

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Институт Минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ГОРОДСКИХ АГЛЮМЕРАЦИЙ

сборник научных статей



Москва - 1998

Е.П. Янин

Истоки, принципы и основные понятия экологической геохимии

*Наука едина и все без исключения
области ее ведения теснейшим образом
междуд собой связаны.*

В.И. Вернацкий

С геохимической точки зрения любые естественные образования – природное (геологическое) тело, экосистема, глобальная геосфера – определяются, прежде всего, своим элементарным химическим составом, т.е. количественным распределением химических элементов в слагающих их компонентах. Химический состав глобальной экосистемы – биосфера – в разных местах земной поверхности различен, причем, как отмечал В.И.Вернацкий [12], различен закономерно, и теснейшим образом связан с геологическим характером местности, с ее литологическим составом, со существами разных форм жизни; живое вещество охватывает и регулирует в области биосферы все или почти все химические элементы. Геохимическая неоднородность (гетерогенность) является характерной особенностью строения биосферы, основным ее проявлением. Установление закономерностей изменения химического состава биосферы, экосистем разного уровня организации и слагающих их компонентов в условиях антропогенного (техногенного) воздействия, обуславливающего еще большую дифференциацию геохимических полей, является важнейшей задачей современного естествознания.

Решение указанной задачи возложено на комплекс научных дисциплин геохимического профиля, среди которых называют геохимию антропогенеза, геохимию техногенеза, технобиогеохимию, техногенную геохимию, геохимию окружающей среды, экотехногенную ландшафт, биогеохимию окружающей среды. Возможно, что любое из приведенных выше названий, определяющих, по мнению их авторов, новую научную дисциплину, имеет право на свое существование. В.И.Вернацкий, говоря о проблеме терминологии в науке, подчеркивал, что "название... безразлично и условно. Гораздо важнее факт, научное явление, здесь выявляющееся" [12, с. 41].

Геохимическое преобразование биосфера человеческой деятельностью - факт доказанный и общеизвестный. Одной из научных дисциплин, призванных изучать данное явление, является экологическая геохимия, имеющей свой объект и предмет исследования, свои специфические методы исследования, свои принципы и положения, наконец, свои цели, задачи и проблемы.

В.И.Вернадский, касаясь вопросов генезиса новых научных дисциплин, утверждал, что "новые науки...создаются по своим собственным законам; эти законы не стоят ни в какой связи ни с нашей волей, ни с нашей логикой". Именно поэтому "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..." [15, с. 8-9]. С этой точки зрения, по мнению ученого, очень показательно зарождение и развитие геохимии, имеющей своей задачей изучение истории химических элементов в земной коре. Он писал: "Геохимия является последней наукой геологического цикла, которая выделилась в девятнадцатом столетии. Если мы посмотрим на ее историю, то мы сейчас же столкнемся с теми явлениями, которые характерны для всякого подобного процесса. Мы, современники, не в состоянии дать историку выделения этой науки. Мы видим проблемы, которыми она занимается, мы знаем, что сейчас она вступила в область конструирования, но дать точные даты, выявить когда, собственно говоря, эта отрасль знания явилась на историческую арену человеческой мысли мы не можем" [там же, с. 9].

Возникновение и развитие научных дисциплин во многом диктуется насущными проблемами, обусловленными развитием общества, техники, хозяйства. Особенно актуальны проблемы, возникающие в процессе взаимодействия природы и общества. В.И.Вернадский, характеризуя необходимость развития геохимических исследований, отмечал: "Подходы к научному изучению природы, мы никогда не должны и не можем забывать, что оно всегда 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" [10, с. 21].

Важнейшей целью геохимии является детальное познание истории химических элементов, принимающих участие в основных процессах на Земле, которые в конечном счете контролируют состояние среды обитания

человека. В настоящее время скорость и направленность многих процессов нарушены или изменены в результате человеческой деятельности. Чтобы понять, оценить, контролировать эти процессы, необходимо изучить их на атомарно-молекулярном уровне. Именно в геохимии, имеющей экологическую основу (в широком понимании этого термина), заложены возможностями открытия новых путей для расширения объема и углубления достоверности научных знаний об этих процессах, а следовательно, для практического применения ее законов и достижений.

В свое время В.И.Вернадский показал, что "живое вещество в биосфере играет основную активную роль и по своей мощности ни с чем, ни с какой геологической силой не может даже быть сравниваемо по своей интенсивности и непрерывности во времени. В сущности оно определяет все основные химические закономерности в биосфере" [12, с. 220]. Это позволило ему обосновать положение о биогеохимических функциях живого вещества, которые распространяются на всю планету, не зависят от территориальных условий и химически отражаются на окружающей организме внешней среде. Оно нашло свое выражение в биогеохимических принципах, суть которых заключается в том, что, во-первых, биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к своему максимальному проявлению, во-вторых, эволюция видов идет в направлении, увеличивающем биогенную миграцию атомов в биосфере. Оба принципа, по мнению ученого, определяют ту организованность, которую проявляет биогенная миграция атомов живого вещества в аспекте геологического времени [11;12].

В качестве новой геологической силы В.И.Вернадский выделил биогеохимическую функцию человечества, являющуюся неотъемлемой частью живого вещества, а в качестве нового для биосферы вида геохимической миграции - биогенную миграцию атомов 3-го рода, иначе пол вищением человека ("его жизни, воли, разума") и которая сейчас доминирует на нашей планете. Впервые было показано, что преобразование природы деятельности человека является в основе своей геохимическим процессом, имеет глобальный характер и есть закономерное явление в геологической истории Земли [8-15]. "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 расступшее множество новых для нее косых 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 зволовлением процессом, длительность которого исчисляется сотнями миллионов лет...” [13, с. 27-28]. При этом “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” [10, с. 71]. В.И.Вернадский отмечает возможность неожиданных и не предвиденных последствий воздействия человека на биосферу и называет наименее устойчивые среды: атмосферу и воды. “Лик планеты - биосфера - химически резко меняется человеком, сознательно и главным образом, бессознательно. Меняется человеком физически и химически воздушная оболочка суши, все ее природные воды” [11, с. 219].

Один из крупнейших экологов нашего времени Р.Маргальефф 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” [30, с. 177].

Внешнее проявление этого “стихийного природного процесса”, названного А.Е.Ферманом техногенезом, в утилитарном понимании может быть как отрицательным (что, к сожалению, наблюдается чаще всего), так и положительным. В случае отрицательного воздействия происходит разрушение биосферы и деградация слагающих ее компонентов и природных тел, положительное влияние способствует, по мнению В.И.Вернадского, переходу биосферы в ее новое зволовационное состояние - ноосферу, которая отличается прежде всего благоприятными условиями для проживания человека и нормального функционирования всей биосферы в целом. И когда - Бернадский считал, что в ближайшем историческом будущем - человек от неразумного, бессознательного, во многом негативного вмешательства в природные процессы переходит к разумному преобразованию биосферы в интересах своих и самой биосферы. Именно В.И.Вернадским впервые была обозначена важнейшая проблема современности, ставшая для человечества глобальной, - проблема изменения химического состава окружающей среды (или, в утилитарном понимании, проблема “загрязнения окружающей

среды”) под воздействием человеческой деятельности и обоснованы методологические принципы изучения этого явления.

Новая отрасль знания, призванная изучать влияние жизни (живого вещества) на геохимические процессы, была названа В.И.Вернадским биогеохимией. Он отмечал, что “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 свелено к биогеохимической роли человечества” [11, с. 12]. Таким образом, им явственно были обозначены три важнейших направления геохимического изучения биосферы, которые сейчас по сути оформлены, по мнению автора этих строк, в самостоятельные научные дисциплины, тесно взаимодействующие между собой: геохимическая экология [27], включая учение о биогеохимических провинциях [17] и учение о микроэлементах [2], геохимия окружающей среды [4,23;63] и экологическая геохимия. Главный объект, который изучается указанными геохимическими дисциплинами, - химический элемент; основной предмет исследования - поведение (история) химических элементов в биосфере (окружающей среде, средеabitания). Однако подходы к изучению, предмет, цели и задачи, используемые методы, решаемые проблемы - достаточно специфичны.

“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 - биосфера” [27, с. 5]. Основная ее задача - выяснение процессов приспособления организмов, получающих и других сообществ к геохимическим условиям окружающей среды. Важнейшим объектом исследования являются живые организмы и их реакция на геохимическое воздействие. Если воспользоваться аналогией В.И.Вернадского [12], 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.

Главной целью геохимии окружающей среды является глобальная оценка поступления химических элементов в геосферу Земли, в биосферу в целом, важнейшими задачами - изучение химического состава геосистем, выявление закономерностей его изменения и установление геохимической связи, существующей между природными системами, с точки зрения

формирования глобальной среды обитания человека. Предметом исследований является окружающая геохимическая среда, т.е. совокупность природных и природно-антропогенных тел, геохимических явлений и факторов, прямо или косвенно влияющих на условия жизни человека. Подходы геохимии окружающей среды основаны на важнейшем положении биогеохимии о том, что в биосфере все химические элементы оканчены живым веществом.

Экологическая геохимия (экогеохимия) является научной дисциплиной, изучающей поведение (поступление, рассеяние, миграцию, концентрирование, трансформацию, биологопищение) химических элементов в окружающей среде (биосфере) в связи с деятельностью (в самом широком смысле) человека. Основной объект изучения экогеохимии - химические элементы, спланифика поведения которых обусловлена деятельностью человека или миграция которых осуществляется в среде, преобразованной деятельности человека, и которые, в свою очередь, оказывают влияние на человека. Предметом экологической геохимии являются геохимические процессы и взаимодействия в окружающей среде, обусловленные сложным сочетанием природных, природно-техногенных и техногенных факторов, а также последствия таких процессов и взаимодействий. Ее важнейшие задачи - установление закономерностей формирования, строения и динамики развития техногенных (в отдельных случаях природных) геохимических аномалий - участков аномальных содержаний химических элементов и их соединений, формирующихся в среде обитания человека в результате взаимодействия техногенных и природных факторов, процессов, явлений, и оценка их экологической значимости. Если следовать В.И.Вернадскому, то экологическая геохимия изучает геохимическую роль человечества, геохимические последствия деятельности человечества и влияние последней на организованность биосферы. Коротко можно сказать, что экогеохимия изучает благенную миграцию атомов 3-го рода, "идущей под влиянием человеческой жизни, воли, разума и которая сейчас доминирует на нашей планете".

В настоящее время не существует общепринятой definции термина (понятия) "окружающая среда", не ясно также его соотношение с понятием "биосфера". Чаще всего понятие "окружающая среда" применяют не как общенародное, а как утилитарное понятие для определения экологических условий жизни человека или группы живых организмов в условиях антропогенного воздействия. Иногда оба понятия - биосфера и окружающая среда - отождествляют. С практических позиций точное определение этих двух широко используемых терминов не имеет принципиального значения: актуальна мысль 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 плодотворного и точного научного исследования, раз толко они являются не абстрактными созданиями нашего ума, а определенным проявлением Природы, реально существующей" [10, с. 181]. В методологическом отношении эти понятия, вероятно, необходимо различать. Согласно В.И.Вернадскому [9], биосфера - это область существования живого вещества. При этом ее предметы ограничены так называемым полем существования жизни, в котором условия позволяют организму давать потомство и увеличивать живую массу. Вернадский писал и о так называемом поле устойчивости жизни, в котором условия, которого организм имеет возможность только выжить. Таким образом, окружающая среда включает в себя и поле существования жизни, и поле устойчивости жизни. Тем не менее сегодня, несомненно, оба понятия имеют право на существование, а имеющиеся между ними различия вряд ли способны внести методологическую путаницу в соответствующие исследования. В отдельных случаях, особенно с утилитарных позиций, использование термина "окружающая среда" ("среда обитания") даже удобнее, поскольку позволяет говорить о природной, жилой, производственной, городской среде и т.п.

Следует также отметить и некоторую условность противопоставления терминов "природный" и "техногенный" (например, природные и техногенные процессы, явления, объекты). Живое вещество (включая человечество), как постоянно подчеркивал В.И. Вернадский, "есть природное тело или явление в биосфере" [13, с. 25]. В свою очередь, изменение биосфера "организованным человеческим трудом (т. е. техногенезом - Е.Я.) есть стихийный природный процесс". Именно поэтому так называемые техногенные процессы в сущности являются процессами природными, идущими уже не в масштабе геологического времени, а в масштабе исторического времени.

Словосочетания "экологическая геохимия", "эколого-геохимические исследования" сегодня прочно утвердились в научной литературе. Как правило, любые исследования или оценки состояния (качества) среды обитания, осуществляемые посредством изучения распределения химических элементов и их соединений в различных природных и природно-техногенных образованиях, относят к эколого-геохимическим исследованиям. Подавляющее большинство подобных исследований (работ направлена, главным образом, на констатацию факта «загрязнения»)

окружающей среды. Как не удивительно, но работ, посвященных методологическим аспектам указанных исследований, практически нет. Есть лишь редкие исключения [18-68]. Видимо, это нормальное явление, поскольку "простое" накопление научных фактов - закономерный этап в развитии любой научной дисциплины. Как писал В.Н.Беклемишев, "для плодотворного исследования вовсе незачем особенно раздумывать над методами и принципами науки; для правильного мышления знание законов, его определяющих, - не нужно. Фактически наука, действительно, всегда развивается раньше своей методологии. Наука развивается интуитивным применением правильных, но еще не осознанных методов, изобретаемых по мере надобности в течение работы... Методология не дает рецептов и не избирает методов; она не нужна для накопления знаний" [3, с. 18]. В то же время, он отмечал, что наука не есть просто собрание установленных сведений, поскольку такое собрание легко может оказаться грудой фактов и обобщений; наука же должна быть знанием, наука есть систематическое единство или, по крайней мере, стремится быть таковой. "Точность и определенность понятий, единобразие и отсутствие противоречий в употреблении терминов - вот первые условия научного разнообразия знания" [3, с. 18]. Еще одна причина, на которую указывает С.С.Розова [43], связана с тем, что, как правило, основная масса ученых просто не занимается методологией науки, роль которой они оценивают высоко, но часто лишь на уровне общей декларации. В итоге методология науки оказывается чем-то внешним по отношению к деятельности ученого. Как правило, 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" [3, с. 20].

Новая научная дисциплина - экологическая геохимия - молодая наука. Можно утверждать, что основная масса полученных фактов и существующих идей верна и в наименее время в экогеохимии, главным образом стихийно, идет процесс разработки научно-методических основ и принципов исследований, понятной базы, идет процесс формирования своей собственной методологии. Используемая экологической геохимией система понятий, терминов, положений органически связывает ее на единой научно-методологической основе с научными и прикладными дисциплинами геологического, географического, биологического и гигиенического профиля. На современном этапе становления экогеохимии 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 [43], заключается в адаптации к новой задаче или к новой ситуации всего предшествующего познавательного и практического опыта с целью выработки на базе этого опыта плана или проекта деятельности по решению новой задачи или по осознанию новой ситуации. Не следует также забывать орiginальное высказывание В.И. Вернадского о том, что в настоящее время ученые специализируются не по наукам, а по решаемым проблемам.

Методология и важнейшие методические приемы экологической геохимии основываются на понятиях, принципах, обобщениях и методах общей геохимии, биогеохимии, практической геохимии, геохимии ландшафтов, экологии. Можно считать, что экогеохимия как фундаментальная научная дисциплина, изучающая геохимическую деятельность человечества как своеобразный и закономерный феномен в истории биосферы, "вышла" из недр общей геохимии и биогеохимии. Экогеохимия как прикладная наука, с практической точки зрения изучает па геохимические последствия деятельности человека, основывающиеся на методах прикладной (поисковой) геохимии и геохимии ландшафтов.

Важнейшими положениями общей и прикладной геохимии, биогеохимии и геохимии ландшафтов, имеющими первостепенное значение для понимания геохимической структуры и функционирования биосферы и ее составных частей (экосистем), являются следующие эмпирические обобщения, подтвержденные неопровергнутыми опытными данными [8-15;21;22;27;28;34;36-38;54-56;60-62]:

1) повсеместное распространение химических элементов во всех геосферах, где они находятся в устойчивых динамических равновесиях, различных для каждой среды (закон Кларка-Вернадского);
2) поведение химических элементов в геосферах определяется в основном строением их атомов, отраженным периодической системой Менделеева: распространение (кир) в большей степени связано со строением и устойчивостью ядер атомов; миграция определяется главным образом строением внешних электронных оболочек (закон Гольдсмита-Вернадского);

3) непрерывная миграция (перемещение) химических элементов (атомов и соединений) во времени и пространстве, осуществляется в биосфере или при непосредственном участии живого вещества, или в среде, геохимические особенности которой обусловлены живым веществом (закон Вернадского);
4) цикличность геохимических процессов, в значительной мере осуществляется при участии живого вещества, включая переход элементов

в течение геологического времени из одной геосфера в другую (непрерывный круговой процесс химических элементов В.И.Вернадского);

5) 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 характерна тесная связь и взаимное огромное влияние;

6) 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 кластиком и высокой технофильностью;

7) неразрывность живого вещества и окружающей среды (принцип неразрывности Вернадского: "явлении жизни и явления мертвой природы...являются проявлением единого процесса");

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

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

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

Повсеместная распространенность химических элементов подтверждается общирным эмпирическим материалом и в настоящее время не вызывает сомнения. «В капле воды мы должны найти все химические элементы», - образно писал В.И.Вернадский [12, с. 210]. По предложению Н.И. Сафронова [55], закон о повсеместном распространении всех элементов периодической системы Менделеева в любом объеме земного вещества был назван законом Кларка-Вернадского. Этот закон лежит в основе представлений о геохимическом поле, где в качестве признаков рассматриваются показатели химического состава исследуемого объекта [16].

По А.П.Соловьеву [56], геохимическим полем является геологическое пространство, характеризованное цифрами содержаний химического элемента как функциями координат и времени. Согласно Л.В.Гаусону и его коллег, пол геохимическим полем понимается "геологически однородное

геохимические поля концентрирования. Любая экосистема (геосистема) должна характеризоваться присущим только ей геохимическим полем.

Н.И.Сафроновым [55] было сформулировано понятие о "всебшем геохимическом поле рассеяния элементов в земном пространстве".

Отражением всеобщей распространенности элементов служат их кластики, т.е., по А.Е.Ферсману, средние содержания химических элементов в доступных для исследования геосферах (земной коре, гидросфере, биосфере, важнейших типах горных пород). В последнее время принято говорить о глобальных и региональных («фермах», по В.В.Иванову [24]) кластиках элементов. Кластики различных геосфер или их крупных частей являются важными планетарными и региональными константами, знание которых необходимо для понимания многих геохимических процессов. В.И.Вернадским для характеристики относительного содержания элементов была введена еще одна единица измерения - кластик концентрации (вернал, по В.В.Иванову [24]). Он представляет собой отношение содержания химического элемента в рассматриваемом объекте к кластику элемента (среднему содержанию) в земной коре. Как правило, кластики элементов не зависят от химических свойств последних, т. е. от строения электронных оболочек атомов, определяющих эти свойства. В то же время, отчетливо устанавливается связь кластиков со строением атомного ядра. В земной коре преобладают элементы с легкими ядрами, содержащими четное число протонов, т.е. обладающие четными порядковыми номерами. Эта особенность распространения элементов была установлена Г.Одло и В.Гаркином. А.Е.Ферсман [61] показал, что с утяжелением атомного ядра кластики элементов уменьшаются.

Методологической основой целостного подхода к геохимическим процессам, идущим в различных геосферах и особенно в биосфере, является учение о геохимических циклах, о "непрерывных круговых процессах химических элементов", идущих при участии живого вещества [8;9]. Указанные циклы осуществляются как в пределах конкретной геосфера ("вторичные круговые процессы" В.И.Вернадского), так и посредством круговорота химических элементов из одной геосфера в другую ("первичные круговые процессы"). Как отмечал В.И.Вернадский [14], геохимическая история химических элементов в значительной мере основана на изучении законов таких миграций атомов; "в истории всех без исключения минеральных тел на земной поверхности мы имеем ясно выраженный круговой процесс их образования". Человек в той или иной степени нарушает скорости потока химических веществ как в границах одной геосфера, так и между главными геосферами (атмосферой, гидросферой, литосферой, биосферой). Это в сущности и определяет

возникновение современной экологической проблемы, связанной с глобальным изменением химического состава биосфера и идущих в ней геохимических процессов, т. е. проблемы "загрязнения окружающей среды" [4;5;26;29;32;51;59].

Современное состояние геохимического поля является временной стадией длительных процессов перегруппировки элементов, осуществляемых путем миграции, которую А.Е.Ферсман [62] определял как комплекс процессов, осуществляемых во времени и ведущих к пространственному перемещению химического элемента, с изменением его содержания в данном участке, с накоплением или рассеянием в других участках. Интенсивность миграции во многом обусловлена химическими свойствами элементов, одновременно определяясь и их кларками. Это отражено в законе, сформулированном В.М.Гольдшмидтом: кларки элементов в земной коре в основном зависят от строения их атомных ядер, а миграция - от строения электронных оболочек и ядер. Зависимость поведения и распространенности элементов в земной коре от строения их атомного ядра еще раньше была показана В.И.Вернадским, поэтому логично называть этот закон геохимией законом Гольдшмидта-Вернадского. Согласно ему, 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. Специфика миграции химических элементов зависит от многочисленных и разнообразных внешних факторов (факторов среды миграции). Сочетание последних создает геохимическую обстановку миграции, в которой протекают геохимические процессы, обуславливающие перераспределение химических элементов, приводящее, в свою очередь, к их рассеянию или концентрированию в том или ином компоненте (объекте среды), что сопровождается возникновением природных образований с различными контрастными (абсолютными и относительными) соотношениями между элементами. 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 гипертенных новообразований. По предложению А.И.Перельмана [37], подобные геохимические сопротивления, в пределах которых на коротком расстоянии происходит резкая смена условий миграции элементов, называют геохимическими барьераами.

В ходе миграционных процессов осуществляется дифференциация вещества, что определяет зональность распределения химических элементов в геологических системах. Дифференциация вещества Земли - есть закономерное отражение движения и развития материи в диалектическом единстве пространства и времени, что особенно проявляется в геологических процессах и в тех закономерностях, которые определяют образование продуктов этих процессов [34]. Последние характеризуют единство зональности и стадийности - дифференциации в движении, динамической дифференциации, осуществляющейся 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.

В результате непрерывно идущих процессов рассеяния и концентрирования, для разных элементов проявляющихся различно, химический состав экосистем, составных частей, геологических тел и образований отличается количественной неоднородностью (геохимической гетерогенностью), выраженной в изменчивости содержащих химических элементов в разных участках геохимического поля. Практически каждое геологическое тело отличается ясной индивидуальностью химического состава, т. е. ему соответствует определенный участок геохимического поля, отличающийся рядом признаков от других участков, соответствующих таким геологическим типам того же уровня [16]. Для характеристики свойств под которыми А.Е.Ферсман [62] понимал сообщество химических элементов, отражающих дифференциацию геохимического поля, которые исторически и закономерно сложились на тех или иных участках земной коры и характеризуются качественно-количественными параметрами.

Химический элемент - это совокупность (по образному выражению В.И.Вернадского, - изотопическая смесь) атомов с одинаковым зарядом ядра. В свою очередь, атомы - мельчайшие частицы, сохраняющие свойства элементов, состоя из различных сочетаний нуклонов в их ядрах. В зависимости от характера сочетания различают три типа нуклидов - изотопы, изобары и изотоны [34]. При характеристиках геохимического поля, геохимических процессов миграции, рассеяния и концентрирования огромное значение имеет знание вида существования, фазового состояния (формы миграции) и формы нахождения химических элементов. Вид существования обусловлен внутренними свойствами химического элемента, формы нахождения - внешней средой. Различное сочетание этих двух факторов определяет поведение химического элемента в геохимических процессах, пути его миграции и условия накопления [34]. По виду

возникновение современной экологической проблемы, связанной с глобальным изменением химического состава биосфера и идущих в ней геохимических процессов, т. е. проблемы "загрязнения окружающей среды" [4;5;26;29;32;51;59].

Современное состояние геохимического поля является временной стадией длительных процессов перегруппировки элементов, осуществляемых путем миграции, которую А.Е.Ферсман [62] определял как комплекс процессов, осуществляемых во времени и ведущих к пространственному перемещению химического элемента, с изменением его содержания в данном участке, с накоплением или рассеянием в других участках. Интенсивность миграции во многом обусловлена химическими свойствами элементов, одновременно определяясь и их кларками. Это отражено в законе, сформулированном В.М.Гольдшмидтом: кларки элементов в земной коре в основном зависят от строения их атомных ядер, а миграция - от строения электронных оболочек и ядер. Зависимость поведения и распространенности элементов в земной коре от строения их атомного ядра еще раньше была показана В.И.Вернадским, поэтому логично называть этот закон геохимией законом Гольдшмита-Вернадского. Согласно ему, 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. Специфика миграции химических элементов зависит от многочисленных и разнообразных внешних факторов (факторов среды миграции). Сочетание последних создает геохимическую обстановку миграции, в которой протекают геохимические процессы, обуславливающие перераспределение химических элементов, приводящее, в свою очередь, к их рассеянию или концентрированию в том или ином компоненте (объекте среды), что сопровождается возникновением природных образований с различными комплементарными (абсолютными и относительными) соотношениями между элементами. 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 гипсогенных новообразований. По предложению А.И.Перельмана [37], подобные геохимические сопряжения, в пределах которых на коротком расстоянии происходит резкая смена условий миграции элементов, называют геохимическими барьераами.

В ходе миграционных процессов осуществляется дифференциация вещества, что определяет зональность распределения химических элементов в геологических системах. Дифференциация вещества Земли - есть закономерное выражение движения и развития материи в диалектическом единстве пространства и времени, что особенно проявляется в геологических процессах и в тех закономерностях, которые определяют образование продуктов этих процессов [34]. Последние характеризуют единство зональности и стадийности - дифференциации в движении, динамической дифференциации, осуществляющей 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.

В результате непрерывно идущих процессов рассеяния и концентрирования, для разных элементов проявляющихся различно, химический состав экосистем, составных частей, геологических тел и образований отличается количественной неоднородностью (геохимической гетерогенностью), выраженной в изменчивости содержаний химических элементов в разных участках геохимического поля. Практически каждое геологическое тело отличается ясной индивидуальностью химического состава, т. е. ему соответствует определенный участок геохимического поля, отличный по ряду признаков от других участков, соответствующих геологическим типам того же уровня [16]. Для характеристики свойств таких геологических тел используют понятие "геохимические ассоциации", под которыми А.Е.Ферсман [62] понимал сообщества химических элементов, отражающих дифференциацию геохимического поля, которые исторически и закономерно сложились на тех или иных участках земной коры и характеризуются качественно-количественными параметрами.

Химический элемент - это совокупность (по образному выражению В.И.Вернадского, - изотопическая смесь) атомов с одинаковым зарядом ядра. В свою очередь, атомы - меньшие частицы, сохраняющие свойства элементов, состоящих из различных сочетаний нуклонов в их ядрах. В зависимости от характера сочетания различают три типа нуклидов - изотопы, изобары и изотоны [34]. При характеристиках геохимического поля, геохимических процессов миграции, рассеяния и концентрирования огромное значение имеет знание вида существования, фазового состояния (формы миграции) и формы нахождения химических элементов. Вид существования обусловлен внутренними свойствами химического элемента, формы нахождения - внешней средой. Различное сочетание этих двух факторов определяет поведение химического элемента в геохимических процессах, пути его миграции и условия накопления [34]. По виду

существования изотопы делят на стабильные (устойчивые) и нестабильные (радиоактивные). Естественных изотопов 340, из них 273 относят к стабильным. По мере совершенствования измерений количество выявленных радиоактивных изотопов постепенно растет. В условиях зон гиперенеза химические элементы могут мигрировать в трех основных фазовых состояниях - газообразном, растворенном (в растворах) и твердом:

Формы нахождения химических элементов отличаются значительным многообразием, что находит отражение в множестве их природных химических соединений, механических смесей и растворов, которые химические элементы образуют в различных фазовых и агрегатных состояниях, а также в многообразии физико-химических связей между элементами. Наряду с минеральной формой существования химических элементов, насчитывающей около трех тысяч видов, широко проявлены безминеральные формы, которые для гидросфера, атмосфера и биосфера служат основной формой нахождения большинства элементов. Достаточно широко развита безминеральная форма и в литосфере. Особое значение имеет биогенное состояние химических элементов, их нахождение в живых организмах в виде органических и неорганических соединений. Многочисленные эмпирические данные и соответствующие расчеты показывают, что преобладающим для всех элементов является рассеянное состояние. Глобальные геохимические циклы, их интенсивность, во многом определяются видом существования химических элементов, их формами нахождения и миграции, а в конечном счете контролируются химической активностью и физико-химическими свойствами элементов и соединений на атомно-молекулярном уровне. Одна из важнейших, интереснейших и наименее изученных проблем геохимии - выяснение роли живого вещества и, в частности, деятельности человека в дифференциации изотопического состава элементов.

Количественной мерой рассеяния является его клярк А.Е.Ферсман [62] назвал рассеянным такое существование элемента природе, при котором его содержание не превышает клярка, т.е. клярк концентрации которых меньше единицы. Концентрирование элементов явление, обратное рассеянию, приводящее в предельных случаях формированию месторождений. Как отмечает А.Л.Соловьев [56], в процессе миграции химических элементов возможно возникновение природных образований с практическим любым (весьма низким или очень высоким) содержанием конкретного элемента. Поэтому он предпагает понимать под рассеянным состоянием последнего содержания, близкие к его клярку, а под концентрированным - близкие к его содержанию в полезных ископаемых, которых этот элемент извлекается в промышленных целях. Понятие

"рассеяние" и "концентрирование" чаще всего применяется к микроэлементам ("следовым элементам", в число которых входит большая часть так называемых тяжелых металлов), т.е. элементам, глобальная распространенность которых не превышает 0,1%. Процесс концентрирования вещества в естественных условиях земной коры крайне редок и протекает в очень специфичных условиях.

В основе теории геохимических методов поисковрудных месторождений лежит концепция, рассматривавшая процесс образования месторождений как единственно возможный переход химических элементов от исходного рассеянного состояния в земной коре и мантии к концентрированному состоянию с многоступенчатой дифференциацией, приводящей к обязательному образованию первичных геохимических ореолов [33]. Возникновение вторичных гипергенных ореолов и потоков рассеяния, связанное с разрушением месторождений и их первичных ореолов, является единственным 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 в общем случае принято выделять рудную часть, т.е. собственно рудные тела, и ореольную часть (первичные ореолы), т.е. участки околосруданого пространства, обогащенные (или обедненные) определенными компонентами, всегда синхроничные с рудными телами и представляющие собой их естественные продолжения [57]. В силу различных обстоятельств рудные тела и связанные с ними первичные ореолы подвергаются воздействию различных внешних факторов, что активизирует геохимические процессы и обуславливает миграцию вещества рудных тел и первичных ореолов. В конечном счете это приводит к формированию в зоне гиперенеза геохимических аномалий - вторичных ореолов и потоков рассеяния химических элементов в различных компонентах ландшафтов [31;34;44;55;56]. Длительное время для поисков месторождений полезных ископаемых успешно применяется комплекс геохимических методов, основанных на изучении вторичных ореолов и потоков рассеяния.

В ходе распространения загрязняющих веществ, поступающих от техногенных источников, в окружающей среде также образуются ореолы и потоки рассеяния, сходные с ореолами и потоками рассеяния рудных месторождений. Последние по сути являются своеобразными моделями зон техногенного загрязнения, тогда как собственно месторождение (рудное тело) выступает в роли "источника загрязнения" [45]. Это позволило использовать для выявления зон загрязнения и экogeохимической оценки

состояния окружающей среды методы и приемы прикладной геохимии, применяемые при поисках месторождений и геолого-съемочных работах [19;42;47;49;50;52]. Указанный подход получил дальнейшее развитие в ряде прикладных разработок [7;35;40;64] и обобщений [6;51;65;66]. Для понимания важнейших проблем и постановки основных задач изучения геохимического преобразования биосфера человеческой деятельностью важнейшее значение имеют следующие положения (эмпирические обобщения), в той или иной мере обозначенные Вернадским и получившие развитие в трудах его последователей.

1) преобразование природной среды деятельностью человека является геохимическим процессом и имеет глобальный характер;

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

3) изменение химического состава биосферы и ее составных частей есть закономерное явление в ее истории, происходящее при участии человека, независимо от его воли, "стихийно, как природный естественный процесс" темп которого постоянно увеличивается;

4) человек постепенно влияет все химические элементы и все химические процессы, известные в биосфере, в круг своего влияния и создает на земной поверхности "неустойчивые формы нахождения химических элементов";

5) техногенное воздействие является полизлементным источником загрязнения окружающей среды и приводит к формированию аномальных геохимических полей, фиксируемых прежде всего для химических элементов с высокой технофильностью, повышенной экотоксичностью, высоким уровнем бионаглоптения и/или обладающих явной биоактивностью;

6) техногенные процессы способны резко менять поведение химических элементов, вплоть до появления химических реакций и соединений, а также процессов и явлений, чуждых условиям биосферы;

7) 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 гео(эко)систем, новые типы живого величества, уничтожая целый ряд живых организмов, природных систем и геологических образований, которые раньше существовали;

8) наиболее сильное воздействие испытывают атмосфера и водные системы, причем "...ни где явления человеческой работы не скрываются так ярко и глубоко, как для царства вод пресных";

9) техника (как совокупность средств человеческой деятельности) и технологии (как совокупность методов производства) уже не могут рассматриваться только лишь как инструменты 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;

10) устойчивое развитие общества возможно лишь при должной оптимизации состояния окружающей среды с учетом происходящих в ней геохимических изменений, "необходимо изменение химической работы человечества".

Обычно изменение химических свойств окружающей среды, проявляющееся в увеличении содержаний химических элементов, но не связанное с естественными природными процессами, в настоящее время в обиходе называется ее "загрязнением". При использовании этого термина чаще всего в него вкладывается определенный санитарно-гигиенический (медицинско-биологический) смысл. Под загрязнением подразумевают количественное изменение в окружающей среде тех или иных свойств или появление новых свойств, уровень или интенсивность проявления которых можетказать неблагоприятное влияние на условия жизни и здоровье человека [51]. При таком понимании "загрязнение" - явление количественное. В этой связи уместно вспомнить о важнейшей концепции, принятой и развиваемой в геохимической экологии, о концепции пороговых, или критических, концентраций химических элементов [27]. Это дает основание согласиться с мнением В.Б.Ильина [25] о том, что правильнее говорить не о токсичных элементах вообще, а о токсичных концентрациях конкретных элементов (полупортантов). Таким образом, "загрязнение" может возникнуть не только техногенным способом, но и в связи с естественными причинами. Например, рудные месторождения и связанные с ними первичные и вторичные ореолы рассеяния могут рассматриваться как "природные" зоны загрязнения [20;45]. Выявление, изучение и оценка таких зон - одна из практических задач экогеохимии. Тем не менее, использование понятия "загрязнение биосфера" (окружающей среды, среды обитания) вполне оправдано и удобно, поскольку оно достаточно адекватно отражает сущность наблюдавшегося явления. В то же время, вряд ли правильно видеть главную задачу экогеохимии только в изучении последствий "загрязнения".

В.С.Преображенский с соавторами [39], анализируя развитие современного ландшафтования, выделяют два класса задач исследования, которые в полной мере, по мнению автора этих строк, могут реализовываться и в экогеохимии:

- 1) естественноисторические

исследования ландшафтов, т.е. изучение ландшафтных систем как одного и фрагментов объективной реальности, имеющее целью выявление независимо от сиюминутных практических целей, нового знания природных и природно-техногенных экосистемах как элемента организаций современной биосферы; 2) социофункциональный анализ ландшафтов, который направлен в большей мере на выявление роли ландшафтов (геосистем), его "полезных" и "отрицательных" свойств, жизни общества (включая роль "загрязнения"). Авторы цитируемой работы справедливо отмечают, что данное разделение в определенной мере условно, поскольку в конкретных исследованиях оба класса задач могут тесно переплетаться, но их выделение целесообразно и оправданно.

Можно считать, что в настоящее время достаточно детально разработаны основные методические принципы и общая технология эколого-геохимических исследований для главных типов природно-техногенных территорий: городов и городских агломераций сельскохозяйственных и горно-промышленных территорий. В общем случае логика исследований такова [51]: 1) выявление источников и путей поступления загрязняющих веществ в окружающую среду, изучение ассоциаций, уровня содержания и форм нахождения химических элементов в твердых отходах, выбросах, сточных водах, средствах химизации; 2) прослеживание путей и способов миграции химических элементов в среде обитания, установление природных компонентов, взаимодействующих с миграционным потоком, изучение интенсивности и результатов этого взаимодействия, т.е. формирующихся техногенных геохимических аномалий (зон загрязнения); 3) оценка масштабов и площади распространения техногенных (в отдельных случаях, природных) геохимических аномалий, выявление их морфоструктурных особенностей центров наиболее интенсивного распространения и воздействия на живые организмы, прежде всего на человека; 4) эколого-геохимическая и эколого-гигиеническая оценка выявленных геохимических аномалий, прослеживание накопления поллютантов в трофических цепях, изучение последствий этого накопления.

Методические принципы эколого-геохимических исследований основаны на существующих корреляционных связях между источниками поставки, распределением химических элементов в водных и воздушных потоках (т.е. в транспортирующих поллютанты средах) и их распределением в почвах, снеговом покрове, донных отложениях (т.е. в природных средах временно депонирующих поллютанты)-[45]. Важнейшими приемами исследований являются: 1) геохимическое картирование депонирующих сред (компонентов), базирующееся на методических разработках учения

геохимии ландшафтов и прикладной (поисковой) геохимии; 2) мониторинг, основанный на повторных, режимных и непрерывных наблюдениях (измерениях) распределения поллютантов в жизнеобеспечивающих средах; 3) методы, в основу которых положены разработки общей и прикладной геохимии, биогеохимии, геологии, эпидемиологии, аналитической химии. Особое значение имеют сопутствующие виды исследований (работ): гидрометеорологические, гидрологические, геологические, литологические, минералогические, технологические, медико-биологические, эпидемиологические, а также химико-аналитические и лабораторные исследования геохимических проб. Важное значение отводится синтезу данных и внедрению полученных знаний в производство (в практику) и переводу их в общепринятую форму.

Изменение химического состава современной биосферы, т.е. ее загрязнение, происходит в результате миграции химических веществ (поллютантов, в том числе ксенобиотиков), генерируемых различными природными и техногенными источниками. Сочетание химических элементов или соединений характеризует специфические индивидуальные особенности источников загрязнения. Практически во всех случаях техногенное (прежде всего, промышленное) воздействие является мощным и комплексным по составу загрязняющих веществ источником загрязнения среди обитания [6;46;48;53;67].

Интенсивность геохимического воздействия источников загрязнения определяется массой химических элементов, поступающей на ту или иную территорию (так называемая 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 этих видов отходов. При оценках степени опасности загрязнения окружающей среды различными видами отходов и средствами химизации необходимо учитывать возможность их попадания в системы жизнеобеспечения: воздух, питьевую воду, пищу. При этом следует различать прямые и отдаленные экологические (гигиенические, медико-биологические) последствия. С этих позиций выбросы в атмосферу являются сейчас наиболее опасным источником загрязнения (с прямым экологическим воздействием). Сточные воды в равной степени обладают признаками прямого и отдаленного воздействия. Твердые отходы характеризуются в основном отдаленным воздействием (за исключением случаев использования их в качестве агромелиорантов)-[48;49;51]. Одной из главных задач эколого-геохимических исследований является выявление геохимических аномалий и оценка их экологической значимости. Различные характеристики геохимических аномалий (преволов и потоков

рассеяния), являющихся по сути зонами загрязнения (воздействия) - масштаб, морфометрия, состав, степень концентрирования, вид существования, форма минерации и нахождения поллютантов, особенности их трансформации и перераспределения, интенсивность биологоплощения, степень экотоксичности - в конечном счете и определяют качество окружающей среды. Возникновение аномалий связано с источниками воздействия, не являющихся обязательным компонентом природного ландшафта. В случае техногенных источников образуются техногенные геохимические аномалии, т.е. участки 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 или, при определенном допущении, от якоря или подобных ему показателей. Геохимический фон (фоновое содержание) - это среднее содержание химического элемента (составления) в природных телах по данным изучения его естественного распределения в пределах однородного в ландшафтно-геохимическом отношении участка, не затронутого техногенезом (на практике - это, как правило, участки, расположенные вне зоны прямого техногенного влияния)-[51]. Естественно, что понятия "фон" и "аномалия" в определенной мере условны (относительны), поскольку в зависимости от района, задач и масштаба исследований в этом качестве могут выступать различные объекты.

Традиционно принято различать техногенные ореолы и техногенные потоки рассеяния химических элементов. Термин геохимический поток применяется при описание геохимических аномалий в водных объектах, прежде всего в водотоках (вода, взвесь, эпифитовзвесь, донные отложения), и в атмосфере (парогазовая и аэрозольная фракции), а геохимический ореол - в почвах, грунтах, горных породах, снеговом покрове, подземных водах, растительности. По компонентам ландшафта, фиксирующих геохимические аномалии, ореолы и потоки рассеяния могут быть литохимическими, гидрохимическими, атмосферическими. Для аномалий в снежном покрове иногда используют термины сноухимические ореолы. В случае с живыми организмами следует говорить, видимо, только о "биогеохимических аномалиях" какого-либо элемента или их группы. В зоне воздействия конкретного источника загрязнения логично выделять собственно зону загрязнения и зону влияния. Зона загрязнения представляет собой участок территории (акватории), где нарушаются естественные биогеохимические и биохимические процессы и концентрация поллютантов превышает установленные гигиенические нормы (стандарты). При этом зоны загрязнения могут быть формирующимися, стабилизовавшимися,

устойчивыми, неустойчивыми. Зона влияния - это такой участок, в пределах которого в виду небольшой концентрации поллютантов, не превышающей гигиеническую норму, или кратковременности загрязнения сохраняется естественный характер биохимических процессов.

Техногенные геохимические аномалии могут быть какmono-элементными, так и полимонентными, т.е. включать широкий спектр загрязняющих веществ. Поэтому при эколого-геохимических исследованиях наряду с изучением отдельных химических элементов проводится анализ распределения геохимических ассоциаций, т.е. групп элементов, характеризующих специфические особенности зон воздействия различных источников и обнаруживаемых в изучаемом объекте (компоненте среды) в количествах, отличных от неких нормативных величин (как правило, от геохимического фона)-[42]. Обычно в геохимическую ассоциацию включают химические элементы с коэффициентами концентрации относительно фона не менее 1,5, что позволяет достаточно надежно 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 которые 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, которые, к тому же, являются во многих случаях приоритетными поллютанами. Они типичны для многих источников загрязнения и фиксируют уровень и масштабы их воздействия. Первоначально под термином "тяжелые металлы" объединяли металлы с плотностью более 5 г/м³. Сейчас его часто используют для обозначения достаточно большой группы токсичных химических элементов, включаяющую не только "настоящие" тяжелые металлы, но и некоторые металлоиды и даже неметаллы.

При оценках распределения химических элементов в тех или иных объектах (компонентах) обычно изучают их абсолютную (общую) или относительную распространенность. Для характеристики абсолютной распространенности используют весовые или объемные показатели, которые в сущности основаны на весовых или объемных процентах. Для выражения относительного содержания элементов применяют различные геохимические коэффициенты. В основе большинства подобных показателей лежит так называемый коэффициент распределения, т.е.

величина отношения средних абсолютных содержаний элемента в каких-либо сравниваемых между собой взаимосвязанных объектах или частях одного объекта. В последние годы при оценках распространенности химических элементов стали широко использовать относительные безразмерные единицы, что позволяет сравнивать между собой разные природные среды и представляет определенные удобства при расчетах различных показателей и коэффициентов. Наиболее распространеными относительными безразмерными единицами являются американские "ррм" (parts per million) и "ррб" (parts per billion), т.е. частей на миллион или миллиард частей соответственно. Дж.Форгескью предлагает различать "парциальное содержание элемента", представляющее собой "часть от общего (валового) его содержания, которое извлекается из образца природного вещества, отобранного и обработанного по стандартной методике с использованием экстрагирующих растворов единого состава в течение определенного времени и при заданных температурах" [63, с. 54], т.е. парциальное содержание – это абсолютное или относительное содержание какой-либо конкретной формы нахождения химического элемента в исследуемом компоненте.

Сравнительная оценка уровней содержания химических элементовдается обычно путем соотношения их с нормативными параметрами состояния окружающей среды по каждому рассматриваемому ингредиенту или их сумме. В настоящее время такими формализованными параметрами являются различные гигиенические и/или экологические нормативы, стандарты и т.п., которые, однако, разработаны не для всех природных сред и не для всех поллютантов, не всегда адекватны истинной опасности последних, имеют тенденцию в силу различных причин, часто субъективных, периодически изменяться. Отчасти именно поэтому при экологических оценках геохимических аномалий в качестве своеобразных нормативных величин и используются фоновые уровни химических элементов. При оценках интенсивности техногенного воздействия за базовую величину локального фона обычно принимается содержание элемента либо при исходном (т.е. до начала техногенного освоения) состоянии объекта, либо в аналогичном объекте, не затронутым исследуемым геохимическим процессом. Как правило, в каждом конкретном случае необходимо изучение местного геохимического фона [51].

Дж.Форгескью [63] считает, что значения глобальной распространенности химических элементов в различных геосферах (т.е. глобальные и региональные кларки) могут использоваться для оценки состава ландшафтов, для которых известны свойства геологического

субстрата, и подсчетов относительной распространенности ингредиентов, т.е. могут служить своеобразными стандартами при обосновании приемов локализации геохимических аномалий. Опыт свидетельствует, что при использовании для таких целей кларковых значений наибольшую трудность представляет выделение и оконтуривание техногенных геохимических аномалий слабой интенсивности. Конгратные и средние по интенсивности аномалии, т.е. наиболее "информационные" и опасные с экологогигиенических позиций, фиксируются достаточно надежно. Кларковые содержания химических элементов, видимо, приближенно определяют нормальный уровень содержания того или иного элемента, "безопасный" для существования живых организмов [51]. В свое время В.И.Вернадский писал, что биогеохимическая организованность биосфера должна рассматриваться "как равновесия, подвижные, все время колеблющиеся в историческом и в геологическом времени около тонально выраженного среднего" [13, с. 23]. С геохимических позиций такими средними, безусловно, являются кларки химических элементов.

Основным показателем интенсивности техногенного воздействия и важнейшим параметром техногенной геохимической аномалии является коэффициент концентрации химического элемента (K_C), который определяется отношением реального (аномального) содержания поллютанта в конкретном природном объекте к его фоновому уровню (кларку, ферсму и т.п.). Этот показатель по сути аналогичен коэффициенту аномальности (K_A) А.А.Саукова [66], который, однако, представляет собой отношение среднего содержания элемента в аномалии к его фоновому уровню. Коэффициент концентрации может рассчитываться как для частных концентраций элементов, так и для их средних содержаний (в каком-либо объекте, в пределах определенной территории и т.п.). В тех случаях, когда нормирование осуществляется на гигиенический (экологический) норматив, можно говорить о коэффициенте гигиенической (экологической) опасности (K_{G} , или K_{E}). Для характеристики полиметаллических геохимических аномалий используют суммарные показатели, в том числе широко известный суммарный показатель загрязнения Z_C (который с полным анализом может быть назван как "показатель Саута") [51]. На основе эмпирического материала, полученного при изучении зон загрязнения различных источников воздействия, разработаны шкалы оценки гигиенических элементов в ледопроницаемых средах – почвах и донных отложениях [51]. В практике эколого-геохимических работ широко используются как специально разработанные показатели, так и показатели,

применяемые в общей и поисковой геохимии, в геохимии ландшафтов, биогеохимии и экологии [1;4;24;51;57].

Важнейшим показателем техногенного изменения является пространственно-временная вариация содержания химических элементов, которая в зонах загрязнения резко возрастает. Коэффициенты вариации для большинства элементов в горных породах и почвах в фоновых условиях независимо от района и типа последних колеблются от 25 до 60% [41]. В зонах загрязнения даже в пределах небольших участков они достигают 100-300%. Если для распределения элементов в природных (фоновых) условиях характерно преимущественно относительно равномерное распределение (коэффициент вариации 30-50%), реже контрастное (50-60%), иногда крайне неоднородное (60-100%) [41], то в условиях загрязнения большая часть полигонов отличается крайне неоднородным пространственно-временным распределением. Если большинство природных геохимических комплексов по степени однородности-неоднородности распределения химических элементов являются неоднородными (коэффициенты вариации больше 50%) или слабо дифференцированными (50-70%), реже дифференцированными (70-100%) объектами [41], то большая часть (загрязненных) комплексов является дифференцированными и интенсивно дифференцированными (>100%) объектами. Резкая пространственно-временная дифференциованность (конгруэнтность) геохимического поля проявляющаяся в его мозаичности (пространственной "пестроте") важнейший признак и одновременно важнейшее следствие, можно утверждать, важнейшая закономерность техногенного загрязнения.

В условиях загрязнения, как правило, резко меняется характер и тип проявления аномальности того или иного химического элемента фиксируется не только изменение, в большинстве случаев возрастание общего (валового) содержания элемента, но и трансформация баланса важнейших форм его миграции и нахождения. Более того, валовы содержания химического элемента в сравнении с фоном могут вообще не изменяться или изменяться незначительно, тогда как абсолютно содержание, например, подвижных форм может заметно возрастать. Эт позволяет говорить о новом типе геохимических аномалий, обусловленных изменением и даже появлением специфических форм нахождения химического элемента.

Масштабы техногенного воздействия на окружающую среду исключительно велики. Техногенные преобразования захватываю огромные территории, проявляются в коренной и глубокой трансформации всех компонентов биосфера и представляют собой главный фактор, определяющий экологическую и геохимические особенности этих регионов, а в конечном счете и условия

существования человека. Важнейшей практической задачей наук об окружающей среде является получение материала, необходимого для обоснования и разработки принципов и методов оптимизации взаимодействия человека и окружающей среды. В решении этой задачи особая роль, по мнению автора этих строк, принадлежит экологической геохимии.

Настоящее сообщение подготовлено при частичной финансовой поддержке от программы Мира и Международного Сотрудничества Фонда Джона Д. и Кэтрин Г. Макаруров.

Литература

1. Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов.- М.: Изд-во МГУ, 1987.-108 с.
2. Авыльян А.П., Жакоронков А.А., Рипп М.А., Сирожкова Л.С. Микроизменения человека. Этнология, классификация, организиология.-М.: Медицина, 1991.-496 с.
3. Беклемишев В.Н. Методология систематики.- М.: KMK Scientific Press Ltd, 1994.- 250 с.
4. Ёгус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружющей среды.- М.: Наука, 1976.- 248 с.
5. Бондарев Л.Г. Металлический пресс на биосфера // Проблемы общей физической географии и палеогеографии.-М.: Изд-во МГУ 1976. с. 140-149.
6. Буренков Э.К., Борисенко И.П., Москаленко Н.Н., Янин Е.П. Экологическая геохимия городских агломераций. М: Геонформмарк, 1991.- 79 с.
7. Буренков Э.К., Янин Е.П., Кожанкин С.А. и др. Эколо-геохимическая оценка состояния окружющей среды г. Саранска. М: ИМГРЭ, 1993.- 115 с.
8. Вернадский В.И. О газовом обмене земной коры // Изв. АН, 1912, 6, N 2. с. 141-162.
9. Вернадский В.И. Избранные сочинения.- М: Изд-во АН СССР, т. 1, 1954.- 696 с.; т. 2, 1955.- 615 с.; т. 3, 1959.- 508 с.; т. 4, кн. 1, 1959.- 624 с.; т. 4, кн. 2, 1960.- 651 с.; т. 5, 1960.- 420 с.
10. Вернадский В.И. Живое вещества.- М: Наука, 1978.- 358 с.
11. Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии.-М: Наука, 1980.- 320 с.
12. Вернадский В.И. Химическое строение биосфера Земли и ее окружения.- М: Наука, 1987.- 339 с.
13. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста.- М: Наука, 1988.-520 с.
14. Вернадский В.И. Очерки геохимии // В.И. Вернадский. Труды по геохимии.- М.: Наука, 1994, с. 159-468.
15. Вернадский В.И. Очерки геохимии (Введение в геохимию): Лекции прочитанные в Академии наук в Петрограде в 1921 г. // Там же, с. 7-158.
16. Верховская Л.А., Сорокина Е.П. Математическое моделирование геохимического поля в поисковых целях.- М.: Наука, 1981.- 186 с.
17. Виноградов А.П. Биогеохимические проминции и эндемии // ДАН СССР, 1938, т. 18, № 4/5, с. 283-286.

18. Гавриленко В.В. Некоторые актуальные проблемы экологической минералогии и геохимии// Зап. ВМО, ч. СХХШ, № 3, с. 1-8.
19. Глазовская М.А. Теория геохимии ландшафтов в приложении к изучению техногенных потоков рассеяния и анализа способностей природных систем самоочищению // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояния экосистем.- М.: Наука, 1981, с. 7-41.
20. Глазовская М.А. Природные аналоги техногенных геохимических аномалий/ Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем.- М.: Наука, 1982, с. 131-166.
21. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988.- 328 с.
22. Гольдшмидт В.М. Сборник статей по геохимии редких элементов: Пер. нем.- М.-Л.: ГОНТИ ИКТП СССР, 1938.- 244 с.
23. Добропольский В.В. География микроэлементов: Глобальное рассеяние.- М.: Мысль, 1983.- 272 с.
24. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: В 6 кн.: Кн. 1. М.: Недра, 1994.- 304 с.
25. Ильин В.В. Тяжелые металлы в системе почва-растения.- Новосибирск: Наука, 1991.- 151 с.
26. Кабата-Пенниас А., Пенниас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ.- М.: Мир, 1989.- 439 с.
27. Ковалевский В.В. Геохимическая экология.- М.: Наука, 1974.- 299 с.
28. Козловский Ф.И. Структурная модель миграционных процессов геохимических ландшафтах // Геохимия ландшафтов: Теория миграции химических элементов в природных ландшафтах.- М.: Изд-во МГУ, 1975, с. 27-42.
29. Корте Ф., Бахадир М., Кийан В. и др. Экологическая химия: Пер. с нем.- М.: Мир, 1996.- 396 с.
30. Марголес Р. Облик биосфера: Пер. с англ.- М.: Наука, 1992.- 214 с.
31. Морозов В.И. Лихохимические аномалии в зоне гипергенеза.- М.: Недра, 1992.- 153 с.
32. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния: Пер. с англ.- М.: Мир, 1987.- 288с.
33. Овчинников Л.Н. Образование рудных месторождений.- М.: Недра, 1988.
34. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия.- М.: Недра, 1990.- 247 с.
35. Оценка состояния окружающей среды г. Москвы по геохимическим данным и рекомендации по ее улучшению.- М.: ИМГРЭ, 1980.-70 с.
36. Переильман А.И. Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза). М.: Недра, 1965.-272 с.
37. Переильман А.И. Геохимия ландшафтов.- М.: Высшая школа, 1975.- 342 с.
38. Переильман А.И. Геохимия.- М.: Высшая школа, 1989.- 528 с.
39. Преображенский В.С., Александрова Т.Д., Кутрякова Т.П. Основы ландшафтного анализа.- М.: Наука, 1988.- 192 с.
40. Приваленко В.В. Геохимическая оценка экологической ситуации в г. Ростове-на-Дону.- Ростов-на-Дону: Изд. МПС "Теонинформ", 1993.- 167 с.
41. Принципы и методика геохимических исследований при прогнозировании поисков рудных месторождений.- Л.: Недра, 1979.- 247 с.

42. Ревин Б.А., Саэт Ю.Е., Смирнова Р.С., Сорокина Е.П. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами.- М.: ИМГРЭ, 1982.- 112 с.
43. Розова С.С. Классификационная проблема в современной науке.- Новосибирск: Наука, 1986.- 223 с.
44. Саэт Ю.Е. Вторичные геохимические ореолы при поисках рудных месторождений М.: Наука, 1982.- 168 с.
45. Саэт Ю.Е. Антропогенные геохимические аномалии (особенности, методика изучения и экологическое значение): Автореф ... дис. док. геол.-мин. наук.- М.: ИМГРЭ, 1982.- 53 с.
46. Саэт Ю.Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду// Геохимия ландшафтов и география почв.- М.: Изд-во МГУ, 1982, с. 84-100.
47. Саэт Ю.Е., Алексинская Л.Н., Янин Е.П. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами.- М.: ИМГРЭ, 1982.-74 с.
48. Саэт Ю.Е., Анчиков А.И., Башаркевич И.Л. и др. Геохимические особенности сельскохозяйственных территорий // Пр. Биогеохимической лаборатории, т. 22.- М.: Наука, 1991, с. 147-171.
49. Саэт Ю.Е., Башаркевич И.Л., Ревин Б.А. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды.- М.: ИМГРЭ, 1982.- 66 с.
50. Саэт 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.
51. Саэт Ю.Е., Ревин Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды.- М.: Недра, 1990.- 335 с.
52. Саэт Ю.Е., Янин Е.П. Методические рекомендации по геохимической оценке состояния поверхности вод.- М.: ИМГРЭ, 1985.- 48 с.
53. Саэт Ю.Е., Янин Е.П. О комплексном составе техногенных гидрохимических аномалий// Водные ресурсы, 1991, N 2, с. 135-140.
54. Сауков А.А. Геохимия.- М.: Наука, 1975.- 480 с.
55. Сафонов Н.И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений: Методическое руководство.- Л.: ОНТИ ВИР, 1967.- 203 с.
56. Соловьев А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых.- М.: Недра, 1985.- 294 с.
57. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых.- М.: Недра, 1990.- 335 с.
58. Таусон Л.В., Гудобин Г.М., Зорина И.Д. Геохимические поля рудно-магматических систем.- Новосибирск: Наука, 1987.- 202 с.
59. Файф У.С. Критис окружающей среды: количественная оценка взаимодействия геосфер // Современные проблемы геодинамики: Пер. с англ.- М.: Мир, 1984, с. 259-274.
60. Ферсман А.Е. Химические проблемы промышленности.- Л.: Химиздат, 1924.- 52 с.
61. Ферсман А.Е. Геохимия: Том 1.- Л: ОНТИ-Геохимиздат, 1934.- 324 с.
62. Ферсман А.Е. Геохимия: Т. 2.- Л.: ОНТИ-Химиздат, 1934.-354 с.
63. Фортеская Дж. Геохимия окружающей среды: Пер. с англ.- М.: Прогресс, 1985.- 360 с.
64. Янин Е.П. Экогохимическая оценка загрязнения реки Нуры ртутью.- М.: ИМГРЭ, 1989.- 43 с.

65. Янин Е.П. Руть в окружющей среде промышленного города.- М.: ИМГРЭ, 1992.- 169 с.
66. Янин Е.П. Экологическая геохимия горнoprомышленных территорий - М: ГеоИнформмарк, 1993.- 50 с.
67. Янин Е.П. Геохимические особенности осадков сточных вод промышленного города.-М.: ИМГРЭ, 1996.- 41 с.
68. Янин Е.П. Экологическая геохимия: задачи, исходные положения, эмпирические обобщения и методы исследования // Геоэкологическое картографирование: Тезисы докл. Всеросс. научно-практ. конф. (юс. Зеленый, 24-27 февраля 1998 г.); ч. II: Методы региональных геоэкологических исследований и картографирования.- М: ВСЕИНГЕО, 1998, с.126-128.