

УДК 551.351—464.3 (477.74)

**А.О. Кравчук, С.В. Кадурич, Н.А. Федорончук, И.А. Сучков (Одесский государственный университет), В.Н. Кадурич, О.П. Кравчук, Т.Л. Крейденко, В.П. Пуныко (Научно-маркетинговая фирма "Бюро минеральных ресурсов")**

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОТОКСИКОЛОГИИ

(Материал друкється мовою оригіналу)

Хозяйственная деятельность человека в XX столетии охватила всю биосферу, развитие коммуникаций нарушило разобщенность населения планеты, и в своем единстве человечество выступило в качестве крупнейшей геологической силы.

В.И. Вернадский (1944) рассматривал этот процесс как новый этап эволюции биосферы - появление ноосферы (сферы разума), формирование которой связано не с биологической, а с производственной функцией человека.

Важнейшей геохимической особенностью ноосферы является массовое появление несвойственных природной обстановке веществ, выделяемых сознательно - в виде необходимых продуктов, или сбрасываемых бесконтрольно - в виде отходов. При этом развивается новый вид миграции атомов, физически и химически преобразующий лик планеты.

При имеющейся в настоящее время технологии от 10 до 99 % исходной массы сырья превращается в отходы, которые сбрасываются на сушу, в атмосферу или водоемы. Общий объем производимой продукции удваивается каждые 15 лет, и предполагается сокращение этого срока в дальнейшем. Соответственно, возрастает и количество отходов (Мелешкин, Степанов, 1980).

Совокупность химических и физических процессов, производимых деятельностью человека и приводящих к перераспределению химических масс земной коры, А.Е. Ферс-

ман (1955) предложил называть техногенезом. Особое внимание обращено на то, что расплавленное, накапливаемое и перемещаемое вещество оказывается в совершенно новых геохимических условиях миграции. На основании анализа конкретных вариантов взаимодействия человека и природы был сделан вывод о том, что преобладающей тенденцией в техногенезе на современном этапе является рассеяние добываемого сырья, интенсивность которого существенно превышает природные процессы. Показателем уровня потребления химических элементов в хозяйственной сфере является технофильность, определяемая А.И. Перельманом (1976) как отношение тоннажа годичного производства к значению кларка элемента. Наиболее технофильные элементы, производимые в количестве тысяч и десятков тысяч тонн при поступлении в биосферу перегружают ее, ограничивая возможности физиологического приспособления организмов к быстро изменяющимся условиям.

К важнейшим геохимическим последствиям техногенеза относится формирование нехарактерных для природных условий техногенных аномалий. Как правило, преобладающее распространение имеют аномалии химических элементов повышенной технофильности (углерод, свинец, медь, цинк, ртуть, кадмий, сера). Установление экологической значимости техногенных аномалий возможно на основе объективных представлений о характере взаимодействия живого вещества с окружающей средой.

Адаптационные способнос-

ти и состав организмов находятся в соответствии с эволюционно сложившимся химическим окружением. В живом веществе преобладают элементы с высокими кларками, образующие водорастворимые соединения. Низкокларковые элементы фиксируются в системах, обеспечивающих обмен веществ и наиболее чувствительных к изменению концентраций. Отклонение от естественных диапазонов содержания микроэлементов вызывает нарушение регуляторных функций организмов. По этой причине элементы с высокими атомными числами обычно входят в состав токсических соединений (Ковальский, 1968).

Последнее обстоятельство привело к заимствованию из технической литературы термина "тяжелые металлы", объединяющего группу элементов с плотностью более 5 г/см<sup>3</sup> воспринимаемой как признак токсичности. Попытка уточненного обособления тяжелых металлов по атомной массе более 40 (Алексеев, 1987) также не конкретизирует биологическую роль потенциальных токсикантов. Исключение составляют ртуть, кадмий и свинец, накопление которых в среде обитания однозначно сопровождается негативными последствиями.

Группировка химических элементов по экологической значимости несколько уточняется при учете степени распространенности в живом веществе:

- макроэлементы - содержание обычно превышает 1 %;
- микроэлементы - сотые и тысячные доли процента;
- ультрамикроэлементы - десятичные и менее доли процента.

Макроэлементы составляют структурную основу живого вещества, образуя молекулы белков, жиров, углеводов.

Микроэлементы играют каталитическую роль в синтезе основных органических соединений, но обычно не входят в них. Они характерны для состава биологически активных веществ (ферментов, витаминов и др.). Потребности организма ограничиваются определенными количествами микроэлементов, поэтому при недостатке или избытке их возни-

кают нарушения обмена веществ.

Ультрамикроэлементы отличаются крайне узким интервалом концентраций, обеспечивающих оптимальное воздействие на обмен веществ. Позитивные эффекты, проявляющиеся в активизации развития организма, обусловлены не столько биологической необходимостью, сколько стимулирующей интоксикацией. Снижение концентраций этой группы элементов не имеет функционального значения, но даже небольшое превышение границ потребности сопровождается токсическими эффектами (Алексеев, 1987).

Нарушение микроэlementного состава воздействует на состояние систем жизнеобеспечения, в которых проявляются аллергенные, мутагенные, тератогенные, эмбриотоксические, гонадотропные и другие свойства, опасные по текущим и отдаленным последствиям.

Как отмечает Р. Брукс (1982), чтобы понять роль микроэлементов в окружающей среде, следует изучить механизм их распределения в земной коре. В частности, при характеристике геохимических процессов для природных обстановок выделяются гипогенная (эндогенная) и супергенная (экзогенная) миграции вещества. Перераспределение элементов в результате жизнедеятельности человека отнесено к третьей миграции, что фактически соответствует третьему ряду биогенной миграции атомов по В.И. Вернадскому (1987).

Внимание к проблеме загрязнения среды жизнеобитания обусловлено не теоретическими обобщениями, а связано с практическим решением задач преодоления возникающих отрицательных реакций (Геохимия окружающей среды, 1990):

- нарушение состояния здоровья населения, рост заболеваемости, инвалидности;
- эпизодические случаи отравления и гибели людей;
- массовые случаи гибели гидробионтов в водоемах;
- непригодность по химическому составу многих водоемов для питьевого и технического водоснабжения, рыбохозяйственных и рекреационных целей;
- невозможность применения тонких технологий



операций из-за загрязнения воздуха.

Рассмотренные позиции со всей очевидностью отражают оптимальность понятийного аппарата и методологических принципов геохимии в определении природоохранных мероприятий, направленных на обеспечение действенного контроля качества и регулирование химического окружения человека.

Недооценка или подмена основных положений геохимических знаний приводит к терминологической неразберихе и непропорциональному обособлению геологической роли человека в единой системе геосфер Земли. Вулгаризация представлений, развивающихся на стыке многих наук, в практическом плане осложняет поиск рациональных решений по регламентации и нормированию техногенных воздействий, порождает множество неадекватных оценок качества среды. Основная причина методологической несовместимости систем контроля кроется в сохраняющейся ведомственной разобщенности природоохранных служб.

С другой стороны, попытки унификации анализа средообразующих компонентов сопровождаются механическим перенесением концептуальных подходов, неприемлемых для объектов смежных наук. Как отмечено (Геохимия окружающей среды, 1990), традиционная система наблюдений за окружающей средой основана на динамическом изучении загрязнителей по сравнительно редкой сети и математическом моделировании распространения токсикантов. Эта методика, наследуя концепции гидрометеорологии, применима для прогноза глобальных и региональных кризисных ситуаций, но не оправдывает себя при анализе локальных явлений с мозаичной структурой распределения источников вредных воздействий, требующих иных масштабов контроля. Аналогичные причины, обусловленные различными масштабами изменчивости, ограничивают унификацию нормирования токсикантов в различных объектах.

Для усиления экологической значимости геохимических данных часто используются оценки уровней предельно до-

пустимых концентраций (ПДК). Принципиальное отличие получаемых параметров от биогеохимических данных заключается в том, что они относятся к реакциям определенных групп организмов, а не к среде их обитания.

Установление единых стандартов качества среды вероятно лишь для обстановки прямого поступления вещества в организм (атмосферный воздух, пищевые продукты, питьевая вода). При наличии промежуточных звеньев миграции нормирование ПДК не может служить лимитирующим признаком многообразия сред, в связи с чем имеет узконаправленное применение.

В результате формального использования значений ПДК маскируется оценка реальной геохимической обстановки. Полученные тонкими аналитическими методами величины содержаний подменяются весьма абстрактными числами, удовлетворяющими преимущественно ведомственные интересы. Достаточно упомянуть перечень ПДК рыбохозяйственных водоемов, одинаково употребляемых как для пресных, так и морских вод. Типична ситуация, когда исследователи, создавая нереальность универсальных ПДК в почвах, привлекают эти числа для оценки загрязнения морских отложений. Подобные решения провоцируются методическим несовершенством принципа токсикологического нормирования загрязнителей по важнейшим позициям: неоднозначной адекватности ПДК конкретной природной обстановке и неоднозначной эффективности, когда перечень нормируемых ингредиентов не соответствует возможностям аналитических измерений.

Таким образом, изучение техногенного воздействия на средообразующие компоненты в гетерогенных системах становится возможным лишь на комплексной основе, обеспечивающей как выявление действующих механизмов миграций, так и оценку биологических последствий развивающихся нарушений. Сопряженное изучение геохимической обстановки и уровней биологической опасности загрязнения экосистем составляет двуединую задачу геотоксикологии, синтезирую-

щей методологические принципы геохимии и токсикологии. В логическом сочетании обоснованных критериев оценок интенсивности техногенных изменений среды жизнеобитания формируется, по мнению авторов, новый раздел биогеохимии.

#### Концептуальная схема геотоксикологических исследований

В комплексе геотоксикологических исследований выделяется приоритетность геологического подхода к оценке качества среды жизнеобитания, анализу пространственно-временных закономерностей миграции вещества и трансформации физических полей в современных условиях. Геотоксикологические исследования включают различные варианты оперативного контроля изменений окружающей среды, составляющие три основные направления программы работ:

1. Методика биогеохимических исследований применяется для выявления техногенных аномалий, потенциальных источников загрязнения и условий концентрирования токсикантов.

2. Методика биотестирования существенно восполняет недостаточность перечня анализируемых веществ, обеспечивая объективное обнаружение токсических эффектов и оценку интенсивности их проявления.

3. Анализ сопряженности техногенных аномалий и полей токсического риска является узловым моментом диагностики состояния среды. С учетом устанавливаемых связей уточняется перечень загрязняющих ингредиентов, характеризуются их источники, форма нахождения, пути миграции и степень биологической опасности.

Комплексное изучение геологической среды как субстрата развивающихся техногенных изменений охватывает:

- определение литолого-геохимических особенностей состава и свойств осадочного покрова;

- трассирование техногенных ореолов и потоков рассеяния от источников геохимических аномалий до зон повышенной токсичности;

- оценку влияния геолого-геоморфологических и геохимических процессов на техногенную трансформацию среды

жизнеобитания;

- прогноз динамики техногенных нарушений, разработку рекомендаций, организацию геотоксикологического мониторинга. В обобщенном виде эти позиции отражаются при построении геотоксикологической карты, на которой выделяются техногенные аномалии (резерв токсичности) и поля повышенной токсичности (зоны экологического риска).

Принципиальное отличие рассматриваемой схемы от других методик заключается в обнаружении как источников загрязнения, так и их последствий, которые могут быть пространственно разобщены.

Биогеохимический контроль экологической ситуации имеет наиболее полное методическое обоснование, так как базируется на принципах выделения геохимических аномалий и обширном опыте проведения поисково-съёмочных работ, которыми располагает геологическая служба. Посредством единой методики определяются сложившиеся уровни химического окружения и отклонения от них, вызванные техногенными аномалиями. Основной объем аналитических данных составляют изменения валовых содержаний химических элементов (атомная абсорбция, рентген - флуоресцентный и др. методы). В перечень изучаемых компонентов включается также  $\text{CaCO}_3$  и органическое вещество. Оценка параметров геохимического фона и минимально аномальных содержаний элемента производится на заведомо незагрязненной площади, выделяемой в настоящее время или при ревизии материалов кондиционной съемки, проведенной до хозяйственного освоения данной территории.

В соответствии с законом толерантности В. Шелфорда, лимитирующим показателем процветания организма является минимум или максимум экологического фактора, определяющий диапазон выносливости организма к данному фактору. Следовательно, сложившийся уровень геохимического фона соответствует оптимальному режиму жизнеобитания, а наличие аномальных зон свидетельствует о превышении порога толерантности.