

**Янин Е.П. Экологическая геохимия и проблемы биогенной миграции химических элементов 3-го рода // Техногенез и биогеохимическая эволюция таксонов биосферы (Труды Биогеохимической лаборатории, т. 24). – М.: Наука, 2003, с. 37-75.**

**Введение**

В последние годы широкое распространение получили такие термины, как «эколого-геохимическая оценка», «эколого-геохимическое картирование», «экологическая геохимия». В различных районах России выполняются «эколого-геохимические исследования»; в государственной программе «Университеты России» осуществляется проект «Экогеохимия»; в Минералогическом обществе РАН создана Комиссия по экологической геохимии и минералогии; на научных совещаниях работают секции экологической геохимии. В ряде вузов России читаются специализированные курсы «Экологическая геохимия»; защищаются диссертации и издаются учебные пособия, монографии, сборники статей, справочники с таким названием. Экогеохимии отводится важное место в структуре современных системных направлений изучения биосферы и природных комплексов [29]. Авторы многих публикаций единодушны в том, что экологическая геохимия есть новое научное направление, новая научная дисциплина [2, 4, 7, 10, 23, 24, 35, 67, 69].

Однако большинство работ эколого-геохимической тематики посвящены, главным образом, констатации факта загрязнения окружающей среды химическими элементами и описанию уникальных с указанной точки зрения ситуаций и объектов. Методические аспекты *новой научной дисциплины* освещены слабо. Во многих публикациях, в том числе в учебных и справочных пособиях, в название которых вынесено словосочетание «экологическая геохимия» [2, 4, 30], определения этого термина, в лучшем случае, даются контекстуально, носят формальный характер и очень противоречивы. Сказанное относится и к предмету, содержанию, месту экогеохимии в системе научного знания. Одни авторы «помещают» ее в геоэкологию [10, 68], другие – в экогеологию [24, 69], третьи – убеждены, что экогеохимия формируется на стыке ряда наук (геохимии ландшафтов, почвоведения, геохимии почв, гидрохимии, гидрогеохимии, геохимии горных пород и кор выветривания, экологии) и ее важным разделом является биогеохимия [2], четвертые полагают, что она есть часть особого раздела биогеохимии – геохимии антропогенеза [67]. Одни авторы трактуют экогеохимию как область знания, объединяющей достижения многих наук с целью описания содержания и миграции химических элементов в биосфере в условиях возрастающей техногенной нагрузки [20]. Другие ограничивают ее содержание «геохимическим мониторингом» [67].

При анализе науки – как теоретического отражения действительности – обычно различают: 1) объект, 2) знание об объекте, 3) предмет [39]. Объект существует независимо от знания; он существовал и до его появления. Предмет знания формируется самим знанием, он независим от субъекта познания. Любая наука направлена на некоторые объекты, выявляя в них свой предмет. В конкретной научной дисциплине, начиная изучать какой-либо объект, мы берем его с одной или нескольких сторон. Эти выделенные стороны становятся «заместителем» всего многостороннего объекта и образуют предмет науки (или, говоря иначе, то, на что направлена мысль исследователя). Таким образом, в гносеологическом плане различие предмета и объекта относительно и состоит в том, что в предмет входят лишь главные, отличительные, наиболее существенные (с точки зрения данного исследования) свойства и признаки объекта.

Основной объект геохимии – химические элементы (вернее, писал В.И. Вернадский, в геохимии как «объекты изучения выступают не только химические элементы, т. е. обычные смеси изотопов, но и разные изотопы одного и того же химического элемента» [18, с. 125]); предмет – геохимическая история элементов на нашей планете, которая «может быть всегда сведена к их разнообразнейшим движениям»,

т. е. к геохимической миграции [13, с. 43]. «Геохимическая история химических элементов в значительной мере основана на изучении законов таких миграций» [там же, с. 89]. Именно в результате геохимической миграции создается «атомная геометрия пространства-времени, выражаемая в истории и распределении атомов» Земли [там же, с. 14]. Все протекающие на Земле геохимические процессы в конечном счете проявляются «в движениях химических элементов в земной коре – в переносах, концентрациях, переходах этих элементов из одного соединения в другое» [14, с. 187].

Согласно публикациям, экологическая геохимия «занимается»: 1) выявлением изменений геохимического фона биосферы [24, 67]; 2) решением экологических проблем, связанных с загрязнением окружающей среды [46]; 3) оценением антропогенных изменений химического состава геологической среды и изучением разномасштабные аномалии содержания химических элементов и их соединений, которые формируются за счет природных и антропогенных факторов [10]; 4) исследованием поведения элементов в условиях взаимодействия живого и косного вещества, факторов их миграции и накопления, а также закономерностей формирования природных и техногенных геохимических аномалий [23]; 5) изучением компонентов природной среды, подверженных техногенному изменению, и геохимических отношений в условиях экосистем различного иерархического уровня [7]; 6) изучением комфортности обитания человеческого сообщества и фокусированием знаний на сохранение экосистем в условиях интенсивного техногенного загрязнения литосферы [69]; 7) изучением общих закономерностей миграции вредных и полезных элементов в экосистемах с участием геологической среды [35]; 8) исследованием последствий глобальной природообразующей деятельности человека [4]; 9) выявлением и изучением техногенных объектов [38].

Приведенный обзор мнений о предмете и сущности экогеохимии адекватно отражает ситуацию, которая, в терминологии П. Фейерабенда [71], может быть охарактеризована как «методологический анархизм», что само по себе и не является «злом», ибо «свобода научного искания есть основное условие максимального успеха работы» [18, с. 105]. Однако ясно, что существование подобного «анархизма» становится уже не условием успеха работы, а причиной, сдерживающей развитие экогеохимии. Знание, прежде всего, должно иметь предмет, оно должно быть о чем-то, что существует или еще не существует, как сказал бы Парменид из Элеи. Именно предмет определяет содержание научной дисциплины.

### **О предмете экологической геохимии**

В развитии учения о геохимической деятельности человека выдающаяся роль принадлежит В.И. Вернадскому, который доказал, что, во-первых, живое вещество (включая человечество) в биосфере играет основную роль и по своей мощности ни с какой геологической силой не может быть сравниваемо; во-вторых, преобразование природы деятельностью человека является в основе своей геохимическим процессом, имеет глобальный характер и есть закономерное явление в геологической истории Земли [13-18]. Способность живых организмов вызывать движение (биогенную миграцию) химических элементов В.И. Вернадский назвал биогеохимическими функциями живого вещества, которые захватывают практически все элементы, распространяются на всю планету, не зависят от территориальных условий и химически отражаются на окружающей организм внешней среде. В качестве особой геологической силы он выделил биогеохимические функции человечества, а в качестве нового для биосферы вида геохимической миграции – биогенную миграцию атомов 3-го рода, которая является одним из самых грандиозных геохимических процессов и «представляет форму организованности первостепенного значения в строении биосферы» [14, с. 231].

В.И. Вернадский показал, что существуют различные формы биогенной миграции [14]. Первая и основная форма - это биогенная миграция, генетически, непосредственно связанная с веществом живого организма (дыхание, питание, внутренний метаболизм, размножение), количественное значение которой определяется массой живого вещества, существующего в данный момент на Земле. Вторая форма - миграция, связанная с интенсивностью биогенного тока атомов; она может быть резко различна при одном

и том же количестве атомов, захваченных живым веществом. Третья форма – это миграция атомов, производимая организмами, но генетически и непосредственно не связанная с входением или прохождением атомов через их тело. Она «производится техникой их жизни» (постройки термитов, муравьев, кораллов и т. п.), своего исключительного развития достигла после возникновения цивилизованного человечества и максимально проявлена в наше время. В.И. Вернадский выделил и четвертую форму биогенной миграции – те «косвенным образом связанные с живым веществом изменения в положении атомов, которые являются следствием брошенных организмами в биосферу новых соединений» (например, миграция, вызванная созданием свободного кислорода «зелеными организмами или изменением химических комбинаций, созданных гением человека») [14, с. 243].

Оценивая скорость и геологическую значимость биогенной миграции, В.И. Вернадский пришел к заключению, что следует различать: биогенную миграцию атомов 1-го рода для микробов и одноклеточных организмов, и биогенную миграцию атомов 2-го рода для многоклеточных организмов. С точки зрения геологической роли биогенная миграция 1-го рода до недавних пор резко преобладала на Земле. В настоящее время человек овладел биогенной миграцией атомов 3-го рода, «идущей под влиянием его жизни, воли, разума в окружающей среде» и которая сейчас доминирует на нашей планете [17, с. 247]. Совокупность геохимических и минералогических процессов, вызываемых технической (инженерной, горнотехнической, химической, сельскохозяйственной) деятельностью человека, была позже названа А.Е. Ферсманом [73] техногенезом, а миграция элементов, обусловленная этой деятельностью, получила название «техногенной миграции».

В методологическом аспекте для нас важен следующий факт. Так, понятие о биогенной миграции атомов 3-го рода, сформулированное В.И. Вернадским и еще требующее своего терминологического оформления, по своему объему больше, нежели понятие о техногенной миграции химических элементов. С позиций формальной логики они находятся в отношении субординации (подчинения объемов), когда понятие меньшего объема (техногенная миграция) составляет часть понятия с большим объемом (биогенная миграция атомов 3-го рода), т. е. находятся в родовидовых отношениях (техногенная миграция есть вид биогенной миграции 3-го рода). Обычно эти два понятия отождествляют, тогда как биогенная миграция атомов 3-го рода определяется не только *технической* деятельностью человека. С одной стороны, человечество есть часть живого вещества, в связи с чем способно вызывать миграцию химических элементов, связанную с его материальным субстратом, что может приводить к негативным эколого-гигиеническим последствиям. С другой стороны, подчеркивал В.И. Вернадский, здесь мы сталкиваемся с новым фактором – с человеческим сознанием, с научной мыслью, которая выявляется как сила, имеющая небывалое значение в истории биосферы и практически всех химических элементов. «Это явилось следствием мощного развития научной мысли, научного исследования и охваченной наукой техники и труда человеческих обществ» [17, с. 251]. Естествознание и неразрывно с ним связанная техника проявляются в наш век как геологическая сила, резко меняющая биосферу [16]. Как писал С.Н. Булгаков, «в науке строятся не только логические модели действительности, но и создаются проекты воздействия на нее» [8, с. 193].

Словосочетание «биогенная миграция атомов 3-го рода» является термином, в котором используются так называемые произвольные признаки. Такие термины достаточно трудно входят в научную терминологическую систему. Возможно, в силу этого термин «биогенная миграция атомов 3-го рода» как бы заменился термином «техногенная миграция элементов». Одновременно произошла, если не подмена, то, по крайней мере, заметное сужение объема соответствующего понятия. В частности, традиционным является разделение (классификация) геохимической миграции (ближайшее родовое понятие) на 4 вида (ближайшие видовые понятия) [45, 47]: механическая миграция, физико-химическая миграция, биогенная миграция, техногенная миграция, что приводит к логической ошибке, поскольку последняя есть *вид* биогенной миграции. Более того, утверждается, что в ноосфере главную роль играет техногенная миграция, которая, будучи (в рассматриваемой классификации) видовым понятием, тем не менее является «высшей формой миграции» и включает в себя и все «нижние формы» – механическую,

физико-химическую и биогенную миграции (таким образом становясь, почему-то, родовым понятием, что также приводит, по крайней мере, к логической ошибке).

Новая отрасль знания, призванная изучать влияние жизни на геохимические процессы, была названа В.И. Вернадским биогеохимией: «Биогеохимия – новая большая отрасль геохимии... изучает влияние жизни на историю земных химических элементов...; она исследует те перемещения земных атомов – миграции их масс, которые вызываются живыми организмами», биогеохимия «может... рассматриваться... как геохимия биогенных процессов». Основная задача ее – точное количественное и качественное, возможно, полное выявление геохимических функций живого вещества в биосфере. При этом «биогеохимия... может изучаться в трех аспектах: во-первых, с биологической стороны - ее значение для познания явлений жизни; во-вторых, с геологической стороны - ее значение для познания среды жизни, т.е. прежде всего биосферы, и в-третьих, в связи с ее прикладным значением, которое может быть сведено к биогеохимической роли человечества» [16, с. 12-13]. Так были обозначены три важнейших направления геохимического изучения биосферы, которые в настоящее время, по мнению автора этих строк, оформились в самостоятельные научные дисциплины. Это геохимическая экология [29, 33], геохимия ландшафта [44, 47] и экологическая геохимия, обладающие признаками, определяющими существование самостоятельной научной дисциплины: они имеют достаточно четкое содержание, собственные предмет, методику исследований и терминологию, в той или иной мере характеризуются системностью знаний, что отражается наличием научных фактов, понятий и обобщений.

Таким образом, экологическая геохимия – как научная дисциплина – является частью биогеохимии и связана с прикладным значением последней, «которое может быть сведено к биогеохимической роли человечества». Экогеохимия научно изучает историю химических элементов в биосфере в условиях проявления биогеохимических функций человечества. Поскольку геохимическая «история... элементов... может быть всегда сведена к их... миграциям» [13, с. 43], можно сказать, что экологическая геохимия изучает биогенную миграцию атомов 3-го рода и ее проявления в биосфере. Это определяет предмет и, соответственно, основное содержание экогеохимии. Важнейшие проявления биогенной миграции атомов 3-го рода могут быть сведены к геохимическим процессам и явлениям, их пространственно-временным отражениям и взаимодействиям в биосфере, включая появление в ней новых (с геохимической точки зрения) геологических тел и образований. Можно говорить о двух классах задач, которые реализуются в экогеохимии: а) задачи эвристические, связанные с научным изучением биогеохимических функций человечества и биогенной миграции атомов 3-го рода, состоящие в получении нового знания, как такового, его упорядочении и обобщении; эти задачи определяют фундаментальную сторону экогеохимических исследований; б) задачи прикладные, направленные на оценку состояния биосферы как среды «жизни и разума», выявление масштабов и последствий преобразования биосферы деятельностью человека, использование полученных знаний в практике.

### **Методические основы экологической геохимии**

Теоретическая и понятийная базы экологической геохимии и система используемых методов опираются на законы, принципы, обобщения, понятия, исследовательские приемы общей геохимии, биогеохимии, поисковой геохимии, геохимической экологии, геохимии ландшафта, экологии, гигиены, аналитической химии. Это закономерно, поскольку вновь возникающие научные дисциплины практически всегда используют методы других наук, адаптируют их к своим задачам и формируют на этой основе собственные методические системы научной работы. Особенно это характерно для наук, говоря словами В.И. Вернадского, «наблюдательного характера, где нет места блестящим открытиям...; где нет возможности путем математического анализа или синтеза достигнуть нового и неизведанного и раскрыть его перед удивленными современниками» [19, с. 270]; где особенно справедлива максима Теренция: «в конце концов не скажешь ничего уже, что не было б другими раньше сказано».

Основными методологическими принципами, составляющими научную основу экогеохимии, являются следующие эмпирические обобщения, основанные на идеях и трудах В.И. Вернадского и А.Е. Ферсмана, их последователей.

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

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

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

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

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

6. Поведение химических элементов в биосфере зависит от миграционной и геохимической структуры ландшафтов, в свою очередь подчиненной географической закономерности (закону широтной и вертикальной зональности). Каждая ландшафтная зона – это геохимическая зона с особым типом биологического круговорота атомов и своеобразными условиями их миграции.

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

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

Для понимания проблем и постановки задач изучения преобразования биосферы человеком важнейшее значение имеют следующие положения, в той или иной мере обозначенные В.И. Вернадским и А.Е. Ферсманом, получившие развитие в трудах их последователей и отчасти сформулированные ранее [85-87, 90].

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

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

3. Биогенная миграция атомов 3-го рода (в понимании В.И. Вернадского) определяется не только *технической* деятельностью человека. Человечество является частью живого вещества, в связи с чем

способно вызывать миграцию химических элементов, связанную с его материальным субстратом. Однако здесь мы сталкиваемся с новым фактором – с человеческим сознанием, с научной мыслью, которая выявляется как сила, создающая ноосферу, как сила, имеющая небывалое значение в геологической истории биосферы, в истории практически всех химических элементов. Техногенная миграция есть вид биогенной миграции 3-го рода.

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

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

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

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

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

В становлении и практическом развитии экологической геохимии особое значение имели работы Ю.Е. Саета и его сотрудников (ИМГРЭ), в 1976 г. начавших планомерные геохимические исследования окружающей среды Москвы и ее окрестностей [3, 53, 57], получившие название «эколого-геохимических исследований» (в 1980 г. в институте был создан отдел экологической геохимии) [84]. Возникновение этих исследований именно в ИМГРЭ, как заметил А.И. Перельман [46], - закономерное явление. Дело в том, что важнейшим направлением исследований коллектива института являлось изучение процессов рудообразования и преобразования рудных месторождений и разработка научных основ геохимических методов их поисков. В основе теории геохимических методов поисков по сути лежит концепция, рассматривающая процесс образования месторождений как единственно возможный переход химических элементов от их изначально рассеянного состояния в земной коре и мантии к концентрированному состоянию с многоступенчатой дифференциацией, приводящей к образованию месторож-

дений и связанных с ними первичных геохимических ореолов. В свою очередь, возникновение вторичных геохимических ореолов и потоков рассеяния (геохимических аномалий), обусловленное разрушением месторождений и их первичных ореолов, является единственно возможным обратным процессом – переходом элементов, также дифференцированным, от концентрирования вновь к рассеянию. В ходе распространения поллютантов, поступающих от техногенных источников, в окружающей среде образуются геохимические аномалии, аналогами которых являются рудогенные вторичные ореолы и потоки рассеяния, что априори обусловило возможность применения для выявления техногенных аномалий методов поисковой геохимии (прежде всего, геохимических съемок). Поисковая геохимия располагала также экспрессным химико-аналитическим методом на широкий круг химических элементов (атомно-эмиссионный спектральный анализ).

Отмеченные факты во многом определили дальнейшее развитие эколого-геохимических исследований. Это, с одной стороны, их практический характер и использование геохимического картирования. С другой стороны, результаты прикладных работ установили своеобразие техногенного загрязнения (как геохимического явления) и указали на необходимость адаптации методов поисковой геохимии к новым задачам, разработки новых исследовательских приемов и оценочных показателей, привлечения прецизионных аналитических методов, использования достижений и методов других научных дисциплин (геохимии ландшафта, геохимической экологии, гигиены, эпидемиологии, агрохимии).

К настоящему времени технология эколого-геохимических исследований (в первую очередь, прикладных) разработана относительно детально [10, 57-59, 62, 64]. В общем случае исследовательская схема такова: 1) изучение геохимических ассоциаций, содержания и форм нахождения химических элементов в твердых отходах, выбросах, сточных водах, средствах химизации, выявление источников и путей их поступления в окружающую среду; 2) прослеживание путей, способов и механизмов миграции элементов и их соединений в окружающей среде, установление природных компонентов, взаимодействующих с миграционным потоком; исследование интенсивности и результатов этого взаимодействия (геохимических аномалий, техногенных отложений и т. п.); 3) выявление и оценка площади распространения техногенных геохимических аномалий, изучение их качественного состава, установление количественных параметров, морфоструктурных особенностей, а также центров наиболее интенсивного воздействия, отличающихся максимальными нагрузками токсичных и(или) биологически активных элементов и их соединений и определяющих группы живых организмов с повышенным риском проявления отрицательных реакций; 4) экологическая оценка зон загрязнения и связанных с ними геохимических явлений и техногенных образований; 5) обоснование мероприятий по снижению, ликвидации и предотвращению негативного воздействия человеческой деятельности на окружающую среду.

### **Эколого-геохимические показатели в системе оценки состояния окружающей среды**

Деятельность человека, прежде всего техногенез, обуславливают образование в окружающей среде техногенных геохимических аномалий, т.е. участков ландшафтов, в пределах которых хотя бы в одном из слагающих их природных тел (компонентов) статистические параметры распределения химических элементов или их соединений (либо одного элемента или соединения) достоверно отличаются от вариаций геохимического фона (фоновое содержание). Характеристики аномалий (чаще всего изучаются положительные аномалии) – размеры и структура, состав, степень концентрирования, вид существования, формы миграции и нахождения поллютантов, особенности их трансформации и перераспределения, интенсивность биопоглощения, степень токсичности - в конечном счете определяют качество окружающей среды.

Оценка интенсивности и экологической значимости геохимических аномалий обычно осуществляется путем сравнения установленных концентраций элементов с нормативными параметрами их распределения, определяющих безопасные условия существования живых организмов. Традиционно для этой цели используют показатели существующей системы санитарно-гигиенического нормирования

(ПДК, ОДК, МДУ и т.п.). Однако они разработаны не для всех природных компонентов, не для всех химических элементов, не всегда адекватны истинной опасности последних, часто не учитывают их формы миграции и нахождения, а также ландшафтно-геохимические условия территорий. При разработке гигиенических ПДК используются, как правило, упрощенные системы, опыт ставится с немногими компонентами, внешние условия его остаются неизменными. В частности, во-первых, не требует особых доказательств утверждение, что токсикологическое воздействие одних и тех же доз какого-либо элемента на живой организм в условиях лабораторного аквариума и в условиях природной озерной экосистемы будет проявляться совершенно по-разному. Во-вторых, гигиеническим нормативом, например, неорганической ртути в воде водных объектов является ПДК в 0,500 мкг/л. Отсюда следует, что формально вода с концентрацией этого соединения в 0,499 мкг/л с санитарно-токсикологической точки зрения уже не представляет опасности, с чем вряд ли можно согласиться.

С рассматриваемых позиций в геохимии используется подход, основанный на применении кларков, т. е. средних содержаний химических элементов в литосфере или в глобальных геосферах. Кларк, по выражению А.Е. Ферсмана, есть новая константа мира. Отсюда, видимо, справедливо утверждение, что кларки определяют «нормальные» уровни содержания химических элементов, *априори* безопасные для существования живых организмов и устойчивого функционирования экосистем [62]. В.И. Вернадский подчеркивал, 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» [18, с. 23]. Дж. Фортескью [74] отмечал, что значения глобальной распространенности элементов в различных геосферах могут использоваться для оценки состава ландшафтов, для которых известны свойства геологического субстрата, и подсчетов относительной распространенности различных ингредиентов. Возможно, что «нормирование» на кларк должно стать обязательной процедурой при оценках техногенных геохимических аномалий, что, естественно, не исключает использования других нормативов.

В настоящее время предложены различные геохимические (многие из которых основаны на использовании кларков), ландшафтно-геохимические, биогеохимические и эколого-биогеохимические показатели, отражающие и характеризующие геохимические особенности и состояние окружающей среды как в природных, так и в техногенных условиях [1, 5, 25, 26, 29, 37, 45, 47]. В экологической геохимии также формируется собственная система таких показателей, становление которой было изначально определено преимущественным использованием методов и приемов поисковой геохимии и выраженным прикладным характером исследований [10, 51, 54, 56-58, 60, 62, 66]. Это, в частности, обусловило широкое применение кларков, фоновых содержаний и гигиенических нормативов (в том числе, для расчета различных коэффициентов).

В качестве нормативных величин при эколого-геохимических исследованиях, особенно в связи с оценками состояния среды обитания, чаще всего применяются фоновые содержания химических элементов (обычно говорят и пишут о локальном или региональном фоне). Под фоновым содержанием химического элемента (синонимы – геохимический фон, природный фон, природное содержание, естественное содержание, фоновая концентрация) понимается средняя концентрация его в природных телах (почвах, донных отложениях и т. д.) однородного в ландшафтно-геохимическом отношении участка, прямо не затронутого техногенезом [62]. Концентрации элемента, отличающиеся от фоновых, считаются «аномальными». Геохимические аномалии могут быть «отрицательными» (концентрации элементов достоверно ниже фона) и «положительными» (концентрации выше фона) [45]. В последнем случае говорят о «загрязнении» («зонах загрязнения»).

Необходимо отметить, что в горных породах, в существенной мере определяющих геохимические особенности фоновых территорий, для многих химических элементов характерно относительно равномерное распределение их концентраций (коэффициенты вариации 30-60%), лишь иногда неоднородное и крайне неоднородное (60-100%) [49]. Изучение распределения широкой группы химических элементов в гумусовом горизонте дерново-подзолистых почв фоновых ландшафтов Московской области показали,



что коэффициенты вариации их преимущественно колеблются в пределах 20-60% [51]. Практически аналогичные результаты получены для распределения элементов в фоновых каштановых почвах Центр. Казахстана, выщелоченных черноземах Мордовии, в русловом (фоновом) аллювии малых и средних рек Европейской части России, Центр. Казахстана, Сев. Осетии, района Кавказских Минеральных Вод (табл. 1). Для большинства ситуаций фоновые уровни многих элементов находятся, как принято говорить, в пределах кларковых. Но, безусловно, необходимы дальнейшие усилия по уточнению как фоновых (локально-региональных), так и кларковых (глобальных) содержаний элементов. Более неоднородно распределение химических элементов в природных водах. В частности, для концентраций растворенных форм тяжелых металлов коэффициенты вариации (например, по данным динамических наблюдений на реках Московской области, Мордовии, Центр. Казахстана, Северной Осетии) обычно находятся в пределах 25-80%, для взвешенных форм, количество которых зависит от многих факторов, они могут превышать 80-90%. Многолетние динамические наблюдения за распределением около 40 химических элементов в атмосферном воздухе, выполненные в районе Глубокого озера (Московская область), указывают на слабую временную изменчивость их концентраций [22].

Таблица 1. Фоновые содержания химических элементов в донных отложениях р. Нуры (Центр. Казахстан), р. Пахра (Московская область) и р. Инсар (Мордовия)

Элемент	Нура		Пахра		Инсар		Кларк	
	мг/кг	V*	мг/кг	V*	мг/кг	V*	осадочных пород [94]	литосферы [21]
Li	26	36	23	50	28	44	56	32
V	168	30	75	73	85	65	105	90
Cr	51	62	51	40	62	59	72	83
Co	9,1	36	4,9	49	9	41	14	18
Ni	25	65	18	54	35	71	52	58
Cu	73	59	30	39	41	49	33	47
Zn	38	34	123	62	50	45	95	83
Mo	1,6	49	0,83	65	2	57	2	1,1
Ag	0,05	37	0,04	68	0,08	55	0,057	0,07
Sn	3,7	26	4,7	63	2	45	4,6	2,5
Sb	1,3	77	3	80	0,9	74	1,2	0,5
W	1,5	85	1,8	90	1,3	78	1,7	1,3
Hg	0,044	68	0,03	65	0,02	59	0,06	0,083
Pb	32	11	29	44	17	38	19	16
Bi	0,4	90	0,25	95	0,25	70	0,4	0,009

\* Коэффициент вариации, %.

Все это свидетельствует об однородности изученных геохимических выборок и «типичности» средних значений, адекватно отражающих пространственно-временные параметры фонового распределения элементов. Отсюда следует, что концентрации последних, в 1,5 раза больше или меньше фоновых уровней (наиболее часто используемое «минимально-аномальное содержание»), по крайней мере в почвах и донных отложениях, достаточно уверенно могут быть отнесены к «аномальным содержаниям». При использовании кларков наибольшую трудность представляет выделение и оконтуривание техногенных геохимических аномалий слабой интенсивности. Интенсивные и средние по интенсивности аномалии надежно фиксируются для большинства элементов.

Рассмотрим подходы к разработке системы эколого-геохимических показателей на примере выявления и оценки техногенных геохимических аномалий, формирующихся в донных отложениях рек и отличающихся аномальным накоплением группы химических элементов. Обычно такую группу элементов, отражающую состав аномалии и характеризующую определенный миграционный поток, связанный с источником или несколькими источниками воздействия, называют «геохимической ассоциацией». Выявление и оценка геохимических аномалий основаны на изучении геохимических выборок, отвечающих определенным участкам реки, испытывающим воздействие источника (группы источников) загрязнения

или находящимся в фоновых условиях. Анализ геохимических выборок включает расчет стандартных параметров распределения элементов в исследуемом объекте: среднее содержание (обычно среднее арифметическое), среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации (обычно по среднему квадратическому отклонению) и др. В зонах загрязнения многие элементы отличаются неоднородным распределением (коэффициенты вариации часто выше 100%), однако вариация проявляется при концентрациях, заметно выше фоновых уровней.

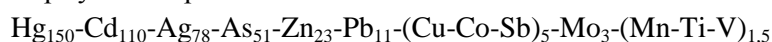
Для характеристики техногенных геохимических аномалий в донных отложениях рек предлагается использовать следующие показатели (ниже речь идет о «положительных» аномалиях).

1. Коэффициент концентрации химического элемента -  $K_C$  [62]; характеризует его степень концентрирования (уровень аномальности, интенсивность аномалии) в донных отложениях (в зоне загрязнения) относительно фонового содержания. В геохимическую ассоциацию включаются элементы со значениями  $K_C$  не менее 1,5 (предполагается, что в данном случае величина превышения над фоном превосходит природную вариацию и возможные ошибки опробования и аналитических исследований), т. е. концентрация элемента, в 1,5 раза превышающая фон, является минимально-аномальным содержанием. Коэффициент рассчитывается по формуле:

$$K_C = C_i / C_\phi,$$

где  $C_i$  – средняя концентрация  $i$ -го химического элемента в исследуемом объекте (геохимической выборке),  $C_\phi$  – фоновое содержание этого элемента.

2. Формула геохимической ассоциации [51]; характеризует качественный (элементный) состав и структуру геохимической аномалии; представляет собой упорядоченную по значениям  $K_C$  совокупность (ранжированный ряд) химических элементов. Как правило, геохимическая ассоциация, характерная для определенного вида воздействия, отличается своеобразным количественным сочетанием (соотношением значений  $K_C$ ) элементов. Формула изображается так:



(цифровые индексы около символов элементов представляют их  $K_C$ ). Очень часто элементы, входящие в ассоциацию, систематизируются (объединяются) по значениям  $K_C$  в группы, границы интервалов которых примерно соответствуют шкале десятичных логарифмов с шагом 0,5: 1,5-3; 3-10; 10-30; 30-100 и т. д., что наглядно при сравнении различных объектов и представлении материалов в виде таблиц.

3. Показатель  $N_3$ ; характеризует количественный состав ассоциации и отражает число входящих в нее элементов (т. е.  $K_C$  которых не менее 1,5).

4. Коэффициент среднего накопления химических элементов  $R_X$ , являющийся вариантом известного коэффициента накопления Моксхэма [101]; представляет собой среднее арифметическое суммы значений  $K_C$  элементов, входящих в геохимическую ассоциацию, и характеризует среднюю интенсивность аномалии; рассчитывается по формуле:

$$R_X = 1/n \sum_{i=1}^n (C_i / C_\phi),$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го элемента в изучаемом компоненте,  $C_\phi$  – его фоновое содержание),  $n$  – количество элементов, входящих в ассоциацию ( $N_3$ ).

5. Суммарный показатель загрязнения  $Z_C$  [53, 62]; представляет собой сумму коэффициентов концентрации  $K_C$  (за вычетом фона) элементов, входящих в геохимическую ассоциацию, и отражает аддитивное превышение фонового уровня группой ассоциирующихся элементов. Он рассчитывается по формуле:

$$Z_C = \sum_{i=1}^n C_i - C_\phi / C_\phi = \sum_{i=1}^n K_C - (n - 1),$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го химического элемента в изучаемом компоненте,  $C_\phi$  – фоновая концентрация этого элемента,  $K_C$  – коэффициент концентрации  $i$ -го элемента,  $n$  – количество элементов, входящих в ассоциацию ( $N_3$ ).

6. Показатель санитарно-токсикологической вредности  $Z_{CT}$ ; представляет собой сумму коэффициентов концентрации  $K_C$  (за вычетом фона) химических элементов 1-го и 2-го классов опасности, входящих в ассоциацию, для которых утверждены ПДК в воде водных объектов, и отражает степень потенциальной санитарно-токсикологической вредности; рассчитывается по той же формуле, что и  $Z_C$ . (с соответствующими коррективами).

7. Показатель участия химического элемента в геохимической ассоциации  $M_C\%$  [66]. Он отражает процентную долю участия химического элемента в ассоциации и используется для характеристики структуры последней; рассчитывается по формуле:  $M_C\% = (K_C - 1 / Z_C) \times 100\%$ . Рекомендуется рассчитывать данный показатель для элементов, доля участия которых в ассоциации в сумме превышает 50% (это, как правило, не более 2-4 элементов).

8. Общая характеристика техногенных геохимических аномалий на основе ориентировочной шкалы оценки загрязнения рек по интенсивности накопления химических элементов, входящих в геохимическую ассоциацию, в донных отложениях (табл. 2).

Таблица 2. Ориентировочная шкала оценки техногенного загрязнения рек по интенсивности накопления химических элементов в донных отложениях

$Z_C$	$Z_{CT}$	Уровень загрязнения	Степень санитарно-токсикологической вредности	Содержания элементов в растворе речных вод
< 10	< 10	Слабый	Допустимая	Большинство в пределах фона
10-30	10-30	Средний	Умеренная	Многие повышены относительно фона; некоторые эпизодически достигают ПДК
30-100	30-100	Высокий	Опасная	Многие выше фона; некоторые превышают ПДК
100-300	100-300	Очень высокий	Очень опасная	Многие значительно выше фона; некоторые стабильно превышают ПДК
> 300	> 300	Чрезвычайно высокий	Чрезвычайно опасная	Большинство во много раз выше фона; многие стабильно превышают ПДК

Указанная шкала, разработанная на основе эмпирического материала, полученного при сопряженном изучении техногенных геохимических аномалий в донных отложениях и в растворе речных вод, в существенной мере имеет экспертный характер, но, тем не менее, опыт свидетельствует об эффективности ее применения, особенно для сравнения разных рек, участков их русла, объектов и районов (табл. 3). Степень санитарно-токсикологической вредности геохимических аномалий определяет, в данном случае, потенциальную значимость донных отложений как источника загрязнения водной фазы и вероятность непосредственного токсического воздействия их (как вещества) на живые организмы.

В принципе, предлагаемые показатели могут быть применены к другим объектам эколого-геохимического изучения (отходы, почвы, аэрозоль, речная взвесь и т.д.), они легко отображаются на картах, а фоновая концентрация элемента может быть заменена его кларком и т. д.

#### Эколого-геохимические последствия деятельности человека

А.Е. Ферсман считал, что техногенез может быть сведен к следующим основным пунктам [72, 73]: 1) извлечение химических элементов из недр; 2) перераспределение (распыление) их на земной поверхности; 3) сельскохозяйственная и инженерная перегруппировка элементов на поверхности земли; 4) колоссальное накопление масс, изъятых из естественной обстановки и поставленных в новые геохимические условия, включая образование новых видов химических соединений и геологических образований.

Таблица 3. Геохимические ассоциации в донных отложениях водотоков бассейна Пахры (Московская область)

Промышлен- ная нагрузка	Город	Ручей, река	$K_C$ элементов относительно фона					э	х	с	ст
			> 100	100 - 30	30 - 10	10 - 3	3 - 1,5				
Комплексное производство	Подольск	Черный	Hg <sub>317</sub> - Ag <sub>150</sub>	Cd <sub>60</sub> -In <sub>53</sub>	Cu <sub>26</sub> -Ni <sub>24</sub> -Pb <sub>22</sub> - Sn <sub>15</sub> -Sb <sub>14</sub> -Se <sub>11</sub>	V-Zn-Cr-Nb-P- W-As-Bi-Sr-Ba	Co-Be-Mo-Sc-F-Y	26	19,2	730	585
	Домодедово	Северный	-	Ag <sub>44</sub>	Cd <sub>14</sub> -Ce <sub>12</sub>	Zn-Se-Hg-Sb-Sn- As-Pb	P-Cu-Sc-Sr-Ti-Co-Bi- Ni-Ba	19	3,6	105	79
Химическая промышлен- ность	Бутово	Гвоздянка	-	-	Hg <sub>26</sub>	Sn-Ag-Sc-Cr-Ga- P-Pb-Mo	Ti-Co-Nb-Cu-Ba-V-Sr- Sc-As-F	19	2,7	70	42
	Апрелевка	Свинорье	Hg <sub>553</sub> - Ag <sub>107</sub>	Ni <sub>35</sub>	Cd <sub>25</sub> -Sr <sub>20</sub>	Cu	Pb-As-Se-Co-Bi	11	19,6	745	705
	Подольск	Художественный	-	-	Sn <sub>13</sub>	Ag-Cd-Cu-Ba- Co-Hg	Zr-Pb-Ni-ScTi-V-Zn-Sr- P	16	2,1	46	18
Производство строительных материалов	Подольск	Плещеевский	-	-	Ag <sub>14</sub>	Hg-Cu-Ba-Pb-Co- P-Sr	Cd-Sc-Ni-V-Li-Zn-Ti- Ga-F	17	2,3	51	30
	Домодедово	Промышленный	-	-	Ag <sub>25</sub> -Hg <sub>12</sub> -Zn <sub>11</sub>	Bi-Sr-Cu-Zn-Sc- Sn	Pb-Ga-Mo-Cr-P-F	15	2,9	76	46
Машино- строение	Подольск	Больничный	Hg <sub>409</sub>	Ag <sub>46</sub>	-	Zn-Sr-Pb-Bi-Sc- Ba-Cd	Cu-Y-Co-Ni-Li-Cr-As- Se	17	13,2	490	470
Вторцветмет	Львовский	Петрица	Hg <sub>180</sub> - Ag <sub>170</sub>	Pb <sub>34</sub> -Bi <sub>33</sub>	P <sub>14</sub> -Cu <sub>12</sub> -Zn <sub>11</sub>	Sb-Sn-Ba-Cd-F	Co-Ga-Cr-Sr-As	17	13,1	473	430
	Щербинка	Висенский	Ag <sub>457</sub> - Hg <sub>399</sub>	-	Cu <sub>17</sub>	Cd-Zn-Bi-P-Sr- Cr-Ni	Ba-Co-Pb-Sc-Zr-Mo- As-Se	18	23,7	907	869
Коксохимия	Видное	Купелинка	-	-	Hg <sub>15</sub>	Zn-Mo-Cu-Sr	Ni-Ag-Co-Nb-Sc-Li-Cr- Cd	13	2	39	23
Легкая	Троицкий	Десна	-	-	-	Sn-Ag-Mo-	Sr-Ni-Zn-Mn-Hg-Be- Cu-Cd	11	1,5	21	13
Научные центры	Троицк	Оранка	Ag <sub>198</sub>	Cd <sub>44</sub>	Hg <sub>15</sub>	Bi-Cu-Zn-P-Sn- Pb	Sr-Co-Ni-Ba-Sc-Cr-F- As-Se	18	8,2	288	270
	НИИ связи	Незнайка	Ag <sub>210</sub>	Bi <sub>56</sub> -Hg <sub>43</sub>	P <sub>14</sub>	Zn-Cu-Cr-Sc-Cd	Y-Sn-Ga-Nb-Ti-Zr-Yb- Sr-Mn-Ni-Co-Se-As-F	23	9,8	354	310
Аэропорты	Домодедово	Мура- ниха	-	Ag <sub>46</sub>	Hg <sub>29</sub>	Bi-P-Cu-Mo-Zn- Cr-Ga	Nb-Ni-Co-Ti-Zr-Y-Sn- Cd	17	3,7	110	88
	Внуково	Ликово	Ag <sub>1250</sub> - Bi <sub>100</sub>	Cr <sub>49</sub>	Ba <sub>27</sub> -Cu <sub>18</sub> -Zn <sub>17</sub> - Sn <sub>14</sub> -Ag <sub>13</sub>	Pb-Cd-	Ni-Mn-Sr-P-Ga-Nb-Sn- Y-Ti	19	38,4	1498	1400
Щербинская свалка		Канопелька	Ag <sub>232</sub> - Sn <sub>151</sub>	Cd <sub>64</sub> -Ni <sub>56</sub>	Sb <sub>16</sub> -Cu <sub>11</sub>	Hg-Pb-Zn-Cr-	Co-Sc-Zr-Ba-As-Mn- Ba-Sr	18	14,7	550	330

Он сгруппировал элементы по особенностям участия их в промышленном производстве, выделив три группы: а) С, Cl, К, Р, 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 металлическое состояние; в) S, Ca, Mg - занимают промежуточное положение, лишь частично обогащаемые и концентрируемые человеком. Основными типами геохимических реакций техногенеза являются: 1) сжигание С, Н, S и их трансформация в CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>; 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 рассеянных элементов; 5) химическая переработка растворимых природных солей.

Согласно Р. Мартину [41], существует пять типов веществ, различающихся своей значимостью для живых систем: 1) необходимые вещества (при недостатке возникают функциональные нарушения, устраняемые путем введения в организм этого вещества); 2) вещества-стимуляторы; 3) инертные вещества; 4) вещества-терапевтические агенты; 5) токсичные вещества (при определенных концентрациях причиняют вред организму, ведут к функциональным нарушениям, деформациям, смерти). В зависимости от концентрации и продолжительности контакта вещество может действовать по одному из пяти указанных типов (в одном и том же организме). Металлы и металлоиды, играющие биологическую роль, Дж. Вуд и Е. Голдберг [105] разделили на три группы: 1) легкие металлы, обычно транспортируемые как подвижные катионы в водных растворах (например, Na, К); 2) переходные металлы, которые могут быть токсичными в высоких концентрациях (например, Fe, Co, Cu); 3) тяжелые металлы и металлоиды, которые могут быть необходимы для биологической активности клеток в микроуровнях, но токсичны для них при высоких содержаниях (например, Hg, Sn, Be, As, Se). Для многих элементов известен чувствительный баланс между использованием их для каталитических процессов в клетках высших организмов и биоаккумуляцией до токсичных уровней. Для тяжелых металлов прямая детоксикация в условиях среды обитания в принципе невозможна, поскольку их токсичность часто обусловлена свойствами самого элемента (атома), а не вещества, в состав которого он входит. Г. Спозито [41] показал, что с экологических позиций Cu, Zn, Ag, Cd, Sb, Sn, Hg и Pb представляют собой наибольшую опасность в региональном масштабе, причем интенсивное накопление в окружающей среде наблюдается для Pb, Hg, Cd и Ag. По данным ООН, наиболее опасными для человека являются Be, V, Cd, Co, Mn, Cu, As, Ni, Hg, Pb, Se, Ag, Sb, Cr, Zn. В локальном аспекте загрязнение среды обитания может быть связано и с более разнообразным комплексом элементов и соединений, и с ярко выраженной «специализацией». Последнее особенно типично для тяжелых металлов (Hg, Cd, Pb), органических соединений (ПХБ, ПАУ, диоксины и др.), некоторых химических элементов (F, Se) и соединений (азота, фосфора) [5, 31, 32, 36, 48, 75, 77, 78, 81, 95, 100].

В настоящее время глобальные потоки вещества, обусловленные деятельностью человека, по своим масштабам и интенсивности уже соотносимы с потоками общего осадочного цикла [6, 26, 28, 34, 36, 70, 97, 104, 105]. Существенные нарушения в балансе и круговороте проявлены для биофильных элементов (углерода, кислорода, азота, фосфора), тяжелых металлов (Hg, Cd, Pb), других химических элементов (Na, Cl, As, Se, S), многих органических соединений. В биосфере формируются глобальные, региональные и локальные потоки и круговороты ксенобиотиков, т. е. «чужеродных» для нее химических соединений (ДДТ, ПХБ и др.) [36, 48, 83, 94]. Во многих районах мира наблюдается направленный рост концентраций поллютантов в объектах окружающей среды, о чем свидетельствуют данные, полученные при мониторинге и хронологическом изучении состава полярных льдов, донных отложений озер и океанов, слоев сфагнового торфа, музейных экспонатов биообъектов и т. п. [42, 98].

На локальном уровне интенсивность воздействия техногенных источников определяется массой химических элементов (веществ), поступающей на данную территорию (техногенная нагрузка на окружающую среду). Величина нагрузки, образуемой выбросами, стоками и твердыми отходами, зависит как от уровней содержания в них поллютантов, так и от общего объема отходов. При оценках опасности за-

грязнения среды обитания поллютантами необходимо учитывать способ их поставки и возможность попадания в воздух, питьевую воду, пищу. Следует различать прямые и отдаленные экологические последствия [53, 62]. 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 и т. п.). Сочетание элементов и их соединений в различных отхода характеризует специфику источника загрязнения. Практически во всех случаях техногенное воздействие является комплексным по составу поллютантов источником воздействия на биосферу.

К настоящему времени наиболее полно эколого-геохимические данные, отражающие важнейшие особенности деятельности человека как геохимического фактора, систематизированы для городов и городских агломераций.

Город отличается от природных экосистем более интенсивным метаболизмом на единицу площади, большим притоком извне энергии (поступающей главным образом в виде горючих ископаемых) и большими потребностями в поступлении веществ (пища, вода, минеральное сырье и другие материалы), более мощными и опасными с эколого-гигиенических позиций потоками отходов человеческой деятельности, а также ярко выраженным разорванным циклом круговорота химических элементов [43, 55, 61, 99]. Город, как правило, оказывает прямое или опосредованное воздействие на территории, значительно превосходящие его по площади. Именно в городе наиболее проявлен закон развития системы за счет окружающей ее среды. Именно город характеризуется ярким выражением двух основных процессов техногенеза: концентрированием значительных масс химических веществ и их рассеиванием. И именно в городе наиболее ярко проявлены все формы биогенной миграции элементов 3-го рода. Важнейшая особенность многих городов - наличие разнообразных источников, поставляющих в городскую среду (в составе пылевых и газовых выбросов в атмосферу, твердых отходов, сточных вод) многие химические элементы и их соединения [12, 51, 54, 58, 65, 66, 82, 85, 92, 97, 98]. Все это обуславливает формирование сложных потоков вещества, детерминирующих не менее сложную гетерогенную геохимическую структуру территорий городов и их окружения.

Поставка химических элементов в атмосферу городов осуществляется в двух основных фазовых состояниях – в виде газовых и пылевых выбросов. Если состав и особенности поведения первых подробно рассмотрены в литературе, то геохимия промышленной пыли изучена слабо. В то же время пылевые выбросы в значительной степени определяют интенсивность загрязнения атмосферного воздуха и формирование геохимических аномалий в почвах и снеговом покрове, которые, в свою очередь, являются источниками вторичного поступления поллютантов в поверхностные водотоки, подземные воды, жилые и общественные здания и обратно в атмосферу.

В ходе производственных процессов на заводах образуются следующие разновидности пыли [85, 89, 92]: 1) технологическая пыль, поступающая в атмосферу преимущественно с организованным выбросом предприятия (обычно после прохождения через системы очистки; 2) вентиляционная пыль, поступающая в атмосферу главным образом с неорганизованными выбросами (через местные системы вентиляции, окна, двери); 3) пыль, осаждающаяся в рабочих помещениях (так называемые «пылесметы»). Промышленная пыль отличается высокими содержаниями химических элементов, значительно превышающими их фоновые уровни в почвах (табл. 4). В рассматриваемых случаях особенно интенсивно в пыли концентрируются тяжелые металлы. Для значительной части элементов более высокие уровни фиксируются в технологической пыли, образующейся в ходе основных производственных операций. Но есть исключения. Так, на электроламповом заводе максимальные концентрации Cu, Zn, Pb наблюдаются в пылесметах; на заводе по производству специальных источников света наиболее высокие содержания Cr, Ni, Zn, Mo, Sn, Ba обнаруживаются в вентиляционной пыли. Как правило, пыль отличается (по сравнению с природными почвами) пониженными концентрациями литофильными элементами, например Ti (исключение составляет пыль завода специальных источников света) и Zr. Относительно невысокие со-

держания наблюдаются для Sc, Y, Ga (исключение - пылесметы указанного завода), Sr (исключение - технологическая пыль электролампового завода) и Nb.

Таблица 4. Геохимические ассоциации в пыли, образующейся на электротехнических предприятиях г. Саранска

Завод	Пыль*	$K_C$ элементов относительно фона в почвах					
		> 300	300-100	100-30	30-10	10-3	3-1,5
Электроламповый	1	Sb-Cd	Hg-W	Pb-Sn-Ba-As	Zn-Mo-Cu-Sr-Ge	Mn-Cr-Ag	Co-B-V-Ni
	2	-	-	Pb	Hg	Zn-Cd-Cu	-
	3	Cd	Pb-Cu	Hg	Zn	Mn	-
Специальных источников света	1	Cu	B-Ag	Pb-Zn-	Sb-W-Bi-Cr	Ni-Cd-Mo-Co-Hg-Mn-	Ge-V-Sn-Ti-
	2	Cu	Ag-Pb	Cr-Zn	Sb-Ba-Mo-Ni	Hg-Cd-Co-W-Sn-Mn	B-V-Ge-Ti-Sr
	3	Pb	-	W	Sb-Bi	Zn-Hg-B-Cu-Ga-Co-Ag-V	Mo-Sn-Ni-Ti-Cr
Электровыпрямитель	1	-	-	Cd-Mo-Cu	Cr-Pb-Co-Ni	Ag-Zn	Mn
	3	-	-	Pb-Mo-Zn-Cd	-	Cu-Cr-Fe	Co
Силовой электроники	1	Cd		Pb-Mo	-	Cr-Cu-Zn-Ag	Co
	3	Ag	Mo	Cd-Zn-Pb	Cu	Cr-Fe	Co
Силовых преобразователей	1	-	-	Cu	Cd-Ag	Zn-Ni-Co-Mo-Cr-Mn	Pb
	3	-	-	Cd-Pb	-	Zn	Cu-Fe-Cr
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

\* 1 – технологическая; 2 – вентиляционная; 3 – пылесметы.

Отмеченные факты отражают специфику технологических процессов и особенности состава используемых на заводах сырья и материалов. Например, пыль, образующаяся на заводе специальных источников света, где применяются материалы для варки стекла, имеющие литогенную основу (сода, песок, доломит и др.), характеризуется более высокими концентрациями литофильных элементов (Ti, B, V, Ba, Sr). Высокие содержания Sb, Cd, Ba, Mn, Ag в пыли электролампового завода обусловлены их присутствием в люминофорах, Hg, Mo, W, Sn - непосредственным применением в производстве люминесцентных ламп и ламп накаливания. На кабельном заводе используются Sn, Pb, Zn, Cu, а Cd входит в состав ПВХ-пластиката, что отражается в их интенсивном концентрировании в пыли. Как правило, конкретный завод отличается специфическим составом геохимической ассоциации, характерной для той или иной разновидности пыли. Это проявляется, прежде всего, в различном соотношении уровней элементов (значений  $K_C$ ), а также, в меньшей степени, в появлении в ассоциации типичных только для данного производства поллютантов.

Изучение баланса подвижных и прочносвязанных форм некоторых металлов в технологической пыли завода специальных источников света показало, что они присутствуют в ней преимущественно в устойчивых соединениях (видимо, в виде оксидов и тонкодисперсных металлических частиц) (табл. 5). В вентиляционной пыли доля подвижных форм возрастает, что заметно проявлено для Zn, Pb, Cd, в меньшей степени для Sr и Cu. Это может быть связано с образованием их карбонатных и сульфатных соединений и свидетельствует о повышенной гигиенической опасности пыли. Расчеты показывают, что в городскую среду с организованным пылевым выбросом электролампового завода ежегодно поступает более 3 т различных металлов, завода специальных источников света – около 8 т металлов. На электроламповом заводе более 11 т металлов остается в уловленной очистными установками пыли, которая в течение многих лет вывозится на городскую свалку. Значимая эмиссия поллютантов связана, безусловно, и с неорганизованными выбросами. Промышленная пыль обычно обогащена Fe и Ca, что обуславливает ожелезнение и карбонатизацию городских почв).

Таблица 5. Металлы в технологической (1) и вентиляционной (2) пыли завода специальных источников света и электровакуумного стекла

Металл	Вал, мг/кг		Подвижные формы, извлекаемые ацетатно-аммонийной вытяжкой, мг/кг		Доля подвижных форм от вала, %	
	1	2	1	2	1	2
Cu	5300	85	2,86	9,2	0,05	10,8
Co	31	-	2	-	6,45	-
Ni	260	31	16,2	1,2	6,23	3,9
Zn	3200	460	89,2	271	2,79	58,9
Mn	1000	660	104,4	16,6	10,44	4,8
Cr	190	92	4,05	16,6	2,13	18
Ag	-	9	-	0,02	-	0,22
Cd	-	3	-	2,78	-	92,6
Pb	-	1200	-	690	-	57,5

Наличие в производственных цехах пыли, обогащенной тяжелыми металлами, кроме опасности прямого воздействия на рабочих, не исключает ее переноса ими на обуви и одежде в жилые помещения и общественные здания, что представляет собой особую форму биогенной миграции элементов 3-го рода, обуславливающей возникновение серьезных по своим возможным последствиям ситуаций (табл. 6). Подобная форма биогенной миграции типична для городов и требует детального изучения [80, 85].

Таблица 6. Содержания свинца в волосах детей дошкольного возраста в зависимости от места работы их родителей (г. Саранск)

Место работы родителей, завод, предприятие	Pb в пыли*, мг/кг			Pb в волосах, мкг/г
	1	2	3	
Автотранспортные предприятия	825 - 58500			21,49
Типография	79100	2000	17700	14,21
Электроламповый	1200	-	4200	13,77
Электровыпрямитель	290	-	760	11,67
Специальных источников света	1200	1500	5000	8,23
Механический	317	1655	220	7,55
«Непромышленные» организации	25 - 75			3,65
Региональный фон	-			3,58
Допустимый уровень	-			8
Критический уровень	-			24
Фон в почвах	15			-

\* 1 – технологическая; 2 – вентиляционная; 3 – пылесметы.

В воздухе промышленных городов (обычно изучается состав аэрозолей и взвешенной в воздухе тонкой пыли) стабильно фиксируются повышенные содержания химических элементов (табл. 7). Как правило, их средние концентрации возрастают относительно фона в 5-20 раз, иногда в десятки и даже сотни раз [12, 22, 62, 85, 97]. Обычно в пределах города наблюдается четкая пространственная дифференциация атмосферных аномалий, обусловленная, прежде всего, расположением промышленных зон и отдельных предприятий, к которым приурочены участки с наиболее высокими концентрациями элементов в воздухе. С эколого-геохимических позиций принципиальное значение имеют следующие факты: 1) приуроченность максимальных концентраций многих элементов (Pb, Zn, Sb, V, Hg, As, Se и др.) к респираторным частицам аэрозолей (размером менее 1 мкм); 2) присутствие в воздухе определенных количеств некоторых элементов (Pb, Hg, Cd, Ni, Sb, Se, As и др.) в форме так называемого «молекулярного пара», что определяет их большую проникающую способность в живые организмы, медленное выведение из атмосферы и миграцию на значительные расстояния; 3) временная неоднородность распределения элементов, причем не только сезонная, но и на коротких интервалах времени (рис. 1); 4)



присутствие высоких концентраций органических соединений; в атмосфере промышленных городов обнаружено до 200 таких соединений, но обычно стабильно идентифицируются 50-60 из них.

Наиболее четко размеры и структура техногенных геохимических аномалий выявляются при геохимическом картировании депонирующих сред – почв, суммирующего эффект многолетнего воздействия источников, и снегового покрова, отражающего сезонное загрязнение [9, 40, 51, 62, 66, 75, 85, 97]. Изучение распределения элементов в почвах и снеговом покрове позволяет надежно фиксировать геохимическую дифференциацию городских территорий. Как правило, участки с максимальным концентрированием элементов в почвах приурочены к промышленным предприятиям (рис. 2, табл. 8). Для многих металлов характерно накопление в почвах значительных количеств подвижных форм [12, 32, 62, 85].

Таблица 7. Геохимические ассоциации в воздухе городов в зоне влияния различных источников [13, 23]

Город, источник	$K_C$ элементов 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
Воскресенск, завод минеральных удобрений	-	Sr	La-Ce-Eu-Ca-Sm-Th-Hg-Zn-Cr-Ni-U	Fe-As-Sb-Pb-Mn-V-W
Дзержинск, теплоэнергетика	-	Sb-Se-Hg	Cr-Ni-Pb-Zn	Mo-Sn-Mn-La-Ce-Sm-Eu-Th
Курск, Подольск, электротехника	Pb	Cd-Ni	V-Cr-Mo-Zn-Sn-La-Sm-Ce-Eu-Au	-
Москва, машиностроение	-	-	Co-Pb-Ni-Cr-Mn-Sb	Zn-V-Sn-Mo
Саранск, электротехника, электроника, металлообработка, транспорт, стройиндустрия	Sn-Pb-Ni	V-Cd	Zn-Cr-Mo	W-Hg-Co
Темиртау, черная металлургия, химическая промышленность	-	Fe-Mn-Sb	Ni-Cr-V-Sn-Co-Sm-Hg	Pb-Zn-V-Mo-W-Eu-Th-Ba-As-Se
Ялта, автотранспорт	-	Pb-Br	Ni-Hg-V-Cr-Zn-Co	-

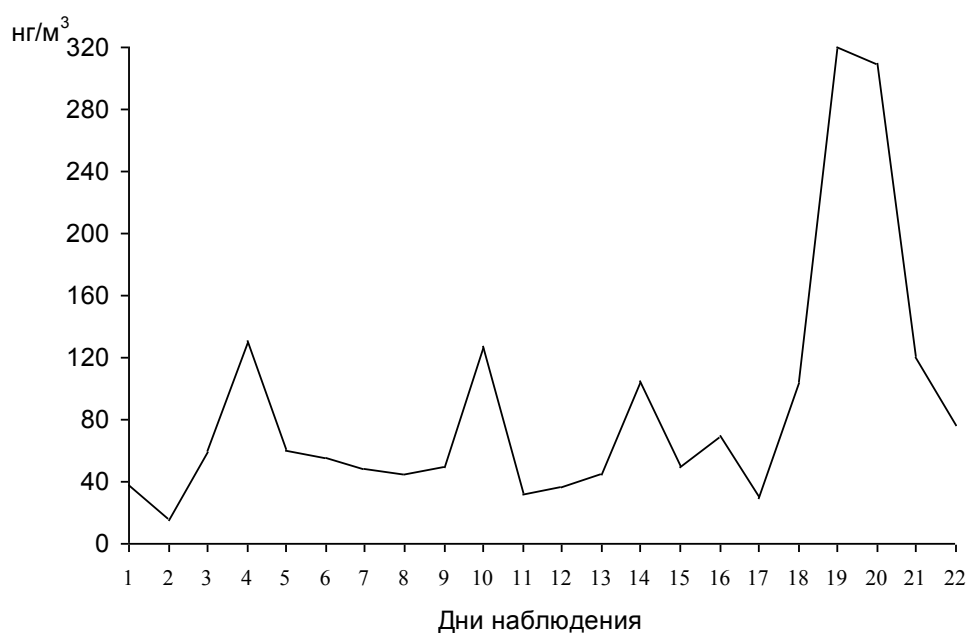


Рис. 1. Распределение свинца (аэрозольная форма) в приземном слое атмосферного воздуха южной промзоны г. Саранска (фоновый уровень – 10 нг/м³; ПДК – 300 нг/м³).

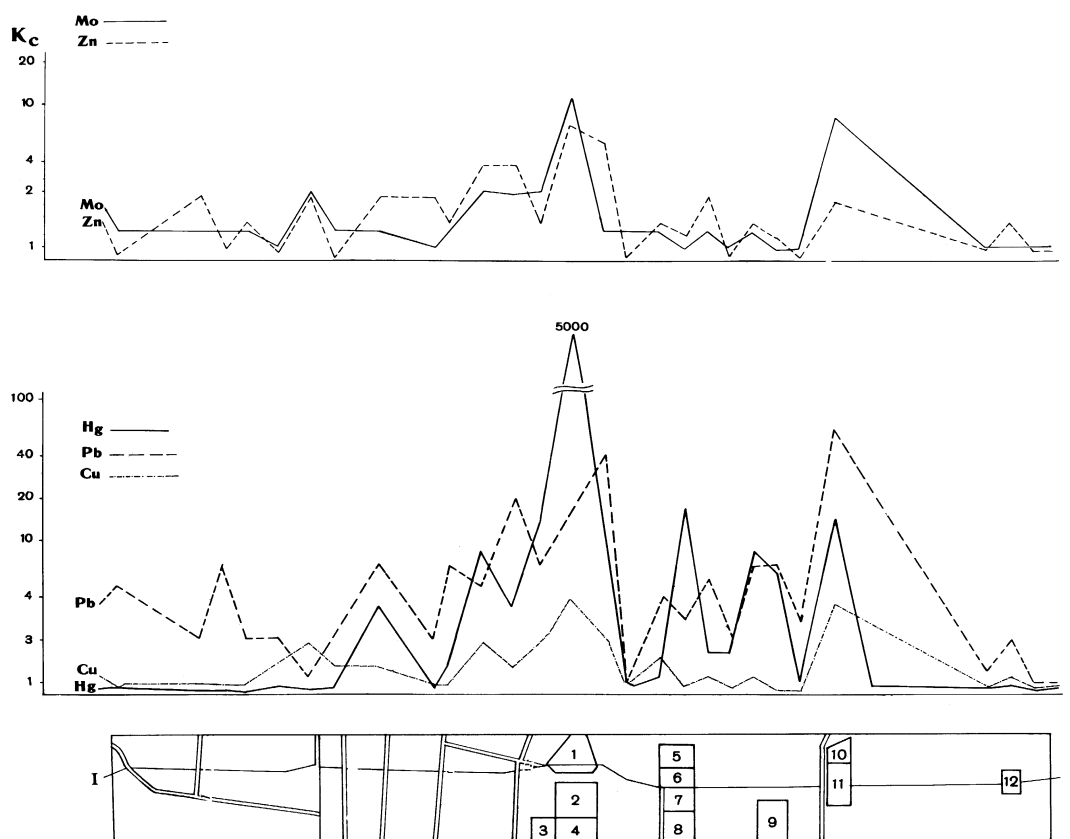


Рис. 2. Распределение тяжелых металлов в верхнем слое почв г. Саранска:  $K_C$  – коэффициент концентрации относительно фона; цифрами на схеме показаны промзоны заводов: 1 – электролампового, 2 – мед-препаратов, 3 – «Электровыпрямитель», 4 – приборостроительного, 5 – автопромоборудования, 6 – авто-самосвалов, 7 – кабельного, 8 – инструментального, 9 – крупнопанельного домостроения, 10 – НИИ источников света, 11 – специальных источников света и электровакуумного стекла, 12 – телевизионного.

Однако городские почвы – это не просто «планшет», на который осаждаются поллютанты; почва – это не только индикатор, отражающий интенсивность загрязнения воздуха. Почва является важнейшим элементом городской экосистемы и определяет многие ее особенности. В общем случае городские почвы характеризуются увеличением уплотнения, объемной массы, содержания тонкодисперсных (глинистых) фракций, гумуса (в составе которого обычно преобладают гуминовые кислоты), изменением структуры почвенных горизонтов в сторону слоеватости и формирования крупнопластинчатых отделеностей [27, 52, 75]. Установлено формирование в городских почвах сероводородной среды, где многие металлы образуют сульфиды [52]. Если ожелезнение городских почв практически не влияет на щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия миграции элементов, то карбонатизация способствует увеличению щелочности почв, насыщению поглощающего комплекса основаниями, приводит к изменению их буферности, увеличению поглотительной способности, к связыванию металлов в карбонаты и уменьшению их миграционной способности. Городские почвы характеризуются повышенными содержаниями подвижных фосфора и калия. Интенсивность техногенного воздействия проявляется в существенной трансформации общего состава верхнего горизонта почв, что еще более дифференцирует территорию города в геохимическом отношении. Дополнительным источником преобразования почв является использование загрязненных речных вод для орошения пойменных агроландшафтов (табл. 9).

Таблица 8. Геохимические ассоциации в почвах промышленных зон г. Саранска

Завод, предприятие	<i>K<sub>c</sub></i> элементов относительно фона в почвах					
	> 300	300-100	100-30	30-10	10-3	3-1,5
Электроламповый	Hg	Cd	Pb-Sb-Ag	Mo-Tl-W-Zn	Sn-Cu-Ba-Cr-Ge-Bi-Co	V-Ni-Be-As-B-P
Специальных источников света и электростекла	-	Pb	-	Hg	Mo-W-Cu-V-Zn-Sb	Cd-Ge-Cr-Li-Ag-Bi-B-Sn-Yb-F-As
Электровыпрямитель	-	W	Mo	Ag-Sn-Cu-Hg	Cd-Ge-Pb-Bi-Zn-Be	Co-B-V-Cr-Li-P
Силовой электроники	-	-	-	Mo	W-Bi-Pb-Be	Cd-V-Cu-Sn-P-B-P
Полупроводников	-	-	-	Cd	W-Sb-Hg-Bi-Sn-Be-Pb	Co-V-Cu-Ag-Zn-Yb-B-Li-Ga
Точных приборов	-	-	-	W	Be-Bi-	Pb-B-V-P-Hg-Li-Co-Yb
Инструментальный	-	-	-	W	Mo-Pb-Cu-Sn-Sb-Be	Ag-Co-Hg-As-Zn-B-Yb-V-Cr-F-Li
Механический	-	-	Sn	W-Cd	Bi-Mo-Pb-Cu-Co-Zn-Be	Hg-V-Cr-Yb-B-P-Ag-Li
Медпрепаратов	Cd	-	-	Cu-Hg-W-Ag	Mo-P-Be-Bi-Zn-Pb	Cr-B-V-Ni-Co-Sn-Li
Автохозяйство	-	-	-	Pb	Bi-Zn-Sb	Hg-Be-Cu-Cd-V-B-Li
Литейный	-	-	Bi	-	Pb-Hg-Zn	Cu-Be-V-Co-Mo-W-Cr-Sn-B-Li
Резинотехнических изделий	-	-	-	-	Pb-As-V-Sb-Bi	Zn-Co-Hg-Be-Li-Mo-Cu-B-F-Ag
Типография	Sb	Pb-Ag	Sn-Bi	-	Cd-Hg-Zn	P-Be-Cu-Co
Котельная	-	-	-	Hg	Pb-Be-Bi-Cu	Mo-Zn-Ag-B-Co-Mo-Sn-Yb-Li-P

Таблица 9. Химический состав верхнего слоя (0-10 см) почв в окрестностях г. Темиртау (Центр. Казахстан), %

Компо- нент	Жилой район		Территория химического завода			Орошаемые почвы *		Фоновые зональные (каштановые) почвы
	Западный	Восточный	Юг	Центр	Север	I	II	
SiO <sub>2</sub>	55,08	54,00	73,61	56,60	49,36	64,55	58,82	65,73
TiO <sub>2</sub>	0,34	0,54	0,28	0,39	0,61	0,59	0,66	0,66
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,40	10,00	7,44	8,00	9,57	12,17	11,65	13,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,87	4,10	1,46	2,33	3,18	3,98	4,83	3,06
FeO	2,37	1,44	2,16	0,86	1,51	1,44	1,22	1,80
MnO	0,09	0,12	0,09	0,10	0,12	0,11	0,18	0,16
CaO	12,46	6,54	3,86	11,55	8,36	1,52	1,98	2,65
MgO	0,90	1,90	0,80	1,00	1,40	1,70	1,80	2,30
Na <sub>2</sub> O	1,20	1,20	1,35	1,10	1,05	1,40	1,45	1,00
K <sub>2</sub> O	1,70	1,95	1,70	1,80	1,95	2,50	2,40	2,35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,13	0,17	0,17	0,13	0,15	0,14	0,33	0,11
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,60	3,04	0,84	1,42	2,60	2,06	2,38	1,58
S	0,12	0,57	0,18	0,20	0,20	0,10	0,12	0,10
ППП**	16,86	15,00	5,50	14,13	20,16	7,75	11,66	6,50
CO <sub>2</sub>	8,58	3,08	1,98	7,26	4,62	0,66	0,66	1,72
Hg, мг/кг	2	1	100	400	150	0,07	0,78	0,02

\* I – выше города; II – ниже города; \*\* потери при прокаливании.

С эколого-гигиенической точки зрения опасность техногенного загрязнения городских почв определяется: 1) эпидемиологической значимостью почвы; 2) ролью почвы как источника вторичного загрязнения атмосферного воздуха, природных вод, жилой и производственной среды; 3) возможностью опосредованного и непосредственного воздействия загрязненной почвы на человека и другие живые организмы; 4) значимостью почвы как биологического нейтрализатора поллютантов, осуществляющего минерализацию многих органических веществ; 5) изменением буферной способности и снижением биологической активности почвы.

Загрязнение почв приводит к изменению количественного и группового состава обитающих в них микроорганизмов. В загрязненной почве на фоне уменьшения истинных представителей почвенных микробоценозов (антагонистов патогенной кишечной микрофлоры) и снижения ее биоактивности отмечается увеличение положительных находок патогенных энтеробактерий и геогельминтов, которые более устойчивы к загрязнению, нежели представители естественных почвенных микробоценозов [40]. Почвы могут усиливать загрязнение приземного слоя атмосферы и являются источником поставки химических элементов в городскую пыль, проникающую в жилые и общественные помещения, в организм людей. Некоторые поллютанты способны улетучиваться из почвы в воздух в виде газообразных соединений. Оценка неблагоприятных последствий важна в связи с известными случаями геофагии у детей при их играх на загрязненных Pb игровых площадках. При содержании этого металла в почве на уровне 500 мг/кг фиксируется повышение его концентраций в крови, что может приводить к изменению психоневрологического статуса у детей [102]. Поступление частиц почвы в организм рассматривается в качестве одного из значимых механизмов воздействия окружающей среды на ребенка [96, 103]. Установлено, что в организм детей в возрасте от 1 года до 4 лет в процессе их обычной деятельности (игры, прогулки и т. п.) в среднем попадает 24-26 мг почвы в день [93]. Загрязненные почвы оказывают влияние на качество агропродукции и состояние городских насаждений, а поверхностный сток и фильтрация атмосферных осадков может приводить к поступлению поллютантов в водные объекты и грунтовые воды. Металлы, аккумулирующиеся в почвенном покрове, очень медленно удаляются из него. По расчетам, приводимых в [32], первый период полужизни тяжелых металлов из почв сильно варьируется и составляет: для Zn - 70-510 лет (при интенсивной промывке – 70-81 год), для Cd - 13-1100, для Cu - 310-1500, для Pb - 740-5900 лет.

Исследованиями установлены закономерные связи между распределением химических элементов в окружающей среде, их накоплением в организме людей и показателями здоровья населения [41, 48, 50, 60-62, 81, 95, 100]. Особенно четко подобная связь проявлена у детей и отражается в широком спектре неблагоприятных реакций организма на состояние среды обитания (прежде всего, атмосферного воздуха). Обычно в малых и средних городах преимущественно с машиностроительной промышленностью суммарная заболеваемость лишь не более чем на 10% связана с загрязнением среды. В крупных городах этим фактором определяется уже до 25% всех заболеваний, а в городах с мощными источниками выбросов (металлургия, химическая промышленность, горно-обогатительное производство) – до 50%. Особенно значимо влияние загрязнения на уровень заболеваний органов дыхания. В крупных городах с загрязнением связано до 40-60% таких болезней.

Однако негативное воздействие на состояние здоровья населения в городах связано не только с загрязнением воздуха. Например, интенсивная эксплуатация подземных вод для водоснабжения г. Саранска обусловила понижение пьезометрического уровня их и формирование депрессионной воронки, что привело к трансформации состава подземных (питьевых) вод, проявившейся в изменении химического класса вод, росте минерализации, жесткости, содержания макрокомпонентов, фтора, алюминия, железа, соединений азота (табл. 10). Высокие содержания фтора в питьевых водах (типичные уровни находятся в интервале 2-3 мг/л) определяют повышенную фторовую нагрузку на жителей города (рис. 3). Гиперфтороз находит свое выражение в специфическом поражении зубов, в том числе у детей 5-6-летнего возраста, а также в интенсивном накоплении фтора в биосубстратах детей (моча и волосы). В среднем по городу флюороз постоянных и молочных зубов отмечен у 11,7% обследованных детей, причем у 4% - II и III степени. У детей подросткового возраста интенсивность проявления флюороза зубов была еще значительнее. Таким образом, в пределах Саранска сформировался гиперфторовый биогеохимический район, генезис которого обусловлен как природными (повышенные концентрации фтора в артезианских водах), так и техногенными (интенсивный водозабор) факторами [81, 88].

Таблица 10. Химический состав подземных вод Саранского месторождения, мг/л

Водозабор*	Сезон	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ж.**	С***	F	С****
Руднянский	Лето	49	117	319	1,56	0,021	46	3,5	50	44	0,77	6,2	1,5	2,21	543
	Осень	38	80	339	1,68	0,420	24	4,5	58	51	0,49	5,9	2,4	1,55	513
Пензятский	Лето	58	109	298	1,60	0,014	38	3,2	53	54	0,42	5,5	1,9	2,14	551
	Осень	57	106	339	1,93	0,019	24	4,1	61	61	0,31	4,9	3,1	1,60	495
Октябрьский	Лето	199	264	294	2,04	0,011	56	5,9	66	153	0,96	7,9	1,9	2,81	910
	Осень	203	235	275	9,03	0,009	34	6,4	70	160	0,71	6,2	3,8	1,83	1011
Центральный	Лето	235	265	283	2,41	0,016	64	5,9	68	148	0,79	8,6	1,9	2,44	933
	Осень	237	235	282	7,25	0,091	35	6,2	81	166	0,61	6,8	4,2	2,25	1041
Резинотехника	Лето	308	269	257	2,55	0,017	59	6,7	73	187	1,02	6,8	2,5	2,64	1279
	Осень	330	209	250	10,75	0,012	38	7,2	84	212	0,73	7,2	4,2	2,45	1288

\* Первые два водозабора расположены в пределах г. Саранска, третий – находится на его окраине, два последних – за его пределами (7 и 27 км соответственно); \*\* общая жесткость, мг-экв/л; \*\*\* перманганатная окисляемость, мгО<sub>2</sub>/л; \*\*\*\* сухой остаток.

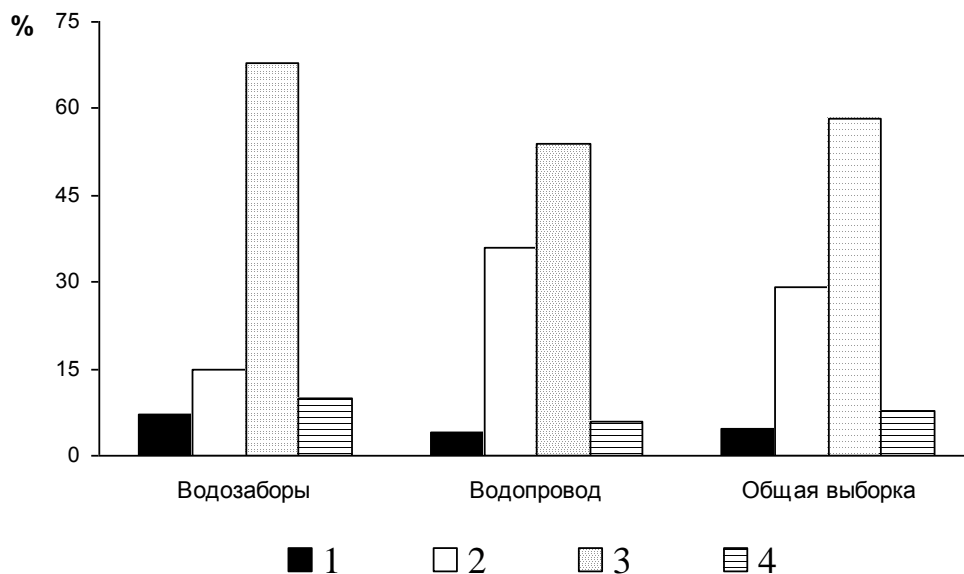


Рис. 3. Частота встречаемости проб питьевых вод с различным содержанием фтора в г. Саранске. Содержания фтора: 1 - < 1,5 мг/л; 2 - 1,5-2 мг/л; 3 - 2-3 мг/л; 4 - > 3 мг/л.

Кардинальные преобразования происходят в реках промышленно-урбанизированных районов. Здесь практически всегда наблюдается техногенная метаморфизация исходного химического типа,

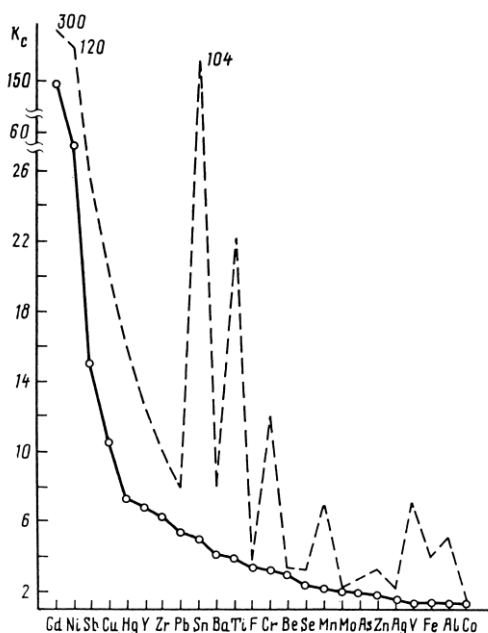


Рис. 4. Геохимические спектры в воде р. Пахры ниже устья ручья, принимающего сточные воды г. Подольска.  $K_C$  – коэффициент концентрации относительно фона; сплошная линия – средние значения  $K_C$  растворенных форм за месячный период наблюдения; пунктир – максимальные значения  $K_C$  за тот же период.

группы и класса речных вод. Это, например, проявляется в переходе зональных гидрокарбонатных кальциевых вод в сульфатные натриевые и затем в хлоридные натриевые воды, что выражается в формировании резко выраженной пространственной «гидрохимической пестроты» поверхностных вод, когда в пределах относительно однородного в ландшафтном отношении и небольшого по площади участка бассейна (100-150 км<sup>2</sup>) одновременно развиты (чрезвычайно редкое для естественных условий явление) речные воды разного химического типа, группы и даже класса. Отмечено появление практически не существующих в природных условиях речных нитратных вод. Часто наблюдается переход вод из пресных в солоноватые воды.

Многочисленные и разнообразные по своим характеристикам источники загрязнения обуславливают формирование в речных водах интенсивных полиэлементных геохимических аномалий, проявляющихся как в растворе вод, так и во взвешенном веществе [63-65, 77, 85, 98] (рис. 4). Химические элементы, мигрирующие в речных водах в растворенных и взвешенных формах, характеризуются резко выраженной пространственно-временной

неоднородностью распределения их концентраций. Это, в свою очередь, обуславливает изменения типичных соотношений указанных форм, свойственных конкретным элементам в фоновых условиях данного района. Если в последнем случае для взвешенных и растворенных форм миграции элементов характерна относительная пространственно-временная стабильность их соотношения, то в зонах техногенного загрязнения она резко нарушается (рис. 5, 6). Для некоторых элементов возрастает значимость растворенных форм. Одновременно происходят кардинальные изменения в составе растворенных форм (табл. 11). Однако для многих элементов наблюдается заметный рост доли их взвешенных форм, что связано как с увеличением мутности речных вод (обычно в 3-5 раз по сравнению с фоном), так и, в первую очередь, с резким возрастанием (в десятки и сотни раз) концентраций элементов в самой взвеси, в существенной мере формирующейся за счет поступающих сточных вод и загрязненного поверхностного стока с городских территорий. Во взвеси существенная часть металлов концентрируется в подвижных формах, что определяет их высокую миграционную способность и потенциальную возможность преобразования в системе «вода-биота-донные отложения». Для многих металлов наблюдается направленная трансформация баланса форм, проявляющаяся в увеличении относительной доли подвижных соединений в ходе миграции (табл. 12).

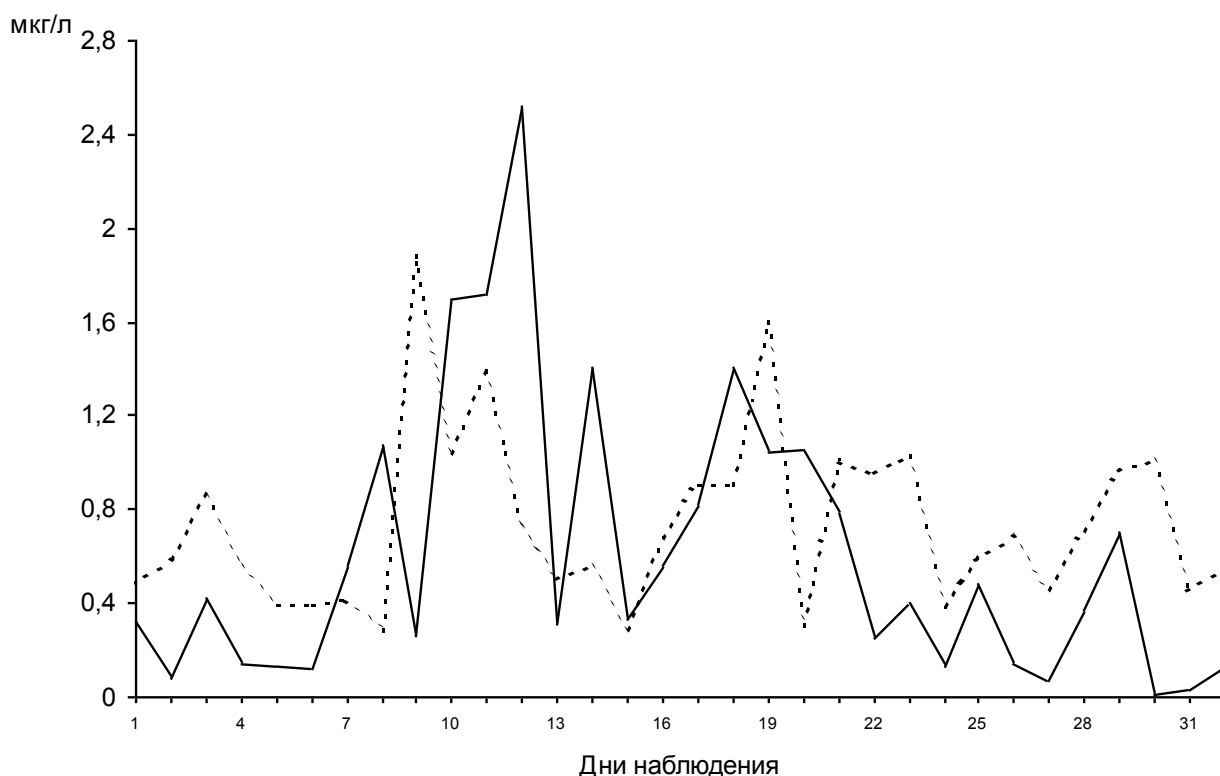


Рис. 5. Распределение взвешенных (сплошная линия) и растворенных (пунктир) форм ртути в воде р. Пахры ниже места сброса сточных вод г. Подольска, летняя межень.

В большинстве случаев качественный состав и количественные параметры техногенных геохимических аномалий в речных водах в самых верхних участках их формирования определяются режимом функционирования источника загрязнения (объем, скорость, периодичность поступления и характеристики сточных вод, формы поллютантов и т. д.). По мере удаления от источника (города) в результате гидродинамических, физико-химических и биологических процессов распределение и поведение элементов зависят уже от широкого диапазона окружающих условий. Влияние города с хорошо развитой промышленной структурой на состав вод и взвеси малых и средних рек прослеживается на 25-30 км,



иногда до 80-100 км. Но наиболее протяженные геохимические аномалии фиксируются в речных отложениях, в формировании которых ведущую роль играют процессы осаждения речной взвеси, отличающейся особым петрохимическим составом и обогащенной химическими элементами. Это определяет необходимость исследования процессов современного осадконакопления в реках освоенных районов.

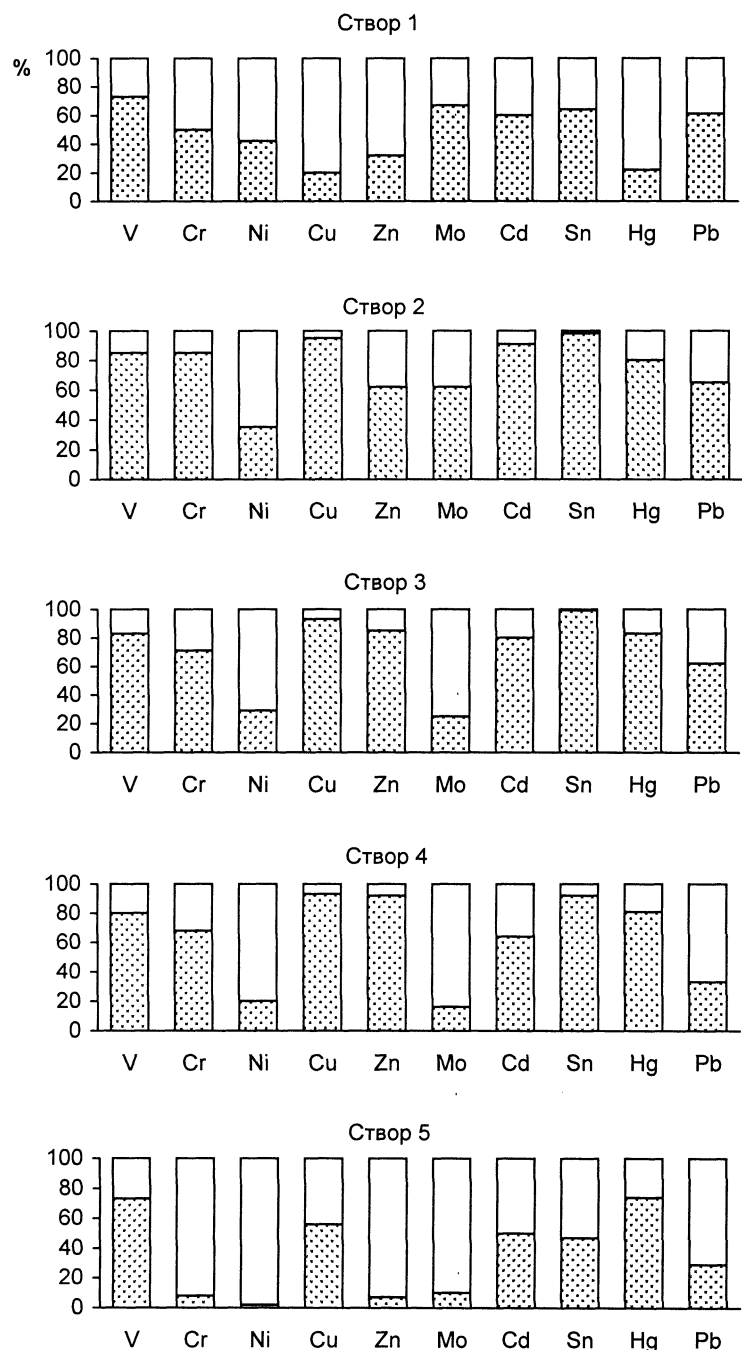


Рис. 6. Баланс взвешенных (точки) и растворенных форм металлов в воде р. Инсар в зоне влияния г. Саранска. Створы: 1 – фоновый; 2 – центр города; 3 – ниже городских очистных сооружений; 4 – 8 км ниже очистных сооружений; 5 – устье реки.

Обычно донные отложения рек не столько изучаются как реально существующее геологическое тело, а сколько «опробуются» как своеобразные индикаторы, отражающие воздействие техногенного процесса. Однако сегодня проблему образования аллювиальных отложений в освоенных районах следует рассматривать и изучать в контексте общей проблемы осадконакопления в преобразованных хозяйст-

венной деятельностью речных бассейнах - проблемы, ставшей в настоящее время глобальной. Практически всегда промышленно-урбанизированные территории характеризуются увеличением темпов и объемов поступающего в водотоки твердого материала, отличающегося специфическим вещественным составом, что существенно изменяет режим наносов и условия аллювиального осадконакопления. В настоящее время здесь интенсивно формируется особый тип речных отложений – техногенные илы (технопели), которые своими литолого-геохимическими свойствами отличаются от типичного руслового аллювия, интенсивно концентрируют различные поллютанты, влияют на ход руслового процесса и определяют экологическое состояние речных систем [62, 76-79, 91]. В экстремальных ситуациях такие отложения прослеживаются в реках на значительном протяжении (до 100 км) и часто полностью выстилают речное русло; их объемы даже в малых реках превышают 1 млн. м<sup>3</sup> (рис. 7).

Таблица 11. Растворенные формы металлов в воде р. Пахры в фоновых условиях (I) и в зоне влияния г. Подольска (II), мкг/л

Форма	Ni		Cu		Zn		Cd	
	I	II	I	II	I	II	I	II
Общая	8,0	18,2	7,40	40,08	32,9	50,73	0,61	9,25
Органическая	4,0	4,4	2,73	7,30	6,54	11,46	0,03	4,40
Неорганическая	4,0	13,8	4,67	33,60	26,36	39,27	0,58	4,85
Доля органической, %	50	18	37	18	20	23	5	48

Таблица 12. Валовое содержание (мг/кг) и доля подвижных форм (%) металлов в фоновом аллювии, осадках городских сточных вод, взвеси сточных вод и техногенных илах р. Инсар в зоне влияния г. Саранска

Ме-талл	ФА*		ОСВ*		ВСВ*		ТИ*	
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%
Cr	31	3	1338	0,7	600	4	270	9,6
Co	8	6	8,4	13,2	30	33	10	36
Ni	15	8	320	55,6	320	24	185	71,4
Cu	12,4	1,9	866	3,3	1100	2	530	2,7
Zn	33	13,3	2080	41,6	3200	42	360	45
Cd	0,13	5	37,2	52,7	32	67	24	55
Pb	19	6,8	166	1,9	250	7	140	11,6

\* Здесь и далее в таблицах: ФА – фоновый аллювий; ОСВ – осадки сточных вод; ВСВ – взвесь сточных вод; ТИ – техногенные илы.

Материальной основой техногенных илов обычно являются наносы, поступающие в водотоки со сточными водами и поверхностным стоком с городских территорий. В качестве своеобразной геохимической модели техногенных илов выступают осадки сточных вод, образующиеся на городских очистных сооружениях в ходе очистки промышленных и бытовых сточных вод, что подтверждается близостью как петрохимического состава илов и осадков, так и соответствующих петрохимических модулей (табл. 13, 14). Важнейшими свойствами техногенных илов, обладающих в местах наибольшего накопления определенной вертикальной стратификацией, обусловленной их вторичным преобразованием и условиями накопления, являются специфический темно-серый или черный цвет, «химический» запах, преимущественно вязкотекучая или мягкопластичная консистенция, высокие содержания алевритовых и глинистых частиц, органических веществ, глинозема, закиси железа, оксида кальция, тяжелых металлов и ряда других химических элементов, повышенная карбонатность, присутствие свободной серы (табл. 1, 13). В целом указанные свойства относительно стабильны как в толще илов, мощность которых изменяется от 0,2-0,5 до 3-3,5 м, так и на значительной протяженности (многие десятки километров) русла [91]. Илы, отличаясь высокими содержаниями илесто-глинистых частиц и техногенной органики, обладают повышенной устойчивостью к размыву, формируют своеобразные формы руслового рельефа и тем самым

вливают на ход руслового процесса и динамику речного русла. Русло реки, сложенное на значительной части илами, обладает повышенной способностью к транспорту поступающих со сточными водами взвешенных и коллоидных частиц и их последующей аккумуляции на значительном удалении от источников загрязнения. Наиболее активно переотложение и перенос илистого материала происходит в паводки и при аварийных сбросах сточных вод.

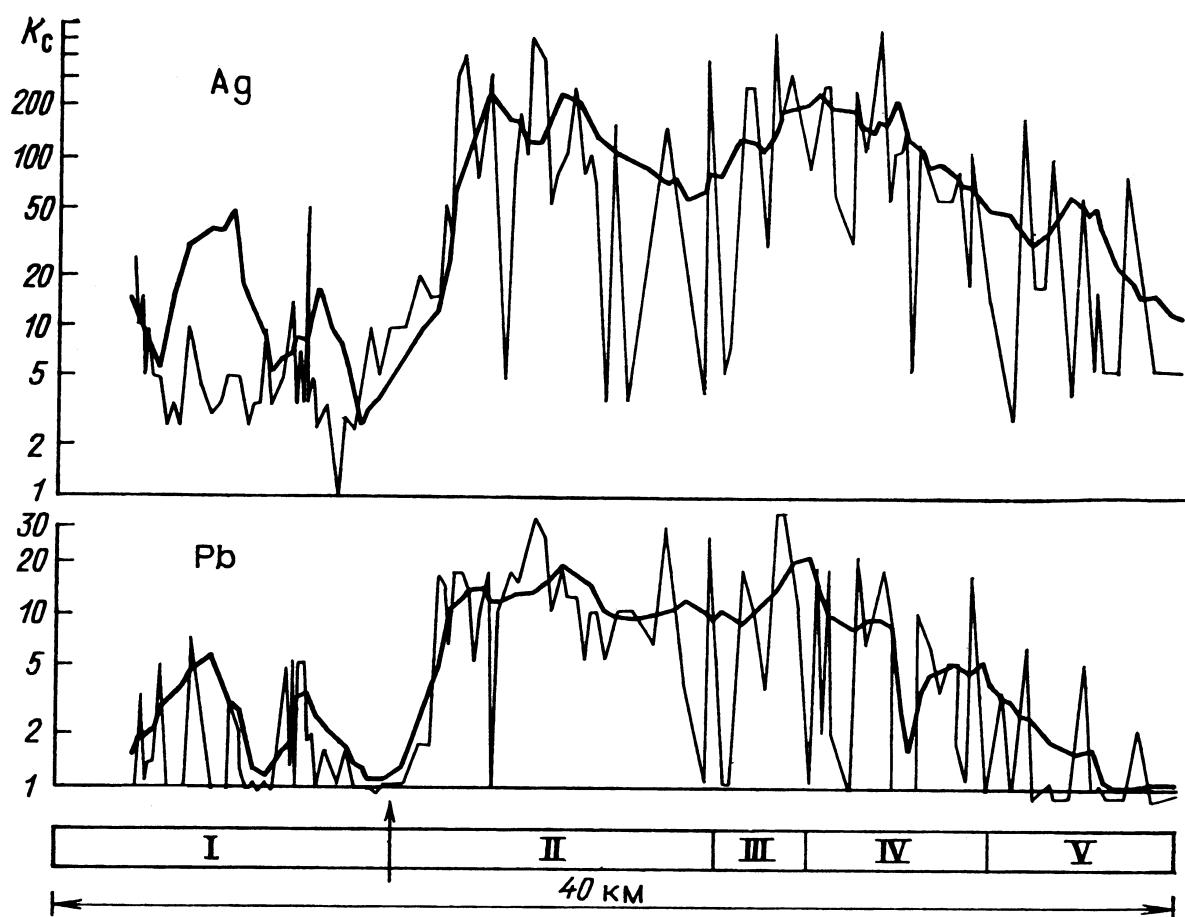


Рис. 7. Серебро и свинец в техногенных илах р. Пахры в зоне влияния г. Подольска. Тонкая линия – фактическое распределение; жирная линия – сглаженное распределение; стрелкой показано расположение городских очистных сооружений; римскими цифрами обозначены участки: I – влияние сточных вод заводов металлообработки и машиностроения; II – сброс сточных вод города и многих промышленных предприятий; III – геохимический барьер, обусловленный геоморфологическим строением русла; IV- Щербинская свалка отходов; V – краевая часть техногенного потока.

Формирование техногенных илов обусловлено гидравлическим осаждением грубых взвешенных веществ, процессами коагуляции тонкой взвеси и коллоидов и их последующего выпадения в осадок. Определенное значение имеет осаждение аморфных веществ, образующихся в результате сорбционных процессов и флокуляции. Интенсивное накопление илов очень часто предопределяется благоприятными геоморфологическими условиями, такими, как общее расширение речной долины, формирование широкопойменного русла, наличие многочисленных меандр, выполаживание продольного профиля русла, а также развитием зарослей макрофитов и невысокой скоростью течения в меженные периоды. Определенную роль играют гидротехнические сооружения (например, плотины, мостовые переходы и т. п.). С геохимической точки зрения илы представляют собой резко неуравновешенную, неустойчивую физико-химическую систему, способную к активным диагенетическим изменениям слагающего их вещества,

поскольку существенная часть химических элементов присутствует в них в подвижных формах (табл. 12). Концентрируя поллютанты, илы являются источником вторичного загрязнения воды и способны оказывать прямое токсическое действие на гидробионты. Нормальное функционирование речной экосистемы и использование ее ресурсов в практических целях возможно лишь при изъятии техногенных илов.

Таблица 13. Химический состав фоновых почв (ФП), фоновое аллювия, осадков городских сточных вод, взвеси сточных вод и техногенных илов р. Инсар в зоне влияния г. Саранска, %

Компонент	ФП	ФА	ОСВ	ВСВ	ТИ				
	Слой опробования, см								
	0-10	0-30	30-80	-	0-60	60-120	120-180	180-240	240-300
SiO <sub>2</sub>	73,69	81,63	23,87	28,3	62,32	58,42	57,64	59,24	64,35
TiO <sub>2</sub>	0,54	0,33	0,25	0,40	0,64	0,64	0,60	0,61	0,59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,41	5,22	4,70	5,50	10,52	10,98	11,00	10,64	9,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,59	4,03	1,04	4,16	4,24	3,73	3,93	4,72	5,17
FeO	0,47	0,57	3,00	3,20	1,36	2,66	3,74	2,30	1,41
MnO	0,20	0,078	0,04	-	0,075	0,079	0,076	0,070	0,057
CaO	0,47	0,78	8,00	8,14	2,20	2,20	1,80	1,72	1,72
MgO	0,70	0,37	1,40	2,32	1,16	1,36	1,05	1,05	0,84
Na <sub>2</sub> O	0,55	0,56	0,58	0,88	0,98	0,92	0,95	1,00	1,00
K <sub>2</sub> O	1,48	1,05	0,84	1,15	1,89	1,89	2,10	2,10	1,89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14	0,19	3,00	-	0,49	0,62	0,38	0,33	0,25
H <sub>2</sub> O	4,98	1,37	4,81	-	2,50	2,58	1,82	2,44	2,18
ППП	7,20	3,66	46,08	41	10,48	12,23	13,37	12,01	9,88
S	< 0,10	< 0,10	1,79	-	0,17	0,32	0,16	0,37	0,58
CO <sub>2</sub>	0,22	0,66	2,75	-	1,32	1,32	0,77	0,66	0,66

Таблица 14. Петрохимические модули различных отложений

Модуль	ФП	ФА	ОСВ	ВСВ	ТИ
Гидролизатный (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +TiO <sub>2</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO / SiO <sub>2</sub> )	0,12	0,14	0,38	0,27	0,31
Алюмокремниевый (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / SiO <sub>2</sub> )	0,09	0,06	0,19	0,12	0,18
Титановый (TiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,007	0,004	0,010	0,09	0,011
Калиевый (K <sub>2</sub> O / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,230	0,201	0,179	0,23	0,172
Плагиоклазовый (Na <sub>2</sub> O+CaO / K <sub>2</sub> O)	0,69	1,28	10,20	12,74	1,65
Зрелости, по Ф. Петтиджону (SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	11,50	15,64	5,08	8,71	5,32
Степени дифференциации (SiO <sub>2</sub> / K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O)	36,30	50,70	16,81	17,11	20,79
Зрелости материала пород областей сноса (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / SiO <sub>2</sub> + MgO + K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O)	0,08	0,06	0,19	0,10	0,18
Закаисный (FeO / Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,18	0,14	2,88	1,69	0,71
Окисления (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> / FeO)	5,51	7,07	0,35	0,59	1,40
Органокремниевый (ППП / SiO <sub>2</sub> )	0,09	0,05	1,93	1,45	0,21
Кремниевый (SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	15,53	17,87	7,63	5,88	7,41

Необходимо отметить, что в условиях техногенеза наблюдается не только увеличение содержания химических элементов (т. е. формирование положительных геохимических аномалий), но и снижение концентраций некоторых из них (формирование отрицательных аномалий), что особенно характерно для депонирующих сред. Обычно первое явление наиболее типично для халькофильных металлов, второе – для литофильных элементов. В пространственном отношении положительные и отрицательные аномалии, как правило, совпадают (приурочены к одному и тому же материальному носителю, например, техногенным илам). В конечном счете это приводит к нарушению существующих в природе соотношений между элементами и к формированию в зонах техногенного загрязнения специфических их комплексов, в которых ассоциируются элементы, в природных условиях часто выступающие как антагонисты. Это явление, безусловно, требует своего изучения.

## Заключение

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

В то же время, как показал В.И. Вернадский, деятельность человека и ее проявление в биосфере «не есть случайное явление, зависящее от воли человека», а есть отдельный факт общего природного явления, закономерного и обусловленного эволюционным развитием биосферы как среды «жизни и разума». Именно поэтому этот факт (и его наиболее концентрированное проявление – техногенез) должен рассматриваться и изучаться как «природный процесс, корни которого лежат глубоко и подготовлялись эволюционным процессом, длительность которого исчисляется сотнями миллионов лет» [18, с. 28]. В идеале решение многих экологических проблем сводится к разумному управлению биогеохимическими функциями человечества и, соответственно, биогенной миграцией атомов 3-го рода, от интенсивности и специфики проявления которых в существенной мере зависят качество среды обитания отдельных районов и организованность биосферы в целом.

Масштабы проявления биогенной миграции атомов 3-го рода чрезвычайно велики, что определяет не только увеличение уровней содержания в окружающей среде химических элементов и их соединений («техногенное загрязнение»), но и кардинальное изменение основных физико-химических параметров среды их миграции, вплоть до формирования геохимических обстановок и образований, до недавнего времени в природе не существовавших. Собственно техногенные преобразования захватывают огромные территории, проявляются в коренной трансформации всех компонентов биосферы и представляют собой главный фактор, определяющий экологические особенности многих регионов мира, а в конечном счете и условия существования человека.

«Где остановится этот новый геологический процесс? И остановится ли он?» [13, с. 223]. В поисках ответов на эти вопросы особая роль, по мнению автора статьи, принадлежит экологической геохимии.

## Литература

1. Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1987. 108 с.
2. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000. 828 с.
3. Алексинская Л.Н., Астрахан Е.Д., Ачкасов А.И. и др. Эколого-геохимические исследования в Московском регионе. М.: ИМГРЭ, 1989. 28 с.
4. Барабанов В.Ф. Введение в экологическую геохимию. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1994. 144 с.
5. Биогеохимические основы экологического нормирования. М.: Наука, 1993. 304 с.
6. Бондарев Л.Г. Вечное движение: Планетарное перемещение вещества и человек. М.: Мысль, 1974. 158 с.
7. Бочаров В.Л. Спецкурс «Экологическая геохимия» на геологическом факультете Воронежского университета: опыт и проблемы // Междунар. симп. по прикл. геохимии стран СНГ. 29-31 октября 1997, Москва, Россия. Тез. докл. М.: ИМГРЭ, 1997. С. 332.
8. Булгаков С.Н. Сочинения в 2 т.: Т. 1. М.: Наука, 1993. 603 с.
9. Буренков Э.К., Борисенко И.Л., Москаленко Н.Н., Янин Е.П. Экологическая геохимия городских агломераций. М.: Геоинформмарк, 1991. 79 с.
10. 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.

11. Буренков Э.К., Сагет Ю.Е. Проблемы ноосферы и эколого-геохимические исследования // Сов. геология, 1988, № 4. С. 24-32.
12. Буренков Э.К., Янин Е.П., Кижаккин С.А. и др. Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды г. Саранска. М.: ИМГРЭ, 1993. 115 с.
13. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т. 1. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 696 с.
14. Вернадский В.И. Избранные сочинения. Т. 5. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 422 с.
15. Вернадский В.И. Живое вещество. М.: Наука, 1978. 358 с.
16. Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии. М.: Наука, 1980. 320 с.
17. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 1987. 339 с.
18. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988. 520 с.
19. Вернадский В.И. Статьи об ученых и их творчестве. М.: Наука, 1997. 364 с.
20. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал. Новосибирск: СО РАН, 1997. 234 с.
21. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия, 1962, № 7. С. 595-571.
22. 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.
23. Гавриленко В.В. Некоторые актуальные проблемы экологической минералогии и геохимии // Зап. ВМО, 1994, ч. СХХIII, № 3. С. 1-8.
24. Гарецкий Р.Г., Каратаев Г.И. Основные проблемы экологической геологии // Геоэкология, 1995, № 1. С. 28-35.
25. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высш. шк., 1988. 328 с.
26. Глазовский Н.Ф. Техногенные потоки вещества в биосфере // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С. 7-28.
27. Груздев М.В. Городские почвы, их особенность и опыт картографирования (на примере Ярославля) // Изв. АН СССР, сер. геогр., 1990, № 3. С. 103-111.
28. Добродеев О.П. Техногенез – мощная геохимическая сила биосферы // Природа, 1978, № 11. С. 87-92.
29. Ермаков В.В. Геохимическая экология как следствие системного изучения биосферы // Тр. Биогеохим. лаб., 1999, т. 23. С. 152-182.
30. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: Кн. 1. М.: Недра, 1994. 304 с.
31. Илющенко М.А., Хевен С., Янин Е.П. Мониторинг и оценка загрязнения окружающей среды ртутью в окрестностях города Павлодара // Геохимические исследования городских агломераций. М.: ИМГРЭ, 1998. С. 59-68.
32. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 439 с.
33. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 299 с.
34. Ковда В.А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком // Биогеохимические циклы в биосфере. М.: Наука, 1976. С. 19-85.
35. Королев В.А., Некрасова М.А., Полищук С.Л. Геопургология: очистка геологической среды от загрязнений. М.: Геоинформмарк, 1997. 47 с.
36. Кортэ Ф., Бахадир М., Клайн В. и др. Экологическая химия: Пер. с нем. М.: Мир, 1996. 396 с.
37. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: Минприроды РФ, 1992. 58 с.
38. Клубов С.В., Прозоров Л.Л. Геоэкология: русско-английский понятийно-терминологический словарь. М.: ВНИИЗарубежгеология, 1994. 104 с.
39. Логика научного исследования. М.: Наука, 1965. 360 с.
40. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. М.: Минздрав СССР, 1987. 25 с.
41. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов: Пер. с англ. М.: Мир, 1993. 366 с.
42. Николишин И.Я., Воронская Г.Н., Алексеева Н.Г. Исторический мониторинг состояния загрязнения окружающей природной среды (обзор методов) // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С. 125-133.
43. Одум Ю. Экология: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 328 с.

44. Перельман А.И. Геохимия ландшафтов. М.: Высш. шк., 1975. 342 с.
45. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высш. шк., 1989. 528 с.
46. Перельман А.И. Теория геохимических методов поисков рудных месторождений и создание ландшафтно-геохимической модели бальнеологического грязевого курорта на севере Европейской России // Прогнозно-поисковая геохимия на рубеже XXI века. М.: ИМГРЭ, 1998. С. 49-51.
47. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрей-2000, 1999. 768 с.
48. Плескачевская Г.А., Бобовникова Ц.И. Гигиеническая оценка загрязнения хлорированными бифенилами окружающей среды в Серпухове // Гигиена и санитария, 1992, № 7-8. С. 16-19.
49. Принципы и методика геохимических исследований при прогнозировании и поисках рудных месторождений. Л.: Недра, 1979. 247 с.
50. Ревич Б.А., Саэт Ю.Е. Состояние здоровья детского населения промышленных городов с различной территориальной геохимической структурой // Вест. АМН СССР, 1989, № 8. С. 14-18.
51. Ревич 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.
52. Рохмистров В.Л. Роль техногенеза в формировании почв урбанизированных территорий // Географические аспекты рационального природопользования в Верхневолжском Нечерноземье. Ярославль: Изд-во Яросл. педин-та, 1984. С. 10-26.
53. Саэт Ю.Е. Антропогенные геохимические аномалии (особенности, методика изучения и экологическое значение): Автореф... дис. д-ра геол.-минер. наук. М.: ИМГРЭ, 1982. 53 с.
54. Саэт Ю.Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду // Геохимия ландшафтов и география почв. М.: Изд-во МГУ, 1982. С. 84-100.
55. Саэт Ю.Е. Геологические проблемы Большого Города // Геохимические исследования городских агломераций. М.: ИМГРЭ, 1998. С. 4-12.
56. Саэт Ю.Е., Алексинская Л.Н., Башаркевич И.Л. и др. Оценка состояния окружающей среды г. Москвы по геохимическим данным и рекомендации по ее улучшению. М.: ИМГРЭ, 1980. 70 с.
57. Саэт Ю.Е., Алексинская Л.Н., Янин Е.П. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 74 с.
58. Саэт Ю.Е., Башаркевич И.Л., Ревич Б.А. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды. М.: ИМГРЭ, 1982. 66 с.
59. 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.
60. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А. Эколого-геохимические подходы к разработке критериев нормативной оценки состояния городской среды // Изв. АН СССР, сер. геогр., 1988, № 4. С. 37-46.
61. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Смирнова Р.С. и др. Город как техногенный субрегион биосферы // Тр. Биогехим. лаб., 1985, т. 20. С. 133-166.
62. Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
63. Саэт 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.
64. Саэт Ю.Е., Янин Е.П. Методические рекомендации по геохимической оценке состояния поверхностных вод. М.: ИМГРЭ, 1985. 48 с.
65. Саэт Ю.Е., Янин Е.П. О комплексном составе техногенных гидрохимических аномалий // Водные ресурсы, 1991, № 2. С. 135-140.
66. Сорокина Е.П., Кулачкова О.Г., Онищенко Т.Л. Сравнительный геохимический анализ воздействия на окружающую среду промышленных предприятий различного типа // Методы изучения техногенных геохимических аномалий. М.: ИМГРЭ, 1984. С. 9-20.
67. Сутурин А.Н., Кочнев Н.К. Агрогеохимия – новый раздел биогеохимии // Современные проблемы теоретической и прикладной геохимии. Новосибирск: Наука, 1987. С. 200-204.
68. Сычев К.И. Геоэкологическое изучение территории СССР // Разведка и охрана недр, 1990, № 3. С. 3-10.
69. Теория и методология экологической геологии. М.: Изд-во МГУ, 1997. 368 с.
70. Файф У.С. Кризис окружающей среды: количественная оценка взаимодействия геосфер // Современные проблемы геодинамики: Пер. с англ. М.: Мир, 1984. С. 259-274.
71. Фейерабенд П. Против методологического принуждения. Очерки анархистской теории познания: Пер. с англ. Благовещенск: БГК, 1998. 352 с.
72. Ферсман А.Е. Химические проблемы промышленности. Л.: Химтехиздат, 1924. 52 с.

73. Ферсман А.Е. Геохимия: Т. 2. Л.: Химтеорет, 1934. 354 с.
74. Фортескью Дж. Геохимия окружающей среды: Пер. с англ. М. Прогресс, 1985. 360 с.
75. Экогеохимия городских ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1995. 336 с.
76. Янин Е.П. Техногенные потоки рассеяния химических элементов в донных отложениях поверхностных водотоков // Сов. геология, 1988, № 10. С. 101-109.
77. Янин Е.П. Экогеохимическая оценка загрязнения реки Нуры ртутью. М.: ИМГРЭ, 1989. 43 с.
78. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. М.: ИМГРЭ, 1992. 169 с.
79. Янин Е.П. Геохимические особенности и экологическое значение техногенных илов // Разведка и охрана недр, 1994, № 5. С. 35-37.
80. Янин Е.П. Специфический источник поступления загрязняющих веществ в жилые помещения // Мед. труда и пром. экология, 1995, № 10. С. 39-40.
81. Янин Е.П. Фтор в питьевых водах города Саранска и его гигиеническое значение. М.: ИМГРЭ, 1996. 58 с.
82. Янин Е.П. Геохимические особенности осадков сточных вод промышленного города. М.: ИМГРЭ, 1996. 41 с.
83. Янин Е.П. Полихлорированные бифенилы в окружающей среде. М.: Диалог-МГУ, 1997. 35 с.
84. Янин Е.П. К истории эколого-геохимических исследований в ИМГРЭ // Геохимические исследования городских агломераций. М.: ИМГРЭ, 1998. С. 158-165.
85. Янин Е.П. Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). М.: Диалог-МГУ, 1998. 281 с.
86. Янин Е.П. Истоки, принципы и основные понятия экологической геохимии // Геохимические исследования городских агломераций. М.: ИМГРЭ, 1998. С.13-40.
87. Янин Е.П. Принципы и методические основы эколого-геохимических исследований // Отечественная геология, 1999, № 1. С. 54-58.
88. Янин Е.П. Трансформация химического состава подземных вод при их эксплуатации для водоснабжения города Саранска // Геол. вестник Центр. районов России, 1999, № 1-2. С. 37-41.
89. Янин Е.П. Ртуть в пылевых выбросах промышленных предприятий // Ртуть. Комплексная система безопасности. СПб.: Мониторинг, 1999. С. 26-30.
90. Янин Е.П. Введение в экологическую геохимию. М.: ИМГРЭ, 1999. 68 с.
91. Янин Е.П. Техногенез и эколого-геохимические аспекты аллювиального осадконакопления в реках промышленно-урбанизированных территорий // Геол. вестник Центр. районов России, 1999, № 4. С. 41-47.
92. Янин Е.П. Химические элементы в пылевых выбросах электротехнических предприятий // Мед. труда и пром. экология, 2000, № 8. С. 24-27.
93. Barnes R.M. Childhood soil ingestion: How much dirt do kids eat? // Anal. Chem., 1990, v. 62, № 19. P. 1023A-1033A.
94. Bowen H.J.M. Environmental Chemistry of the Elements. London etc.: Academic Press, 1979. 317 p.
95. Cadmium. Oxford etc.: Pergamon Press, 1979. 202 p.
96. Clausing P., Brunekreef B., Van Wijnun J.H. A method for estimating soil ingestion by children // Int. Arch. Occup. Environ. Health, 1987, v. 59. P. 73-82.
97. Environmental Chemistry. A Review of the Literature published up to mid-1980. Burlington House, London: The Royal Society of Chemistry, 1982. 265 p.
98. Förstner U., Wittmann G.T.W. Metal pollution in the aquatic environment. Berlin etc.: Springer Verlag, 1979. 486 p.
99. Hughes M. The urban ecosystem // Biologist, 1974, v. 21, № 3. P. 117-127.
100. Minamata: a warning to the world (Ed. J.E. Smith, A.M. Smith). London: Chatto and Windus, 1975. 192 p.
101. Moxham R.L. Minor element distribution in some metamorphic pyroxenes // Can. Mineral., 1960, v. 6. P. 522-545.
102. Simms D.L., Beckett M.J. Contaminated land: setting trigger concentrations // Sci. Total Environ., 1987, v. 65, Compl. Issue. P. 121-134.
103. Van Wijnun J.H., Clausing P., Brunekreef B. Estimated soil ingestion by children // Environ. Res., 1990, v. 51, № 2. P. 147-162.
104. Wood J.M. Biological cycles for toxic elements in the environment // Science, 1974, v. 183. P. 1049-1054.
105. 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.