

Буренков Э.К., Янин Е.П. Эколого-геохимические исследования в ИМГРЭ – прошлое, настоящее, будущее // Прикладная геохимия. Вып. 2. Экологическая геохимия.- М.: ИМГРЭ, 2001, с. 5–24.

Важнейшей задачей геохимии является детальное познание истории химических элементов, участвующих в геологических процессах, которые, в конечном счете, определяют состояние среды обитания человека. В результате человеческой деятельности скорость и направленность многих процессов изменены или нарушены. Для того чтобы понять, оценить и контролировать такие изменения, необходимо изучить их на атомарно-молекулярном уровне. Именно в геохимии, изначально имеющей экологическую основу, заложены возможности получения научных знаний об этих явлениях и их практического использования.

В развитии учения о геохимической деятельности человека выдающаяся роль принадлежит В.И. Вернадскому, который доказал, что живое вещество в биосфере играет основную роль и по своей мощности ни с какой геологической силой не может быть сравнимо [15-17]. Способность живых организмов вызывать миграцию химических элементов он назвал биогеохимическими функциями живого вещества, которые захватывают практически все химические элементы, распространяются на всю планету, не зависят от территориальных условий и химически отражаются на окружающей организм внешней среде. В качестве особой геологической силы В.И. Вернадский выделил биогеохимическую функцию человечества, являющегося неотъемлемой частью живого вещества, а в качестве нового для биосферы вида геохимической миграции – биогенную миграцию атомов 3-го рода, идущую под влиянием человека (“его жизни, воли, разума”). Было показано, что преобразование природы деятельностью человека является геохимическим процессом, имеет глобальный характер и есть закономерное явление в геологической истории Земли. Совокупность геохимических и минералогических процессов, вызываемых технической (инженерной, горнотехнической, химической, сельскохозяйственной) деятельностью человека, была позже названа А.Е. Ферсманом [54] техногенезом.

Использование методов и приемов геохимии для исследования этого феномена относительно широко началось в конце 1960-х – начале 1970-х гг. За рубежом целенаправленные исследования геохимического преобразования окружающей среды в результате деятельности человека, осуществляемые в это время, связаны с именами Дж. Боулса, Р.Р. Брукса, Дж. Вуда, Е. Голдберга, А. Гордона, Е. Горхема, Г. Каннона, Ф. Корте, Дж. Лагервеффа, Д. Пурвиса, И. Торнтонна, Х. Уоррена, Д. Уэбба, У. Ферстнера, Дж. Фортескью и других исследователей, в России (быв. СССР) – А.А. Беуса, Л.Г. Бондарева, А.П. Виноградова, М.А. Глазовской, В.В. Ковальского, В.А. Ковды, К.И. Лукашева, А.И. Перельмана.

В 1976 г. в ИМГРЭ начались планомерные геохимические исследования окружающей среды в связи с ее преобразованием техногенезом, получившие название “эколого-геохимических исследований” (в 1980 г. в Институте был организован отдел экологической геохимии). Необходимость подобных исследований в значительной мере определялась практическими потребностями – разработкой эффективных и экспрессных методов оценки состояния окружающей среды в промышленно-урбанизированных районах, прежде всего, в пределах Московской агломерации. В свою очередь, их становление именно в ИМГРЭ было не случайным, а закономерным явлением.

Одним из важнейших направлений исследований научного коллектива ИМГРЭ являлось (и является) изучение процессов рудообразования и преобразования

месторождений полезных ископаемых, на основе чего разрабатывались научные основы геохимических методов их поисков. В основе теории геохимических методов поисков лежит концепция, рассматривающая процесс образования рудных 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 обязательному образованию первичных геохимических ореолов. В свою очередь, возникновение вторичных геохимических ореолов и потоков рассеяния, связанное с разрушением месторождений и их первичных ореолов, является единственно возможным обратным процессом - переходом, также дифференцированным, от концентрирования вновь к рассеянию (химических элементов).

Эта концепция, по сути, и была положена в основу применения геохимических методов для изучения техногенного загрязнения. Известно, что в ходе распространения загрязняющих веществ (поллютантов), поступающих от техногенных источников, в окружающей среде образуются геохимические аномалии (зоны техногенного загрязнения), являющиеся своеобразными аналогами вторичных ореолов и потоков рассеяния, формирующихся вблизи рудных месторождений. Это позволило применить для выявления и последующего картографирования зон загрязнения окружающей среды (техногенных геохимических аномалий) методы геохимии, апробированные при поисках месторождений полезных ископаемых и геолого-съёмочных работах (особенно геохимические съёмки). Значение имел и тот факт, что поисковая геохимия обладала апробированным, экспрессным и недорогим химико-аналитическим методом, использовавшимся для массовых (производственных) анализов геохимических проб на широкий комплекс химических элементов (атомно-эмиссионный спектральный анализ).

Отмеченные факты в значительной мере и определили особенности дальнейшего развития эколого-геохимических исследований. С одной стороны, их ярко выраженный прикладной характер, связанный с решением конкретных практических задач (изучение состава отходов, выявление техногенных источников и зон загрязнения, создание геохимических и эколого-геохимических карт для обоснования градостроительных, санитарно-гигиенических и природоохранных мероприятий и т. п.). С другой стороны, результаты первых прикладных работ показали своеобразие техногенного загрязнения и указали на необходимость адаптации методов и приемов поисковой геохимии к целям и задачам эколого-геохимических исследований, разработки новых методических подходов, поиска новых компонентов-индикаторов техногенного загрязнения, привлечения прецизионных аналитических методов, разработки специальных методов пробоподготовки, использования понятий и методов других научных дисциплин (геохимии ландшафтов, гигиены, эпидемиологии, агрохимии, промышленной экологии и др.).

Основные этапы организационного оформления и развития эколого-геохимических исследований в ИМГРЭ достаточно подробно освещены в отечественной [12, 25, 36, 37, 66] и зарубежной [70] литературе. Мы отметим некоторые итоговые результаты.

Первый опыт методических, опытно-производственных и экспериментальных исследований, доказавших высокую эффективность эколого-геохимических исследований, был выполнен для территории уникальной городской агломерации – города Москвы и его лесопаркового окружения [37, 43]. Важным итогом этих работ было составление первой эколого-геохимической карты г. Москвы. Именно эти исследования определили возможности использования геохимических методов для решения следующих задач: 1) изучение промышленных предприятий и промышленно-бытовых отходов, их оценка как источников загрязнения окружающей среды и вторичных ресурсов ценных компонентов; 2) выявление источников загрязнения окружающей среды промышленными выбросами, картографирование зон их воздействия,

установление локальных зон наиболее интенсивного загрязнения территорий токсичными элементами; 3) оценка состояния почв и растительности, в том числе сельскохозяйственной, в связи с воздействием на них выбросов, использованием бытовых и промышленных отходов в качестве агроулучшителей; 4) установление источников загрязнения природных вод и оценка эффективности очистки сточных вод; 5) выявление контингентов населения с повышенным риском заболеваний в связи с установленными геохимическим картированием локальными и региональными геохимическими аномалиями. Было показано, что важнейшим и специфическим достоинством геохимических методов является возможность строгой пространственной фиксации зон техногенного загрязнения.

Начиная с середины 1980-х гг. география эколого-геохимических исследований заметно расширяется. Они выполнялись в промышленно-урбанизированных и сельскохозяйственных районах Армении, Украины, Казахстана, Латвии, Литвы, Эстонии, в городах и районах Архангельской, Брянской, Курской, Московской, Рязанской, Самарской, Саратовской, Тверской, Ярославской областей, в Краснодарском и Ставропольском краях, в Кабардино-Балкарии, Карачаево-Черкесии, Мордовии, Сев. Осетии, Удмуртии. На их основе была разработана принципиальная схема геохимического изучения окружающей среды и выполнена ее детализация для функциональных типов территорий, природных систем, их компонентов [27-32]. Указанные методические разработки получили широкое внедрение в практику работ по оценке состояния окружающей среды в разных регионах, выполненных различными организациями в России и в сопредельных странах [24, 57, 58].

В значительной мере эколого-геохимические исследования основаны на существующих корреляционных связях между источниками загрязнения, миграцией элементов в транспортирующих средах (водные и воздушные потоки) и их концентрированием в природных средах, временно депонирующих поллютанты (почвы, снеговой покров, донные отложения). В общем случае логика прикладных эколого-геохимических исследований 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 и способов миграции химических элементов и их соединений в окружающей среде, установление природных компонентов, взаимодействующих с миграционным потоком; исследование интенсивности и результатов этого взаимодействия (техногенных геохимических аномалий, техногенных образований и т. п.); 3) оценка площади распространения техногенных геохимических аномалий (зон загрязнения), выявление их качественного состава, количественных параметров, морфоструктурных особенностей, пространственного распределения поллютантов, а также центров наиболее интенсивного воздействия, характеризующихся максимальными нагрузками токсичных и(или) биологически активных химических элементов и их соединений и определяющих контингенты живых организмов с повышенным риском проявления отрицательных реакций; 4) экологическая и гигиеническая оценка установленных зон загрязнения (техногенных геохимических аномалий); 5) разработка рекомендаций и обоснование мероприятий, направленных на предотвращение, снижение и ликвидацию негативного воздействия воздействия на живые организмы, экосистемы, биосферу в целом.

Важное значение имеет обоснование методологии, разномасштабных схем и методических приемов эколого-геохимического картирования – основного метода эколого-геохимических исследований [7, 10, 11, 13, 29, 35, 50-53]. Дальнейшее развитие эколого-геохимического картирование получило в рамках выполнения федеральной программы “Геохимическая карта России” и “Геоэкология России”, прежде всего, в связи с разработкой технологии многоцелевого геохимического картирования (МГХК), предусматривающего широкое использование ландшафтной информации, ландшафтно-геохимических и агрогеохимических карт, функциональное зонирова-

ние территорий, комплексную оценку состояния земель [8, 9, 20, 34]. В настоящее время технология МГХК реализуется в шести регионах России (Кольском, Московском, Алтайском, Байкальском, Восточно-Забайкальском и Приморском). Принципы эколого-геохимического картирования базируются на иерархическом подходе, учете функционального зонирования территорий, их фоновой ландшафтной дифференциации, специфики техногенной нагрузки. Его результатом является одноименная карта, которая представляет собой своего рода форму учета и адресной привязки техногенного загрязнения. В общем случае карта содержит информацию о характере и интенсивности загрязнения различных компонентов окружающей среды химическими элементами и их соединениями, отражает масштабы и структуру загрязнения и дифференциацию территории по степени экологической опасности и характеру ущерба, наносимого природной среде загрязнением. Как правило, содержание карты определяется тремя информационными блоками. Первый блок характеризует геохимические и хозяйственные особенности территории (ландшафтов). Второй – включает эколого-геохимическую оценку состояния компонентов природной среды. Третий – отражает оценку экологического состояния территории и характер ущерба, наносимого природной среде загрязнением. Эколого-геохимические карты являются основой для разработки различных градостроительных и планировочных мероприятий, природоохранных рекомендаций и схем, обоснования систем рационального природопользования и мониторинга окружающей среды и т. п.

Основные научно-методические итоги начального этапа развития эколого-геохимических исследований систематизированы в монографии [49], в которой обоснованы и показаны возможности геохимических методов при изучении и оценке состояния окружающей среды, приведен эколого-геохимический анализ техногенной миграции химических элементов, описаны и количественно оценены основные источники загрязнения окружающей среды, миграционные цепи распространения поллютантов в природных системах, а также рассмотрены принципы, методы и результаты биогеохимической и геогигиенической оценок отрицательных последствий техногенного загрязнения окружающей среды для здоровья человека.

Эколого-геохимические исследования, выполненные во многих городах, позволили установить типовые структуры загрязнения их территорий [12, 49]. Обычно наиболее опасная экологическая ситуация характерна для городов, где преобладают предприятия металлургического профиля. Для многих из них практически вся территория может находиться в опасной зоне загрязнения химическими элементами. Уровень загрязнения, формирующийся в городах с неблагоприятными для рассеяния пылегазовыбросов ландшафтными условиями, даже при относительно небольшой промышленной нагрузке, но с интенсивным движением автотранспорта, очень часто сопоставим с уровнем загрязнения крупных промышленных городов. В средних и малых городах с машиностроительными предприятиями структура загрязнения складывается относительно удовлетворительно. Более благоприятные условия наблюдаются в небольших городах с ограниченным развитием промышленности, в “городах-спальнях”, в жилых микрорайонах крупных городов, удаленных от промышленных предприятий на 5-10 км. В экстремальных ситуациях в городских агломерациях формируются техногенные биогеохимические районы, отличающиеся чрезвычайно высокими концентрациями либо комплекса элементов, либо одного специфического компонента практически во всех природных средах. Так, установлены города, где качество окружающей среды определяется чрезвычайно высоким уровнем содержания в ее компонентах такого токсичного элемента, как ртуть [23, 61].

С научно-методических и практических позиций особенно важным итогом эколого-геохимических исследований является установление закономерных связей между распределением химических элементов и их соединений в окружающей среде и показателями здоровья населения [12, 14, 39-41, 46-48, 67]. В большинстве случаев эта связь контрастно проявлена у детей и наблюдается в широком спектре неблаго-

приятных реакций организма на загрязнение среды обитания. Обычно наблюдается однотипная таксономическая структура изменения показателей здоровья детей (в порядке уменьшения контрастности реакции организма на интенсивность загрязнения атмосферного воздуха и соответствующих геохимических аномалий в депонирующих средах): 1) иммунологическая реактивность; 2) острые заболевания органов дыхания аллергического характера; 3) отклонения от норм функциональных и физиологических показателей – нарушение гармоничности физического развития, увеличение числа лейкоцитов при снижении гемоглобина в крови и т. д.; 4) рост числа хронических заболеваний; 5) возникновение специфических заболеваний, обусловленных интенсивным загрязнением среды обитания тяжелыми металлами (Hg, Cd), другими химическими элементами (F), органическими соединениями (ПХБ, пестициды, диоксины); 6) проявление отдаленных последствий – патология беременности и родов, онкологические заболевания и т. д.

Сопряженный анализ геохимической структуры загрязнения урбанизированных территорий и изменений показателей здоровья позволил оценить средний уровень вклада техногенного загрязнения окружающей среды в ухудшение физиологических характеристик и рост заболеваемости населения [12, 46, 49]. По этим данным ухудшение иммунного статуса организма детей примерно на 50% связано с факторами загрязнения. Если в средних и малых городах преимущественно с машиностроительной промышленностью суммарная заболеваемость лишь не более чем на 10% связана с загрязнением среды, то в крупных городах этим фактором определяется до 25% всех заболеваний, а в городах и поселках близ особенно мощных источников вредных выбросов (металлургия, химическая промышленность, горно-обогатительное производство) – до 50%. Особенно интенсивно влияние загрязнения на уровень заболеваний органов дыхания. В крупных городах с техногенным загрязнением связано до 40% таких болезней, в городах близ мощных источников выбросов до 60%. Особое значение имеет формирование в районах, где для водоснабжения используются подземные воды, природно-техногенных гиперфторовых областей, с которыми связаны очаговые эндемии флюороза [63].

Выявленные геохимические и биогеохимические корреляционные связи распределения химических элементов в окружающей среде являются эмпирическими моделями, которые позволяют дифференцировать территории по уровням загрязнения и дают возможность проводить экологическую и гигиеническую оценку техногенных геохимических аномалий (зон загрязнения). Количественная модель связи между откликами организма и геохимической структурой загрязнения дала возможность создать шкалу оценки опасности геохимических аномалий в почвах, которая вошла в методические указания, в свое время утвержденные Министерством здравоохранения СССР (см. таблицу).

Таблица. Ориентировочная шкала опасности загрязнения территории населенных пунктов по суммарному показателю загрязнения почв Z_C [33]

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

В настоящее время шкала и суммарный показатель загрязнения широко используются в практике работ по оценке состояния окружающей среды различных

районов. Аналогичные шкалы разработаны для оценки экологической опасности аэрогенных очагов загрязнения и поверхностных водотоков [32, 49, 69].

Формирование в окружающей среде техногенных геохимических аномалий обусловлено поступлением в нее различных отходов и их последующим распределением природными процессами миграции: пылегазовых выбросов, сточных вод, твердых промышленных и бытовых отходов. В сельскохозяйственных районах значение имеет целенаправленное использование минеральных и органических удобрений, средств мелиорации, пестицидов. В общем случае интенсивность геохимического воздействия техногенных источников загрязнения определяется массой химических элементов (веществ), поступающей на ту или иную территорию (техногенная нагрузка на окружающую среду). Величина нагрузки, образуемой поступлением выбросов, стоков и твердых отходов, зависит как от степени концентрации в них поллютантов, так и от общего объема отходов. При оценках степени опасности загрязнения окружающей среды различными загрязняющими веществами необходимо учитывать способ их поставки и возможность попадания в системы жизнеобеспечения: воздух, питьевую воду, пищу. Следует также различать прямые и отдаленные экологические (гигиенические, медико-биологические) последствия. С этих позиций выбросы в атмосферу являются сейчас наиболее опасным способом поставки поллютантов (с прямым экологическим воздействием). Сточные воды в равной степени обладают признаками прямого и отдаленного воздействия. Твердые отходы характеризуются в основном отдаленным воздействием (за исключением случаев использования их в качестве агромелиорантов, применения в строительстве и т. п.). Разносторонние исследования состава и геохимических особенностей различных отходов и средств химизации показали, что они являются мощными источниками поступления в окружающую среду широкой ассоциации химических элементов и их соединений [4, 5, 30, 42, 45, 64, 67]. Особое внимание в ходе исследований уделялось оценке и утилизации твердых промышленных и бытовых отходов, образующихся в городах [4, 26, 43, 45]. В общей сложности были изучены отходы нескольких сотен промышленных предприятий, расположенных во многих городах. Изучен состав шлака и золы, остающихся после сжигания твердых бытовых отходов (ТБО) в мусоросжигательных печах, а также разработаны и испытаны технологии сортировки таких отходов и их утилизации. Выполнена оценка воздействия на окружающую среду «старых» свалок и действующих полигонов складирования ТБО [3]. Изучены особенности загрязнения химическими металлами сельскохозяйственных угодий при использовании для их мелиорации компостов, полученных промышленным способом из городских отходов [2, 44, 49]. Геохимическое картирование оказалось эффективным для оценки обеспеченности сельскохозяйственных почв валовыми и подвижными формами микроэлементов минерального питания растений, оно позволяет выявить дифференцированную структуру их распределения в ландшафте, не устанавливаемую при традиционных агрохимических приемах изучения сельскохозяйственных почв [1, 44, 53]. Исследование этих структур необходимо для углубленного изучения влияния химических элементов на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции.

Существенное прикладное значение имеют разработка принципов и практическое внедрение эколого-геохимического мониторинга в систему наблюдений (мониторинга) за состоянием окружающей среды такого мегаполиса, как Москва. В значительной мере эколого-геохимический мониторинг основан на анализе пространственно-временной картины распределения химических элементов и использования для этих целей геохимического картирования снегового и почвенного покрова, а также динамических наблюдений за составом атмосферного воздуха. В частности, Московская опытно-методическая экспедиция (МОМГЭ) ИМГРЭ осуществляет наблюдения за уровнем содержания химических элементов в снеговом и почвенном покрове г. Москвы [25]. Так, в 1976, 1986 и 1993 гг. в масштабе 1:100000 (1 проба на 1 км²) в городе проведена геохимическая съемка почвенного покрова, в 1977 и 1987

гг. – снегового покрова. Кроме того, в период с 1982 по 1991 г. на 14 стационарных площадках, расположенных в функциональных зонах города, проводились наблюдения за уровнем загрязнения снегового покрова; с 1977 г. – периодически, с 1987 г. – постоянно проводятся ежегодные наблюдения за содержанием химических элементов в снеговом покрове на фоновом участке (район Глубокого озера).

Результаты эколого-геохимического мониторинга, в частности, свидетельствуют, что интенсивность техногенного загрязнения территории Москвы существенно меняется. Это связано с проявлением большого количества разнообразных факторов, обусловленных как интенсивностью промышленно-хозяйственной деятельности, так и естественными процессами миграции и трансформации химических соединений в окружающей среде. Так, в период с 1977 по 1986 г. отмечалось преимущественное увеличение уровня загрязнения городских почв, что отражало общее ухудшение экологической обстановки. В период с 1986 по 1993 г. наблюдался рост площади городской территории, отличающейся слабым уровнем загрязнения (в 1,9 раза) и уменьшение площадей со средним, сильным и максимальным уровнями загрязнения (соответственно в 1,4, 1,7 и 1,4 раза). Это, в первую очередь, было связано со значительным снижением объемов промышленных выбросов (следствие общего спада промышленного производства, характерного для того периода), а также с ужесточением контроля за вредными выбросами со стороны природоохранных организаций и, отчасти, определялось высокой самоочищающей способностью ландшафтов. Показательно, что данные по бассейну Глубокого озера также свидетельствуют о снижении уровней содержания многих химических элементов в пыли, осаждаемой со снегом (как и о снижении общей запыленности атмосферы). Очень показательны результаты мониторинга за состоянием атмосферного воздуха в центральных районах г. Москвы [18]. В частности, здесь в период с 1986 по 1996 г. отмечено направленное увеличение концентраций K, Mn, Si, Al, Ca, Fe, Mg, Sr (что, в первую очередь, связано с интенсивными строительными работами) и Zn, Pb, Vg (увеличение выбросов автотранспорта).

Для оценки влияния техногенеза на окружающую среду и здоровье человека в системе “источник загрязнения – атмосфера – почва – растения” разработана информационная технология ЭКОСКАН [6]. Полная схема исследований может быть представлена следующим образом. Эколого-геохимическое картирование города выявляет пространственную неоднородность, оценивает характер и интенсивность загрязнения различных компонентов городской среды. Разработанная компьютерная система позволяет оценить интенсивность и типизировать загрязнение каждого из исследуемых компонентов (в первую очередь, почвенного и снегового покрова, атмосферного воздуха). Одновременно оценивается радиационная обстановка в городе и исследуется качество питьевых вод. Комплекс программ позволяет проводить совместную обработку пространственно неоднородных данных, результатом которой является серия эколого-геохимических карт. Затем с целью типизации и ранжирования по степени потенциальной опасности геохимических ассоциаций, характерных для конкретной территории, выполняется определение степени деградации городских почв. Эти данные, дополненные оценкой загрязнения воздушной среды, водных систем и радиационной обстановкой, позволяют оценить степень экологической деградации городской территории. Следующий блок – восстановление нарушенного экологического состояния среды – предусматривает разработку и реализацию рентабельных технологий очистки воды и санации почв, базирующихся на комплексе оригинальных физико-химических, микробиологических и агротехнических методов. Оценка влияния загрязнения на здоровье населения основывается на медико-биологических исследованиях экологически обусловленных форм заболеваний, которые позволяют проследить поведение токсичных элементов в цепи, ведущей от источника загрязнения до человека. Основное внимание уделяется исследованию влияния поллютантов на возникновение и развитие различных форм патологий. При этом используются

современные аналитические методы исследования биосубстратов и оригинальные компьютерные системы для обработки медико-экологической информации. Итоговая оценка качества среды обитания производится на основе синтеза всей полученной информации, характеризующей состояние различных компонентов природной среды и здоровья населения, с учетом пространственного варьирования соответствующих показателей.

Эколого-геохимические исследования оказались чрезвычайно эффективными для выявления, изучения и оценки экологических ситуаций, сложившихся в уникальных по своему экологическому и практическому значению регионах. Так, исследования, выполненные в курортных зонах Крыма, Черноморского побережья Кавказа, Кавказских Минеральных Вод, Северной Осетии, позволили выявить источники техногенного загрязнения окружающей среды этих уникальных районов (Анапа, Геленджик, Новороссийск, Дагомыс, Сочи, Мацеста, Ялта и др.), грязевых курортов (озеро Саки, озеро Тамбуканское), источников и месторождений минеральных вод (Кисловодск, Пятигорск, Ессентуки и др.) [19, 38].

Важное направление в эколого-геохимических исследованиях имели работы, связанные с изучением и оценкой экологических ситуаций, обусловленных загрязнением окружающей среды ртутью (прежде всего, в Ереване, Смоленске, Саранске, Темиртау, Клину и др.) [14, 55, 59, 60, 61, 67]. В 1986-1988 гг. в бассейне р. Нуры (Центральный Казахстан) была выявлена и детально изучена уникальная ртутная техногенная биогеохимическая провинция, формирование которой обусловлено влиянием химического завода [60, 61]. Общая эмиссия металла (в 1950-1985 гг.) в окружающую среду составляет здесь не менее 1200 т, что привело к образованию в русле и долине р. Нуры обширной зоны загрязнения ртутью. Основными аккумуляторами ртути в долине реки являются техногенные илы, прослеживаемые в русле и его бортах на расстоянии до 100-120 км ниже источника загрязнения, а также пойменные почвы, орошаемые речной водой или заливаемые в половодья и паводки, почвы промышленной зоны, шламонакопители. Речная пойма ниже города активно использовалась в сельскохозяйственных целях, вода из Нуры – для водоснабжения г. Астаны, в устье р. Нуры расположен международный заповедник по охране водоболотных птиц. Результаты этих исследований привлекли внимание международных организаций и были продолжены в рамках международных проектов, которые позволили уточнить масштабы и интенсивность ртутного загрязнения в этом районе. Серьезность выявленной экологической ситуации подтверждается в частности тем, что Всемирный банк объявил международный конкурс на проект очистки и восстановления р. Нуры.

Исследованиями последних лет показано, что эколого-геохимические последствия техногенеза проявляются не только в направленном увеличении уровней содержания в окружающей среде различных химических элементов и их соединений, в нарушении количественного соотношения их содержаний и в появлении ксенобиотиков. Геохимическое воздействие человека на окружающую среду отличается выраженной спецификой и своеобразной уникальностью, что проявляется в многообразии геохимических процессов и явлений, наблюдаемых в техногенно измененных природных компонентах, геологических телах, ландшафтах, экосистемах, и сопровождается формированием в окружающей среде геохимических условий, в которых поведение, формы миграции и нахождения, токсикологическая и биологическая значимость химических элементов и соединений могут принципиально отличаться от таковых в природных условиях [5, 14, 18, 49, 62, 69]. В сущности техногенез обуславливает формирование геохимических обстановок, до недавнего времени в природе не существовавших. В литературе эти аспекты рассматриваемой проблемы изучены менее детально, тогда как именно они, по сути, относятся к наиболее важным, именно они должны быть в центре внимания эколого-геохимических исследований.

Возрастающие темпы техногенного воздействия на окружающую среду делают чрезвычайно актуальными проблемы водоподготовки, очистки оборотных и сбросных вод, рекультивация земель, кондиционирование низкоурожайных и деконтаминация химически загрязненных почв. Одним из направлений в решении указанных проблем является широкое использование ионообменных материалов, среди которых особое место принадлежит природным цеолитам. Исследования ионообменных свойств природных цеолитов, а также конкретные примеры их практического использования для целей охраны окружающей среды свидетельствуют о чрезвычайно высокой перспективности развития цеолитной технологии, которая может быть одной из основ комплекса природоохранных мероприятий [56].

На основе обобщения опубликованной литературы В.В. Ивановым составлен первый в отечественной практике справочник по экологической геохимии элементов [22]. В нем рассмотрено и на количественной основе оценено распределение химических элементов в различных природных и техногенных средах на глобальном, региональном и локальном уровнях в сопоставлении с гигиеническими, агрохимическими, биологическими нормативами и новыми геоэкологическими параметрами. Выявлены наиболее характерные и опасные природные и антропогенные объекты и среды. Охарактеризованы главные типы минеральных ресурсов каждого элемента, масштабы и сферы их использования, экогеохимические параметры минералов, руд, продуктов их переработки.

В самое последнее время пристальное внимание стало уделяться обоснованию методических подходов и разработке практических приемов использования результатов эколого-геохимического картирования различных территорий для оценки экологического ущерба окружающей среде от загрязнения токсичными металлами [21]. В частности, рассмотрены три варианта расчета платы за ущерб, нанесенный окружающей среде в зонах влияния различных объектов хозяйственной деятельности, основанные на существующих нормативах: 1) прямой расчет по нормативам платы за размещение отходов; 2) прямой расчет по нормативам стоимости освоения новых сельскохозяйственных земель взамен выведенных из оборота; 3) сметно-финансовый расчет по нормативам платы за рекультивацию (изъятие) загрязненных земель. Кроме того, предпринята попытка разработать метод косвенного расчета платы за ущерб на основе оценок отклонения содержания химических элементов в пределах загрязненных территорий по отношению к геохимическому фону. Универсальность такого метода заключается в том, что он может быть применим при расчете платы за ущерб, создаваемый любым по своему геохимическому отражению источником загрязнения, расположенного в различных природных и функциональных ситуациях.

Таким образом, есть все основания говорить о том, что в геохимии сформировалось новое направление – эколого-геохимические исследования, ставшие, по сути, самостоятельной научной дисциплиной, получившей название экологической геохимии [5, 11, 22, 62, 65, 68, 69]. К настоящему времени сформулированы ее основные положения, имеющие принципиальное значение для понимания проблем геохимического преобразования биосферы человеком [65, 68, 69]. Эти положения, безусловно, требующие своего уточнения, тем не менее в значительной мере определяют основные направления дальнейшего развития эколого-геохимических исследований и экологической геохимии.

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 (законов).

3. Биогенная миграция атомов 3-го рода (в понимании В.И. Вернадского) 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. С другой стороны, 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.

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 и обладающих выраженной биоактивностью.

5. Техногенез и техногенные процессы способны резко менять поведение химических элементов, вплоть до появления химических реакций и соединений, а также явлений, чуждых условиям биосферы; говоря словами В.И. Вернадского, 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 эколого-геохимические особенности ландшафтов могут всецело определяться химическими элементами, отличающихся малым кларком, высокой токсичностью или выраженной биоактивностью, что отражается в формировании техногенных биогеохимических районов, областей и провинций. Наиболее сильное техногенное воздействие испытывают атмосфера и водные системы.

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

8. Техногенное загрязнение окружающей среды химическими элементами и их соединениями является одним из основных лимитирующих факторов для нормального существования человечества. Дальнейшее развитие общества возможно лишь при должной оптимизации состояния окружающей среды с учетом происходящих в ней геохимических изменений, или, по выражению В.И. Вернадского, необходимо изменение химической работы человечества.

9. Цивилизация культурного человечества не может прерваться и уничтожиться, так как это есть большое природное явление, отвечающее исторически, вернее геологически, сложившейся организованности биосферы. Важнейшим условием этого является переход биосферы в ее новое эволюционное (по сути, эколого-геохимическое) 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, а человек из существа социально гетеротрофного делается существом социально автотрофным, т. е. будет способен существовать за счет использования естественных энергетических потоков, прежде всего за счет энергии солнца.

Среди конкретных проблем и вопросов, требующих своего решения, следует отметить необходимость дальнейшей систематизации теоретических положений экологической геохимии и разработки методологических основ единого комплекса эколого-геохимических исследований, включая совершенствование методов и приемов эколого-геохимического картирования. Особое значение имеет разработка эколого-геохимических показателей и нормативов состояния и степени техногенного преобразования окружающей среды. В области химико-аналитических исследований усилия должны быть направлены не только на совершенствование и разработку высокочувствительных методов обнаружения в объектах среды химических элементов и их соединений, но также на изучение форм миграции и нахождения поллютантов. Не менее важной представляется и другая сторона аналитической проблемы, связанная с надежностью определения очень высоких концентраций химических элементов, типичных для условий интенсивного техногенного загрязнения, где уровни содержания многих из них часто достигают экстремальных значений. К тому же, очень часто техногенные образования характеризуются специфическим вещественным составом, отличающим их от природных отложений (они, как правило, резко обеднены кремнеземом и обогащены органикой), что обуславливает значительные сложности их анализа, в том числе на стадии подготовки проб.

Масштабы техногенного воздействия на окружающую среду исключительно велики. Техногенные преобразования захватывают огромные территории, проявляются в глубокой трансформации всех компонентов биосферы и представляют собой главный фактор, определяющий геохимические особенности и, в конечном счете, экологические условия таких регионов. Важнейшей задачей наук о Земле является получение знаний, необходимых для обоснования и разработки принципов и методов оптимизации взаимодействия человека и биосферы. В решении этой задачи особая роль, по мнению авторов, принадлежит экологической геохимии. Подтверждением этого являются статьи настоящего сборника, отражающие самые разнообразные аспекты эколого-геохимических исследований.

Литература

1. *Ачкасов А.И.* Комплексная оценка качества сельскохозяйственных почв на основе агрогеохимического картирования // Прикладная геохимия. Вып. 1. Геохимическое картирование. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 144-160.
2. *Ачкасов А.И., Трефилова Н.Я.* Биогеохимические особенности сельскохозяйственных геохимических аномалий // Использование геохимических методов при изучении загрязнения окружающей среды. – М.: ИМГРЭ, 1984, с. 42-48.
3. *Башаркевич И.Л., Ефимова Р.И.* Влияние городских свалок на загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами // Эколого-геохимический анализ техногенного загрязнения. – М.: ИМГРЭ, 1992, с. 137-151.
4. *Башаркевич И.Л., Соловьева В.И.* Тяжелые металлы в отходах гальванического производства // Исследование окружающей среды геохимическими методами. – М.: ИМГРЭ, 1982, с. 86-94.
5. *Буренков Э.К., Борисенко И.Л., Москаленко Н.Н., Янин Е.П.* Экологическая геохимия городских агломераций. – М.: Геоинформмарк, 1991, 79 с.
6. *Буренков Э.К., Гинзбург Л.Н., Грибанова Н.К. и др.* Комплексная эколого-геохимическая оценка техногенного загрязнения окружающей природной среды. – М.: ПРИМА-ПРЕСС, 1997, 73 с.
7. *Буренков Э.К., Головин А.А., Гуляева Н.Г., Соколов Л.С.* Эколого-геохимическое картирование территорий // Прикладная геохимия. Вып. 1. Геохимическое картирование. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 105-121.

8. Буренков Э.К., Головин А.А., Филатов Е.И. Методические аспекты геохимического и эколого-геохимического картирования // Отечественная геология, 1993, № 7, с. 90-94.
9. Буренков Э.К., Морозова И.А., Гуляева Н.Г., Головин А.А. Ландшафтная информация в решении задач регионального многоцелевого геохимического картирования // Отечественная геология, 1997, № 6, с. 5-11.
10. Буренков Э.К., Морозова И.А., Смирнова Р.С. и др. Использование методологии прикладной геохимии в экологических исследованиях // Геохимические методы в экологических исследованиях.- М.: ИМГРЭ, 1994, с. 3-11.
11. Буренков Э.К., Морозова И.А., Смирнова Р.С. и др. Задачи и методы различного масштаба эколого-геохимического картирования // Эколого-геохимические исследования в районах интенсивного техногенного воздействия.- М.: ИМГРЭ, 1990, с. 4-15.
12. Буренков Э.К., Саев Ю.Е. Проблемы ноосферы и эколого-геохимические исследования // Советская геология, 1988, № 4, с. 24-32.
13. Буренков Э.К., Челищев Н.Ф., Соколов Л.С. и др. Научные основы и методы эколого-геохимического картографирования // Комплексные проблемы геоэкологии: Сб. докл. I Всес. науч.-техн. конф. "Геоэкология: проблемы и решения". Вып. 1.- М.: ВСЕГИНГЕО, 1991, с. 109-118.
14. Буренков Э.К., Янин Е.П., Кижаскин С.А. и др. Эколого-геохимическая оценка состояния окружающей среды г. Саранска. - М.: ИМГРЭ, 1993, 115 с.
15. Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии. – М.: Наука, 1980, 320 с.
16. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 1988, 339 с.
17. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. – М.: Наука, 1991, 520 с.
18. Волох А.А. Опыт контроля за загрязнением атмосферного воздуха металлами на городских и фоновых территориях // Геохимические исследования городских агломераций.- М.: ИМГРЭ, 1998, с. 40-58.
19. Галицкая И.В., Кашина Л.И., Саев Ю.Е., Янин Е.П. Влияние сельскохозяйственной и коммунально-бытовой деятельности на состояние водных систем в районе месторождений углекислых минеральных вод // Эколого-геохимический анализ техногенного загрязнения. - М.: ИМГРЭ, 1992, с. 42-49.
20. Головин А.А., Морозова И.А., Ачкасов А.И. и др. Геохимическая оценка территории Восточно-Забайкальского полигона (по результатам многоцелевого геохимического картирования). - М.: ИМГРЭ, 1998, 184 с.
21. Головин А.А., Морозова И.А., Гуляева Н.Г., Трефилова Н.Я. Оценка ущерба окружающей среде от загрязнения токсичными металлами. - М.: ИМГРЭ, 2000, 134 с.
22. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов / Под ред. Э.К. Буренкова. - М.: Недра, 1994, т. 1, 304 с.; т. 2, 303 с.; 1996, т. 3, 352 с.; М.: Экология, 1996, т. 4, 409 с.; 1997, т. 5, 575 с.; 1997, т. 6., 605 с.
23. 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.
24. Использование геохимических методов при изучении загрязнения окружающей среды (сб. науч. статей). – М.: ИМГРЭ, 1984, 78 с.
25. ИМГРЭ XL. Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов / Отв. ред. Э.К. Буренков. - М.: ИМГРЭ, 1997, 300 с.
26. Малевский А.Ю., Зубков А.А., Ефимова Р.И. и др. Продукты сжигания бытового мусора и их утилизация // Исследование окружающей среды геохимическими методами. - М.: ИМГРЭ, 1982, с. 94-102.

27. Методические рекомендации по геохимическим исследованиям для оценки воздействия на окружающую среду проектируемых горнодобывающих предприятий // Ю.Е. Саэт, Т.Л. Онищенко, Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 1986, 100 с.
28. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами / Ю.Е. Саэт, Л.Н. Алексинская, Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 1982, 73 с.
29. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами / Б.А. Ревич, Ю.Е. Саэт, Р.С. Смирнова, Е.П. Сорокина. – М.: ИМГРЭ, 1982, 112 с.
30. Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды / Ю.Е. Саэт, И.Л. Башаркевич, Б.А. Ревич. – М.: ИМГРЭ, 1982, 66 с.
31. Методические рекомендации по геохимической оценке состояния поверхностных вод / Ю.Е. Саэт, Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 1985, 48 с.
32. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Б.А. Ревич, Ю.Е. Саэт, Р.С. Смирнова. – М.: ИМГРЭ, 1990, 16 с.
33. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. – М.: Минздрав СССР, 1987, 25 с.
34. *Морозова И.А.* Геохимические ландшафты и экологическая опасность // Прикладная геохимия. Вып. 1. Геохимическое картирование. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 122-134.
35. *Морозова И.А., Смирнова Р.С.* Эколого-геохимическое картирование как основа для оценки и прогноза устойчивости ландшафтов к загрязнению // География и природные ресурсы, 1992, № 2, с. 28-32.
36. *Овчинников Л.Н.* Некоторые итоги // Новые достижения по редким элементам. – М.: ИМГРЭ, 1981, с. 3-12.
37. *Овчинников Л.Н., Григорян С.В., Саэт Ю.Е., Буренков Э.К.* По накоплениям химических элементов // Городское хозяйство Москвы, 1978, № 8, с. 41-43.
38. *Павлова Л.Н., Родкин В.И., Кашина Л.И., Саэт Ю.Е.* Эколого-геохимическая оценка техногенного преобразования окружающей среды района бальнеологического курорта оз. Саки // Исследование окружающей среды геохимическими методами. – М.: ИМГРЭ, 1982, с. 78-86.
39. *Ревич Б.А.* Гигиеническая оценка содержания некоторых химических элементов в биосубстратах человека // Гигиена и санитария, 1986, № 7, с. 59-62.
40. *Ревич Б.А., Саэт Ю.Е.* Состояние здоровья детского населения промышленных городов с различной территориальной геохимической структурой // Вестник АМН СССР, 1989, № 8, с. 14-18.
41. *Ревич Б.А., Сотсков Ю.П., Тростина В.И.* Накопление химических элементов в организме человека в техногенных геохимических аномалиях // Методы изучения техногенных геохимических аномалий. – М.: ИМГРЭ, 1984, с. 20-31.
42. *Саэт Ю.Е.* Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду // Геохимия ландшафтов и география почв. – М.: Изд-во МГУ, 1982, с. 84-100.
43. *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.
44. *Саэт Ю.Е., Ачкасов А.И., Башаркевич И.Л. и др.* Геохимические особенности сельскохозяйственных территорий // Проблемы геохимической экологии (Тр. Биогеохим. лаб., т. 22). – М.: Наука, 1991, с. 147-171.
45. *Саэт Ю.Е., Башаркевич И.Л., Смирнова Р.С., Фридман Г.А.* Геохимическая оценка влияния отходов на окружающую среду городов // Геохимические методы мониторинга. – Минск: Наука и техника, 1980, с. 34-46.

46. Сает Ю.Е., Ревич Б.А. Геохимические аспекты экологии человека в городе // Проблемы экологии человека. - М.: Наука, 1986, с. 33-42.
47. Сает Ю.Е., Ревич Б.А. Эколого-геохимические подходы к разработке критериев нормативной оценки состояния городской среды // Изв. АН СССР, сер. географ., 1988, № 4, с. 37-46.
48. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Смирнова Р.С. и др. Город как техногенный субрегион биосферы // Биогеохимическое районирование и геохимическая экология (Тр. Биогеохим. лаб., т. 20). - М.: Наука, 1985, с. 133-166.
49. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. - М.: Недра, 1990, 335 с.
50. Сает Ю.Е., Смирнова Р.С. Геохимические принципы выявления зон воздействия промышленных выбросов в городских агломерациях // Вопросы географии, 1983, № 120, с. 45-55.
51. Смирнова Р.С., Павлова Л.Н. Геохимические карты в оценке окружающей среды городов // Исследование окружающей среды геохимическими методами. - М.: ИМГРЭ, 1982, с. 38-45.
52. Сорокина Е.П. Картографирование техногенных аномалий в целях геохимической оценки урбанизированных территорий // Вопросы географии, 1983, № 120, с. 55-67.
53. Сорокина Е.П., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И. Опыт биогеохимической оценки сельскохозяйственных угодий на территории промышленного района // Биогеохимические методы при изучении окружающей среды. - М.: ИМГРЭ, 1989, с. 105-117.
54. Ферсман А.Е. Геохимия. Т. 2. - Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1934, 354 с.
55. Фурсов В.З. Возможности ртутметрии. М.: ИМГРЭ, 1998, 188 с.
56. Челищев Н.Ф., Беренштейн Б.Г., Володин В.Ф. Цеолиты – новый тип минерального сырья. - М.: Недра, 1987, 176 с.
57. Эколого-геохимическая оценка городов различных регионов страны (сб. науч. статей). - М.: ИМГРЭ, 1994, 124 с.
58. Эколого-геохимические исследования в районах интенсивного техногенного воздействия (сб. науч. статей). - М.: ИМГРЭ, 1990, 162 с.
59. Эколого-геохимические проблемы ртути (сб. науч. статей). - М.: ИМГРЭ, 2000, 180 с.
60. Янин Е.П. Экогеохимическая оценка загрязнения реки Нуры ртутью. - М.: ИМГРЭ, 1989, 43 с.
61. Янин Е.П. Ртуть в окружающей среде промышленного города. - М.: ИМГРЭ, 1992, 169 с.
62. Янин Е.П. Экологическая геохимия горнопромышленных территорий. - М.: Геоинформмарк, 1993, 50 с.
63. Янин Е.П. Фтор в питьевых водах города Саранска и его гигиеническое значение. - М.: ИМГРЭ, 1996, 58 с.
64. Янин Е.П. Геохимические особенности осадков сточных вод промышленного города. - М.: ИМГРЭ, 1996, 41 с.
65. Янин Е.П. Истоки, принципы и основные понятия экологической геохимии // Геохимические исследования городских агломераций. - М.: ИМГРЭ, 1998, с. 13-40.
66. Янин Е.П. К истории эколого-геохимических исследований в ИМГРЭ // Геохимические исследования городских агломераций. - М.: ИМГРЭ, 1998, 158-165.
67. Янин Е.П. Электротехническая промышленность и окружающая среда (эколого-геохимические аспекты). - М.: Диалог-МГУ, 1998, 281 с.
68. Янин Е.П. Принципы и методические основы эколого-геохимических исследований // Отечественная геология, 1999, № 1, с. 54-58.
69. Янин Е.П. Введение в экологическую геохимию. - М.: ИМГРЭ, 1999.- 68 с.
70. Solomatina E. Geohemia w służbie ekologii miast // Przyr. pol., 1985, № 11, s. 29.