т. 1.- Л.: ОНТИ-Госхимтехиздат, 1934.- 324 с.

107. *Ферсман А.Е.* Геохимия: Т. 2.- Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1934.-354 с.

108. *Ферсман А.Е.* Геохимия: Т. 3.- Л.: Госхимтехиздат, 1937.- 503 с.

109. *Ферсман А.Е.* Избранные труды. Т. V.-М.:Изд-во АН СССР, 1959.-858 с.

110. *Философский* энциклопедический словарь.- М.: Сов. энциклопедия, 1989.- 815 с.

111. *Форстер Г.* Взгляд на природу в целом // Избр. произвед.: Пер. с нем.- М.: Изд-во АН СССР, 1960, с. 451-468.

112. *Фортескью Дж.* Геохимия окружающей среды: Пер. с англ.- М. :Прогресс, 1985.- 360 с.

113. *Шоу Д.М.* Геохимия микроэлементов кристаллических пород: Пер. с франц.- Л.: Недра, 1969.- 207 с.

114. *Щербина В.В. Неаполитанская В.С.* Вклад В.И.Вернадского в развитие геологии и геохимии // Сов. геология, 1963, № 3, с. 3-17.

115. *Янин Е.П.* Геохимические особенности малых рек сельскохозяйственных ландшафтов // География и природные ресурсы, 1985, N 1, с. 167-168.

116. *Янин Е.П.* Техногенные потоки рассеяния химических элементов в донных отложениях поверхностных водотоков // Сов. геология, 1988, № 10, с. 101-109.

117. *Янин Е.П.* Экогеохимическая оценка загрязнения реки Нуры ртутью.- М.: ИМГРЭ, 1989.- 43 с.

118. *Янин Е.П.* Ртуть в окружающей среде промышленного города.- М.: ИМГРЭ, 1992.- 169 с.

119. *Янин Е.П.* Экологическая геохимия горнопромышленных территорий.- М.: Геоинформмарк, 1993.- 50 с.

120. *Янин Е.П.* Геохимические особенности и экологическое значение техногенных илов // Разведка и охрана недр, 1994, № 5, с. 35-37.

121. *Янин Е.П.* Фтор в питьевых водах города Саранска и его гигиеническое значение.- М.: ИМГРЭ, 1996.- 58 с.

122. *Янин Е.П.* Геохимические особенности осадков сточных вод промышленного города.- М.: ИМГРЭ, 1996.- 41 с.

123. *Янин Е.П.* Экологическая геохимия: исходные положения и эмпирические обобщения // Проблемы экологической минералогии и геохимии: Тез. докл. Годичного собр. Минерал. общества РАН, С.-Петербург, 21-23 мая 1997 г.- СПб., 1997, с. 5-6.

124. *Янин Е.П.* Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты).- М.: ИМГРЭ, 1998.- 281 с.

125. *Янин Е.П.* Экологическая геохимия: задачи, исходные положения, эмпирические обобщения и методы исследований // Геоэкологическое картографирование. Тез. докл. Всеросс. науч.-практ. конф. (пос. Зеленый, 24-27 февраля 1998 г.): Ч. II.- М., 1998, с. 126-128.

126. *Янин Е.П.* Истоки, принципы и основные понятия экологической геохимии // Геохимические исследования городских агломераций.- М.: ИМГРЭ, 1998, с.13-40.

127. *Янин Е.П.* К истории эколого-геохимических исследований в ИМГРЭ // Геохимические исследования городских агломераций.- М.: ИМГРЭ, 1998, с. 158-165.

128. *Янин Е.П.* Экологическая геохимия: научные основы, предмет, объект и задачи исследований // Вторая Российская школа "Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы". Мат-лы (тезисы, доклады, воспоминания).- М.: ГЕОХИ РАН, 1999, с. 112-113.

129. *Янин Е.П.* Принципы и методические основы эколого-геохимических исследований // Отечественная геология, 1999, № 1, с. 54-58.

130. *Янин Е.П.* Трансформация химического состава подземных вод при их эксплуатации для водоснабжения города Саранска // Геологический вестник центральных районов России, 1999, № 1-2, с. 37-41.

131. *Янин Е.П., Разенкова Н.И., Журавлева М.Г.* Техногенные илы - потенциальный источник вторичного загрязнения речных систем // Геоэкологические исследования и охрана недр.- М.: Геоинформмарк, 1992, вып. 1, с. 43-52.

132. *Environmental* Chtmistry. A Review of the Literature published up to mid-1980.- The Royal Society of chemistry: Burlington House, London, 1982.- 265 p.

133. *Forstner U., Wittmann G.T.W.* Metal pollution in the aquatic environment.- Berlin etc.: Springer-Verlag, 1979.- 486 p.

134. *Goldschmidt V.M.* Geochemistry.- Oxford: Clarendon Press, 1954.- 730 p.

135. *Hughes M.* The urban ecosystem // Biologist, 1974, 21, № 3, p. 117-127.

136. *Wood J.M.* Biological cycles for toxic elements in the environment // Science, 1974, 183, p. 1049-1054.

137. *Wood J.M.* Biological cycles for elements in the environment // Die Naturwissenschaften, 1975, 8, p. 357-365.

138. *Wood J.M., Goldberg E.D.* Impact of metals on the biosphere // Global Chemical Cycles and Their Alterations by man. Rept. Dahlem Workshop Berlin, 1976.- Berlin: Dahlem Konferenzen, 1977, p.137-153.

Содержание

Предисловие……..……3

К истории становления экологической геохимии
как научной дисциплины……...6

Объект, предмет и содержание экологической геохимии..……..12

Теоретические основы экологической геохимии……...16

Основные понятия и методы экологической геохимии…….31

Важнейшие особенности деятельности человека
как геохимического фактора……...44

Литература……62

Янин Евгений Петрович
Введение в экологическую геохимию

Утверждено к печати
Институтом минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов

Редактор Т.И. Нефелова
Подписано к печати 6.10.99.
Формат 60x90 1/16. Уч. изд. л. 4,4.
Тираж 120. Заказ 8-99.
Полиграфическая база ИМГРЭ.