

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

**ГЕОХИМИЯ ТЕХНОГЕННЫХ
ЛАНДШАФТОВ**

Учебное пособие для вузов

Составитель
Н. А. Протасова

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета
2009

Утверждено научно-методическим советом биолого-почвенного факультета, 16 апреля 2009 г., протокол № 8

Рецензент д-р биол. наук, проф. Т. А. Девятова

Учебное пособие подготовлено на кафедре почвоведения и управления земельными ресурсами биолого-почвенного факультета Воронежского государственного университета.

Рекомендовано для студентов 4 курса биолого-почвенного факультета Воронежского государственного университета.

Для специальности 020701 – Почвоведение

Содержание

1. Влияние антропогенной деятельности на природные биогеохимические циклы	4
2. Техногенная миграция	6
3. Техногенные процессы	7
4. Технофильность и другие показатели техногенеза	9
5. Техногенные геохимические аномалии.....	10
6. Техногенные и природно-техногенные системы.....	14
7. Ландшафтно-геохимический мониторинг	16
8. Оптимизация техногенеза.....	20
9. Городские ландшафты	21
10. Биогеохимия городской среды.....	23
11. Горнопромышленные ландшафты	25
12. Агрландшафты (агротехногенез)	28
13. Гидромелиорация	30
14. Техногенез и здоровье человека	32
Литература	36

Предлагаемое учебно-методическое пособие к семинарским занятиям составлено в соответствии с программой курса «Биогеохимия» с учетом почти полного отсутствия новой учебной литературы, предназначенной для студентов-почвоведов и биологов.

В настоящее время производственная деятельность достигла такого уровня, что стала сказываться на геохимическом состоянии окружающей среды. Загрязнение атмосферы, природных вод, почвенного покрова и растительности производственными и бытовыми отходами стало ощутимым фактором воздействия на глобальную систему биосферы. На отдельных территориях загрязнение природных и культурных ландшафтов негативно сказывается на биоразнообразии, разрушает биоценозы, создает угрозу для здоровья населения.

1. Влияние антропогенной деятельности на природные биогеохимические циклы

Вначале антропогенная деятельность затрагивала живое вещество суши и биокосную систему почвы. Вырубая и сжигая леса, распахивая степи, заменяя природную растительность сельскохозяйственными культурами, люди вносили определенные изменения в биогеохимическую структуру экосистем суши. В сферу промышленного производства стали вовлекаться в значительном количестве массы химических элементов, извлекаемых из земных недр. По данным В. В. Добровольского (2003), в настоящее время во всем мире ежегодно добывается более $100 \cdot 10^9$ т минеральных ископаемых.

Одновременно в окружающую среду выбрасываются промышленными предприятиями и транспортом сотни миллионов тонн газов и пыли, в поверхностные воды поступают десятки миллионов тонн бытовых, промышленных и сельскохозяйственных стоков.

Таким образом, человеческое общество в процессе производственной деятельности выступает как мощный геохимический фактор, изменяющий и перераспределяющий миграцию огромных масс химических элементов. Производственная деятельность человечества оказывает важное влияние как на глобальные биогеохимические циклы, так и на биогеохимические процессы, совершающиеся в геохимических ландшафтах.

Для обеспечения индустриального производства некоторые химические элементы используются в таком количестве, которое сопоставимо с массами, мигрирующими в глобальных биогеохимических циклах. Главная черта современной индустриальной технологии – низкая экономичность, обусловленная огромным количеством отходов, которые не утилизируются, а выбрасываются в окружающую среду. Если техногенное воздействие нарушает функционирование глобальных циклов массообмена, изменяет направленность отдельных потоков миграции элементов, то несомненно

возникает опасность для планетарного механизма, обеспечивающего существование биосферы.

В зависимости от особенностей циклов массообмена загрязняющий компонент может распространяться на всю биосферу, на значительную территорию или иметь локальный характер. Одной из проблем, имеющих глобальное значение, имеет предполагаемое возрастание углекислого газа в атмосфере в связи с промышленным производством. Использование природных соединений углерода – каменного угля, природного газа и нефти – происходит в значительных количествах.

Все виды минерального топлива, сгорая, превращаются в углекислый газ, суммарное поступление углерода в его составе в атмосферу из промышленных источников оценивается в $5 \cdot 10^9$ т/год. Это количество примерно в 15 раз меньше, чем ассимиляция углерода при фотосинтезе растительности Мировой суши. При сжигании дров и лесных пожарах в атмосферу еще выделяется $4,8 \cdot 10^9$ т CO_2 в год, но половина этой массы вновь захватывается растительностью (Добровольский, 2003). Увеличение концентрации CO_2 может вызвать повышение температуры воздуха благодаря парниковому эффекту, что может иметь катастрофические последствия.

Сжигание огромных масс каменного угля, газа и нефти сопровождается расходом еще больших масс кислорода, который связывается в CO_2 . Основная часть выделяющегося при фотосинтезе кислорода расходуется на разложение отмерших органов растений (продуктов опада). Кроме того, кислород расходуется на окисление металлов, которые добывают и выплавляют. Наконец, кислород расходуется на окисление различных газов, которые выделяются из земных недр. Поглощение O_2 достигло такого уровня, что за глобальным биогеохимическим циклом массообмена элемента необходим строгий контроль.

Значительный дисбаланс в природные циклы массообмена вносят отходы промышленных предприятий и транспорта. Более 95 % техногенных выбросов соединений серы представлено SO_2 . Это химически агрессивное соединение, выделяющееся при сжигании каменного угля, нефти и выплавке металлов. Оксиды серы, осаждаясь с атмосферными осадками, поражают растительность, губят почвенную биоту, вызывают заболевания населения.

Сильное изменение природных биогеохимических циклов некоторых химических элементов происходит под влиянием сельскохозяйственного производства. Суммарная площадь почв, в настоящее время находящихся в сфере земледелия, составляет около 10 % от площади всей суши. На площади активного земледелия трансформирована вся структура биологического круговорота веществ.

Природная растительность, находившаяся в биогеохимическом равновесии с окружающей средой, заменена сельскохозяйственными культурами, которые могут существовать в условиях данных экосистем лишь

благодаря человеку. Продукция полностью не возвращается в почву, а частично удаляется в виде урожая. В систему биологического круговорота искусственно вводятся значительные массы азота, фосфора, калия, а также дополнительные количества воды. Вместе с тем активизируются процессы эрозии и выноса химических элементов. Вырубка лесов и распашка почв способствуют усилению водной миграции химических элементов.

2. Техногенная миграция

Техногенная миграция – наиболее сложный вид миграции. В ноосфере происходит грандиозная миграция атомов. Ежегодно перемещаются миллиарды тонн угля, нефти, руд и строительных материалов, рассеиваются месторождения полезных ископаемых, накопленные природой за миллионы лет. По О. П. Добродееву, масштабы многих процессов техногенеза превышают природные: ежегодно из недр извлекается больше металлов, чем выносятся с речным стоком: Pb – почти в 70 раз, Cr – в 35, Cu – в 30, Fe, Mn – в 10, Zn – в 5, Al – в 3 раза.

С продукцией сельского хозяйства и промышленности атомы мигрируют на огромные расстояния. С экспортом и импортом зерна в мире ежегодно мигрируют миллионы тонн К, сотни тысяч тонн Р и N.

Энергетика техногенеза. В ноосфере используется текущая солнечная энергия и солнечная энергия былых биосфер, заключенная в ископаемом топливе: в углях, нефти, горючих газах, сланцах. Используется и энергетический источник, чуждый биосфере, – атомная энергия. Поэтому для техногенных ландшафтов характерна еще большая неравновесность, чем для природных.

Часть используемой в ноосфере энергии выделяется в виде тепла в результате отопления жилых домов и промышленных предприятий. Температура земной поверхности за счет парникового эффекта может повыситься через 50 лет на 4 °С. К техногенным парниковым газам, наряду с CO₂, относятся также метан, закись азота, фреоны, озон. В результате парникового эффекта возможно частичное растопление льдов Арктики и Антарктики, затопление приморских низменностей и другие последствия.

С распашкой почв, дроблением пород и руд, а также с вулканизмом связано запыление атмосферы, которое может способствовать похолоданию климата. В XX в. техногенез стал главным геохимическим фактором на поверхности Земли. В. А. Ковда подчеркивал, что «диспергирование и эолизация вещества суши» ведут к возрастанию геохимической роли поверхностной энергии, сорбции и огромному ускорению геохимических процессов.

Загрязнение окружающей среды. Это важное и нежелательное следствие техногенеза. Ярким примером служат так называемые «кислотные дожди». Они связаны с работой сернокислотных суперфосфатных, меде-

плавильных заводов, котельных, ГРЭС, ТЭЦ, бытовых топок, которые выбрасывают в воздух много SO₂. «Кислые дожди» увеличивают число легочных заболеваний, осложняют земледелие, разрушают памятники архитектуры. Рыба исчезает из водоемов, так как принос ветрами SO₂ вызывает понижение pH в воде до 4.

М. А. Глазовская предложила считать незагрязненными такие биокосные системы, в которых колебания концентрации техногенных веществ не нарушают газовые, концентрационные и окислительно-восстановительные функции живого вещества, не вызывают нарушения биогеохимических пищевых цепей, количества и качества биологической продукции, не снижают ее генетическое разнообразие. Нарушение названных условий означает техногенную трансформацию или разрушение природной системы.

3. Техногенные процессы

В техногенных ландшафтах протекает биологический круговорот веществ (бик), элементы мигрируют в водах и атмосфере. В результате орошения пустынь, осушения болот, строительства гидростанций, использования подземных вод в ноосфере изменяется и круговорот воды. Дефицит пресной воды становится одной из наиболее актуальных проблем. Характерное для ноосферы металлическое состояние Fe, Al, Cu, Zn и других металлов не соответствует физико-химическим условиям земной коры.

Техногенные процессы могут быть *постоянными, периодическими, катастрофическими*, систематизируются по объемам выбросов, источникам загрязнения, химическому составу выбросов, стоков.

Техногенные отходы подразделяются на *жидкие и твердые, стоки* (поступающие в окружающую среду в виде жидких потоков, содержащих твердые взвешенные частицы) и *выбросы* (рассеяние в атмосфере загрязняющих веществ в твердой, жидкой и газообразной формах). Техногенные отходы делятся на *организованные* – поступающие в окружающую среду через специальные устройства, например, очистные сооружения и поддающиеся контролю, и *неорганизованные* (утечки, аварии, постоянный контроль которых затруднен).

Промышленные отходы. С выбросами и стоками в крупных промышленных городах поступают ежегодно сотни тысяч и даже миллионы тонн загрязняющих веществ. Особую опасность представляют отходы с высокими концентрациями токсичных химических элементов и их соединений

Автотранспорт и теплоэнергетика по объему поллютантов занимают одно из первых мест и поставляют в атмосферу продукты сгорания угля, нефти, газа и их производных. Основными поллютантами являются оксиды углерода и азота, сернистый ангидрид, пыль, нефтепродукты, ток-

сичные микроэлементы. У автотранспорта это Pb, Cd, Hg, Zn, в теплоэнергетике – В, Ве, Мо, As, а также полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – 3, 4 бензпирен; 1, 12, бензперилен и др., которые включают канцерогены и мутагены.

Техногенные аномалии ПАУ образуются вокруг промышленных предприятий, нефтяных промыслов, угольных шахт, автодорог. С электротехнической промышленностью связано и загрязнение среды полихлорированными бифенилами (ПХБ).

Особенно высокие концентрации тяжелых металлов содержатся в выбросах и осадках очистных сооружений гальванических производств, где концентрации Cd, Bi, Ag, Sn в тысячи, а Pb, Cr, Zn, Ni в сотни раз выше кларков литосферы.

Высокими кларками концентрации характеризуются также предприятия по переработке цветных металлов, машиностроительные и металлообрабатывающие заводы, инструментальные цехи, пыли которых отличаются самой широкой ассоциацией загрязнителей – W, Sb, Hg, Cd, Pb, Cu, Zn, Bi, Ag, As. Загрязнителями производства никелевого концентрата являются Ni, Cr, Co; алюминия – Al, Be, F, ПАУ.

Нефтеперерабатывающая, химическая промышленность поставляет в окружающую среду главным образом газообразные соединения – оксиды азота, углерода, диоксид серы, углеводороды, хлористые и фтористые соединения, фенолы, содержания которых иногда в десятки и сотни раз превышают предельно допустимые концентрации (ПДК) в атмосфере.

Некоторые химические производства кроме газов поставляет в среду многие микроэлементы: коксохимия – Hg; производство лакокрасочных изделий – Hg, Cd; синтетического каучука – Cr. С заводами по производству фосфорных удобрений связаны высокие уровни загрязнения P, редкими землями, Sr, F; азотных удобрений – соединениями N.

Со стоками целлюлозно-бумажных комбинатов поступают сероводород, фенолы и другие органические загрязнители, представляющие серьезную экологическую опасность для водоемов.

Среди предприятий стройиндустрии значительной техногенной нагрузкой на среду выделяются цементная промышленность, производство огнеупорного кирпича и теплоизоляционных изделий, в пылях которых концентрируются Sb, Pb, Ag, иногда Hf и Hg.

Ядохимикаты. Они широко применяются в сельском хозяйстве, лесной промышленности и других отраслях хозяйства. Некоторые представляют большую опасность, как, например, ныне запрещенный ДДТ, который был обнаружен даже в кишечнике пингвинов Антарктиды. Чрезвычайно опасен диоксин – полихлорированное полициклическое соединение – широко применявшийся в качестве гербицида в ряде стран.

Коммунально-бытовые отходы (бытовой мусор, канализационные осадки, илы городских очистных сооружений). По степени концентрации и

комплексу химических элементов-загрязнителей они не уступают промышленным отходам. Особенно высоки концентрации химических элементов в выбросах мусоросжигательных заводов, являющихся вторичными источниками загрязнения в городах. В пыли с электрофильтров таких заводов интенсивно концентрируются Ag, Pb, Cd, Sn, Sb, Zn, Cr.

Свалки также являются вторичными источниками загрязнения. На некоторых из них за многие годы накопилось много разнообразных бытовых, а иногда и промышленных отходов. Грунты свалок и фильтрат из толщи отходов обогащены в десятки и сотни раз по сравнению с фоновыми почвами Cu, Zn, Cr, Ag, Pb, Sn и другими элементами. Развеевание материала свалок и просачивание стоков ведет к загрязнению окружающих почв, поверхностных и подземных вод. Нередко свалки расположены в черте города и создают для него опасность, особенно в результате их спонтанного возгорания.

Осадки сточных вод городской канализации накапливаются на полях аэрации на окраине города и обычно используются как удобрения. Эти осадки обогащены многими токсичными металлами – Ag, Cd, Bi, Zn, Cr, Cu и др. Поэтому они требуют большой осторожности при применении в сельском хозяйстве.

В целом по степени аномальности относительно кларков литосферы первое место занимают выбросы предприятий, немного меньше или сопоставима с ними нагрузка от отходов, третье место в ряду аномальности занимают стоки. Но по абсолютной массе твердые отходы опережают выбросы.

Большое число и неравномерность размещения техногенных источников в сочетании с природными условиями создают сложную картину геохимических полей и аномальных зон на территории промышленных городов. Инвентаризация техногенных источников – одна из важнейших задач эколого-геохимической оценки городов.

4. Технофильность и другие показатели техногенеза

По мере развития человеческого общества в техногенез вовлекается все большее число химических элементов. В древности использовались лишь 18 элементов, в XVIII в. – 28, в XIX в. – 62, в 1915 г. – 71, в настоящее время – все известные на Земле элементы и, кроме того, неизвестные в природных условиях нептуний, плутоний и другие трансураны, а также радиоактивные изотопы многих элементов (Перельман, Касимов, 1999).

Масштабы ежегодной добычи колеблются от миллиардов тонн для С (уголь, нефть) до десятков тонн для Tl, Pt, Th, Ga, In, т. е. различаются в сотни миллионов раз. Эти различия связаны со свойствами элементов (их ценностью для хозяйства), технологией получения, способностью к концентрации в земной коре, т. е. с кларком. Исключительная роль в истории цивилизации Fe объясняется не только его свойствами, но и большим кларком.

Характеристикой интенсивности извлечения и использования химических элементов является *технофильность* – отношение ежегодной добычи или производства элемента в тоннах к его кларку в литосфере (Перельман, 1975). Многие химические элементы-аналоги с разными кларками и размерами добычи обладают одинаковой или близкой технофильностью. Например, Cd и Hg, Ta и Nb, U и Mo, Ti и Zr.

Технофильность очень динамична. Так, за счет увеличения добычи нефти и газа продолжается рост технофильности углерода. Производство фосфорных удобрений, доломита, магнезита привело к увеличению технофильности фосфора и магния. Научно-техническая революция, развитие космической техники, электроники и теплоэнергетики в 5–10 раз увеличили технофильность редких элементов – Th, In, Hf, Nb, Zr, Be, Ga. Выявилась новая тенденция – рост технофильности Cl, J, B, S, а также некоторых щелочных и щелочноземельных металлов Li, Sr, Ba. В первом случае это связано с производством хлорорганических соединений, серосодержащих газов и сульфидных руд, а во втором – с производством ядерного топлива, алюминия, апатитов, фосфорных удобрений.

Различия в технофильности определяют изменение элементарного состава ландшафтов, накопление в них наиболее технофильных элементов. Впервые на это обратила внимание М. А. Глазовская, отметившая, что для культурных ландшафтов характерно «ожелезнение», возрастание относительной роли Cu по сравнению с Zn, Ni относительно Co.

Человечество «перекачивает» на земную поверхность химические элементы, сосредоточенные в гидротермальных и других глубинных месторождениях. В результате ландшафт обогащается Pb, Hg, Cu, Zn, Sb. Из недр ежегодно извлекается больше ряда химических элементов, чем вовлекается в биологический круговорот: Cd – более чем в 160 раз, Sb – 150, Hg – 110, Pb – 35, F – 15, U – 6, Sn – 6, Cu – 4, Mo – в 3 раза (Добродеев).

Деструкционная активность элементов техногенеза (Д) характеризует степень опасности элементов для живых организмов (по Глазовской). Д – отношение технофильности элемента (с учетом его содержания в углях) к его биофильности (на суше). Например, Hg $D = n \cdot 10^4 - n \cdot 10^5$, для Cd и F – $n \cdot 10^3$, для Sb, As, U, Pb – $n \cdot 10^2$, для Se, Be, Sn – $n \cdot 10$, для многих других элементов $D < 1$.

5. Техногенные геохимические аномалии

Выявление техногенных аномалий является одной из важнейших эколого-геохимических задач при оценке состояния окружающей среды. Эти аномалии образуются в компонентах ландшафта в результате поступления различных веществ от техногенных источников. Они представляют собой некоторый объем, в пределах которого значения аномальных концентраций элементов больше фоновых значений. Техногенные аномалии

искусственных веществ, например, пестицидов выделяются в основном по санитарно-гигиеническим, а не геохимическим критериям.

Если техногенная аномалия имеет четкую пространственную и генетическую связь с конкретным источником загрязнения, то такая аномалия называется **техногенным ореолом рассеяния**. Аномалии фиксируются главным образом в депонирующих средах – почвах, донных отложениях, растениях, снежном покрове. В транзитных средах – воздухе, водах, частично донных отложениях – аномалии именуется **техногенными потоками рассеяния**.

По распространенности выделяются следующие техногенные аномалии: **глобальные** – охватывающие весь земной шар (повышенное содержание CO₂ в атмосфере, накопление искусственных радионуклидов после ядерных взрывов);

региональные – формирующиеся в отдельных частях континентов, природных зонах и областях в результате применения ядохимикатов, минеральных удобрений, подкисления атмосферных осадков выбросами соединений серы;

локальные – образующиеся в атмосфере, почвах, водах, растениях вокруг местных техногенных источников: заводов, рудников и т. д. Локальные источники загрязнения, сливаясь, могут привести к образованию техногенных аномалий регионального масштаба (крупные промышленные города, их агломерации).

По влиянию на окружающую среду техногенные аномалии делятся на три типа. **Полезные** аномалии улучшают состояние окружающей среды. Это известкованные кислые почвы, йодирование поваренной соли в районах развития эндемического зоба, фторированная питьевая вода, микроудобрения, подкормка домашних животных микроэлементами и т. д. **Вредные** аномалии ухудшают состояние природной среды в результате появления повышенных концентраций токсичных веществ, отрицательно влияющих на живые организмы. Большинство техногенных аномалий относится к этому типу. **Нейтральные** аномалии не оказывают влияния на качество окружающей среды (золото в банках, железо в городах и др.).

По среде образования техногенные аномалии делятся на **литохимические** (в почвах, породах, строениях), **гидрогеохимические** (в водах), **атмогеохимические** (в атмосфере, снеге), **биогеохимические** (в организмах).

Техногенные аномалии образуются в нескольких компонентах ландшафта. По длительности действия источника загрязнения они делятся на: **кратковременные** (аварийные выбросы), **средневременные** (с прекращением воздействия – разработка месторождений полезных ископаемых), **долговременные стационарные** (аномалии заводов, городов, агроландшафтов).

Количественные показатели загрязнения. Понятие аномальности тесно связано с представлениями о геохимическом фоне. При оценке техногенных аномалий фоновые территории выбираются вдали от техногенных источников загрязняющих веществ, как правило, более чем в

30–50 км. Одним из критериев аномальности служит *коэффициент техногенной концентрации или аномальности* K_c , представляющий собой отношение содержания элемента в рассматриваемом аномальном объекте к его фоновому содержанию в компонентах ландшафта.

Техногенные аномалии обычно имеют полиэлементный состав, в связи с чем Ю. Е. Саеом предложен суммарный показатель загрязнения (Z_c), характеризующий степень загрязнения ассоциации элементов относительно фона:

$$Z_c = \sum K_c - (n - 1),$$

где K_c – коэффициенты техногенной концентрации больше 1 (или 1,5), n – число элементов с $K_c > 1$ (или 1,5). Суммарные показатели загрязнения рассчитываются для различных компонентов ландшафта – почв, снега, растений, донных отложений.

Для оценки количества поллютантов, поступающих в организм, используются также гигиенические нормативы загрязнения – *предельно-допустимые концентрации* (ПДК). Это максимальное содержание вредного вещества в природном объекте или продукции (почве, воде, воздухе, пище), за определенный период, еще не влияющее на здоровье человека или другие организмы. ПДК устанавливают для отдельных химических элементов и соединений.

Сильная дифференциация природного фона тяжелых металлов затрудняет разработку жестких критериев предельных уровней их содержания в ландшафтах. Н. Г. Зыриным и А. И. Обуховым показано, что основными факторами, влияющими на ПДК тяжелых металлов в почвах, являются их щелочно-кислотные свойства и содержание гумуса, определяющие устойчивость почв к загрязнению этими элементами. Например, в кислых и щелочных почвах ПДК кадмия и свинца могут отличаться почти на порядок. Поэтому ПДК необходимо устанавливать для крупных почвенно-геохимических регионов, для геохимических ассоциаций почв со сходными щелочно-кислотными и окислительно-восстановительными условиями, обладающими близким уровнем устойчивости к загрязняющим веществам. В качестве ориентировочного показателя можно использовать кларки элементов литосферы и почв.

Загрязняющие вещества по опасности делятся на классы:

I класс (высоко опасные) – As, Cd, Hg, Se, Pb, F, бензпирен, Zn;

II класс (умеренно опасные) – В, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr;

III класс (мало опасные) – Ba, V, W, Mn, Sr и др.

В практике эколого-геохимических исследований для оценки состояния среды используются ориентировочные оценки опасности загрязнения в аномальных зонах. Для каждого уровня характерны специфические виды заболеваемости населения, особенно детей:

I уровень – увеличение общей заболеваемости;

II уровень – увеличение частоты хронических заболеваний органов дыхания, функциональных отклонений;

III уровень – увеличение нарушений репродуктивных функций, иммунной системы и других отдаленных последствий.

Техногенные зоны выщелачивания образуются при выщелачивании металлов из руд, отвалов, хвостохранилищ, например, при подземном выщелачивании руд урана, молибдена, свинца, цинка, марганца и других элементов. Такие зоны образуются также при промывке засоленных почв и орошении. Возникают они и в результате усиленной мобилизации тяжелых металлов из почв, увеличения интенсивности их миграции в подчиненные ландшафты под действием кислых дождей. Происходит загрязнение озер тяжелыми металлами за счет кислого выщелачивания из автономных ландшафтов.

Техногенный геохимический барьер – это участок, где происходит резкое уменьшение интенсивности техногенной миграции и, как следствие, концентрирование элементов. Как и в природных ландшафтах, здесь образуются аномалии. Искусственные барьеры образуются на пути движения техногенных потоков для локализации загрязнения. Например, известковые валы служат для осаждения металлов из кислых рудничных вод или содержащихся в водах ядохимикатов.

Другой формой щелочного барьера является известкование кислых почв, препятствующее выносу катионогенных металлов и элементов питания, подвижных в кислой среде. Искусственные сорбционные барьеры в районе Чернобыля сооружались для предотвращения радиоактивного загрязнения гидросети.

Таблица 1

Шкала экологического нормирования тяжелых металлов для почв со слабокислой и кислой реакцией, по А. И. Обухову (1980)

Градации	Содержание, мг/кг					
	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Hg
Уровень содержания: очень низкий	<5	<0,05	<15	<5	<10	<0,05
низкий	5-10	0,05-0,10	15-30	5-15	10-20	0,05-0,10
средний	10-35	0,10-0,25	30-70	15-50	20-50	0,10-0,25
повышенный	35-70	0,25-0,50	70-100	50-80	50-70	0,25-0,50
высокий	70-100	0,50-1,00	100-150	80-100	70-100	0,50-1,00
очень высокий	100-150	1-2	150-200	100-150	100-150	1-2
Уровень загрязнения: низкий (ПДК)	100-150	1-2	150-200	100-150	100-150	1-2
средний	150-500	2-5	200-500	150-250	150-300	2-5
высокий	500-1000	5-10	500-1000	250-500	300-600	5-10
очень высокий	>1000	>10	>1000	>500	>600	>10

Вещества техногенного происхождения могут осаждаться практически на всех видах геохимических барьеров, известных в природе. Техногенные барьеры могут быть полезными, нейтральными и вредными. По-

лезные формируются, например, при закачивании промышленных стоков в водоносные горизонты, при цементации грунтов, в результате чего рыхлая масса превращается в твердый монолит.

Примером вредного барьера служит вторичное засоление почв в орошаемых районах, когда на испарительных барьерах накапливаются соли и элементы, поступающие с дренажными водами. На техногенных барьерах возможно техногенное минералообразование и рудообразование.

Полезное и вредное действие барьеров относительно. То, что полезно для одного компонента ландшафта, например, создание барьеров на пути миграции загрязняющих веществ в водоемы (сохранение качества вод и условий жизни водных организмов), может быть вредно для загрязняющихся почв и почвенной фауны на участках барьеров.

6. Техногенные и природно-техногенные системы

В результате индустриализации, урбанизации и интенсификации сельского хозяйства возникают особые природно-техногенные процессы и ландшафты, где природные и техногенные явления тесно переплетаются.

В природно-техногенных системах важную роль играет бик. Они сочетают в себе признаки техногенных и природных систем, которые находятся в них в разных соотношениях. Это агроландшафты, парки и рекреационные зоны городов, мелиорируемые земли, аквальные ландшафты.

В техногенных системах бик практически полностью трансформирован. Здесь сформировались искусственные тела – отвалы, хвостохранилища, асфальтированные поверхности городов и дорог, геохимические особенности которых определяются их специфическим химическим составом и искусственным рельефом. Техногенные свойства полностью или явно преобладают над природными.

Техногенные (культурные) почвы. Примером техногенных почв, которых не было в биосфере, служат осушенные торфяники и поливные почвы оазисов. Чаще природный тип почв сохраняется, и происходит только окультуривание с помощью различных агротехнических и агрохимических приемов. В качестве удобрений применяют торф, металлургические шлаки, промышленные отходы и др. В результате неумелого окультуривания происходит ухудшение почв – их эрозия, засоление, заболачивание и т. д.

По степени изменения выделяют четыре группы почв (Геннадиев, Солнцева, Герасимова, 1992): 1) природные почвы; 2) техногенно-природные; 3) природно-техногенные; 4) техноземы. Примерами техноземов служат искусственные почво-грунты, грунто-смеси на территории промышленных предприятий, карьеров, шахт, нередко содержащие высокие концентрации токсичных элементов. Остальные группы отражают большую (природно-техногенные) или меньшую (техногенно-природные) степень преобразования исходных почв техногенными процессами.

Техногенные илы. Парагенные ассоциации элементов в техногенных илах часто резко отличаются от природных ассоциаций накоплением таких элементов-антагонистов, как Pb и Ni, Cu и Sn. Полностью техногенные илы формируются в городах, в прудах и отстойниках на территории металлургических и химических комбинатов, шахт и рудников, куда поступают промышленные стоки. Они в сотни и тысячи раз обогащены относительно фона Bi, Sb, W, Sn, Mo, Zn, органическими и другими соединениями. Во многих техногенных илах повышено содержание битумов, появляются синтетические продукты, неизвестные в биосфере.

Техногенные потоки загрязняющих веществ поступают также в донные отложения озер, рек, водохранилищ, эстуариев и дельт, где их концентрации во много раз превышают фоновые. Сильное техногенное воздействие испытывают илы водоемов, на берегах которых расположены промышленные источники загрязнения – заводы, рудники, города, а также в низовьях и дельтах рек, дренирующих индустриальные районы.

В районах интенсивного земледелия донные отложения обогащены пестицидами, соединениями азота, элементами фосфорных удобрений – Cr, Cd, F, редкими землями. В суглинистых и глинистых илах за счет осаждения на сорбционном барьере содержание тяжелых металлов, как правило, в несколько раз выше, чем в песчаных, супесчаных и алевритовых илах.

Техногенные водоносные горизонты. Водоносные горизонты подземных и грунтовых вод в районах промышленного и интенсивного сельскохозяйственного освоения находятся под мощным техногенным пресом. Загрязнение почв, донных отложений, сброс сточных вод в водоемы приводят к изменению химического состава подземных и грунтовых вод, их загрязнению. Нередко эти процессы имеют региональное распространение, что создает угрозу питьевому водоснабжению, особенно промышленных регионов.

Шахтные и рудничные воды имеют часто кислую реакцию, сернокислый состав, агрессивны, содержат высокие концентрации тяжелых металлов. Водоносные горизонты, образующиеся в аридных районах за счет ирригационных вод, имеют повышенную минерализацию, нейтральную и щелочную реакцию среды, которая не благоприятна для миграции тяжелых металлов.

Геохимическая устойчивость техногенных систем. *Устойчивость ландшафта* – это его способность сохранять структуру, функциональные особенности и возвращаться в прежнее состояние после прекращения или ослабления антропогенного воздействия. *Геохимическая устойчивость* – способность ландшафта и его компонентов к самоочищению от продуктов техногенеза (их выносу или переводу в инертное состояние). Кислые малогумусные песчаные почвы имеют более низкую буферность, чем кислые суглинистые высокогумусные. Особенно высока буферность карбонатных почв.

По Н. П. Солнцевой, одним из критериев устойчивости ландшафтов является *геохимическая совместимость* техногенных воздействий с направлением природных процессов. Техногенез может быть совместим с основными природными процессами и усиливать их, уменьшать устойчивость (например, воздействие кислых атмосферных осадков на кислые лесные почвы) и вызывать дополнительную мобилизацию тяжелых металлов. Техногенез может быть несовместим с направлением природных процессов – кислые осадки, выпадая на карбонатные почвы, нейтрализуются, и почвы устойчивы к техногенному воздействию.

Таким образом, природная обстановка в значительной мере определяет судьбу продуктов техногенеза, поступающих в ландшафт. М. А. Глаззовская (1988) выделила три основные группы факторов геохимической устойчивости.

Факторы, определяющие интенсивность выноса и рассеяния продуктов техногенеза: показатели, характеризующие рассеяние и вынос продуктов техногенеза из атмосферы – осадки и скорость ветра по сезонам; показатели, характеризующие скорость миграции и вынос продуктов техногенеза из почв и проточных водоемов – сток (по сезонам), соотношение осадков и испарения, гранулометрический состав почв и грунтов.

Факторы, определяющие интенсивность метаболизма продуктов техногенеза: показатели энергии разложения веществ – сумма солнечной радиации, сумма температур выше 0°, количество ультрафиолетовой радиации, скорость разложения органического вещества.

Факторы, определяющие возможность и интенсивность закрепления в ландшафтах продуктов техногенеза или их метаболитов: показатели интенсивности закрепления продуктов техногенеза в почвах, грунтах и их исходная емкость – щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия, сорбционная емкость, количество гумуса, геохимические барьеры, минералогический состав почв и грунтов, исходный состав элементов, участвующих в техногенных потоках.

Изменение отдельных факторов геохимической устойчивости (подкисление, подщелачивание, затопление) может нарушить относительно устойчивое состояние техногенных ландшафтов и привести к сравнительно быстрой вторичной мобилизации токсичных веществ из загрязненных компонентов ландшафта.

7. Ландшафтно-геохимический мониторинг

Экологический мониторинг – слежение за состоянием природных систем и их изменением под воздействием антропогенных нагрузок. Важной составной частью этого мониторинга является *геохимический мониторинг*, т. е. наблюдение за геохимическими параметрами природных и техногенных ландшафтов.

Фоновый геохимический мониторинг заключается в наблюдении за распределением и поведением химических элементов и соединений в ландшафтах вне сферы влияния локальных источников загрязнения. Такой мониторинг позволяет оценивать глобальные изменения природной среды.

Без определения содержания химических элементов в окружающей среде, которое было до глобально-регионального (фонового) загрязнения, невозможно оценить уровень техногенного загрязнения. Проводят анализ льдов, погребенных почв, волос и костей человека и т. д.

Импактный геохимический мониторинг – это слежение за региональным и локальным антропогенным воздействием в местах кризисных экологических ситуаций – городах, промышленных центрах, зонах реактивного загрязнения.

По иерархии ландшафтов или экосистем мониторинг делится на *комплексный* (экосистемный, геосистемный) и *компонентный* (атмосферный, водный, биологический, почвенный). Ландшафтно-геохимический мониторинг характеризует поведение элементов не только в отдельных компонентах, но и в ландшафте в целом. Существует несколько методов ландшафтно-геохимического мониторинга.

Метод кларков. Так называются исследования распространенности химических элементов в различных природных средах – от глобальных геосфер до локального уровня (ландшафтов, экосистем). Для целей мониторинга необходимо учитывать глобальные и региональные кларки элементов, а также локальные уровни их содержания в воздухе, породах, почвах, водах и растениях в районе станций фонового мониторинга. Кларки являются геохимической константой, отражающей фоновое распределение элементов и соединений, без знания которого невозможна оценка импактного воздействия.

Кларки литосферы, почв, гидросферы, живого вещества и особенно региональные уровни содержания элементов постоянно уточняются, детализируются для отдельных районов, типов горных пород и почв, классов вод, систематических групп растений.

Анализ геохимической структуры ландшафта. Фоновый и импактный мониторинг должен базироваться на изучении миграции химических элементов в ландшафтах, учитывать роль и место геохимических барьеров и зон выщелачивания в распределении элементов, на представлениях об элементарных ландшафтно-геохимических системах. При мониторинге следует использовать не только метод кларков, результатом которого является определение геохимического фона отдельных компонентов ландшафта, но и характер взаимоотношений элементов между компонентами и подсистемами ландшафта. В связи с этим для оценки геохимического состояния и ответных реакций природных ландшафтов на внешнее воздействие используются представления о *фоновой геохимической структуре ландшафта*, отражающие характер связей между различными компонентами (Глазовская, Касимов, 1989).

В природно-техногенных и техногенных ландшафтах фоновая и геохимическая структура трансформирована в техногенную структуру, для которой характерно нарушение не только фонового содержания элементов, но и типов их перераспределения, а также компонентных, внутрикомпонентных и межландшафтных связей между ними.

Фоновые и техногенные геохимические структуры должны устанавливаться для отдельных регионов с учетом зонально-провинциальной и локальной ландшафтно-геохимической типичности (центральные, типичные части регионов) и уникальности (пограничные районы, дельты рек), лито-, палео- и биогеохимической дифференциации ландшафтов, степени их геохимической автономности, подчиненности и латеральной контрастности, близости к техногенным источникам.

Для организации почвенно-экологического мониторинга и создания базы данных географических информационных систем необходим большой объем экспериментального материала о содержании и пространственном распространении ряда химических элементов в основных компонентах ландшафта и прежде всего в почвах и почвообразующих породах. Контроль за изменением химического состава почв природных и аграрных ландшафтов под влиянием природных и антропогенных факторов – основная задача такого мониторинга. Для оценки техногенного загрязнения урбанизированной территории роль геохимического фона может выполнить местная почвообразующая порода и фоновое количество химических элементов в зональных почвах отдельных регионов.

Например, микроэлементный состав почвообразующих пород на территории Центрального Черноземья определяется их генезисом, гранулометрическим, химико-минералогическим составом, карбонатностью, характером коренных пород и миграционной способностью микроэлементов. Относительно литосферы в покровных и лессовидных суглинках и глинах, на которых сформировались черноземы региона, концентрируются только **B, I, Mo, Pb, Cd, Zr, Ga**. Для остальных микроэлементов характерно в различной степени рассеяние (табл. 2).

Микроэлементный состав почвообразующих пород региона представляет ряд:

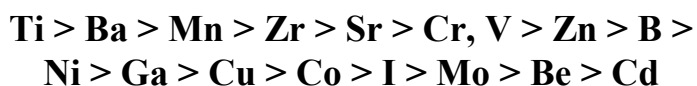


Таблица 2

Среднее валовое содержание (мг/кг) редких и рассеянных элементов в покровных и лессовидных глинах и суглинках Центрального Черноземья (Протасова, 2006)

Элемент	Порода	Кларк литосферы	Элемент	Порода	Кларк литосферы
Mn	453	1000	Ti	3962	4500
Cr	79,5	83	Zr	312	170
V	78,0	90	Ga	25,0	19
Ni	31,0	58	Be	1,15	3,8
Zn	51,5	83	Ba	516	650
Cu	16,0	47	Sr	125	340
Co	11,0	18	B	45,5	12
Pb	20,2	16	I	2,45	0,3
Cd	0,21	0,1	Mo	1,60	1,1

В черноземах Центрального Черноземья относительно почвообразующих пород наблюдается накопление большинства микроэлементов. В табл. 3 представлено валовое содержание микроэлементов в черноземах целинных участков заповедных территорий (природные ландшафты), не испытывавших антропогенного воздействия. Оно является «эталоном сравнения» для оценки экологического состояния почв техногенных ландшафтов. Полученные данные вполне сопоставимы с расчетным «фоновым» содержанием микроэлементов в аналогичных черноземах, приуроченных к аграрным ландшафтам.

Таблица 3

Валовое содержание (мг/кг) микроэлементов в гор. А черноземов заповедных территорий Центрального Черноземья (Протасова, 2006)

Стрелецкая степь, чернозем типичный тяжелосуглинистый				Каменная степь, чернозем обыкновенный глинистый				Хрипунская степь, чернозем южный глинистый			
Ti	4400	Cd	0,28	Ti	5000	Cd	0,35	Ti	3800	Cd	0,32
Mn	600	Mo	1,0	Mn	860	Mo	2,3	Mn	780	Mo	2,3
Cr	53	Be	1,0	Cr	100	Be	1,2	Cr	125	Be	2,4
V	55	Zr	450	V	110	Zr	240	V	115	Zr	220
Ni	31	Ba	570	Ni	31	Ba	490	Ni	39	Ba	560
Cu	22	Sr	72	Cu	24	Sr	65	Cu	31	Sr	160
Zn	52	B	53	Zn	66	B	45	Zn	82	B	50
Co	10	I	6,0	Co	16	I	4,1	Co	16	I	6,5
Pb	20			Pb	19			Pb	18		

В качестве основных информативных почвенных показателей экологического контроля выступают следующие: валовое содержание элементов

в пределах всего почвенного профиля, включая почвообразующую породу; содержание их подвижных соединений; степень подвижности (% количества подвижных соединений от валового содержания). Оценка техногенно загрязненных почв производится путем сравнения с «нормой» – уровнем фонового содержания химических элементов в зональных почвах, который является региональным кларком.

8. Оптимизация техногенеза

Для реализации экономики, исключая загрязнение окружающей среды, расхищение и разрушение производительных сил, необходима разработка *теории оптимизации ноосферы*, т. е. создание оптимальных техногенных ландшафтов для различных природных районов.

По своей сущности техногенные ландшафты еще более чем биогенные относятся к управляемым системам. Для их функционирования необходим единый центр, из которого осуществляется управление. Поэтому централизация техногенных ландшафтов – одна из самых важных задач организации территории: в каждом ландшафте должен быть центр управления, регулирующий взаимоотношения между его частями, решающий задачу оптимизации.

Оптимизация биологического круговорота (бика). Ее цель – высокая продуктивность и разнообразие продукции. Для бика должно быть характерно и быстрое разложение остатков организмов с включением продуктов минерализации в новый цикл. Необходим также минимальный «выход» химических элементов из бика: N, P, K и другие химические элементы должны все время «вращаться» в круговороте и не включаться в водную миграцию, не выноситься реками. Избыточные элементы, напротив, должны удаляться, а дефицитные – привноситься. Наконец, важна мобилизация внутренних ресурсов ландшафта, например, использование сапропеля в качестве удобрения.

Оптимизация круговорота воды достигается орошением пустынь, осушением болот, опреснением морских вод, использованием вод артезианских бассейнов, внедрением оборотного водоснабжения и т. д. Во многих регионах наблюдается дефицит пресных вод. Очень важна защита поверхностных и подземных вод от загрязнения.

В борьбе с загрязнением вод имеют значение техногенные геохимические барьеры, которые необходимо создавать вокруг промышленных предприятий с вредными выбросами и таким путем локализовать загрязнение, не дать ему распространиться на всю площадь. Если, например, на пути миграции сернокислых шахтных вод поместить дробленые известняки и другие карбонатные материалы, то на этом щелочном геохимическом барьере будут задерживаться тяжелые металлы, подвижные в кислой среде.

Комплексное использование сырья. В настоящее время только 10 % извлекаемого из недр сырья становится готовой продукцией, а 90 % со-

ставляют отходы, загрязняющие среду. Велики терриконы вокруг угольных шахт и карьеров. Идеалом производства является безотходная технология, при которой утилизируются все компоненты сырья.

Из зол энергетических углей можно получить около половины потребляемых в стране редких металлов. Перспективно применение золы и в строительстве. Зола некоторых углей и горючих сланцев используется для известкования кислых почв.

9. Городские ландшафты

Наиболее сильно техногенное воздействие на природную среду и население проявляется в крупных промышленных городах, которые по интенсивности и площади аномалий загрязняющих веществ представляют собой техногенные геохимические и биогеохимические провинции. На природном и агротехногенном фоне города выделяются как центры накопления веществ, поступающих с транспортными потоками, промышленными выбросами и коммунальными отходами. Города – это мощные источники техногенных веществ, включающихся в региональные миграционные циклы. Выбросы в атмосферу приводят к распространению в ней химических элементов и загрязнению воздуха. Формируются загрязненные потоки выпадений на земную поверхность, которые обуславливают загрязнение почв в городах и пригородах. Поверхностный сток с почв приводит к смыву загрязнений и включению их в водно-миграционную цепь.

Отходы накапливаются в открытых хранилищах вблизи предприятий, захорониваются на свалках или используются в виде удобрений. При дефляции они включаются в цепь распространения выбросов, при поверхностном стоке – в водную цепь. Это приводит к загрязнению подземных вод и почв. На всех миграционных путях образуются полиэлементные и интенсивные аномалии высоких концентраций химических элементов. Центральные части аномалий в почвах городов всегда приурочены к источникам выбросов, но в 2–3 раза больше площади, официально фиксируемой промышленной зоны. В промышленных городах концентрация полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почвах вокруг техногенных источников в десятки и сотни раз превышает геохимический фон.

Важной эколого-геохимической характеристикой городов является структура загрязнения. Она учитывается отдельно для макрополлютантов (оксиды и диоксиды азота, серы, углерода, пыль), на долю которых приходится более 90–95 % от общего объема выбросов, и микрополлютантов, объемы выбросов которых малы. Но токсичность и уровни концентрации микрополлютантов в выбросах велики (тяжелые металлы, хлорорганические соединения, углеводороды и др.). При геохимической систематике городов учитывают главные факторы – интенсивность и характер техногенной нагрузки и природно-техногенную геохимическую обстановку, в которой мигрируют и трансформируются загрязняющие вещества.

Почвенный покров города – это сложная и неоднородная природно-антропогенная биогеохимическая система. На фоне искусственных техногенных образований распространены антропогенно-измененные и естественные почвы – во дворах, в парках, на бульварах, пустырях. Продукты техногенеза, выпадая на земную поверхность, накапливаются в верхних горизонтах почв, изменяют их химический состав и вновь включаются в природные и техногенные циклы миграции.

Для формирования геохимического фона городских почв имеет значение длительность и характер развития города. Минимальное время формирования контрастных геохимических аномалий зависит от типа воздействия и составляет в среднем 5–10 лет. Основным методом оценки экологического состояния городов являются *педогеохимическая индикация и картографирование*.

В городах запыление почв на порядок и более выше, чем в естественных фоновых ландшафтах. В городской пыли преобладают макроэлементы – Fe, Ca, Mg. Вследствие этого происходит ожелезнение почв, практически не влияющее на щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия миграции элементов. Кроме того, наблюдается и карбонатизация почв, ведущая к увеличению их щелочности, связыванию многих металлов в труднорастворимые карбонаты, насыщению поглощающего комплекса основаниями.

Щелочная техногенная трансформация городских почв ведет к изменению их буферности, увеличению их поглотительной способности, то есть к уменьшению выщелачивания и миграционной способности многих поллютантов, прежде всего тяжелых металлов.

Загрязнение городских почв макро- и микроэлементами сопровождается трансформацией почвенно-геохимической структуры территории. В первую очередь резко возрастает радиальная геохимическая дифференциация почвенного профиля за счет накопления поллютантов в верхних горизонтах. Например, в черноземах сравнительно равномерное распределение металлов сменяется поверхностно-аккумулятивным.

Промышленность, теплоэнергетика, автотранспорт и муниципальные отходы – это источники техногенных аномалий тяжелых металлов и других микроэлементов в городских почвах. Индикация загрязнения основывается в первую очередь на сопоставлении загрязненных городских почв с их фоновыми аналогами. Это достигается расчетом коэффициента техногенной концентрации или аномальности (K_c), показывающего, во сколько раз содержание элемента в городских почвах выше его содержания в фоновых почвах.

Продукты техногенеза в зависимости от их природы и ландшафтной обстановки могут либо перерабатываться природными процессами и не вызывать существенных изменений в природе, либо сохраняться и накапливаться, губительно влияя на все живое. В этих процессах главная роль принадлежит самоочищающей способности почв, которая определяется прежде всего их химическими и физико-химическими свойствами.

Так, исследования Н. А. Протасовой, М. Т. Копаевой и Г. Б. Шелаевой (1989) показали, что химический состав лугово-сероземных почв Алазанской низменности, расположенных в зоне действия промышленных предприятий, выбрасывающих в атмосферу пыль, оксиды углерода, азота, серы, аммиак, соединения кальция и натрия, углеводороды, формальдегид, фенол, смолы, метанол, толуол, существенно изменяется. Под влиянием техногенных выбросов происходит заметное уменьшение запасов гумуса в верхних горизонтах за счет его интенсивной минерализации, снижения биомассы поступающих растительных остатков и угнетения деятельности микроорганизмов. В этих почвах уменьшается содержание подвижных соединений азота и фосфора, а количество водорастворимых солей, в том числе соединений бора, увеличивается в несколько раз. В конечном итоге это приводит к потере почвенного плодородия и деградации почв.

Возможность самоочищения почвы зависит от ее состава, климатических условий, характера и объема выбросов. Способность почв к самоочищению не безгранична. Почва наиболее интенсивно аккумулирует поступающие на ее поверхность загрязнения и, удерживая часть из них, отдает остальные контактирующим средам с разной энергией.

Для экологической и санитарно-гигиенической оценки загрязнения почв используются предельно-допустимые концентрации (ПДК) элементов, установленные экспериментально. По М. А. Глазовской, предельно-допустимое состояние почв – это тот уровень, при котором начинает изменяться оптимальное количество и качество создаваемого живого вещества, т. е. биологическая продукция. Содержание химических элементов в городских почвах нормируется обычно через значения почвенно-геохимического фона, кларки литосферы и предельно-допустимые концентрации для почв одной геохимической ассоциации.

Исследование механизмов миграции и концентрации поллютантов и степени их техногенной геохимической трансформации завершается почвенно-геохимическим зонированием территории города с учетом природных факторов, влияющих на загрязнение.

Экологическая оценка промышленных городов проводится по гигиеническим критериям качества окружающей среды: ПДК для воздуха, почв, вод, по максимально допустимой нагрузке с учетом всех путей поступления токсикантов и по биологическим реакциям населения.

10. Биогеохимия городской среды

Геохимия городской среды наряду с природными условиями определяется количеством техногенных источников, находящихся на территории города, их расположением, мощностью и качественным составом загрязняющих веществ. Наиболее опасная экологическая ситуация складывается в крупных промышленных центрах, где происходит кумулятивное воздей-

ствии на природную среду и человека различных производств, транспорта, муниципальных и других отходов.

Главными источниками загрязнения являются неупотребленные промышленные и коммунально-бытовые отходы, содержащие токсичные химические элементы. Для городов характерно формирование полиэлементных техногенных геохимических аномалий в воздухе, снежном, почвенном и растительном покровах, поверхностных и грунтовых водах.

Растительный покров городов находится под мощным техногенным прессом поллютантов, поступающих из воздуха и загрязненных почв. Растения можно сравнить с мощными насосами, перекачивающими минерализованные растворы на дневную поверхность. Отмирание зеленой массы растений приводит к повторному и часто более сильному загрязнению тяжелыми металлами поверхностного слоя почв, а ее сжигание – к загрязнению атмосферы.

Растения – один из наиболее чутких индикаторов техногенного изменения городской среды. Поэтому биологические методы, основанные на ответных реакциях организмов на техногенез, широко используются при оценке загрязнения окружающей среды. Существует две основных модификации биологического метода.

Биоиндикация анализирует морфологические, физиологические, продукционные и популяционно-динамические изменения растений. *Биогеохимический анализ* также основан на ответной реакции организмов на техногенез, но эта реакция фиксируется на молекулярном и атомарном уровнях и заключается в выявлении биогеохимических аномалий.

На городские растения негативно влияют многие поллютанты – оксиды серы, азота и углерода, тяжелые металлы, соединения фтора, углеводороды и др. Высокие концентрации поллютантов в воздухе ведут к некрозу и хлорозу листьев и хвои, преждевременному их сбрасыванию, замедлению роста и снижению продуктивности флоры.

Биогеохимическая индикация и оценка состояния городской среды основаны на способности растений аккумулировать загрязняющие вещества вблизи техногенных источников. Они включают определение тяжелых металлов и других поллютантов в растениях, выбор индикаторных видов и органов для опробования, выявление биогеохимических ореолов.

Овощи и фрукты с садово-огородных участков, примыкающих к индустриальным зонам, используются как тестовые объекты для оценки состояния городской среды. Для большинства тяжелых металлов хорошим индикатором техногенеза является морковь, загрязнение кадмием лучше фиксируется картофелем и томатами.

Таким образом, экологическая ситуация в городах определяется соотношением природных и техногенных факторов.

11. Горнопромышленные ландшафты

Добыча полезных ископаемых является одним из наиболее мощных видов техногенеза. Велики площади почти полного уничтожения природных ландшафтов, занятые скважинами, шахтами, карьерами, отвалами пород, отходами первичного обогащения руд, угольными терриконами, транспортными магистралями и др. Здесь формируются особые техногенные ландшафтно-геохимические системы – *горнопромышленные ландшафты (ГПЛ)*. Их основная геохимическая черта – слабо контролируемое рассеяние больших масс веществ с аномально высоким содержанием элементов, которые негативно воздействуют на ландшафт. Специфическая особенность таких ландшафтов – наложение техногенного загрязнения на природные геохимические аномалии – вторичные ореолы и потоки рассеяния месторождений в почвах, растениях, поверхностных и подземных водах.

Большое значение имеет выделение техногенных геохимических барьеров – механических, физико-химических и биогеохимических, на которых повышается концентрация элементов-загрязнителей. Подобные барьеры могут возникать стихийно, в ходе техногенной миграции, но могут создаваться и специально, с целью локализации загрязнения.

Добыча и использование горючих полезных ископаемых – наиболее интенсивный источник загрязнения окружающей среды. Загрязнение окружающей среды нефтью происходит при ее добыче и транспортировке. Основные очаги загрязнения связаны с нефтепромыслами, а внутри них – эксплуатационные скважины. Кроме районов нефтедобычи техногенное загрязнение происходит в местах переработки и потребления нефти и нефтепродуктов. Значительное загрязнение нефтью морей и океанов происходит в результате аварий буровых платформ и танкеров.

В районе нефтепромыслов основными загрязнителями являются сырая нефть, высокоминерализованные нефтяные и сточные воды, продукты сжигания попутных газов. Техногенное воздействие самой нефти на ландшафты определяется токсичностью ее основных компонентов. Среди них особо опасны для микроорганизмов, водорослей, почвенных животных, растений легкая, наиболее подвижная фракция, состоящая из метановых и циклических углеводородов. Ароматические углеводороды (арены) – наиболее токсичные компоненты нефти. Влияние полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), обладающих канцерогенным действием, ведет к более отдаленным экологическим последствиям. Токсичны также сероводород и меркаптаны.

Среди тяжелых неуглеводородных компонентов нефти преобладают смолы и асфальтены, которые изменяют водно-физические свойства почв и пород, а также сернистые соединения. Во многих нефтях повышено содержание тяжелых металлов (V, Ni, Co, Pb, Cu, Hg, As) и некоторых микроэлементов (U, Mo).

Вместе с нефтью в ландшафты поступают соленые воды, которые, как правило, имеют хлоридный кальциевой и натриевой состав часто с минерализацией выше 100 г/л. Нефтяные воды также обогащены йодом, бромом, бором, стронцием, барием. В составе попутных газов помимо углеводородов – метана, этана, пропана, бутана – в некоторых районах высоко содержание сероводорода и паров ртути.

Техногенная трансформация природных ландшафтов в районах добычи нефти происходит в результате механических нарушений поверхности – уничтожение растительного покрова, раскорчевка, уменьшение мощности верхней части почвенного профиля, ее уплотнение, погребение фоновых почв и т. д. При этом изменяется уровень грунтовых и подземных вод. Например, при добыче нефти высокоминерализованные воды поступают на поверхность, и на фоне дерново-подзолистых почв формируются несвойственные этой природной зоне техногенные битуминозные солончаки, угнетается или уничтожается наземная растительность и почвенная мезофауна.

Засоление почв сопровождается изменением емкости поглощения, появлением натрия в составе поглощающего комплекса, подщелачиванием почвенных растворов, увеличением содержания углерода и отдельных химических элементов, изменением группового состава гумуса, оглеением. В автоморфных таежных почвах нефть активно мигрирует, аккумулируясь на сорбционных геохимических барьерах в гумусовом и иллювильном горизонтах.

В гидроморфных почвах нефть хорошо сохраняется и аккумулируется в глеевых горизонтах. В степях и пустынях трансформация загрязненных почв протекает значительно быстрее за счет испарения нефти и минерализации, повышенной микробиологической и ферментативной активности почв. Скорость самоочищения этих почв от нефти в 4–5 раз выше, чем в таежной зоне.

Угленосные бассейны. Техногенное загрязнение при добыче угля и его сжигании связано с высокой концентрацией многих химических элементов в углях и большой массой сырья, извлекаемого из недр. В углях накапливаются золото, германий, уран, кадмий, висмут, вольфрам, мышьяк, сурьма, бериллий, цинк, свинец, ртуть, сера, железо, редкоземельные элементы (Юдович, 1978).

В районах угледобычи техногенное загрязнение связано с отвалами вскрышных пород, шахтными и подотвальными водами, дымами, пылью, аэрозолями, поступающими от предприятий. В результате резко увеличивается содержание сульфатов в водах и почвах, рН почв снижается до 2–3, меняются условия миграции химических элементов, формируются сернокислые ландшафты.

С угледобычей связано и существенное загрязнение полициклическими ароматическими углеводородами, особенно при возгорании отвалов и других видов сжигания угля.

Горнопромышленные ландшафты рудных месторождений. С рудами черных, цветных, благородных и радиоактивных металлов в окружающую среду поступает меньше химических элементов, чем с углем и нефтью, за исключением хрома, меди, цинка, железа и никеля, но степень концентрации металлов в рудах, как правило, значительно выше.

Техногенная трансформация ландшафтов рудных месторождений определяется не только способом добычи, транспортировки, технологией переработки руд. Она обусловлена также химическим и минеральным составом руд и ореолов, их обогащением рудными элементами относительно местного фона, гидрогеологической обстановкой, условиями водной и воздушной миграции и концентрированием загрязнителей.

Загрязнение ландшафтов в районах рудных месторождений связано с пылением карьеров, дефляцией и размывом отвалов, с рудничными водами, рассеиванием рудного материала при транспортировке, с выбросами и стоками обогатительных фабрик и горно-металлургических комбинатов, эрозией ореолов месторождений, с водными ореолами и потоками в грунтовых, подземных и поверхностных водах.

Так, на железорудных месторождениях с высоким содержанием сульфидов образуются *сернокислые ожелезненные ландшафты*. На карьерах КМА железорудная пыль распространяется на 10–15 км.

Главный и экологически наиболее опасный техногенез связан с предприятиями черной металлургии, вокруг которых образуются аномалии тяжелых металлов и полициклических ароматических углеводородов. Опасны и сульфидные руды тяжелых металлов, которые при выходе на земную поверхность в процессе природного выветривания и отработки быстро окисляются, что приводит к появлению *сернокислых ландшафтов*.

Площадь и конфигурация аномалий зависят от характера и способа поступления поллютантов в атмосферу – мощности взрывов в карьерах, высоты фабричных труб, направлении и скорости ветров, геоморфологических условий.

Горнопромышленные ландшафты урановых рудников загрязняют окружающую среду твердыми, жидкими и газообразными радиоактивными отходами. Объекты атомной промышленности – рудники, карьеры и разрезы, обогатительные фабрики и химико-металлургические заводы. При добыче и переработке руд в окружающую среду поступают уран и радий, обладающие длительными периодами полураспада. Опасны и другие радионуклиды радон-222, торий-230, полоний-220, свинец-220, а также тяжелые металлы. Радиоактивное загрязнение ландшафта зависит от содержания урана в руде, ее минерального состава, объема добычи руд и активности выщелачивания. При подземной разработке происходят оседание горных пород, промышленный карст, оползни, затопление грунтовыми водами земель, эрозия почв.

В сухих степях и пустынях образуются техногенные ландшафты ураноносных солончаков, болот, лугов. Содержание урана в их почвах и водах может превышать фон на несколько порядков. Техногенные водоносные горизонты могут обогащаться селеном и другими элементами – спутниками урана.

12. Агроландшафты (агротехногенез)

Земледельческие площади занимают около 12 % суши, еще около 25 % используются под пастбища. Наиболее освоены умеренный (26 %), субэкваториальный и субтропический (17–18 %) пояса. Относительная площадь агроландшафтов и степень изменения природной среды максимальны в Европе (32 %) и Азии (21 %).

Главное назначение агроландшафта – производить максимум продукции – вступает в противоречие с использованием средств химизации, приводящих к загрязнению окружающей среды. С ростом распаханности земель растет и загрязнение их минеральными удобрениями, пестицидами и другими средствами химизации. Ежегодно в мире рассеивается более 90 млн т минеральных удобрений и 2 млн т пестицидов. Именно поэтому актуальна биогеохимическая оптимизация агроландшафтов.

Агротехногенез влияет на природную среду в регионально-глобальном масштабе, особенно в районах длительного интенсивного земледелия. По интенсивности и характеру воздействия выделяются два геохимических типа агротехногенеза. Первый тип – прямое геохимическое влияние агротехногенеза на природные ландшафты, к которому относятся химизация сельского хозяйства и агротехногенная обработка земли. Второй тип – косвенные геохимические последствия, возникающие в результате гидромелиорации, эрозии почв, обезлесения, опустынивания и других процессов деградации ландшафтов.

Химизация сельского хозяйства. Для возмещения выноса химических элементов с урожаем, повышения продуктивности агроландшафтов, борьбы с сорняками и вредителями применяются минеральные и органические удобрения, пестициды и другие средства. Химизация наряду с полезными результатами сопровождается нежелательной трансформацией круговорота и баланса химических элементов. Негативное следствие химизации – загрязнение почв, растений, вод, животных и человека азотом, фосфором, тяжелыми металлами, пестицидами.

Комплексный и региональный характер действия вносимых химических элементов на все компоненты ландшафта определяют необходимость оценки процессов миграции и концентрации загрязнителей не только на локальном уровне (в масштабе поля), но и в более крупных территориальных системах – катенах, ландшафтах, речных бассейнах. Важно учитывать и заболеваемость растений, животных и человека, обусловленную агротехногенезом.

В сельском хозяйстве применяют две группы минеральных удобрений: стандартизованные, или традиционные, и нестандартизованные. В стандартизованных – азотных, фосфорных, калийных, комплексных, микроудобрениях – содержание элементов питания растений регламентируется ГОСТами. Нестандартизованные удобрения – осадки сточных вод, коммунальные твердые бытовые отходы – не имеют стандартизации элементов питания. Во всех видах удобрений не нормировано содержание большинства микроэлементов.

В глобальном масштабе цикл азота на пахотных землях имеет отрицательный баланс в связи с преобладанием районов экстенсивного земледелия с малыми дозами минеральных удобрений. В агроландшафтах с положительным балансом азота наблюдается аккумуляция азота в почвах, сельскохозяйственной продукции, грунтовых и поверхностных водах. Сильное загрязнение овощей азотом характерно для супераквальных ландшафтов долин и дельт крупных рек с интенсивным овощеводством. Особенно опасно образование в пищевых продуктах нитрозоаминов, обладающих канцерогенными и мутагенными свойствами.

Загрязнение агроландшафтов связано и с применением фосфорных удобрений, содержащих фтор, кадмий, мышьяк, стронций, медь, свинец, редкоземельные элементы. Вследствие азотизации и фосфатизации ландшафтов в грунтовых и поверхностных водах накапливаются соединения азота и фосфора, что приводит к эвтрофикации – чрезмерному обогащению водоемов питательными веществами. Наиболее опасно загрязнение питьевых вод нитратами, нитритами и их производными, что ведет к различным заболеваниям, например, метгемоглобинемии у детей.

Главным источником поступления тяжелых металлов в агроландшафты являются нестандартизованные удобрения. Они используются, как правило, на локальных участках вокруг промышленных крупных центров и создают высокую экологическую опасность. Наиболее высоки коэффициенты накопления относительно фоновых почв у Cd, Ag, Hg, Vi, Cr, Zn, Cu, W, Sn. В бытовых отходах комплекс уже и концентрация металлов ниже. Среди них преобладают Cd, Ag, Hg, Zn, Vi, Pb, Sb.

При поливе загрязненными речными водами в почвы и растения поступают большие количества Ag, Pb, Zn, Cd. Тепличные почвы обычно сильнее загрязнены Hg, Zn, Cu. Длительное использование стоков при орошении повышает в почвах содержание Zn, Cd, Cu, Ni, Cr, Pb, Hg.

При экологических оценках агроландшафтов необходимо учитывать видовую биогеохимическую специализацию сельскохозяйственных культур. Например, кофе концентрирует Cu в несколько десятков раз больше, чем другие культуры; грибы – As, V, Ag; томаты – Co, Be; капуста – Co, B; свекла – Li; фасоль – Mo, B; люцерна и клевер – Sr, Ba, B; салат-латук – Co, F, Cd, Hg, Fe, Zn, Cu (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

В районах интенсивного животноводства существенное влияние на ландшафты оказывают органические отходы животноводческих комплексов, содержащие азот, сероводород, метан, тяжелые металлы, высокие концентрации которых токсичны. Например, в агроландшафтах южной тайги наиболее часто в отходах комплексов, удобряемых почвах и выращиваемых культурах довольно высоки концентрации Zn, W, Sr.

Пестициды. Это синтетические органические соединения, используемые для борьбы с вредными насекомыми (инсектициды), сорняками (гербициды), болезнями растений (фунгициды, бактерициды), для регуляции роста растений (дефолианты) и др. Многие из них, прежде всего ДДТ, не разлагаются несколько десятков лет и аккумулируются в почвах, водах, донных осадках, пищевых цепях, вредно действуя на организмы.

Наиболее опасны для млекопитающих и человека инсектициды, менее токсичны гербициды и фунгициды. Чаще всего пищевые продукты загрязнены органическими соединениями, содержащими хлор, фосфор и ртуть. Кроме органических соединений хлора и фосфора некоторые пестициды содержат токсичные микроэлементы, в частности, свинец и мышьяк. Повышенными концентрациями пестицидов отличаются мхи и лишайники. С поверхностным стоком пестициды мигрируют в подчиненные ландшафты и аккумулируются в донных отложениях.

13. Гидромелиорация

К этому типу агротехногенеза относятся оросительные и осушительные мелиорации, в результате которых формируется новая радиальная и латеральная геохимическая структура агроландшафтов.

Орошение – один из мощных видов антропогенного воздействия, ведущий не только к дополнительному увлажнению, но и глубокой геохимической трансформации ландшафтов. В результате искусственного орошения значительная часть территории сухих степей и пустынь суши превращена в оазисы – антропогенные ландшафты с новыми почвами, климатом, биологическим круговоротом химических элементов.

Основное и широко распространенное негативное геохимическое следствие орошения в степях и особенно в пустынях – поднятие уровня грунтовых вод, ведущее к вторичному засолению почв. В результате кальциевый и кальциево-натриевый классы водной миграции естественных ландшафтов трансформируются в солонцово-солончаковый и солончаковый классы с сульфатным магниево-кальциевым и сульфатным натриевым составом вод.

В засоленных почвах формируются испарительные геохимические барьеры, на которых концентрируются не только легкорастворимые соли натрия, хлора и серы, но и Sr, Mo, B, F, Se, Br, Y, что также может оказывать неблагоприятное действие на организмы.

Другое негативное следствие орошения – засоление грунтовых и поверхностных вод минерализованными дренажными стоками орошаемых массивов. Это привело к трансформации химического состава крупнейших рек Средней Азии. Испарительная концентрация загрязненных грунтовых вод усиливает контрастность аномалий многих микроэлементов на геохимических барьерах.

В солонцовых агроландшафтах для снижения высокой щелочности почв применяют гипсование, ведущее к смене содового класса водной миграции на менее щелочной – кальциево-натриевый, гипсовый. Это способствует накоплению стронция.

В черноземных степях и лесостепях распашка и орошение черноземов приводит к усилению латеральной миграции воды и «мочаризации» – появлению на склонах пятен переувлажненных почв и «висячих болот» – мочаров, с тростниками и другой влаголюбивой растительностью. Здесь формируется комплекс геохимических барьеров (окислительный, сорбционный, испарительный, биогеохимический), на которых повышается концентрация многих химических элементов.

В ландшафтах с избыточным увлажнением проводят **осушительные мелиорации**. При этом изменяются окислительно-восстановительные условия заболоченных почв. Более энергичное разложение органических веществ ведет к усилению биологического круговорота, увеличению содержания подвижных соединений азота, фосфора и некоторых микроэлементов. Все это сопровождается усилением минерализации грунтовых вод и водной миграции кальция, фосфора, натрия, калия. Например, лесоболотные и луговые супераквальные ландшафты кислого глеевого класса трансформируются в ландшафты кислого класса.

На границе окислительных и восстановительных горизонтов формируются кислородно-сорбционные геохимические барьеры, на которых накапливаются гидроксиды железа и марганца, а также V, Ni, Co, Cu. После осушения некоторых болотных почв, содержащих сульфиды железа, в результате их окисления формируются резко кислые почвы с pH менее 3.

Совокупное воздействие загрязнения, эрозии почв, обезлесения, опустынивания и т. д. приводит к ухудшению состояния агроландшафта, в первую очередь, к снижению плодородия почв и качества сельскохозяйственной продукции. Деградация агроландшафтов ведет к ухудшению условий жизни населения, вызывает специфические заболевания, связанные с неблагоприятным воздействием на организм соединений азота, фосфора, тяжелых металлов, пестицидов, диоксинов и т. д.

По природным условиям выделяют 4 основные группы агроландшафтов:

1. Агроландшафты на месте лесных ландшафтов.
2. Агроландшафты на месте степей, саванн и лугов.
3. Агроландшафты тундр.
4. Агроландшафты пустынь.

14. Техногенез и здоровье человека

С техногенными выбросами в окружающую среду поступают оксиды азота, углерода, серы, соединения хлора, фтора, тяжелых металлов, сероводород, фенолы, диоксин, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), полихлорированные бифенилы (ПХБ) и другие токсиканты. Организм человека получает 90 % токсикантов с пищей и водой, 10 % – ингаляционным (воздушным) путем. В урбанизированных зонах создаются особые, часто экстремальные ситуации для значительной части населения.

Токсиканты распространяются по пути: источники загрязнения (выбросы, отходы, стоки, средства химизации) – депонирующие среды-концентраторы (почвы, донные отложения) – транспортирующие и главные жизнеобеспечивающие среды (вода и воздух) – организм человека.

Отходы и пылевые выбросы промышленных и коммунально-бытовых предприятий, а также средства химизации сельского хозяйства являются мощным источником поступления в окружающую среду большого ряда тяжелых металлов, количество которых в выбросах превышает их содержание в зональных почвах в сотни, тысячи и десятки тысяч раз. В пригородах наибольшую опасность представляют загрязненные водные потоки и отходы, накапливаемые на свалках или применяемые в качестве удобрений.

На урбанизированных территориях токсиканты относительно быстро распространяются и взаимодействуют с живыми организмами. Их влияние на организмы очень специфично. С экологической точки зрения важны не только токсичность веществ, но и их способность сохраняться в почве и растительности, интенсивность миграции в ландшафте, влияние на пищевую ценность сельскохозяйственной продукции.

Токсиканты классифицируются прежде всего по опасности:

1. **Высокоопасные** – As, Cd, Hg, Se, Pb, Fe, Zn, бензапирен.
2. **Умеренноопасные** – B, Cu, Ni, Mo, Co, Sb, Cr.
3. **Малоопасные** – Ba, Mn, V, W, Sr, ацетофенон.

Классификация токсикантов по их химическим свойствам:

1. **Оксиды серы, углерода, азота.**
2. **Металлы и металлоиды.**
3. **Органические поллютанты.**
4. **Радиоактивные вещества.**

Классификация токсикантов по их действию на живые организмы:

1. **Опасные вещества, способные накапливаться в живых организмах.**
2. **Вещества, блокирующие эндокринную систему.**
3. **Вещества, разрушающие иммунную систему.**
4. **Вещества, опасные для живых организмов в малых дозах.**
5. **Опасные пестициды различных типов.**

6. Стойкие боевые опасные вещества.

7. Токсичные ракетные топлива и их метаболиты.

Самые различные токсиканты, попадая в окружающую среду, распространяются и преобразуются в почве, воде, атмосфере, вступают во взаимодействие с живыми организмами. Возможность их распространения на большие расстояния зависит от их физических и физико-химических свойств: испаряемости и летучести, растворимости, сорбируемости, термической и радиационной стабильности. Способность химических веществ длительно сохранять свои свойства в окружающей среде выражается понятием *персистентность*. Миграция токсикантов в окружающей среде происходит в различном масштабе – локальном, региональном и глобальном. В большей мере перенос осуществляется в атмосфере, в меньшей – в почве и воде.

Уровень влияния на компоненты биосферы определяется природно-климатическими параметрами – направлением и силой ветра, количеством штилевых (безветренных) дней, температурным режимом, количеством осадков. С другой стороны он связан с мощностью и технологиями предприятий, высотой выбросов, их очисткой. Выделяют пять критериев оценки такого влияния:

1. *Крайне неблагоприятное.*
2. *Очень неблагоприятное.*
3. *Неблагоприятное.*
4. *Удовлетворительное.*
5. *Естественное влияние*, обусловленное местной биогеохимической ситуацией.

Вредное действие токсикантов на здоровье человека выявляется на основе анализа экотоксикологической обстановки и здоровья длительно проживающих здесь людей. Проводят анализ закономерностей распространения профзаболеваний людей, занятых на вредном производстве.

В техногенных провинциях с интенсивным поступлением техногенных выбросов заболеваемость населения сахарным диабетом в два раза выше, чем в других районах, что связано с несбалансированным поступлением химических элементов в организм человека (Покатилов, 1999). Выявлено более 30 химических элементов в тканях и органах человека, входящих в состав аминокислот, ферментов, гормонов, витаминов и коферментов. Так, цинк входит в состав инсулина – гормона поджелудочной железы, а йод – гормонов щитовидной железы.

Одним из факторов неинфекционных заболеваний является несбалансированное поступление химических элементов в организм человека. В других случаях это – резкое, активное вторжение химических элементов в организм, что приводит к нарушению генетического кода. Ряд химических элементов обладают тератогенным действием (аномалии и пороки развития). Например, загрязнение среды *диоксином* вызывает онкологические

заболевания и появление детей с врожденными пороками и нарушением нервной деятельности (мутагенное действие); *мышьяком* – рак легких, анемию, кожные болезни; *бериллием* – дерматиты, воспаления слизистых оболочек; *кадмием* – острые и хронические респираторные заболевания, почечную дисфункцию, злокачественные образования; *хромом* – рак легких и желудочно-кишечного тракта, дерматиты; *свинцом* – нарушения кроветворения, повреждение печени и почек, невралгии; *ртутью* – нарушение памяти, почечную недостаточность; *никелем* – респираторные заболевания, астму, поражение плода, уродство; *ванадием* – раздражение дыхательных путей, астму, нервные расстройства, изменение формулы крови; *молибденом* – подагру, полиартриты, ревматизм.

Токсическое действие химических веществ на живые организмы характеризуется общесанитарным показателем *ЛД-50*, который показывает массу вещества, поступившего в организм подопытных животных и вызвавшего гибель 50 % из них.

Для оценки состояния среды используются ориентировочные оценки опасности загрязнения в аномальных зонах. Для каждого уровня характерны специфические виды заболеваемости населения, особенно детей.

1 уровень – увеличение общей заболеваемости.

2 уровень – увеличение частоты хронических заболеваний органов дыхания, функциональных отклонений.

3 уровень – увеличение нарушений репродуктивной функции и иммунной системы.

Ежегодное мощное воздействие загрязнения на окружающую среду не может не отразиться на ее состоянии. В свою очередь это сказывается на жизнедеятельности и состоянии здоровья людей и численности населения.

Интегральной характеристикой жизнеспособности населения является показатель средней продолжительности жизни. Существует определенная взаимосвязь между демографическими показателями, экологическими и генетическими факторами. Целый ряд заболеваний человека определяется его профессионально-производственной деятельностью и состоянием окружающей среды.

Современное состояние природной среды, периодически возникающие локальные экологические кризисы в различных районах мира, вызвали большой интерес к изучению взаимосвязи биосферы и антропосистемы человечества. Доказана прямая зависимость здоровья, функционального состояния и качества жизни человека от среды обитания, различных условий бытовой и производственной деятельности.

Первичный этап взаимодействия экотоксикантов с живыми организмами – их адсорбция на поверхности клеток и транспорт через клеточные мембраны. Это приводит к накоплению экотоксикантов в отдельных органах и тканях. Способность токсикантов к биоаккумуляции зависит от свойств самих веществ и от особенностей живых организмов. Особенно

сильно их аккумулируют водные животные и птицы. В связи с этим введена система контроля зараженности рыб и других морских и речных пищевых продуктов.

Экотоксиканты могут вызывать различные по характеру поражения людей – острые или хронические. Наиболее коварными являются поражения, связанные с накоплением вредных веществ в организме или с длительным воздействием на организм веществ в очень низких концентрациях. Они могут оказывать канцерогенное, мутагенное, тератогенное (аномалии развития, уродство) действие.

Для характеристики опасности экотоксикантов разработаны критерии или интегральные показатели. Они включают данные о способности веществ мигрировать на различные расстояния и в различных средах, о стойкости к фотохимическому разложению, об острой токсичности, допустимых остаточных количествах (ДОК) в продуктах питания, питьевой воде и в водоемах. Применяют программы комплексного экотоксического мониторинга качества окружающей среды.

В зависимости от дозы токсиканта, его химических свойств и продолжительности воздействия могут быть следующие биологические эффекты:

1. Отсутствие какого-либо эффекта.
2. Терапевтический.
3. Стимулирующе-возбуждающий или угнетающе-депрессивный.
4. Токсичный.
5. Летальный.

Техногенное загрязнение ландшафтов привело к появлению новых заболеваний: Миномата (загрязнение ртутью рисовых полей, воды и рыбы), Итай-Итай (кадмием), пятна Чизолла (мышьяком). Формальдегид, хлорпрен, формалин, соли кадмия, лития, стронция, йода, фтора весьма негативно влияют на внутриутробное развитие плода. В зоне действия химических предприятий, выбрасывающих сернистые и азотистые соединения, где загрязнение подземных вод этими соединениями превышает естественный фон в 100 раз, рождается много детей с врожденными пороками. В городах с выбросами канцерогенных и токсических веществ смертность от рака легких в два раза выше, чем в экологически чистых городах.

Специфика заболеваний населения в промышленных городах связана с характером выбросов. Так, деятельность предприятий нефтеоргсинтеза способствует распространению болезней мочеполовой системы и сахарного диабета; целлюлозно-бумажной промышленности – сахарного диабета, болезней крови и органов дыхания; алюминиевой промышленности – эндокринных болезней, бронхиальной астмы, органов дыхания и кровообращения (Покатилов, 1993).

Сернистые, хлористо-фтористые соединения, сероуглерод и тяжелые металлы изменяют обмен веществ в организме человека, что приводит к

различным сердечно-сосудистым заболеваниям. Питательные воды с высоким содержанием сульфатов и хлоридов способствуют мочекаменной и желчекаменной болезни. В составе пыли, дыма, аэрозолей в легкие поступают сернистый газ, аммиак, хлористый водород, фтористый водород, сероводород, которые раздражают дыхательные пути, что приводит к заболеванию органов дыхания. У рабочих угольных и цементных предприятий развиваются силикозы и пневмокониозы.

Увеличивающееся региональное и глобальное загрязнение ландшафтов в промышленных зонах вызывает новые формы заболеваний хроническим бронхитом, болезнями легких и горла и нередко ведут к тяжелым последствиям.

Литература

1. Алексеенко В. А. Экологическая геохимия / В. А. Алексеенко. – М. : Логос, 2000. – 627 с.
2. Алексеенко В. А. Геохимия ландшафта и окружающая среда / В. А. Алексеенко. – М. : Наука, 1990. – 140 с.
3. Башкин В. Н. Биогеохимия / В. Н. Башкин, Н. С. Касимов. – М. : Научный мир, 2004. – 628 с.
4. Геохимия окружающей среды. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
5. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР / М. А. Глазовская. – М. : Высшая школа, 1988. – 324 с.
6. Добровольский В. В. Основы биогеохимии / В. В. Добровольский. – М. : Изд. центр «Академия», 2003. – 400 с.
7. Перельман А. И. Геохимия ландшафта / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – М. : Астрей-2000, 1999. – 768 с.
8. Покатилов Ю. Г. Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы / Ю. Г. Покатилов. – Новосибирск : Наука, 1993. – 168 с.
9. Протасова Н. А. Фоновое содержание редких и рассеянных химических элементов в почвообразующих породах и черноземах Центрально-Черноземной зоны / Н. А. Протасова // Черноземы России : экологическое состояние и современные почвенные процессы. – Воронеж, 2006. – С. 31–38.
10. Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н. С. Касимова. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – 336 с.

Учебное издание

ГЕОХИМИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

Учебное пособие для вузов

Составитель

Протасова Нина Алексеевна

Редактор И.Г. Валынкина

Подписано в печать 28.05.09. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 2,09.
Тираж 100 экз. Заказ 914.

Издательско-полиграфический центр
Воронежского государственного университета.
394000, г. Воронеж, пл. им. Ленина, 10. Тел. 208-298, 598-026 (факс)
<http://www.ppc.vsu.ru>; e-mail: pp_center@ppc.vsu.ru

Отпечатано в типографии Издательско-полиграфического центра
Воронежского государственного университета.
394000, г. Воронеж, ул. Пушкинская, 3. Тел. 204-133