

Курс лекций по дисциплине
«Химия окружающей среды. Биологическая безопасность»

ЛЕКЦИЯ №1

ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ХИМИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ХИМИИ

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ХИМИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.....	3
2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ХИМИИ.....	5
3. ПОДХОДЫ К КЛАССИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ И ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ.....	7
4. НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ХИМИИ.....	8
5. ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ХИМИИ.....	9
6. ПРИРОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВО ВРЕМЕНИ.....	9
7. АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ.....	14
8. ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ (ЛОКАЛЬНЫЕ, РЕГИОНАЛЬНЫЕ, ГЛОБАЛЬНЫЕ).....	17

1 ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ХИМИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В соответствии с названием дисциплины химия окружающей среды'— это наука о химических процессах и взаимодействиях в окружающей нас среде (экосфере), а также о последствиях таких взаимодействий. Некоторые разделы химии, имеющие отношение к экосфере, рассматриваются в науках, связанных с геологией, биологией, сельским хозяйством, а также с биохимией и фармакологией. Поэтому в задачу экологической химии входит изучение таких разделов, которые не рассматриваются в курсах перечисленных дисциплин. Тем самым экологическая химия сближается с экологией, решающей проблемы, выходящие за рамки собственно биологических и геологических наук. В отличие от экологической химии химическая экология ограничивается изучением природных материалов (аллелохимикатов), применением материалов только в природных условиях, исследованием обменных процессов и механизмов регулирования в организмах (разложение и распространение аллелохимикатов за границы региона применения не относится к тематике химической экологии). В экологической химии, наряду с биологическими, применяют также химические методы, например, для выделения и идентификации активно действующих веществ.

Развитие современной промышленности и сферы услуг, а также расширяющееся использование биосферы и ее ресурсов, приводит к возрастающему вмешательству человека в материальные процессы, протекающие на планете. Связанные с этим планируемые и осознанные изменения материального состава (качества) окружающей среды направлены на улучшение условий жизни человека в техническом и социально-экономическом аспектах. В последние десятилетия в процессе развития технологии была оставлена без внимания опасность непреднамеренных побочных воздействий на человека, живую и неживую природу. Это можно, пожалуй, объяснить тем, что ранее считали, что природа обладает неограниченной способностью компенсировать воздействие человека, хотя уже столетия известны необратимые изменения окружающей среды, например, вырубки лесов с последующей эрозией почвы. Сегодня нельзя исключать непредвиденные воздействия на легко ранимые области экосферы в результате активной деятельности человека.

Оказалось, что не существует научной дисциплины, которая была бы способна выработать основы классификации химических веществ и исследования антропогенных воздействий на биосферу. Исследованием влияния антропогенных химических веществ на биологические объекты окружающей среды занимается экотоксикология. Задачей экотоксикологии является изучение воздействия химических факторов на виды, живые сообщества, абиотические составляющие экосистем и на их функции. В принципе она отличается от токсикологии тем, что в ней не рассматриваются вопросы отравления конкретного организма. Влияние на человека происходит косвенно через ухудшение жизненных условий из-за вредных воздействий на окружающую среду.

Токсикологические и экотоксикологические свойства веществ обусловлены их химическим составом, так что в изолированном состоянии они не имеют никакого значения для человека и природы. После длительной экспозиции, т. е. длительного воздействия на человека, эти свойства начинают проявляться. Это означает, что эколого-химическое поведение веществ, методы их применения и объемы поступления в биосферу определяют, в конечном итоге, уровень экспозиции. Последний в комплексе с экотоксикологическими свойствами вещества является основой для оценки воздействия вещества на окружающую среду.

Для объективной оценки влияния химических продуктов на окружающую среду было бы желательно иметь абсолютную шкалу измерения качества окружающей среды. Однако поскольку не все факторы, влияющие на состояние окружающей среды, можно

измерить количественно, а также поскольку неизвестно оптимальное состояние окружающей среды для человека, в настоящее время проводятся оценки только изменений ее состояния относительно некоторой исходной ситуации.

Оптимальным решением было бы изучение всех химических продуктов в отдельности, определение их содержания и поведения в окружающей среде, исследование биологических последствий их воздействия. Пожалуй, лишь для выяснения синергического и антагонистического эффектов следовало бы изучить некоторые смеси веществ. Однако из-за большого числа загрязняющих химических соединений этот путь невозможен, и поэтому в зависимости от постановки задачи следует искать другие пути. Для этого можно либо объединить ряд веществ по некоторым общим критериям и определить суммарные последствия их воздействия, либо детально исследовать модельные химические продукты с известным нежелательным воздействием на окружающую среду: исследование модельных химических продуктов можно использовать для выявления взаимодействий и для прогноза поведения других аналогичных по своему строению веществ. Так как на основании структуры и физико-химических свойств вещества можно лишь немного сказать о его поведении в окружающей среде, необходимо экспериментально исследовать некоторые наиболее важные особенности каждого вещества. Для развития теоретических основ и экспериментальных методов очень важно выяснить длительность воздействия химических продуктов на окружающую среду. Только надежная методология прогноза их поведения может обеспечить разработку действенной стратегии защиты окружающей среды и исключение в будущем неожиданных экологических катастроф или необратимых нарушений экосферы.

Имеющиеся в настоящее время аналитические методы и приборы позволяют выявить локальные концентрации химических веществ, попадающих в окружающую среду, и предпринять необходимые меры для снижения их содержания, а в отдельных случаях и для полного их исключения. Напротив, в глобальном масштабе загрязнения вредными веществами, если и могут быть снижены, то только с большими затратами и до некоторого порога безопасности. Поэтому при внедрении прогрессивной технологии или технологического процесса необходимо предусматривать применение таких химических материалов и продуктов, глобальное накопление которых не может привести к вредным последствиям для всей экосферы, частью которой является и человек. Задачей экологической химии как раз является выработка критериев для такого отбора химических веществ.

В Германии проводятся интенсивные исследования химических продуктов, использующихся в сельском хозяйстве, в пищевых добавках, лекарственных препаратах, косметических средствах. Эти вещества представляют собой лишь часть всех производящихся химических продуктов. Изучение воздействия даже этих интенсивно исследуемых веществ требует значительных усилий. Легко себе представить, каких колоссальных усилий требует получение исчерпывающих характеристик химических продуктов, действие которых неизвестно. Такую задачу нельзя осилить за короткое время только с помощью имеющихся научно-исследовательских коллективов, специализирующихся на исследовании подобных проблем.

Эти трудности усугублены тем, что химические продукты часто выпускаются в продажу в виде сложных смесей, причем продукт одной фирмы часто является исходным сырьем для получения продуктов другой фирмой, так что фирме-изготовителю часто неизвестно, какие вещества будут получены из произведенного ею продукта. В процессе производства и промышленного применения такие вещества находятся под контролем, к на предприятиях соблюдаются промышленно-санитарные нормы и правила. Однако использование их потребителями часто не поддается контролю или какому-либо регламентированию.

Такая ситуация требует постановки следующих вопросов: существуют ли системы и общепринятые принципы прогнозирования свойств химических продуктов,

оказывающих вредное воздействие на экосферу, с тем чтобы можно было заблаговременно предпринять необходимые защитные меры. Какими безвредными для окружающей среды продуктами их можно заменить. Только установление таких зависимостей и разработка методов, способных прогнозировать поведение химических продуктов в окружающей среде, позволяют своевременно принять соответствующие меры. Знание этих взаимосвязей с глобальной точки зрения является необходимой предпосылкой для разработки технологических процессов, экологически безвредных для данного региона (экотехнология).

2 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Несвойственные окружающей среде (посторонние) химические продукты — это химические вещества, поступающие в природную среду в результате деятельности человека, в отдельных случаях достигающие таких концентраций, которые оказываются вредными для абиотических составляющих экосистем, для живых существ и особенно для самого человека. К таким продуктам относятся химические элементы, неорганические и органические соединения — синтетические или природного происхождения. Деятельность человека может осуществляться непосредственно или опосредованно, она может быть целенаправленной или непреднамеренной. Понятие «живые существа» объединяет в нашем изложении человека и весь окружающий его живой мир — животных, растения и микроорганизмы. Вредное воздействие химических продуктов в окружающей среде может иметь острый и хронический характер и проявляться после накопления этих веществ или их химических превращений, а также в результате синергических процессов (законодательство дает более узкое определение посторонних для окружающей среды химических продуктов).

Загрязняющие химические продукты классифицируют по источникам поступления, областям применения и характеру воздействия. Можно назвать несколько таких групп:

1. Бициды (например, инсектициды, гербициды, фунгициды) являются значимыми для окружающей среды химическими продуктами, поскольку длительное время применяются в окружающей среде, а по своему назначению их действие направлено против живых существ.
2. Добавки к пищевым продуктам и косметическим средствам имеют также большое значение, поскольку они непосредственно используются человеком.
3. Группы химических продуктов — удобрения, моющие средства и хлорированные растворители (химчистка) — также важны, поскольку они широко потребляются и в больших количествах.

Другим типом классификации химических продуктов является деление их на природные и несвойственные окружающей среде вещества (ксенобиотики). Ксенобиотиками называют вещества, по своей структуре и биологическим свойствам чуждые биосфере и полученные исключительно в результате химического синтеза. Степень «несвойственности» таких химических веществ природе различна, так как по своей структуре они могут быть совсем близкими к природным веществам или полностью отличаться от них (например, идентичные природным ароматические вещества, выпускаемые промышленностью; близкие к природным инсектициды — синтетические пиретроиды, в противоположность соединениям с новой структурой, созданной человеком). Эти качественные показатели а priori не характеризуют вредность этих веществ.

Особую группу химических продуктов составляют радиоактивные вещества. Это химические элементы или их соединения — источники ионизирующего излучения, которое возникает при их распаде и оказывает сильное биологическое действие. В этом случае биологическое воздействие на окружающую среду вызвано не химическими или

биологическими свойствами этих веществ, а их излучением.

Доза излучения измеряется в единицах, соответствующих биологическому действию излучения, в бэрах (биологических эквивалентах рентгена, 1 бэр = 0,01 Дж/кг). Для химического воздействия такой единицы измерения не существует. Воздействие излучения не специфично для состава излучающего вещества, являющегося объектом облучения, а зависит лишь от вида излучения и его энергии. Для оценки радиоактивных веществ в окружающей среде следует учитывать характер их распределения в окружающей среде и организмах, так как это распределение коррелирует с поглощенной дозой излучения, а характер распределения радиоактивных веществ зависит от их природы.

В результате испытаний ядерного оружия, при которых в окружающую среду поступило большое количество радиоактивных веществ и повысилась доза поглощенного излучения, проведены подробные исследования воздействия излучения на экосферу. Полученные при этом результаты, включая разработку национальных и международных правил и соглашений о предельных значениях параметров излучения, могут служить примером для организации аналогичных работ по проблемам воздействия химических продуктов на окружающую среду.

На основе эпидемиологических исследований и многочисленных экспериментов с животными очевидно, что многие химические вещества сопряжены с высокой степенью риска для здоровья человека и могут нанести непоправимый вред живым организмам, если их концентрация в окружающей среде будет возрастать. К таким химическим продуктам относятся различные тяжелые металлы, асбест, полициклические углеводороды и нитрозоамины. Для многих химических веществ не имеется достаточных экспериментальных данных об эффектах их длительного воздействия на организм, что не позволяет сделать никаких выводов о степени потенциального риска при их использовании.

Ориентировочно, в настоящее время во всем мире производится около 80 тысяч видов химических продуктов. В ФРГ — около 40 тысяч продуктов. Каждый год на рынок поступает более тысячи новых соединений. Однако лишь немногие из них действительно обновляют перечень продукции, так что доля фактического изменения номенклатуры продуктов составляет несколько процентов в год.

Кроме того, если учесть, что во всем мире используется около 250 млн. т органических химических продуктов, значительная часть которых после использования бесконтрольно попадает в окружающую среду, то становится очевидным, что данные продукты сами по себе могут изменить материальный состав окружающей среды во всем мире.

Под материальным составом окружающей среды понимают химический состав окружающей среды, т. е. материальный состав биосферы (литосферы, гидросферы и атмосферы с находящимися на них живыми существами). Материальный состав окружающей среды в принципе устанавливается аналитическими методами. Понятие качество материального состава окружающей среды включает также и оценку этой среды, т. е. принимается во внимание непосредственное состояние экосистемы — воды, воздуха и почвы, а также продуктов питания и жилья человека. Значение состава окружающей среды для человека определяется различным объемом суточного потребления — в среднем около 10 кг воздуха, двух литров воды и 1 кг твердых продуктов питания. Естественно, что изменения материального состава, изменения концентрации веществ в этих средах, а также изменения их возможного биологического использования приводят к изменению качества окружающей среды. Следует учитывать также влияние изменений в соответствующих средах на биологическое использование этих веществ. Под биологическим использованием понимают количество вещества, поступившее в организм за какое-то время и участвующее в обмене веществ. Пути проникновения вещества в организм (через кожу, органы дыхания или пищеварительный тракт) соответствуют

различным возможностям его биологического использования.

3 ПОДХОДЫ К КЛАССИФИКАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ И ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Различные точки зрения на систематизацию проблем загрязнения окружающей среды привели к различным подходам к классификации химических продуктов и вредных веществ.

Для разработки мероприятий по защите окружающей среды от сомнительных в экологическом отношении веществ, а также для оценки качества окружающей среды исследования проводятся в определенном порядке. Подробно изучается первично загрязненная природная среда-переносчик вещества. В качестве примеров можно назвать исследование реакционноспособных углеводородов в воздухе, органических соединений, разлагающихся в воде (биологическое потребление кислорода) или веществ, загрязняющих питьевую воду. Затем изучается (преимущественно классическими аналитическими методами) загрязнение природных сред экосферы — воды, почвы, воздуха, а также живых организмов. Преимущество такого подхода, который обеспечивает получение данных о загрязнениях или способности природной среды к их компенсации на основе ограниченного количества экспериментов, состоит в возможности определения предельных значений допустимой эмиссии и иммиссии.

При оценке результатов исследований различных природных сред необходимо учитывать разное техническое состояние имеющихся в нашем распоряжении приборов для анализа различных химических продуктов. Для многих групп веществ и материалов методы количественного анализа недостаточно чувствительны и надежны. Кроме того, имеются вещества, например хлорированные углеводороды, методы определения которых на несколько порядков более чувствительны, чем пороговая доза любого известного химического вещества при его воздействии на биологические объекты. Но даже такие следовые концентрации, не оказывающие воздействия на живые организмы, с химической точки зрения следует рассматривать как загрязнение посторонними веществами. Однако недопустимо на основании данных об их присутствии в малых количествах делать вывод о вредном их воздействии, что часто приводит к безответственным и искажающим фактическое положение дел заявлениям в прессе, рассчитанным на неподготовленного читателя.

Исследования, ориентированные только на изучение природной среды, усложняются тем, что природные среды вносят различный вклад в состояние биосферы. Так, до последнего времени, например, не проводились исследования загрязнений почвы за исключением ее загрязнения химическими продуктами, используемыми в сельском хозяйстве. Кроме того, обменные процессы на границах раздела сред, оказывающие существенное влияние на долгосрочные изменения качества окружающей среды, при таком подходе учитываются крайне односторонне. Например, рассматривая проблему чистоты воздуха, следует помнить, что на всем земном шаре через границу воздух — вода океана связывается около 50% всего антропогенного CO₂. Возможное изменение материального состава океана за счет такого дополнительного поглощения углекислого газа следует рассматривать отдельно — уже с точки зрения качества гидросферы.

Наряду с концепциями исследования среды распространения вредных веществ комплексное изучение химических продуктов должно включать рассмотрение технологии их производства в различных отраслях промышленности. При этом польза от применения различных видов химических продуктов (например, инсектицидов в сельском хозяйстве, добавок к пищевым продуктам, отбеливателей в моющих средствах) обязательно должна сопоставляться с риском, связанным с их производством и применением.

При разработке технологии производства химического продукта до настоящего времени не проводилось исследований возможного загрязнения окружающей среды этим

продуктом. К тому же следует учитывать, что один и тот же продукт может применяться для различных целей, что приводит к появлениям нескольких источников изменения материального состава окружающей среды при производстве одного и того же продукта. Так, например, одни и те же отбеливатели используются не только в моющих средствах, но и при изготовлении бумаги. Полихлорированные бифенилы используются как пластификаторы различного назначения, а также в качестве диэлектрика в конденсаторах и трансформаторах и негорючих теплоносителей в радиаторах отопления. Критерий области применения в экологической химии классифицирует данное химическое вещество по всем видам его применения.

Необходимо установление зависимости экологических свойств вещества от его структуры. Прогноз нежелательных эффектов воздействия вещества на основании его структурных признаков в настоящее время возможен только для немногих групп веществ, — в частности для нитрозаминов и реакционноспособных углеводородов.

В концепции изучения отдельного вещества основное внимание уделяется изучению не только его полезных свойств, но и его поведению при воздействии на окружающую среду. При этом исследуется его предполагаемая или реально создаваемая концентрация, а также ее воздействие на материальный состав окружающей среды. Такой подход возможен и необходим только в отношении отдельного вещества или товарного продукта, состав которого можно считать известным. Важно знать перед применением основные составляющие товарного продукта, а также загрязняющие компоненты (в концентрациях до млн^{-1}), так как они могут влиять на материальный состав окружающей среды. Побочные продукты, содержащиеся в товарном продукте, очень важны для определения области его применения.

При методологии исследований, ориентированных на вещество, необходимо составление долгосрочного баланса распределения в окружающей среде применяемых химикатов. В этом балансе учитывается их количество, области применения, перенос вещества в средах и между ними, разлагаемость химического продукта, а также его накопление. На основе такого баланса выявляется емкость окружающей среды, т. е. способность разложения (удаления) химиката, что позволит прогнозировать на длительный срок, возможные изменения материального состава окружающей среды.

Подобным же образом экотоксикологическое исследование направлено на количественную оценку потенциальных воздействий на видовой состав, плотность популяции и сообществ живых организмов в экосфере.

4 НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ХИМИИ

В соответствии с современным уровнем знаний основная задача экологической химии состоит в исследовании взаимоотношений между химическими продуктами, живыми и неживыми составляющими экосферы:

- выявление загрязнения окружающей среды;
- снижение загрязнения окружающей среды и изучение возможных последствий этого.

При исследовании загрязнений окружающей среды, следуя медицинской терминологии, также пользуются термином экодиагноз. Можно выделить этапы исследований:

- содержание химиката в окружающей среде и объем производства;
- области применения;
- распространение в окружающей среде;
- поступление и накопление в окружающей среде;
- экотоксичность и токсичность;
- устойчивость и разлагаемость;
- реакции дальнейших превращений.

Объем производства и содержание химического продукта в окружающей среде — основные аргументы для определения методологии и объема первоочередных исследований. Знание областей и методов применения химического продукта позволяет оценить характер и направление его распространения в окружающей среде. Нет никакого сомнения в том, что все распроданные химические продукты в конечном итоге оказываются в окружающей среде. В отношении „распространения в окружающей среде" и „поступления и накопления в окружающей среде" важна подвижность (мобильность) химического продукта в окружающей среде. Этап „снижение загрязнений окружающей среды и последствия", пользуясь медицинской терминологией, можно назвать экопрофилактикой и экотерапией. Этот этап содержит следующие разделы:

- снижение вредных выделений в процессе производства;
- снижение техногенных загрязнений;
- улучшение методов применения;
- замена нежелательных химических продуктов на экологически совместимые с окружающей средой;
- улучшение переработки отходов производства;
- улучшение почв на основе специальных мероприятий (физико-химических или биологических).

Все указанные здесь направления работ будут рассмотрены в дальнейшем.

5 ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ХИМИИ

Всестороннее изучение материального состава окружающей среды является задачей, которую решают многочисленные научные дисциплины, — естественные науки, геологические, сельскохозяйственные и медицинские. Ниже сопоставляются природные процессы, происходящие в экосфере, и ее изменения, связанные с деятельностью человека, а также вкратце обрисованы возможности и границы антропогенного влияния на материальный состав окружающей среды.

Для изучения и оценки изменений материального состава окружающей среды предлагается несколько параллельных схем:

1. Сопоставление изменений, связанных с чисто природными процессами (биогеохимия, химическая экология) и с деятельностью человека;

2. Выяснение временного масштаба изменений: быстрые (краткосрочные) или очень медленные (порядка геологических периодов).

Понятия краткосрочные или долгосрочные относительны. Для естественных процессов эволюции изменения в течение нескольких тысячелетий можно было бы назвать краткосрочными, в то же время антропогенные изменения в течение десятилетий можно считать долгосрочными.

3. Пространственное распространение изменений содержания веществ — локальное, региональное, глобальное; так как экосистемы открыты, большие локальные изменения в долгосрочном, плане приводят к региональным изменениям;

4. Классическая классификация по изменениям качества сред экосферы.

6 ПРИРОДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ВО ВРЕМЕНИ

Естественные (природные) изменения. Изменения геохимических, геофизических и метеорологических параметров за геологические периоды времени, эволюция живых организмов, обитающих в воде и на суше, а также изменения гомогенности биосферы в климатическом, химическом и биологическом отношении характеризуют качественный и количественный масштаб неантропогенных долгосрочных изменений на земле.

В соответствии с законами термодинамики вся вселенная стремится к состоянию с

большей разупорядоченностью, а установление состояния с большим порядком (меньшей термодинамической вероятностью) связано с затратами энергии. Для земли с большой степенью вероятности принимается непрерывное увеличение энтропии. В соответствии с физико-химическими свойствами элементов для нашей планеты этот процесс идет постепенно, а поступление солнечной энергии еще в большей степени замедляет этот процесс.

Геохимические и геофизические процессы, которые на протяжении всей геологической истории планеты привели ее к современному химическому, биологическому и энергетическому состоянию, включают в себя как упорядочивающие процессы, связанные с затратой энергии, так и диссипативные процессы, сопровождающиеся ее выделением.

Землетрясения за короткий промежуток времени изменяют картину окружающего мира. Хотя причины их возникновения не полностью изучены, их можно было бы объяснить химическими реакциями, протекающими при нагревании и повышении давления в горных породах, а именно при выделении гидратной воды определенными минералами, а также возникающими при этом изменениями упругости при фазовых переходах, вызванных изменениями температуры и давления.

Вулканическая деятельность внесла большой вклад в многообразие геологических формаций и гетерогенность земной коры в ходе геологической истории земного шара. С высокой степенью вероятности можно полагать, что большая часть океанской воды и газов атмосферы появилась в результате вулканических извержений. В результате этих длительных изменений земной коры сформировалась весьма разнообразная по своему составу твердая оболочка земли. Из-за различия в составе первичных геологических пород, влияния времени и воздействия климатических факторов стали возможными локальные колебания концентрации отдельных элементов на три и более порядка.

Выветривание, эрозия и осадочные процессы в течение по крайней мере миллиарда лет определялись также периодическими изменениями климата. Особенно большое влияние оказывали в последние 250 млн. лет ледниковые периоды с промежуточными теплыми и влажными периодами, а следовательно, изменяющимися условиями протекания химических реакций.

Хотя вода в современных океанах медленно перемешивается (например, на большой глубине коэффициент вертикального перемешивания составляет около $10 \text{ см}^2/\text{с}$) и поэтому океаны значительно гомогеннее, чем твердая земная кора, вода в различных частях океана различается по содержанию солей из-за: 1) разной концентрации солей и твердых веществ в водах, поступающих в океаны; 2) вертикального перепада температуры; 3) различия в скоростях испарения; 4) образования льда и его таяния, 5) различного количества осадков над различными районами океана, а также из-за; 6) постоянных океанских и морских течений. Эти факторы обуславливают локальные различия и в составе донных осадков.

Предполагается, что глобальные скорости эрозии и седиментации (осаждения) в настоящее время выше, чем миллионы лет назад. Эрозия распадающихся горных пород за всю геологическую историю планеты оценивается в $2 \cdot 10^{18} \text{ т}$, т. е. примерно 300 кг/см^2 земной поверхности. Годовое количество растворенных веществ, которое реки выносят в моря всего мира, составляет на сегодня около 4 млрд. т. Примерно 1 млрд. т солей каждый год поступает в атмосферу в результате разбрызгивания воды на поверхности морей и океанов. При этом в процессе рециркуляции около 90% этих солей снова поступает в океан. Ежегодно, например, 100 млн. т натрия (соответственно 300 млн. т морской соли) переносится по воздуху на сушу. В то время как годовое накопление осадков (седиментация) в океанах принимают равным примерно 4 млрд. т, в краткосрочном плане расход — поступление растворенных солей в океанах находится в относительном равновесии. Однако в контексте всей геологической истории земли осадконакопление не является необратимым процессом. Океанические донные осадки содержат на данный

момент только от 15 до 24% материалов, которые откладывались на дно океанов с момента их возникновения. В долгосрочном плане процессы эрозии — седиментации представляют собой круговой процесс.

Доля атмосферы в общей массе земли составляет лишь 1 млн^{-1} (или примерно $1/300$ часть гидросферы), и около 80% от нее составляет тропосфера (средняя высота 11 км, над экватором 18 км, над полюсами 8 км). Свободный от пыли и воды чистый воздух на уровне моря на 99,9970% по объему содержит азот, кислород, аргон и диоксид углерода. Все другие элементы и соединения вместе составляют по объему лишь 30 млн^{-1} .

Тропосфера настолько хорошо перемешивается ветрами и воздушными течениями, что за исключением временных локальных изменений концентрации она в основном однородна, что справедливо также и для элементного состава стратосферы (до 50 км) и всей атмосферы в целом. Обмен между стратосферой и тропосферой происходит значительно медленнее, чем внутри этих слоев атмосферы из-за наличия промежуточного слоя тропопаузы. Время жизни аэрозолей составляет, например, в тропосфере от нескольких дней до месяцев, а в стратосфере — годы.

Хотя по содержанию основных компонентов стратосфера полностью однородна, на высоте от 20 до 50 км она содержит определенное количество озона, который благодаря большому коэффициенту поглощения в УФ-области (максимум при 255 нм) практически полностью поглощает излучение в диапазоне волн 210-290 нм. По абсолютной величине количество озона очень невелико — на высоте от 25 до 30 км его объемная доля составляет около 10 млн^{-1} (в тропосфере около $0,04 \text{ млн}^{-1}$).

В то время как в тропиках тропосфера содержит около 4% воды по массе, в стратосфере концентрация воды составляет лишь 3 млн^{-1} .

Уже по этой весьма упрощенной картине структуры и реакций в атмосфере можно представить себе определенные возможности ее долгосрочных изменений. Изменения солнечной активности (с периодами 11 лет и 250 млн. лет), космическое излучение (91% протонов, 8% ядер гелия, остальное — самые разнообразные атомные частицы) и вулканическая пыль (до высоты 120 км) влияют не только на процессы в нижних слоях атмосферы. В настоящий момент едва ли можно оценить, какое долгосрочное влияние оказывают эти воздействия на состояние земли.

В ходе геологической истории земли происходят долгосрочные, до некоторой степени ритмичные изменения ее климата. Так как климат представляет собой результат сложного взаимодействия многих факторов, специфическое влияние которых до настоящего времени выяснено не полностью, специфические причины изменений климата в ходе геологической истории земли нельзя считать достоверно известными.

Для расчета баланса излучения принимается, что в среднем за год, поглощенное земным шаром солнечное излучение и отдаваемая системой земля/атмосфера в космическое пространство энергия равны, при этом в процессе теплообмена между атмосферой и поверхностью земли поглощаемая и отдаваемая энергии также равны. В данном случае не учитываются долгосрочные изменения энергетического состояния земли.

Энергообмен биологических процессов на земном шаре составляет в среднем $1,55 \text{ Дж/см}^2$ в сут, т. е. лишь 0,2% суммарного баланса излучения на единицу поверхности земли. Доля потока энергии из глубины земли к ее поверхности составляет примерно треть от биологической энергии, $0,55 \text{ Дж/см}^2$ в сутки в среднем по планете. Обе эти величины лежат в пределах довольно большой погрешности в определении глобального баланса энергии, и ими можно пренебречь. В среднем за год около 20% теплового излучения земли затрачивается на нагревание атмосферы: очевидно, эта энергия представляет собой разность между полученной землей солнечной энергией и излучением земли в космос.

Рассмотренные выше химические процессы, происходящие в ходе геологической истории земного шара, касались прежде всего неорганических материалов. На

превращения органических веществ, хотя они иногда и пересекаются с неорганическими процессами, существенное влияние оказывают совсем иные факторы. Поэтому их следует обсудить отдельно, тем более что органические вещества имеют большое значение для решения проблем экологической химии. В этой связи особое внимание следует уделить многообразию реакций органических соединений в окружающей среде, учитывая, что все продукты реакции обладают разными свойствами, устойчивостью и биологической активностью. В противоположность этому реакции неорганических элементов, ионов и радикалов в окружающей среде легче наблюдать ввиду ограниченного набора исходных веществ.

В настоящее время наши знания об органо-химических и биохимических процессах, происходивших более чем 600 млн. лет назад (пракембрий), более скупы, чем о неорганических и физических процессах. Правда, предполагается, что первичная материя, из которой образовалась земля, содержала свыше 5% органических веществ (в основном метана, так как из-за высокой температуры в то время могли существовать лишь неорганические вещества). В этих условиях окислительно-восстановительные реакции в большей мере были благоприятны для восстановления оксидов металлов и окисления органических веществ. Существуют различные частично основанные на экспериментах теории возникновения прабиотических органических веществ после соответствующего охлаждения земной коры.

Так как об условиях, в которых проходили эти реакции, мы имеем очень мало данных, на основании лабораторных экспериментов нельзя сделать окончательных выводов о характере реакций, действительно имевших место в то время, но можно показать вероятность осуществления прабиотической эволюции органических соединений и как следствие этого появления жизни. Так как материальный состав окружающей среды в значительной мере определяет условия жизнедеятельности, очень важным является знание физико-химических предпосылок возникновения жизни. Теории и гипотезы о химических процессах, приводящих к возникновению жизни, а жизнь характеризуется обменом веществ и размножением, — освещают лишь отдельные аспекты этих явлений и мало убедительны вследствие трудностей в постановке длительных экспериментов. Следует подробнее остановиться на процессе появления в атмосфере кислорода и увеличения его содержания до современного уровня вследствие большого значения этого процесса для биосферы. Кроме того, с химической точки зрения появление кислорода в атмосфере в существенной степени изменило состояние окружающей среды в тот момент. Если основываться на современных представлениях о праатмосфере и химических процессах, которые протекали примерно 1,8-2 млрд. лет назад, то и до настоящего времени не должно было бы существовать свободного кислорода и, следовательно, не было бы возможно кислородное дыхание. С другой стороны, если предположить, что условия солнечного излучения не изменились, то разложение воды под действием УФ-излучения происходило бы в том же объеме, как и сегодня, и даже в большей степени из-за отсутствия поглощения высокоэнергетического УФ-излучения кислородом и озоном. Возникавший при этом кислород в полном объеме тратился бы на окисление газов в атмосфере (H_2S , SO_2 , NH_3 , CO) и на окисление выветривающихся горных пород. То же относится и к кислороду, образовавшемуся за эти же 1,8 млрд. лет в результате фотосинтеза. Примерно к этому времени появляется избыточное количество кислорода, т. е. кислорода образуется больше, чем затрачивается на окисление неорганических материалов. Избыточный кислород биотического и абиотического происхождения, остающийся после его абиотического потребления и использования живыми организмами (появившимися примерно 1,3 млрд. лет назад) в процессе кислородного дыхания, постепенно медленно накапливался примерно до раннего палеозоя (400 млн. лет назад) до его содержания в атмосфере около 11%. Затем избыток кислорода существенно увеличился, и его концентрация в атмосфере стала более резко возрастать. Поглощающий УФ-излучение озоновый слой, вероятно, существует по крайней мере 600 млн. лет и

является важным фактором, определяющим развитие биосферы в тот период.

Огромное влияние на материальный состав окружающей среды в глобальном масштабе оказали накопление свободного молекулярного кислорода в атмосфере (и растворенного в гидросфере), а также снижение температуры (при зарождении жизни глобальная температура составляла еще около 80°C).

В настоящее время уровень образования кислорода в процессе фотосинтеза оценивают в $6,8 \cdot 10^{15}$ моль ежегодно. Однако основная масса образовавшегося кислорода связывается снова в неорганические соединения в процессе кислородного дыхания животных и гниения их остатков. Ежегодно остается неиспользованной незначительная часть биотического кислорода, примерно $3 \cdot 10^{10}$ моль. Если учесть, что в настоящее время около 90% этого кислорода затрачивается на естественное неорганическое окисление (выветривание), атмосфера имеет положительный баланс $3 \cdot 10^9$ моль или около 100000 т кислорода ежегодно. Значит, потребовалось бы около 10 млрд. лет для того, чтобы достичь современного уровня содержания кислорода в атмосфере, которое составляет 10^{15} т ($3,7 \cdot 10^{19}$ моль). Однако если принять меньшую скорость минерализации органических веществ в ходе геологической истории земли (седиментация составляла лишь 1/10000 от современного уровня, то для такого накопления кислорода потребовалось бы лишь 1,8 млрд. лет.

Другой подход к составлению баланса кислорода на земле исходит из предпосылки, что средняя концентрация органических горючих ископаемых в осадочных породах составляет в глобальном масштабе 0,4%. При этом в $2 \cdot 10^{18}$ т осадочных пород аккумуляровано $8 \cdot 10^{15}$ т углерода из биотических остатков, накопившихся с момента зарождения жизни. Для образования такого количества углерода необходимо фотосинтетическое восстановление $29 \cdot 10^{15}$ т CO_2 . Баланс биосинтеза кислорода и его минерализации (т. е. расходования на окисление) приводит к избытку кислорода $21 \cdot 10^{15}$ т. Для обеспечения современного содержания кислорода в атмосфере достаточно менее 5% от этого количества. Остальные 95% используются для естественного окисления неорганических соединений. Еще один расчет баланса кислорода возможен на основе нетто-энергетического потребления биосферы $1,55 \text{ Дж/см}^2 \cdot \text{сут}$ и теплоты сгорания ископаемого углерода.

Имеется несколько возможностей провести глобальные ретроспективные расчеты, имея в виду известный результат, однако на их основе нельзя сделать никаких заключений о действительных количественных закономерностях, поскольку даже небольшие ошибки в оценках (например, на 10²%) седиментации веществ биологического происхождения (с 4,4-10⁴% на 10²%) полностью изменяют результаты расчетов. Более убедительными являются аналогичные расчеты материального баланса на более короткие периоды времени.

По оценкам только 1/1000 часть ископаемого углерода и его соединений образуют $6,5 \cdot 10^{12}$ т месторождений, доступных для эксплуатации. При их полном сгорании было бы использовано $6,5 \cdot 10^{12} \cdot 8/3 = 17,3 \cdot 10^{12}$ т кислорода, что соответствует 1,7% имеющегося в атмосфере кислорода, иными словами, его содержание в атмосфере упало бы с 20,9 до 20,6%.

В настоящее время годовое потребление горючих ископаемых соответствует количеству углеродного материала, которое в соответствии с представленными выше расчетами накапливалось в течение 500000 лет.

Определенная граница между веществами в окружающей среде, которые подвергаются глобальным изменениям в долгосрочном плане, и веществами, запасы которых могут истощиться за десятилетия или столетия, могла бы быть установлена на уровне потребления кислорода при сгорании всех доступных для эксплуатации запасов горючих ископаемых, т. е. около $20 \cdot 10^{12}$ т. Это означает, что возможны краткосрочные глобальные изменения вещества в количестве менее $20 \cdot 10^{12}$ т, независимо от того, вызваны они природными явлениями или связаны с деятельностью человека. По порядку

величины 10^{12} т такая верхняя граница мировых запасов, изменяющихся под влиянием деятельности человека, кажется весьма реалистичной (например, глобальное повышение концентрации CO_2 в атмосфере); сжигание горючих ископаемых практически в полном объеме — это антропогенный фактор.

Природные краткосрочные изменения материального состава окружающей среды являются следствием землетрясений и вулканической деятельности, постоянно идущей эрозии, а также эрозии, вызванной бурями и наводнениями. Климатические явления, такие как засухи, морозы, колебания уровня рек, имеют общеизвестные последствия. В результате этих процессов изменения состава окружающей среды имеют локальный, региональный и даже глобальный характер, они могут быть кратковременными, но могут оказывать влияние и в течение геологически значимых периодов времени.

7 АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ

Имеется тесная причинно-следственная связь между возможностью или необходимостью антропогенных изменений в окружающей среде и численностью населения

Наиболее значительное увеличение численности населения Земли связано с индустриализацией. В то время как рождаемость с 1 момента возникновения человечества до настоящего времени если и снижалась, то очень медленно, в промышленно развитых странах произошло резкое падение рождаемости, которое, несмотря на значительное увеличение продолжительности жизни, явилось причиной низкого роста численности населения. Напротив, в менее развитых странах благодаря улучшению медицинского обслуживания, импорту медикаментов и проведению эпидемиологических мероприятий начиная с 1850 г., а особенно с 40-х годов нашего столетия, продолжительность жизни также увеличилась, а рождаемость снизилась незначительно или осталась на прежнем уровне.

Вызванное этим увеличение численности населения земного шара примерно на 2% в год, а за последние 25 лет с 2,5 до 4 млрд. человек имеет совсем иной характер, чем прежде, когда увеличение населения мира происходило более или менее постепенно; оно привело в первую очередь к интенсивному воздействию на окружающую среду. Резкий рост, например, потребления воды, энергии, некоторых промышленных продуктов, — более чем на 2% в год, — не способствует с глобальной точки зрения повышению жизненного уровня населения, так как требует сверхпропорционального использования материальных ресурсов и технологических средств. Так, увеличение производства продовольственных товаров на 34% с 1951 по 1966 г. потребовало увеличения внесения фосфорных удобрений на 75%, азотных удобрений на 14%, пестицидов на 300%.

При наращивании за последние десятилетия мирового хозяйственного потенциала ежегодно на 5-6 влияние человека на окружающую природу удваивается каждые 13 половиной лет. За 35 лет, в течение которых при нынешнем росте численности населения численность возрастет в два раза, связанное с этим общее изменение окружающей среды увеличилось бы в шесть раз. Так как прирост производства, в частности органических химических продуктов, за период 1960-1970 гг. составил более 9% в год, сохранение этой тенденции в течение 35 лет привело бы к изменению определенных параметров окружающей среды даже в двадцать раз.

Пределы допустимых глобальных изменений все в большей мере становятся видны по мере расширения деятельности человека; для некоторых неорганических веществ эти изменения уже превысили влияние аналогичных природных процессов, что касается органических продуктов — ксенобиотиков, то их применение создает неизвестную нам новую, „природную" ситуацию.

В теоретическом аспекте примерно 80% поверхности земли, свободной от льда, пригодны для сельского хозяйства. В настоящее время площадь, занимаемая лесами,

составляет на всей земле 40 млн. км², лугами и степями — 30 млн. км², а площадь, используемая под пашню, — свыше 14 млн. км². Изменения характера использования земли, например вырубка леса под сельскохозяйственные угодья, означает для соответствующей территории изменение материального состава окружающей среды; аналогичные изменения происходят при переходе к культурному земледелию в пустынях и полупустынях. Эти изменения проявляются не только в биологическом плане, но по виду и количеству продуктов фотосинтеза, а также в геохимическом и метеорологическом отношении. Применение химических препаратов для интенсивного земледелия представляет собой лишь один из многих факторов изменения состава окружающей среды.

Благодаря применению современной техники, интенсивных методов выращивания растений, удобрений и средств защиты растений современное сельское хозяйство может быстро изменять материальный состав окружающей среды.

Преобразование большей части среднеевропейских лесов в сельскохозяйственные угодья привело к увеличению альбедо, т. е. отражательной способности поверхности земли, а следовательно, к снижению нетто-баланса солнечного излучения, и как следствие — к осушению территории. В свою очередь это способствовало разогреву атмосферы ИК-излучением, исходящим от поверхности земли. В результате современный климат оказался более сухим и теплым, чем 4000-5000 лет назад.

Биологические изменения в процессе сельскохозяйственной деятельности, т. е. превращение естественных биотопов в искусственные, закономерно привели к изменениям микроклимата (согласно биоклиматическим картам, фенологии растений).

Использование артезианской воды, которое в глобальном отношении в свое время имело лишь второстепенное значение, привело к увеличению водопотребления по крайней мере на 50%, а в будущем, особенно в северной Сахаре, приведет к увеличению потребления грунтовых вод, которые накапливались в 1-мной коре 20-25 тысяч лет во время последнего оледенения. Эта вода не восполняется осадками, а следовательно, ее потребление представляет собой необратимое изменение природы.

В то время как окультуривание пустынных и засушливых земель в материальном плане связано главным образом с проблемой их обводнения, расширение сельскохозяйственных территорий за Чет лесов и саванны влажных тропиков с их большой потенциальной урожайностью создает значительные экологические проблемы по сохранению качества почв. Чтобы сохранить продуктивность лабильных культурных ландшафтов, необходимо дальнейшее воздействие на окружающую среду, — с одной стороны, это увеличение уровня внесения искусственных удобрений, что совсем не обязательно приводит к ухудшению состояния окружающей среды (например, в результате их вымывания), с другой — очевидно, необходимость более широкого применения средств для сохранения и улучшения качества почвы. Такие мероприятия приводят к значительному изменению материального состава окружающей среды за счет количества внесенных химических веществ и площади обрабатываемых земель; однако, если удастся снизить эрозию почвы, будет решена одна из важнейших проблем сельского хозяйства. Такого рода изменения природной среды, как результат долговременного развития, представляют собой прогрессивное явление не только с антропоцентрической точки зрения.

Горнодобывающая и другие отрасли промышленности.

Промышленное производство, — включая выработку энергии, строительство и транспорт, — влияет на окружающую среду значительно больше, чем сельское хозяйство. Кроме очевидных изменений окружающей среды, смены ландшафта и локальных изменений, наибольшее значение в глобальном масштабе имеют добыча и переработка сырьевых природных материалов, что и обуславливает антропогенное изменение состояния окружающей среды. Наиболее ярко это проявляется в районах с высокой плотностью населения. Исключение из этого правила составляют объекты

горнодобывающей промышленности, которые обычно расположены в малонаселенных районах, но приводят к значительным изменениям окружающей среды.

В принципе такие проблемы ухудшения окружающей среды существовали уже в доиндустриальное и даже доисторическое время, Жители пещер в древности подвергались воздействию дымовых газов, которые образовывались при работе их примитивных обогревательных устройств. Серьезные трудности возникли с плохим санитарным состоянием средневековых городов, а также с проблемами водоснабжения и „качества" питьевой воды. Знаменитый лондонский туман — „смог" не был непосредственно связан с индустриализацией. Его появление было отмечено еще в XI в., что! послужило непосредственно причиной издания тогда *первого* известного нам закона о защите окружающей среды. Этим законом, было запрещено кузнечное производство — главная причина, как тогда полагали, появления таких туманов. Издание этого закона показывает, что уже многие столетия назад были попытки бороться с ухудшением состояния окружающей среды, вызванным урбанизацией и появлением ремесленных производств, — в конкретном случае против появления пыли и диоксида серы. Принципиальные различия в локальных проблемах доиндустриального города и современного промышленного района состоят в количественных отличиях и увеличении многообразия химических процессов, выясняющихся по мере развития химической технологии. Еще и сегодня локальные изменения, связанные с работой промышленности, рудников, ремесленного производства и домашнего хозяйства, ограничены потенциальными краткосрочными воздействиями. Более глубокой, чем определение локальных воздействий, является оценка глобальной индустриальной активности человека, потенциальной возможности и меры материальных изменений природной среды в результате внедрения современных технологий.

В горнодобывающей промышленности имеют место такие объемы перемещения и превращения веществ, которые для многих неорганических соединений не только заметно изменяют природные химические процессы, но и превышают их в количественном отношении. По данным на 1967 г. при ежегодном росте продукции горнодобывающей промышленности на 5% современный уровень добычи повысился бы более чем на 50%; отсюда следует, что „целенаправленная" антропогенная ежегодная скорость эрозии соответствующих элементов оказывается выше, чем в природных процессах. При рассмотрении локальных или региональных накоплениях элементов их список можно было бы расширить, например, включив в него серу, кремний (высотное и подземное строительство) и т. д.; в сельском хозяйстве речь пойдет об элементах, потеря которых почвой оказывается меньше, чем поступление с удобрениями.

Сама по себе переработка материалов в промышленном производстве приводит непосредственно лишь к минимальному поступлению этих веществ в окружающую среду (отходы производства). Однако в процессе и после их применения все продукты (частично после химических превращений) поступают в окружающую среду. Имеется несколько исключений, когда после использования некоторые материалы можно снова вернуть в производственный процесс. В принципе вторичная переработка и повторное использование в качестве сырья возможны только для продуктов, поддающихся сбору после их применения. Практически реальное значение имеет вторичное использование отходов для немногих ценных или массовых сырьевых продуктов (железный лом), легко собираемые отходы (бумага, текстиль), а также, например, отработанное масло, для сбора которого созданы специальные системы, необходимые и для защиты водных ресурсов. Важными являются различия в дисперсии (рассеянии) промышленных продуктов в промышленности и сельском хозяйстве. Первичная сельскохозяйственная продукция естественным образом распределена на большой площади, которая занимает более 10% всей суши. Напротив, для промышленных предприятий, потребляющих сырье, энергию и руды, требуется лишь незначительная, малая часть поверхности земли. Например, все городские территории мира занимают площадь, менее чем в два раза превышающую

площадь ФРГ. Продукты сельского хозяйства, производимые во всем мире, приводят к все увеличивающемуся масштабу изменений материального состава окружающей среды. Это объясняется тем, что продукты сельского хозяйства потребляются в районах их накопления, и их отходы не могут равномерно распределяться и возвращаться в почву, что приводит к избытку питательных веществ в почвенных водах. Совсем иное положение с промышленными продуктами. Они производятся локально в больших масштабах и с помощью широкой торговой сети распространяются и потребляются «дисперсно» — рассеянно. Поэтому они большей частью не используются вторично и в конце концов поступают в виде отходов в окружающую среду. Массовое содержание скота в сельскохозяйственных районах по своим последствиям сравнимо с промышленным производством.

8 ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ (ЛОКАЛЬНЫЕ, РЕГИОНАЛЬНЫЕ, ГЛОБАЛЬНЫЕ)

Критериями оценки природных и антропогенных веществ по степени их воздействия на изменения материального состава окружающей среды являются, кроме прочих, их количество и объем запасов, частота появления и распространенность. Классификация изменений состава окружающей среды с учетом их локального, регионального и глобального распространения облегчает оценку риска при их использовании, идентификацию источников их появления и устанавливает политическую основу для мероприятий по снижению таких изменений. Классификация по пространственному распространению является составной частью оценки и описания изменений состава окружающей среды.

Выше рассматривались локальные краткосрочные естественные изменения окружающей среды, например в результате землетрясений, наводнений, бурь; кроме того, происходят флуктуации плотности популяций различных видов экосистемы, изменения микроклимата и т. д. Региональными природными краткосрочными изменениями являются, например, засухи и извержения вулканов,

Антропогенные локальные изменения материального состава окружающей среды можно рассматривать как результат непосредственной деятельности человека по изготовлению, применению, а следовательно, и эмиссии (выделению в окружающую среду) химических продуктов на некоторой ограниченной или поддающейся ограничению территории. Накопленные локально концентрации веществ могут оказывать нежелательные и тяжелые воздействия на человека и живые организмы. Если этот вред известен, он должен тщательно контролироваться на технологическом уровне. Если риск применения оказывается выше, чем полученная польза, необходимо немедленно прекратить локальное загрязнение путем соответствующих технологических мероприятий.

При экологохимическом исследовании отдельных веществ следует прежде всего установить, вызывает ли данное вещество только локальные изменения, т. е. сохраняется ли оно на месте в соответствии с его физико-химическими свойствами или ограниченным объемом использования, или, напротив, оно рассеивается в региональном или глобальном масштабе. Различие между локальным и региональным накоплением продуктов довольно четкое, если ограничиться рассмотрением только по виду их применения. К локальным приводит большинство аварий на предприятиях, а также диоксиновые катастрофы, например, в Севезо (Италия), когда непредвиденное вредное воздействие отмечается на ограниченной территории.

Локальные и региональные изменения вызывают вещества, относительно широко распространенные и используемые на больших территориях, например сельскохозяйственные препараты. К ним же относятся также аварии, при которых в воздух или воду выбрасываются (эмиттируются) одновременно большие количества химических продуктов, например, как при авариях нефтетранспортирующих танкеров

вблизи побережья.

Региональные изменения материального состава окружающей среды, исключая определенные изменения, вызванные сельскохозяйственным производством (культурный ландшафт), в общем плане *нежелательны*. Как следует рассматривать воздействия веществ — в региональном или в глобальном плане, — зависит в основном от их поведения в соответствии с эколого-химическими критериями. Польза от применения химических продуктов должна оправдывать риск, связанный с высокими их концентрациями. Вне области применения (при региональном или глобальном характере их распространения), когда эти вещества уже не являются полезными, тем более неприемлемы их высокая концентрация и вредное воздействие. Рассеяние антропогенных веществ за пределы района их применения, например, в сточные воды, вымывание их из почвы, поступление в атмосферу, и накопления отходов в месте их применения также приводят к нежелательным изменениям материального состава окружающей среды.

Идентификация и анализ локальных изменений содержания веществ вполне возможны и относительно доступны. Оценка таких изменений на региональном и глобальном уровне прежде всего зависит от чувствительности (предела обнаружения) аналитических методов определения химических веществ. Оценка доли антропогенной деятельности в региональном и глобальном накоплении природных веществ затрудняется тем, что содержание этих веществ в различных географических зонах значительно отличается. Кроме того, эта доля антропогенного воздействия зависит от таких естественных и непредсказуемых факторов, как, например, климатических изменений, которые могут за короткий срок сильно повлиять на масштабы накопления химических материалов. Оценка содержания веществ в окружающей среде на региональном особенно глобальном уровне проводится только для отдельных веществ, для которых невозможно это сделать на основе анализа взаимосвязей между структурой вещества и его свойствами. Для оценки накопления какого-либо вещества необходимо определить локальные его источники по областям применения. Основой для определения возможных региональных или глобальных влияний являются оценки локальных накоплений веществ.

Однако при дисперсии (рассеянии) возможно загрязнение всей окружающей среды и биосферы, при этом даже на незначительные концентрации веществ (после их разбавления в результате дисперсии) возможны воздействия на особенно чувствительные виды организмов, например, после аккумулялирования загрязняющих веществ в пищевых цепях.