

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**  
**Кафедра региональной геологии и полезных ископаемых**

**Р.Х. СУНГАТУЛЛИН**

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ**

**(краткий конспект лекций)**

**Казань 2013**

**ББК 26.3**  
**УДК 55:372.8;**  
**55:504**

*Печатается по рекомендации Института геологии и  
нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского)  
федерального университета*

**Сунгатуллин Рафаэль Харисович.**

**Экологическая геология (краткий конспект лекций):** Казань:  
К(П)ФУ, 2013. – 80 с.

Краткий конспект лекций предназначен для организации лекционных занятий, а также самостоятельной работы по освоению курса «Экологическая геология». В предлагаемых лекциях рассмотрены фундаментальные положения экологической геологии, история ее становления и развития, а также задачи, стоящие перед этой наукой, в том числе связанные с возможными воздействиями техногенных процессов на геологические сферы. В тесной связи с социальными аспектами проанализированы основные виды эколого-геологических исследований, направленные на решение вопросов устойчивого развития регионов и промышленно-урбанизированных территорий.

Учебное пособие предназначено для студентов Института геологии и нефтегазовых технологий и студентов, изучающих другие естественно-научные направления.

© Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2013

© Р.Х. Сунгатуллин, 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1. ВВЕДЕНИЕ В ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ГЕОЛОГИЮ. ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ .....	4
Лекция 2. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	17
Лекция 3. ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	30
Лекция 4. ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	40
Лекция 5. ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННО-УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	47
Лекция 6. ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	60
Лекция 7. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ.....	67
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	79

**ЛЕКЦИЯ 1**  
**ВВЕДЕНИЕ В ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ГЕОЛОГИЮ.**  
**ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ**

*Глобальные проблемы экологии. Пределы роста. Возникновение и развитие эколого-геологических исследований. Экологическая геология, геоэкология и геология окружающей среды. Трансформация экологических функций литосферы при техногенезе. Образование техносферы*

Становление большинства природных геосистем происходило в течение длительного времени – от первых тысяч до сотен миллионов лет. С развитием цивилизации на нашей планете появилась новая огромная геологическая сила – человечество. Оно изменяет физические, химические и биологические системы ранее неизвестными способами, с более высокими скоростями и на больших территориях, чем это когда-либо раньше видела Земля. Результаты его неизвестны, но уже сейчас заметно его глубокое влияние на все виды жизни на Земле.

Под влиянием техногенеза сформировались техногеосистемы, где трансформация отдельных консервативных природных элементов осуществляется в геологическом отношении практически мгновенно – от первых секунд до первых сотен лет. Развитие техногеосистемы определяется постоянными, медленными и быстрыми факторами. К первым относятся геологическое строение (тектоника, литология и др.) и, преимущественно, рельеф, к медленным факторам – неотектонические движения, климат, гидрогеологические условия, почвы, к быстрым факторам – метеорологические, гидрологические, сейсмические условия и хозяйственная деятельность человека (техногенез). Постоянные факторы определяют генетические особенности техногеосистемы, медленные факторы отвечают за тенденции, а быстрые факторы – за режим ее развития.

В последние десятилетия очень активно стали объединяться науки геологического цикла в исследовании экологической проблематики в рамках единого научного направления — экологической геологии (экогеологии). Экологизация находит свое широкое применение при анализе глобальных, региональных и локальных проблем, а экологический подход является общенаучным подходом, тесно увязывающим в единую

систему различные позиции и точки зрения, позволяя тем самым приблизиться к выработке геосистемного, многоаспектного взгляда на окружающую среду.

В конце второго тысячелетия человечество стало понимать, что дальнейшему существованию биосферы Земли угрожает глобальный экологический кризис, возникший, в основном, в результате антропогенных и техногенных воздействий на природную среду. Экологическим кризисом является резкое изменение условий внешней среды в глобальном, региональном или локальном масштабе, вызывающее массовую гибель доминирующих таксонов живых организмов. На протяжении фанерозоя произошло, по меньшей мере, четыре глобальных экологических кризиса, вызванных естественными причинами; пятый (современный) глобальный экологический кризис является по своему генезису антропогенным. Ученые расходятся в оценках сроков наступления глобального экологического кризиса и по поводу его причин. Однако все едины в том, что данный кризис есть следствие развития нашего типа цивилизации, ориентированной на безудержный рост потребления, прежде всего материальных благ. Расширение и углубление современного (последние 400 лет) кризиса представляет опасность для дальнейшего существования биоты на нашей планете, т. к. резкое уменьшение ее разнообразия, связанное с антропогенными причинами, сравнимо по своим последствиям с массовым вымиранием биоты на границе палеозойской и мезозойской эр.

Промышленная эпоха (с начала XVIII века) завершила спокойное сосуществование человека и природы; началось постоянно возрастающее техногенное воздействие на природные геосферы. Вся история развития человеческого общества с самого начала промышленной революции основывается на количественном росте населения, производства, потребления, качества жизни. Такой путь развития породил противоположные тенденции: созидательную и разрушительную. Первая проявилась в дальнейшем расцвете цивилизации, развитии науки, искусства, образования. Разрушительная тенденция выразилась в массовой деградации природной среды. Негативные последствия этого процесса подавляют созидательную тенденцию и лишают индустриальное общество перспективы развития. К середине XX века некоторые экологические проблемы перестали быть локальными и местными, а стали уже затрагивать отдельные регионы, страны и даже

весь земной шар с угрожающими последствиями для человечества и биоты в целом. Сегодня большинство исследователей к глобальным проблемам экологии относят наступающий экологический кризис, изменения и загрязнения атмосферы, уничтожение тропических лесов, дефицит вод и, особенно, пресных, изменения и загрязнения Мирового океана, социально-экономические проблемы (рост численности населения и уровня урбанизации, недостаток пищи и др.). Все современные экологические проблемы являются, в конечном счете, результатом жизнедеятельности человека в природе. Хозяйственная деятельность людей проистекает из их стремления удовлетворить свои разнообразные материальные и нематериальные потребности. По мере развития человеческого общества нарастают противоречия между производственными и социальными интересами. Примером такого раздвоения интересов является растущее противоречие между стремлением людей к росту материального благополучия и стремлением жить в условиях здоровой природной среды.

Невероятно высокие темпы технологического развития обусловили многократное увеличение промышленного производства и потребления энергетических ресурсов. Техногенные вмешательства в природную среду стали соперничать со многими природными процессами. Резко возросла добыча твердых полезных ископаемых и массивное воздействие на литосферу. В конце XX в. добывалось и перемещалось при добыче полезных ископаемых около 100 млрд. тонн горных пород в год, т. е. по 17 тонн на каждого жителя планеты.

Рост объема продуктов питания и успехи медицины способствовали быстрому росту населения. За последние два столетия оно возросло от 1 до 7 миллиардов человек, а к 2050 г. на Земле будет уже 9 миллиардов человек. Еще более быстрыми темпами развивается урбанизация и идет рост крупных городов и городского населения. Если численность населения планеты, начиная с 1976 г., возрастала в среднем на 1,7 % в год, то население городов увеличивалось ежегодно на 4 %. Рост городов приводит к недопустимому загрязнению воды, почвы и воздуха на их территориях. Поэтому жители городов проживают в наименее благоприятной экологической и социальной среде. Кроме того, урбанизация сопровождается резким снижением ресурса устойчивости городских территорий воздействию техноприродных катастроф.

Важным фактором активизации опасных природных процессов являются происходящие сейчас климатические изменения, приводящие к повышению температуры приземной атмосферы. Глобальное повышение температуры воздуха на Земле за период с 1860 по 1998 гг. составило около  $0,8^{\circ}\text{C}$ . На региональных уровнях наблюдаются более значительные изменения температуры. Так, анализ имеющихся данных по северным районам России показывает, что за последние 30-35 лет температура воздуха здесь возросла на  $1,0-1,5^{\circ}\text{C}$ . Одна из наиболее серьезных опасностей, связанная с ожидаемым глобальным потеплением климата - таяние ледовых покровов в Гренландии и высокогорных ледников, которое может привести к повышению уровня Мирового океана. В настоящее время уровень океана испытывает незначительные изменения - за последние 100 лет он повысился на 10-20 см. Ожидается, что уровень океана будет подниматься в начале XXI в. в 5-10 раз быстрее, чем в последнем столетии. Максимальная величина подъема уровня океана в 2030 г. ожидается около 60 см.

С экономическим ростом напрямую связано производство отходов - продуктов метаболизма человеческой деятельности. Большинство побочных материалов, образующихся в ходе производства, оказываются в отходах. Таким образом, почти 99 % исходного промышленного сырья и изделий из него исключаются из биосферных процессов.

В связи с непрерывным ростом на земном шаре населения и экономическим развитием регионов стремительно повышается спрос на воду, и сегодня многие страны испытывают острый дефицит ресурсов пресной воды, т. к. имеющиеся источники воды загрязняются с большой скоростью. Более одной трети населения Земли сегодня использует некачественную воду, еще одна треть имеет ограничения в использовании воды. Обеспеченность пресными водами различных регионов крайне неравномерна. В настоящее время ряд стран (Алжир, Голландия, Сингапур и др.) используют привозную воду, а во многих — работают опреснители морской воды. По прогнозам к 2030 г. объем глобального потребления пресной воды сравняется с объемом экономически доступных ресурсов. Поэтому проблема чистой воды выходит на одно из первых мест в мире и по своей значимости опережает другие глобальные проблемы человечества.

Таким образом, промышленная революция привела к усилению техногенного давления на окружающую среду и создала условия для

нового экологического кризиса на Земле. Наступающий кризис будет принципиально отличаться от прошлых кризисных ситуаций. Его основная причина — не дефицит питания, как это случалось ранее, а совершенно новое явление — превышение хозяйственной емкости биосферы и разрушение ее природных биологических циклов. Развитие человечества и сохранение природы чаще всего рассматривается как выбор между технократическим и биологическим императивами, т. е. о возможности совмещения функционирования двух систем (техносферы и биосферы), что реально при одном условии - их взаимодействие не мешает эволюции каждой из них.

В 1968 г. итальянский экономист А. Печчеи пригласил в Рим более 100 известных ученых из разных стран для обсуждения вопросов о будущем человечества, перспектив роста населения Земли и экономики. Результаты исследований Римского клуба сыграли важную роль в понимании мировым сообществом опасности экологического кризиса, а изданные книги «Пределы роста», «За пределами роста», «Пределы роста. 30 лет спустя» стали бестселлерами и заставили многих жителей Земли осознать особенности экологической революции. В них было показано, что развитие человечества ограничено наличием различных пределов. Достижение пределов или их превышение приводит к катастрофическим последствиям для всего человечества. Для экологической революции характерно экспоненциальное развитие основных определяющих ее процессов, что отличает ее от сельскохозяйственной и промышленной революций. В условиях экспоненциального развития важную роль начинает играть фактор времени, его дефицит определяет важность выбора правильной стратегии действий человечества, так как времени на исправление ошибок может просто не быть.

Основные выводы работы «Пределы роста» состояли в следующем.

1. При сохранении существующих темпов развития человечества в ближайшие 100 лет будут достигнуты и превзойдены пределы. В результате будет наблюдаться резкое неконтролируемое снижение численности населения, уменьшение объемов производства, других показателей, характеризующих степень развития человечества.

2. Эти тенденции развития можно изменить и создать условия экологической и экономической стабилизации. В условиях глобального равновесия каждый член общества имеет возможность удовлетворить свои материальные потребности и иметь равные возможности для



реализации своего творческого потенциала.

3. При выборе варианта стабилизации, вероятность его реализации тем выше, чем быстрее человечество к нему приступит.

В работе «За пределами роста» подводятся итоги развития человечества за период с начала 70-х до начала 90-х годов XX века. К основным выводам этой работы можно отнести нижеследующее.

1. Темпы использования человечеством многих видов ресурсов и темпы производства загрязнений уже превышают допустимые пределы. Без существенного сокращения материальных потоков в ближайшее время произойдет падение производства продуктов питания.

2. Это сокращение не является неизбежным. Для его предотвращения необходимо: пересмотреть политику роста населения и потребления материальных благ; повысить эффективность использования материальных ресурсов.

3. Человечество еще не потеряло возможность перехода к устойчивому обществу. Переход к этому типу общества означает отказ от роста и переход к достаточности потребления.

В работе «Пределы роста. 30 лет спустя» делается вывод, что рост загрязнений, обусловленный бурным развитием промышленности и сельского хозяйства, имеет экспоненциальный вид. Практически рост населения приводит к росту нищеты. Несмотря на различие в темпах роста производства и населения, конечный результат развития общества согласуется с прогнозом Мальтуса. Чтобы выбраться из этого порочного круга, человечеству необходимо рассмотреть в единой связи экономику и окружающую среду. В процессе производства из недр Земли извлекается основная масса сырья, большинство видов энергии, в землю же возвращаются отходы и тепло. Для Земли характерно постоянство естественных потоков вещества и энергии от источников к стокам. Существуют естественные пределы использования человечеством вещества и энергии и пределы темпов поступления отходов в планетарные стоки. Чтобы избежать выхода за пределы устойчивого потребления, необходимо руководствоваться следующими правилами: а) для возобновляемых источников темпы потребления не должны превышать темпов регенерации; б) для невозобновляемых источников темпы потребления не должны превышать темпов их замены на возобновляемые ресурсы; в) для загрязняющих веществ предельная интенсивность

выбросов не должна превышать скорости, с которой эти вещества перерабатываются или поглощаются.

Причиной наступления глобального экологического считают то, что человек уже превысил экологический предел потребления чистой первичной продукции. Так, например, ископаемое топливо является одним из главных видов невозобновляемых ресурсов. Для потребления энергии характерна высокая пространственная неравномерность. Например, житель Северной Америки потребляет энергии в 40 раз больше, чем житель Африки или Азии. Большинство ученых сходятся во мнении, что запасы ископаемого топлива на Земле ограничены. Решить проблему получения энергии, с учетом ограниченности ископаемого топлива, можно двумя путями. Во-первых, необходимо повысить эффективность использования топлива с помощью применения прогрессивных технологий. Во-вторых, необходимо развивать и широко использовать возобновляемые виды получения энергии. Отсюда, единственным способом избежать дальнейшего углубления экологического кризиса является возвращение в природные пределы потребления человечеством чистой первичной продукции. Только в этом случае может возродиться регулирующая функция биосферы.

Термин «пределы роста» многими воспринимается неправильно, его слишком часто используют как упрощение, как пределы ископаемых видов топлива и некоторых других ресурсов на планете. На самом же деле опасения гораздо глубже: текущие тенденции могут привести мир к выходу за пределы и к катастрофе в результате бесплодных и безнадежных попыток победить экологические пределы. *Экспоненциальный рост в ограниченном пространстве с ограниченными ресурсами, ни при каких условиях не может продолжаться вечно.*

Что делать? Чтобы достичь устойчивости, человечество должно увеличить уровни потребления в бедных странах мира, но при этом одновременно снизить нагрузку на окружающую среду в целом по планете. Нужно и развитие технологий, и изменение поведения людей, и планирование в долговременной перспективе. Между тем общемировая нагрузка на природу растет с каждым днем.

Таким образом, для выживания человечество должно отказаться от сложившегося представления прогресса и перейти к концепции устойчивого развития. Конференция ООН по охране окружающей среды в 1992 г. (Рио-де-Жанейро) разработала принципы и рекомендации

перехода стран планеты к концепции устойчивого развития. В «Концепции перехода РФ к устойчивому развитию» (1996) обосновывается необходимость и возможность постепенного перехода страны к устойчивому развитию, которое должно обеспечить сбалансированное решение социально-экономических задач и проблем сохранения окружающей среды в целях удовлетворения жизненных потребностей нынешнего и будущих поколений. В качестве конечной цели перехода России на модель устойчивого развития выдвигается формирование нового состояния общества, в котором важнейшим мерилом национального богатства станут духовно-нравственные ценности и знания человека. Переход к устойчивому развитию означает создание нового мышления, новых общественных ценностей, предполагает постепенное восстановление естественных экосистем до уровня, гарантирующего стабильность окружающей среды. Необходим переход от безграничного материального обогащения к творчеству, гармонии с природой.

В истории развития геологии четко обособились три этапа, связанных с решением экологических проблем человечеством.

*Первый этап (созерцательный).* Геологи, за исключением гидрогеологов и инженеров-геологов, считали, что экологические проблемы — это сфера деятельности и изучения исключительно медико-биологических наук.

*Второй этап* (семидесятые — первая половина восьмидесятых годов прошлого века) — период признания огромной роли техногенного воздействия на литосферу и биоту и становления представлений о геологической среде, геологии окружающей среды. Представители инженерной геологии, гидрогеологии, геохимии и геокриологии начали разработку теоретических и практических геологических вопросов, направленных на решение проблем окружающей среды.

*Третий этап* начался с широкомасштабного выполнения «геоэкологических» исследований представителями многих геологических наук. Это привело к формированию новых научных направлений в геологии, связанных с решением прикладных и теоретических экологических задач: экологическая геохимия, экологическая геофизика, экологическая гидрогеология и др. Однако скоро стало ясно, что эти исследования, направленные, главным образом, на оценку изменения верхних горизонтов литосферы под влиянием

техногенеза, не отвечают в полном объеме содержанию задачи геологического обоснования устойчивого функционирования экосистем. Поэтому многообразие экологических направлений в геологии сконцентрировалось в крупное современное направление — **экологическую геологию** (геоэкологию, экогеологию, геологию окружающей среды), совместно изучающую приповерхностные геосферы Земли и хозяйственную деятельность человечества. Становление ее в системе геологических наук насчитывает более четверти века и с появлением экологической геологии начался новый этап в изучении литосферы науками геологического цикла.

Разнообразные подходы к совместному использованию геологии и экологии в решении теоретических и прикладных задач, которые постепенно оформились в три междисциплинарные (интегральных) направления: геология окружающей среды (Environmental Geology), экологическая геология (экогеология) и геоэкология (геологическая экология). Пути их становления часто пересекались, но по современным представлениям они достаточно самостоятельны, хотя некоторые исследователи продолжают их отождествлять из-за общих геологических корней.

Термин «экологическая геология» впервые был использован Е. А. Козловским, А. И. Жамойдой и В. Б. Кушевым (1984), определившими ее как принципиально новое направление геологических наук, задачей которого является сохранение природной среды на основе специального изучения геологических процессов, связанных с развитием биосферы и техногенного воздействия человека на природу, включая рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов, в том числе сохранение их в недрах (особенно энергетического сырья). Второй раз термин «экологическая геология» появился в геологической литературе в 1992 г. Н. И. Плотников, А. А. Карцев и И. И. Рогинец под термином «экологическая геология» предложили понимать «комплексную и очень сложную по содержанию науку, охватывающую геологические аспекты (гидрогеологические, инженерно-геологические, геохимические, геокриологические и др.) общей проблемы охраны биосферы и, прежде всего, человека от негативного влияния техногенеза». В. Т. Трофимов и Д. Г. Зилинг дали определение «экологическая геология» как новое направление геологических наук, изучающее экологические функции литосферы, закономерности их формирования и пространственно-

временного изменения под влиянием природных и техногенных причин в связи с жизнью и деятельностью биоты и человека.

Можно дать следующее определение *экологической геологии* – это научное направление, объединяющее исследования состава, строения, свойств, процессов литосферы как среды существования биоты и жизнедеятельности человека.

**Объект** исследования экологической геологии - это литосфера со всеми ее компонентами, в прикладном плане - ее приповерхностная часть, расположенная в зоне возможного природного и техногенного воздействия. Она исследуется как многокомпонентная динамическая система, включающая породы, подземные воды и газы, и влияющая на существование и развитие биоты, в том числе и человеческого сообщества.

**Предмет** исследования экологической геологии - знания (система данных) об экологических функциях (свойствах) литосферы. При этом рассматриваются функциональные связи в системе «литосфера - биота» или «природно-техническая система - биота».

**Основные задачи** экологической геологии:

- изучение изменений приповерхностных частей литосферы под влиянием природных и техногенных катастрофических (быстрых) и эволюционных (медленных) процессов и оценка их экологических последствий;

- создание методов оценки экологической устойчивости литосферы и способов сохранения ее экологических функций;

- медико-биологическое и социально-экологическое обеспечение деятельности людей, связанное с геологической средой и геофизическими процессами.

По мнению большинства ученых, экологическая геология является составной частью *геоэкологии*, которая формируется на стыке геологии, географии, почвоведения, биологии и социологии и относится к классической междисциплинарной науке. Она изучает состав, структуру, закономерности функционирования и эволюции естественных и антропогенно-измененных экосистем высокого уровня организации. Содержание понятия *«геология окружающей среды»*, которое преимущественно применяется в англоязычных странах, является неопределенным. Она исследует проблемы взаимоотношения социума и

окружающей среды, т. е. относится к сугубо антропоцентрической области знаний.

Под *экологическими функциями литосферы* понимаются такие ее свойства, благодаря которым в биосфере поддерживаются условия, обеспечивающие жизнедеятельность всей совокупности живых организмов, включая человека. Изучение экологических функций литосферы имеет важное значение для понимания и определения возможностей литосферы в саморегулировании экосистем, а также для выработки стратегии человека, согласованной со стратегией природы. По мнению В. Т. Трофимова и Д. Г. Зилинга, все многообразие зависимостей между природной и техногенно-преобразованной литосферой и биотой можно свести к четырем экологическим функциям: ресурсной, геодинамической, геофизической и геохимической.

Общие закономерности трансформации экологических функций литосферы могут быть сформулированы в виде следующих положений:

а) их трансформация — закономерный процесс, один из этапов их развития в ходе эволюции Земли;

б) трансформацию претерпели все экологические функции литосферы, причем наиболее резко это выражено в отношении ресурсной и геохимической функций;

в) формирование и трансформация эколого-геологических условий на современном этапе определяются природными региональными геологическими, ландшафтными и техногенными факторами, причем первые из них являются определяющими;

г) техногенное воздействие обуславливает локальную, местами региональную, очень быструю трансформацию ранее сформировавшихся эколого-геологических условий, а часто - формирование техногенных аномалий - принципиально новое явление в истории развития эколого-геологических условий; эти аномалии являются новым явлением по месту образования, интенсивности проявления и характеру воздействия на биоту;

д) трансформация эколого-геологических условий на этапе техногенеза привела к усложнению полей их пространственного распределения, особенно в промышленных и горнодобывающих районах и на территориях мегаполисов, и связана с развитием техногенных загрязнений физической, химической и биологической природы.

Техногенное влияние, оказываемое человеческим сообществом на геологическое пространство, определяет необходимость дополнительного исследования социальной (или техногенной) формы материи. Техногенез является процессом изменения геологического пространства под воздействием производственной деятельности человека, который можно сопоставить по времени с локализованным в пространстве гипергенезом. Он относится к ведущим современным геологическим процессам, так как преобразует природные системы планетарного уровня: атмо-, гидро-, био- и литосферы. При этом природная и техногенная системы находятся в таких взаимоотношениях, когда абсолютный приоритет интересов одной означает прекращение функционирования другой. Таким образом, техногенез приводит к образованию и развитию природно-техногенных (геотехногенных) систем, в которых природные и технические элементы объединены потоками вещества, энергии и информации. Учитывая широчайшее развитие техногенеза и вступление в антропогенный мир, актуальным объектом изучения приходится считать уже не природную среду, а техногеосистему как целостную совокупность элементов геологического пространства и продуктов техногенной и антропогенной деятельности.

Геологические процессы, развивающиеся под воздействием инженерной и хозяйственной деятельности человека, называются *техногенными*. Они развиваются по тем же физическим законам, что и природные (естественные) геологические процессы, и приводят к сходным результатам: преобразованию рельефа местности, изменению состава и свойств породного массива, почв и гидрогеологических условий. Техногенные процессы отличаются от природных бóльшей интенсивностью, меньшей площадью проявления и более разнообразным характером. Техногенная активизация природных процессов приводит к появлению нарушений в литосфере, которые являются нетипичными или редко встречаются в природе.

Примеры изменений в литосфере под действием техногенных процессов.

1. Создание крупных водохранилищ приводит к изменению напряженного состояния, гидрогеологических условий в земной коре на значительной территории.

2. Откачка больших объемов нефти, газа и воды приводит к просадкам земной поверхности и иногда к землетрясениям.

3. Создание подземных полостей приводит к разрядке полей напряжений, дренированию подземных вод и газов.

4. Взрывы при добычных и горно-строительных работах приводят к увеличению трещиноватости пород и к обрушению неустойчивых частей склонов и откосов.

5. Откачка воды из водозаборных скважин вызывает резкую активизацию суффозионных и карстовых процессов.

6. Химическое воздействие сточных вод в горном массиве вызывает изменение состава и свойств пород, кольматацию трещин и полостей, активизацию карстообразования.

7. Постоянное обводнение ранее необводненных пород приводит к нарушению водного баланса и экологического состояния геологического пространства.

8. Пересечение подземного стока коммуникационными тоннелями приводит к подтоплению и осушению территорий.

В результате многовекового хозяйствования общества в окружающей среде сформировалась оболочка - *техносфера*. Впервые о химической составляющей биосферы антропогенного генезиса написал А. Е. Ферсман, назвав ее техносферой, под которой он понимал совокупность геохимических, минералогических процессов, вызываемых технической (инженерной, горнотехнической, сельскохозяйственной) деятельностью человека - *техногенезом*. Современное понятие техносферы объединяет совокупность геохимических, минералогических процессов, обусловленных круговоротом вещества и техногенных потоков, причем техносфера здесь не уступает по объемам круговорота химических элементов природным средам.



## ЛЕКЦИЯ 2

### ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Основы экологической геохимии. Биогеохимия. Геохимические ландшафты и барьеры. Миграция химических элементов в техносфере. Техногенные аномалии. Методика эколого-геохимических исследований. Математическая статистика в экологической геохимии*

Жизнь и здоровье живых организмов зависят от содержания химических элементов в окружающей их среде, а организмы могут нормально развиваться только при определенных концентрациях химических элементов. По данным ВОЗ 75 % смертности в мире обусловлены воздействием факторов техногенеза. Поэтому познание взаимосвязи между химическими элементами и соединениями, а также влияния их на природную среду позволит оптимизировать взаимодействия человека с природой, разработать мероприятия по профилактике заболеваний, связанных с техногенными факторами. Все это послужило основой для развития в последние десятилетия **экологической геохимии**, которая занимается изучением химических элементов в биосфере - верхней оболочке Земли, населенной животными и растительными организмами. Отличительной особенностью биосферы является связь и взаимопроникновение живых организмов и неживой (косной) материи. Все химические реакции в биосфере происходят или с участием живых организмов, или в среде, созданной под их влиянием. Это подчеркивает отличие процессов, происходящих в биосфере, от химических реакций и процессов в других оболочках Земли.

Экологическая геохимия исследует морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением геохимических полей и геопатогенных аномалий (неоднородностей земной коры) природного и техногенного происхождения на биоту. Среди этих полей выделяются литогеохимические, гидрогеохимические, биогеохимические и атмогеохимические. Объектом исследований является вещественный (минеральный) состав литосферы, миграция подвижных соединений химических элементов, их аномальных концентраций и характер воздействия на биоту с использованием методов геохимии, минералогии, петрографии, гидрогеологии и данных медико-биологических оценок состояния биоты.

Перед экологической геохимией стоит задача исследования следующих направлений: 1) разработка способов снижения уровня загрязнения природной среды; 2) совершенствование технологических процессов переработки сырья, утилизации отходов, очистки газовых выбросов и сточных вод; 3) разработка способов управления техногенезом; 4) прогнозирование поведения загрязняющих веществ с учетом природных и антропогенных факторов.

В земной коре встречаются участки с резко повышенными содержаниями определенных химических элементов, находящихся, как правило, в минеральной форме и реже в виде растворов и газовых смесей. Это месторождения полезных ископаемых площадью обычно до 100 км<sup>2</sup>, которые представляют скопления химических элементов, т. е. крупные природные геохимические аномалии. Последние из-за довольно высокой концентрации отдельных химических элементов могут оказывать весьма существенное влияние на растительные и животные организмы. Например, именно в районах месторождений выявлены растения-индикаторы высокой концентрации определенных элементов в окружающей их среде. Над месторождениями часто выявляются локальные и региональные физиологические и морфологические изменения растений и животного мира. По мнению В. А. Алексеенко, природные геохимические аномалии в пределах месторождений можно рассматривать как своеобразные природные полигоны-лаборатории по воздействию химических элементов на живые организмы на локальных участках, а также рассматривать месторождения как аналог антропогенного загрязнения.

Важным разделом экологической геохимии является **биогеохимия**, основателем которой является В. И. Вернадский. Биогеохимия рассматривает химический состав различных организмов и его изменения, связанные с меняющимися условиями существования этих организмов. Если исходить из того, что жизнь как химический процесс реализуется в форме обмена веществ между организмами и средой их обитания, то к биогеохимическим процессам следует отнести любые формы прямого и опосредованного химического взаимодействия организмов с абиотической средой. Связанная с деятельностью живых организмов биогенная миграция химических элементов протекает как в самих организмах, так и вне их, поэтому объектами биогеохимии являются и биота, и окружающая абиотическая среда.

В основе биогеохимии лежит концепция биогеохимических циклов, которые представляют собой выражение биогенной миграции и вообще способ существования жизни на Земле. В. И. Вернадский наметил три основные линии биогеохимических исследований: 1) биологическую - познание явлений жизни, 2) геологическую - познание среды жизни и 3) прикладную - изучение биогеохимической роли человечества. Особо В. И. Вернадский подчеркивал единство элементарного состава живых организмов и неживой природы и основную активную роль живого вещества (совокупность всех живых организмов) в биосфере, которая не может даже быть сравнима по своей интенсивности и направленности во времени ни с какой геологической силой.

Живое вещество обладает рядом специфических особенностей.

- Огромнейшая свободная энергия. В неорганическом мире сопоставимыми с живым веществом могут быть только незастывшие лавовые потоки, но последние, очень быстро остывая, теряют энергию.

- Скорость протекания химических реакций в живом веществе в тысячи и миллионы раз выше, чем в неживом. Отсюда, незначительное по массе и энергии живое вещество может вызвать переработку огромных объемов вещества.

- Для живой природы характерно гораздо большее морфологическое и химическое разнообразие, чем для косной природы. Так, размеры вирусов в миллиарды раз меньше размеров слона или кита, а химический состав живого вещества определяют более 2 миллионов различных органических соединений, в то время как количество природных минералов составляет чуть более 4 700.

- Тела живых организмов могут состоять из веществ, находящихся одновременно в твердом, жидком и газообразном состояниях и представлять при этом единое целое.

- Живое вещество генетически связано с организмами прошлых геологических эпох. Со сменой поколений идет и эволюция живого вещества: данный процесс особенно проявлен для высших организмов, а примитивные организмы более консервативны.

Более 90 % химического состава клеток живых организмов определяется 4 элементами: С, Н, О, N. 9 % массы растений, животных и человека состоит из Na, Cl, P, Ca, Mg, K, S, которые необходимы в процессе обмена углеводов, липидов, белков и нуклеиновых кислот. Содержания главных (структурообразующих) элементов в организме

человека значительно превосходят их содержание в земной коре - кларк элемента.

Важную роль в обмене веществ в живом организме выполняют микроэлементы, составляющие около 1 % его массы. Каждый из микроэлементов содержится в организме в количестве  $10^{-3}$ - $10^{-12}$  %. Ряд элементов (Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Ba, Cs, Br и др.) имеют сравнительно узкий диапазон колебаний в уровнях их накопления, что может свидетельствовать об их постоянном и сравнительно равномерном нахождении в органах и тканях человека, по-видимому, играющих определяющую физиологическую роль в их функционировании. В то же время, существует группа элементов с чрезвычайно высокими диапазонами их содержаний: Be, Cr, Sc, Zr, Cd, La, W, Bi, Th и др. Роль данных элементов в функционировании живого вещества является слабо изученной и, возможно, что уровень накопления их в живом веществе определяется факторами среды обитания.

В настоящее время установлено, что поступившие в организм химические элементы оказывают заметное влияние на различные биохимические и биофизические процессы, а их недостаток или избыток приводит к развитию микроэлементозов у растений, животных и человека (табл. 1). Сегодня достаточно информации о воздействии на здоровье населения отдельных природных и техногенных факторов, но недостаточно разработаны критерии оценки эколого-геохимической и гигиенической ситуации, нет единых методологических подходов к оценке здоровья населения, изучению элементного состава органов и тканей человека при диагностике патологий и мониторинге территорий, слабо исследована трансформация и взаимодействие химических соединений, пока нет высокоэффективных способов очищения природной среды от загрязнителей и нейтрализации токсических соединений. Поэтому эти вопросы должны быть приоритетными направлениями исследований в экологической геохимии и в медицинской геологии.

Для живых организмов характерны две формы движения: пассивная, определяемая их размножением (характерна для всех организмов) и активная, осуществляемая за счет направленного перемещения (характерна для животных). Особенностью пассивного движения организмов является стремление заполнить большинство пространства. В. И. Вернадский назвал этот процесс давлением жизни. Его сила (т. е. ско-

Таблица 1

Важнейшие заболевания у человека и сельскохозяйственных животных, связанные с дефицитом или избытком микроэлементов, по [Авцын и др., 1991] с сокращениями

Микро-элемент	Заболевания, связанные с дефицитом микроэлемента	Заболевания, связанные с избытком микроэлемента
Железо	Анемия. Низкий иммунитет. Миокардиопатия. Ринит. Гастрит. Атония скелетных мышц.	Гемохроматоз. Сидероз поджелудочной железы. Бронзовый диабет.
Медь	Цирроз печени. Медьдефицитные заболевания костного скелета и суставов, анемии.	Медная лихорадка. Пневмокониоз.
Цинк	Врожденные пороки развития плода и новорожденных. Карликовость. Дерматит.	Отравления цинксодержащими соединениями.
Марганец	Диабет. Гипохолестеринемия. У коров – снижение оплодотворяемости, пониженная упитанность, повышенная смертность телят.	Манганозы – избыточное поступление марганца в организм. Синдром Паркинсона. Психические нарушения.
Хром	Повышение инсулина и холестерина в крови, увеличение атеросклеротических бляшек в аорте, снижение оплодотворяющей способности	Хромовый дерматит, изъязвление слизистой оболочки носа. Хромовый гепатоз.
Селен	Дефицит эритроцитов, тромбоцитов в крови. Дистрофия. Кистозный фиброз поджелудочной железы. Инфаркт миокарда.	Селеноз с дерматитом, повреждением эмали зубов, анемиями и нервными расстройствами. Увеличение селезенки. Дегенерация печени.

рость размножения) в целом обратно пропорциональна размерам организмов. Очень большим давлением обладают бактерии, вирусы, грибы. У отдельных видов бактерий новое пополнение образуется через 22-23 минут. При отсутствии преград к размножению они за сутки заняли

бы всю поверхность Земли. Рассмотренной особенностью пассивного движения организмов объясняется быстрое распространение эпидемий, вызываемых бактериями и вирусами. Слонам же для заселения поверхности Земли потребуется более 1000 лет. С саморазмножением организмов связана колоссальная скорость миграции атомов, и оно представляет, таким образом, мощный геохимический процесс.

Люди сами относятся к живым организмам и их жизнь ограничивается многими внешними условиями, характерными для биосферы. Однако существование людей невозможно без взаимосвязи и между собою, и с другими организмами. Чисто биологические особенности такой связи обычны для всех организмов и в этом смысле не отличаются от взаимосвязей, изучаемых в экологии животных. Но в отличие от других животных жизнедеятельность людей включает в себя и так называемые техногенные процессы. Техногенез создает совершенно новые условия поступления элементов в больших дозах, что приводит к острой интоксикации, например, при поступлении As, Tl, Hg.

В последние десятилетия началось глобальное техногенное изменение условий существования организмов. Но в еще большей мере изменяются условия существования живых существ за счет техногенного изменения ландшафтно-геохимической обстановки. Для живых организмов к числу важнейших последствий рассматриваемого изменения относится невозможность существования определенных видов в изменившихся условиях. При этом данные виды либо погибают, либо начинается процесс их существенного изменения — мутация. Наиболее высокоорганизованные виды погибают скорее, а менее организованные, включая вирусы и бактерии, часто изменяясь, приспособляются к новым условиям.

Естественно, что концентрация различных элементов в среде обитания организмов могла колебаться в широких пределах. В этих условиях организмы, живущие в конкретных регионах, «привыкали» к определенным концентрациям, а также формам нахождения химических элементов в окружающей их среде. Однако при этом не было элементов «полезных» и «бесполезных». Для нормального развития организмов нужны все элементы. Вопрос может только стоять об их необходимых и вредных концентрациях. Отсюда следует один из важнейших геохимических выводов, обусловленный законом Вернадского-Кларка (в любом природном объекте земли содержатся все химические элементы,

находящиеся в ее коре): *все живые организмы в процессе своего развития и эволюции существовали в условиях, определяемых наличием всех химических элементов, находящихся в земной коре.*

Следует отметить, что отрицательное воздействие на развитие организмов может оказать как очень высокое, так и очень низкое содержание практически каждого химического элемента. Например, в некоторых биогеохимических провинциях Латвии, Ярославской области недостаточность кобальта в окружающей среде явилась причиной возникновения у сельскохозяйственных животных тяжелых анемии, которые были ликвидированы после введения кобальта в пищевой рацион. Недостаток марганца в окружающей среде вызывает специфическое заболевание птиц, так называемый перозис (утолщение и укорочение трубчатых костей), деформации суставов у птиц (цыплят, индюков, фазанов, куропаток, перепелок) и особое заболевание молодых свиней, носящее название хромоты поросят, а добавление к пищевому рациону марганца излечивает эти болезни.

Сегодня по уровню накопления химических элементов в органах и тканях человека, представляется возможным выделить органы и ткани – концентраторы элементов (кожа, легкие, бронхи, селезенка и др.) и органы и ткани – носители определенных элементов (тонкий, толстый кишечник и др.). Содержание и особенности распределения элементов в организме человека определяются не только биохимическими особенностями функционирования живых органов и тканей, но также половыми и возрастными особенностями, патологическими изменениями и факторами природной среды обитания человека. Условия проживания человека (среда, особенности питания), несомненно, сказываются на элементном химическом составе популяции населения, о чем свидетельствуют данные по составу биоматериала, отобранного в различных регионах России. Поэтому в ряде случаев анализ биопсийного материала может служить индикатором антропогенных изменений и формирования биогеохимических провинций. Знания о полном и точном количественном элементном составе человека с учетом региональных и других особенностей, могут способствовать более эффективному проведению коррекции здоровья людей и своевременной профилактики различных заболеваний.

Наиболее удобным уровнем при изучении антропогенного воздействия на окружающую среду является **ландшафтно-**

**геохимический**, позволяющий гораздо полнее оценить особенности биологического круговорота химических элементов, а также по одной методике оценивать территории, занятые природными и техногенными ландшафтами. Здесь выделяют два основных типа ландшафтов: элементарный и геохимический.

*Элементарный ландшафт.* Одинаковые элементарные ландшафты должны также характеризоваться аналогичными химическим составом подземных вод, особенностями миграции (концентрации) химических элементов, переносимых в атмосфере, условиями развития (отсутствия) многолетней мерзлоты и распространения по вертикальному профилю свободного кислорода.

*Геохимические ландшафты* - это парагенетическая ассоциация сопряженных элементарных ландшафтов, связанных между собой миграцией элементов. Учение о геохимических ландшафтах является гораздо более разработанным для решения многоцелевых проблем охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Геохимические ландшафты имеют, в отличие от экосистем, довольно четкие границы. Их основные эколого-геохимические характеристики выражаются в конкретных числах, поддающихся математической обработке, и могут иметь качественный, количественный и экономический характер. Центром геохимических ландшафтов считаются почвы как сложные биокосные системы. Составной частью геохимических ландшафтов являются растительные и животные организмы, коры выветривания, поверхностные и подземные воды, почвоподстилающие породы. Без изучения геохимических особенностей этих составных частей ландшафта часто невозможно прогнозировать поведение химических элементов в конкретном ландшафте. Поэтому, экологическая геохимия довольно тесно связана с почвоведением и геохимией почв, гидрохимией, а также с биогеохимией, геохимией пород и кор выветривания.

*Геохимические барьеры* — одно из основных понятий современной геохимии. По А. И. Перельману, это «участки земной коры, на которых на коротком расстоянии происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрация». Выделяются два основных типа геохимических барьеров — *природные и техногенные*. В первом случае смена факторов, а соответственно и смена одной геохимической обстановки другой обуславливаются природными



особенностями конкретного участка биосферы, во втором — такая смена геохимических обстановок происходит в результате антропогенной деятельности.

Все барьеры подразделяются на четыре класса: физико-химический, механический, биогеохимический и социальный. Сегодня детально разработана классификация *физико-химических барьеров*, среди которых выделяются кислородный, сероводородный, глеевый, щелочной, кислый, испарительный, сорбционный, термодинамический барьеры. Зная класс барьера, направление мигрирующего потока и условия миграции, можно уверенно прогнозировать осаждение на конкретном барьере определенных элементов. Возможно решение и обратной задачи: по комплексу сконцентрировавшихся элементов определить класс барьера и условия миграции элементов.

*На биогеохимических барьерах* происходит резкое уменьшение интенсивности миграции химических элементов под воздействием организмов. Это может быть относительно кратковременное накопление химических элементов растительными и животными организмами. При этом после их отмирания сконцентрировавшиеся элементы практически сразу вовлекаются в процесс миграции. Процесс накопления химических элементов животными организмами и особенно его последствия часто имеют важное значение для человека, т. к. без изучения концентраций загрязняющих веществ в организмах практически невозможно оценивать и последствия антропогенной деятельности. К настоящему времени в живых организмах выявлены почти все химические элементы периодической системы Д. И. Менделеева. Поэтому, можно считать, что на биогеохимических барьерах сконцентрирована основная масса практически всех химических элементов.

*Социальный геохимический барьер* представляет собой зоны складирования и захоронения промышленных и бытовых отходов. По специфике концентрации веществ и способу образования эти барьеры не имеют аналогов среди природных барьеров. Концентрирующиеся на социальных барьерах вещества не объединяются общим физическим или химическим свойствами. Все вещества на подобных барьерах концентрируются благодаря только одному социальному условию — ненужности обществу на данном этапе его развития. Широкое распространение социальных барьеров, их возрастающее воздействие на

геологические среды и непосредственно на здоровье людей делают необходимым их детальное эколого-геохимическое изучение.

На протяжении истории Земли шла постепенная эволюция процессов миграции химических элементов. В последнее столетие в число важнейших факторов перемещений химических элементов вошла антропогенная деятельность. В античном мире люди использовали только 19 элементов, в XVIII в. — 28, в XIX в. — 50, а в начале XX в. — 60. В последние десятилетия стали использовать не только все 89 известных химических элементов, имеющих в земной коре, но и искусственные радиоактивные элементы. Большинство продуктов переработки минерального сырья представляют собой соединения химических элементов, которые или не образуются в результате природных процессов, или не встречаются в тех частях биосферы, в которые они попадают в результате антропогенной деятельности. В связи с этим их поведение в биосфере отличается от поведения природных соединений. Попав в биосферу, техногенные соединения начинают оказывать своеобразное и возрастающее воздействие на живые организмы, большинство последствий которых мы пока еще не знаем.

Последствия техногенной миграции химических элементов приближаются к последствиям космических катастроф, а скорость такой миграции резко возрастает. Например, природная миграция элементов в минеральной и изоморфной формах (руда, нефть) раньше происходила на десятки и сотни километров, а теперь — на десятки тысяч километров морским, автомобильным и железнодорожным транспортом, а также по нефтепроводам. Также увеличилась миграция газов (главным образом углеводородов, азота, кислорода, водорода) за счет транспортировки по газопроводам, на специальных морских судах, автомобилях.

Как и природные, техногенные геохимические аномалии образуются на участках с резко изменяющимися ландшафтно-геохимическими условиями и интенсивностью миграции химических элементов, т. е. на геохимических барьерах. Техногенные геохимические аномалии могут образовываться в почвах (литохимические аномалии), растительных и животных организмах (биогеохимические аномалии), атмосфере (атмохимические аномалии газов и аэрозолей), подземных и поверхностных водах (гидрохимические аномалии).

Геохимическая оценка состояния окружающей среды базируется на данных специализированных эколого-геохимических исследований, целью

которых является обнаружение источников загрязнения, прослеживание путей миграции поллютантов и выявление территорий, где их концентрация может быть опасной для здоровья населения или угрозой для живых организмов. Эколого-геохимическая трансформация геосред изучается, прежде всего, с помощью геохимических съемок — литогеохимических, атомогеохимических (газовых), гидрогеохимических (снегохимических, биогеохимических).

Основной целью исследований на стадии региональных работ является общая комплексная оценка состояния окружающей среды территории края, области или республики. При качественной оценке состояния окружающей среды проведение подобных исследований должно дать объективную и разнообразную характеристику региона с оценкой общего развития техногенных процессов и их влияния на био-, гидро- и литосферы. При количественной оценке здесь должны определяться фоновые содержания всех элементов (их соединений) в каждом выделенном геохимическом ландшафте. На отдельных картах выделяются аномалии химических элементов, устанавливается их вероятная природа и основные источники. На стадии среднемасштабных работ оценивается состояние окружающей среды отдельных территорий, расположенных вблизи крупных городов или территориально-промышленных комплексов.

Определение содержания химических элементов в объектах может проводиться различными методами или совокупностью нескольких методов. Основные требования к методам следующие: достаточная точность (воспроизводимость и правильность); необходимая чувствительность анализа, позволяющая получить значимые цифры содержаний меньше фоновых; возможность определения элементов, находящихся в различных формах (минеральная, водные растворы и др.); максимальная комплексность проводимых определений; высокая производительность. В настоящее время наиболее распространены спектральный, рентгено-спектральный флуоресцентный и различные химические методы определений.

При региональных работах в почвах, илах и золе растений целесообразно первоочередное определение широкого круга элементов (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Be, Ca, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Ge, Hg, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Nd, Ni, P, Pb, Pt, Rb, Sb, Sc, Se, Si, Sm, Sn, Sr, Th, Ti, U, V, W, Y, Yb, Zn, Zr и др.) преимущественно с помощью приближенно-

количественного атомно-эмиссионного спектрального анализа. На последующих стадиях эколого-геохимических исследований число элементов можно сократить до 15-20 за счет элементов, которые не образуют в районе аномалий и зон повышенной концентрации. При этом обычно бывает необходимо увеличивать число специальных методов анализов (атомно-эмиссионный в индукционно-связанной плазме, атомно-абсорбционный и др.) для установления концентраций загрязняющих веществ, наиболее вероятных для изучаемого района. При работах, проводимых в пределах аномальных участков, перечень определяемых элементов можно сократить до 10-15 с увеличением числа специальных методов анализа, которые должны обеспечить установление формы нахождения и вида соединений, в которых имеются загрязняющие элементы. Результаты анализов следует выражать в конкретных цифрах содержаний определяемых компонентов: в биогеохимических и литохимических пробах целесообразно выражать в г/т, а в гидрогеохимических — в мг/л или мкг/л. Для проверки качества лабораторных исследований необходимо проводить внутрилабораторный и внешний контроль.

Режимные эколого-геохимические наблюдения могут проводиться как в пределах ранее выявленных аномалий, так и на эталонных участках без видимых техногенных изменений, т. е. с фоновыми содержаниями элементов. Целью режимных наблюдений на аномальных участках является определение закономерностей изменения аномалий (их контрастности) в пространстве в зависимости от времени года (дня), интенсивности работы загрязняющих предприятий, проведения мероприятий по охране окружающей среды и др. Основной целью режимных наблюдений в пределах фоновых площадей является установление геохимических изменений, которые происходят на участке в зависимости от периода времени.

Особой разновидностью режимных наблюдений являются выборочные повторные работы, осуществляемые через определенный срок (год, три года, пять лет) на территориях, ранее подвергнутых эколого-геохимическому изучению. Эти наблюдения могут рассматриваться как мониторинговые исследования. Выбор участков для повторных исследований и периодичность их проведения определяются конкретными ландшафтно-геохимическими и социальными условиями изучаемого района. По результатам подобных исследований в

инструментально закрепленных точках должны быть получены данные об изменениях (увеличение, уменьшение) содержаний элементов в почвах, водах, породах, атмосфере и различных видах растений. По способу сбора данных эколого-геохимические мониторинговые работы можно разделить на дистанционные и контактные. В настоящее время эколого-геохимический мониторинг в основном выполняется контактным способом с прохождением полевых маршрутов и отбором геохимических проб. В будущем роль дистанционных методов определения содержаний элементов в различных частях биосферы будет возрастать.

Для количественной характеристики состояния окружающей среды результаты анализов проб подвергаются статистической обработке. Наиболее эффективны математические методы исследований в тех случаях, когда объектом исследования является большой объем информации как, например, в экологической геохимии. При математической обработке эколого-геохимических данных в первую очередь необходимо установить величину местного геохимического фона ( $C_{\phi}$ ) изучаемых элементов в почвах, водах, основных растениях для каждого ландшафта. Для выявления аномальных содержаний ( $C_a$ ) необходимо определить величину минимального (максимального) аномального содержания относительно фона. Для этого очень важно правильное объединение в одну выборку определенной группы проб с учетом ландшафтно-геохимического районирования территорий. При выявлении геохимических аномалий нижнее значение аномальных содержаний для отдельных проб вычисляется по формуле  $C_a = C_{\phi} \pm 3S$ , где  $S$  - стандартное отклонение. Кроме набора стандартных методов статической обработки эколого-геохимических данных (среднее содержание, стандартное отклонение, дисперсия, коэффициент вариации, корреляционный и регрессионный анализы и др.) в настоящее время наиболее часто используются многомерные кластерный и факторный анализы.

## ЛЕКЦИЯ 3

### ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

*Уникальные свойства воды. Влияние подземных вод на экосистему человека. Основы экологической гидрогеологии. Техногенная трансформация подземных вод. Эколого-гидрогеологический мониторинг*

Вода — самое распространенное вещество на Земле, которое покрывает земную поверхность и пронизывает земную кору, участвует в природных процессах. Но она также природный минеральный ресурс и в силу присущих ей свойств ничем незаменима. Этим определяется уникальность и ценность водных ресурсов. Вода — одно из самых удивительных соединений на Земле — давно уже поражает исследователей необычностью многих свойств. Температура плавления воды (по аналогии с гидридами других элементов) должна была составить минус  $120^{\circ}\text{C}$ , а не  $0^{\circ}\text{C}$ , как это наблюдается на самом деле. Температура ее кипения должна быть равной минус  $112^{\circ}\text{C}$ , а фактически она равна  $+100^{\circ}\text{C}$ . Не менее удивительным является тот факт, что плавление воды сопровождается не расширением (как у подавляющего большинства соединений), а сжатием. Наибольшей плотностью, а следовательно, и наименьшим удельным объемом вода обладает при температуре, равной  $4^{\circ}\text{C}$ , а не при  $0^{\circ}\text{C}$ , как это можно было бы предположить. При замерзании, то есть переходе в кристаллическое состояние, вода не уменьшает, а почти на  $1/10$  увеличивает свой объем. Благодаря этому образующийся на водоёмах лёд не опускается на дно, а остаётся на поверхности, предохраняя водоёмы от промерзания. Без этого свойства вся вода Земли, скорее всего, быстро собралась бы в полярные ледяные шапки, и жизнь стала бы невозможна. Поэтому существование водных экосистем, да и биосферы в целом, полностью зависит от уникальных свойств воды как одного из главных минералов Земли. Ценность воды как природного минерала связана с ее исключительными свойствами. Главные среди них следующие: 1) исключительная подвижность; 2) способность к фазовым переходам в земной коре; 3) чрезвычайная химическая активность; 4) «всюдность» (по В. И. Вернадскому) является одним из самых удивительных свойств воды.

Вода является основным природным растворителем минералов, газов и техногенных соединений, не имеющих аналогов в природе. Считается,

что в воде взаимодействие между ионами в 80 раз слабее, чем в кристаллах, поэтому для растений и животных облегчено выборочное поступление необходимых им ионов. В большинстве случаев именно наличие воды контролирует развитие живых организмов, а основными факторами, влияющими на биоту водных экосистем, являются:

- солёность, то есть процентное содержание растворенных в воде солей, главным образом NaCl, KCl и MgSO<sub>4</sub>;
- прозрачность, характеризуемая относительным изменением интенсивности светового потока с глубиной;
- концентрация растворенного кислорода;
- доступность питательных веществ, прежде всего, соединений химически связанного азота и фосфора;
- температура воды.

Проблема чистой воды выходит на одно из первых мест в мире, опережая такие глобальные проблемы человечества как изменение климата, деградация озонового слоя, засоление и эрозия почв, защита атмосферы от загрязнения, сохранение чистоты океана и др. Это обусловлено той особой ролью воды, которую она играет в становлении биосферы и развитии жизни. В целом проблема питьевой воды - это проблема качества жизни человека, его здоровье и долголетие. Качественное питьевое водоснабжение стало одной из главных составляющих общей экологической безопасности населения, способной вызвать большую социальную напряженность в обществе. Сегодня по данным ВОЗ 80 % проблем здоровья человека связаны с неудовлетворительным качеством питьевой воды и нарушениями санитарно-гигиенических норм водоснабжения. Вода является фактором, в значительной степени определяющим образ жизни, ориентировочный вклад которого в здоровье человека составляет около 50 %. Заболевания, связанные с водой, подразделяются на 5 типов: 1) вызываемые зараженной водой (тиф, холера, дизентерия, полиомиелит, гепатит и др.); 2) возникающие при использовании загрязненной воды для умывания и мытья (заболевания кожи и слизистых оболочек от трахомы до проказы); 3) провоцируемые мелкими моллюсками, живущими в воде (шистосоматоз, ришта и др.); 4) вызываемые размножающимися в воде насекомыми - переносчиками инфекции (малярия, желтая лихорадка и т. п.); 5) возникающие при использовании воды, загрязненной

токсическими веществами — металлами, ядохимикатами и др. (аллергические заболевания, болезни печени, почек и др.).

Кризисное взаимоотношение человека с гидросферой определяется тремя причинами: 1) убеждение человека в неограниченности водных ресурсов, их изобилии, природной чистоте, способности к непрерывному самоочищению; 2) недостаточное понимание человеком фундаментальных свойств воды и гидросферы, определивших развитие всего окружающего мира; 3) человек, став геологической силой, качественно усложнил взаимоотношения общества и гидросферы; при этом он неосознанно затронул основы самой жизни.

Несмотря на ограниченность запасов пресных вод, человечество практически еще не начало эксплуатировать их основную часть - ледники (табл. 2). Используются в основном воды рек, озер и водохранилищ, а они составляют всего около 3 % объема пресных вод. Даже подземные воды в мире используются незначительно, хотя за последние три десятилетия XX века в мире пройдено более 300 миллионов скважин для отбора воды. Тенденция более широкого обеспечения населения, и прежде всего жите-

Таблица 2

Запасы воды на Земле (по М. И. Львовичу с дополнениями)

Виды природных вод	Доля в мировых запасах, %		Среднее время возобновления запасов, лет
	от общих запасов	от запасов пресной воды	
Океан	96,4	-	$2,65 \times 10^3$
Ледники	1,86	70,3	$9,7 \times 10^3$
Озера	0,013	0,25	$1,7 \times 10^1$
Реки	0,0002	0,005	$5 \times 10^{-2}$
Болота	0,0008	0,003	$5 \times 10^0$
Водоохранилища	0,0004	0,016	$1,4 \times 10^{-1}$
Подземные воды в литосфере	1,68	-	$1,4 \times 10^3$
Подземные льды в литосфере	0,022	0,82	$1 \times 10^4$
Вода в атмосфере	0,001	0,04	$2 \times 10^{-2}$
Вода в живых организмах	0,0001	0,003	$1 \times 10^{-3}$



лей городов, подземными водами понятна: они более защищены от загрязнения, чем поверхностные. Кроме того, по сравнению с поверхностными водами, у подземных вод имеются следующие преимущества: 1) они содержат ряд микро- и макрокомпонентов, необходимых для жизни человека; 2) они более широко распространены; 3) они в меньшей степени зависят от изменений климата; 4) водозаборы подземных вод можно вводить в эксплуатацию по мере роста потребности.

Сегодня активно развивается *экологическая гидрогеология*, которая призвана выяснить роль подземной гидросферы в становлении и развитии современной биосферы, а также в деградации последней в обстановке сложившейся кризисной экологической ситуации. Термин «экологическая гидрогеология» предложил в 1992 г. Н. И. Плотников, который рассматривал экологическую гидрогеологию как прикладную науку с социальной направленностью. Техногенное воздействие на подземные воды значительно выше, чем на поверхностные, что обусловлено следующими факторами: а) подземные воды - последний источник высококачественной воды на Земле; б) водообмен подземной гидросферы многократно меньше и для ее восстановления требуется многократно больше времени (см. табл. 2); в) подземные воды наиболее тесно взаимодействуют с горными породами, газами и органическим веществом, участвуя в разных геологических и биологических циклах и круговоротах, что определяет их особую роль в формировании окружающей среды.

**Экологическая гидрогеология** - наука о гидрогеологических, гидродинамических и гидрогеохимических трансформациях подземной гидросферы под влиянием антропогенной нагрузки и природно-техногенных катастроф. Она решает задачи обеспечения населения качественной питьевой водой, создания приемлемой экологической обстановки в районе инженерных объектов, сохранения подземной гидросферы как одной из жизнеобеспечивающих систем на планете, рассматривает важнейшие социальные аспекты экологии, связанные с влиянием качества подземных питьевых вод на здоровье населения.

**Задачами** экологической гидрогеологии должны стать раскрытие механизмов взаимодействия воды с породами, самоорганизация и геологическая стабилизация на определенном уровне системы «вода – порода», механизмы и источники передачи информации в этой системе, роль геохимической среды в развитии минерального и геохимического

разнообразия, история геологической эволюции формирующихся геологических систем и их переход в биокосные и биологические, механизмы воздействия техногенной деятельности человека на естественную эволюцию системы «вода - порода - газ - живое вещество» и масштабы возможной трансформации этой системы под влиянием экологической ситуации на планете

Гидрогеологические системы разделяются на природные и природно-техногенные. Вторые отличаются от первых тем, что в качестве подсистем (элементов) содержат искусственные объекты (инженерно-технические сооружения) или существенно измененные человеком природные объекты. Именно это обстоятельство придает природно-техногенным (эколого-гидрогеологическим) системам новое важнейшее качество - возможность управлять своим развитием и функционированием. При этом под эколого-гидрогеологической системой понимается гидрогеологическую систему определенного ранга и содержания, которая находится в активном социально-биотехногенном взаимодействии с окружающей средой. Эколого-гидрогеологическая система обладает свойством адаптации, т. е. может приспособливаться к изменяющейся внешней среде, меняя в определенных рамках свои свойства, взаимодействия и структуру.

Геологические последствия техногенного воздействия на подземную гидросферу связаны с закачкой техногенных вод в недра и с откачкой подземных вод из водоносных горизонтов. К техногенным подземным водам относят воды, появление которых в литосфере обусловлено естественным проникновением или принудительной закачкой измененных человеком вод в подземные водоносные системы. Выделяют три группы техногенных вод: 1) воды, специально направляемые или нагнетаемые в подземные водоносные горизонты и трещиноватые зоны; 2) воды, инфильтрующиеся вглубь из-за несовершенства эксплуатируемых сооружений или технических устройств, нарушения правил их эксплуатации или возникновения аварийных ситуаций; 3) подземные воды, которые становятся техногенными при водоотборе из подземных водоносных систем.

В первую группу входят воды, используемые для восполнения запасов подземных вод инфильтрационных водозаборов, при выщелачивании рудных компонентов или солей на месторождениях полезных ископаемых, для законтурного заводнения на месторождениях

нефти и газа, при промывании засоленных земель на мелиоративных системах, для поливов на орошаемых землях, захоронения сточных вод, создания подземных теплообменников в целях получения геотермической энергии и др. Геологические последствия, возникающие от воздействия на геологическую среду вод первой группы, регулируются заданным режимом поступления в недра этих вод или заблаговременно учитываются в технологическом цикле эксплуатации производственных комплексов.

К водам второй группы относятся воды, образовавшиеся в результате утечек из водопроводно-канализационных сетей, коллекторов поверхностного стока, ирригационных каналов, прудов-накопителей или прудов-охладителей, шламоотвалов обогатительных фабрик, терриконов, при инфильтрации с орошаемых массивов. Геологические последствия от деятельности техногенных вод второй группы, как правило, бывают неожиданными, и их предотвращение требует проведения специальных инженерных мероприятий.

В третью группу входят подземные воды, откачиваемые из водоносных горизонтов для целей водоснабжения и мелиорации, водоотливы из горных выработок или при добыче минеральных вод. Последствия от деятельности третьей группы подземных вод связаны, главным образом, с деформациями земной поверхности и регулируются технологическим режимом эксплуатации месторождений.

В. М. Гольдберг *загрязнение подземных вод* определял следующим образом: это вызванные хозяйственной деятельностью изменения физических, химических, биологических свойств воды по сравнению с естественным состоянием и нормами качества воды по видам водопользования, которые делают эту воду частично или полностью непригодной для использования по целевому назначению. Под воздействием загрязняющих веществ в природных водах происходят изменения, которые можно подразделить на 3 типа. *Первичные изменения* возникают вследствие прямого воздействия загрязняющих веществ на природные воды. Это вызывает изменение физико-химических и биологических свойств воды, ее состава, температуры, газового режима и некоторых других условий существования водных организмов. *Вторичные изменения* проявляются при взаимодействии загрязняющих веществ между собой или с составными частями воды, из-за чего образуются новые вещества, оказывающие вредное влияние на состав

воды. *Третичные изменения* являются следствием вторичных изменений и характеризуются нарушением сложных взаимосвязей водных организмов с внешней средой.

Главную роль в загрязнении подземных вод играют антропогенные источники загрязнения, они способствуют формированию областей распространения интенсивного загрязнения подземных вод. Природные источники загрязнения могут обусловить загрязнение подземных вод на очень больших площадях, но интенсивность загрязнения при этом может быть гораздо меньшей, чем от антропогенных (техногенных) источников. Загрязняющие вещества, содержащиеся в отходах, образованных в результате деятельности человека, проникают в подземные воды и могут вызвать химическое, бактериальное, радиоактивное и тепловое загрязнение. Источники антропогенного загрязнения подземных вод объединяются в несколько групп: а) промышленные предприятия, деятельность которых не связана с недропользованием; б) горнодобывающие предприятия, деятельность которых связана с добычей полезных ископаемых; в) сельскохозяйственные предприятия; г) предприятия энергетического комплекса; д) транспортные и коммунально-бытовые предприятия.

В зависимости от протяженности источников загрязнения определяется масштаб техногенного воздействия на подземные воды: локальный, региональный и глобальный. В качестве основных факторов, влияющих на формирование химического состава подземных вод на глобальном уровне, рассматривается рост парциального давления  $\text{CO}_2$  в атмосфере, на региональном - химический состав атмосферных осадков, который в естественных условиях достаточно устойчив для отдельных климатических зон, а на локальном уровне - химические компоненты, поступающие в подземные воды от различных техногенных и антропогенных источников загрязнения. При этом влияние современной антропогенной деятельности на химический состав подземных вод на глобальном гидросферном уровне минимально (десятые доли мг/л год) и максимально (до тысячи мг/л год) на локальном, где концентрации макрокомпонентов могут изменяться в пределах четырех порядков.

Изменения гидрохимической обстановки во многом определяются нарушениями гидродинамического режима, которые выражаются: 1) в интенсивном понижении напоров подземных вод на больших площадях и резком возрастании скоростей фильтрации; 2) в увеличении степени

взаимосвязи поверхностных и подземных вод; 3) в появлении новых областей питания и разгрузки водоносных пластов; 4) в изменении интенсивности инфильтрационного питания подземных вод; 5) в усилении взаимосвязи между водоносными горизонтами посредством перетекания; 6) в обезвоживании верхних зон гидрогеологических структур, приводящем подчас к многократному увеличению мощности зоны аэрации.

Эколого-гидрогеологической системой и ее функционированием можно управлять, руководствуясь определенными требованиями и законодательством. Система управления должна быть такой, чтобы обеспечить при использовании воды выгоду каждого человека, предприятия, поселка, города на фоне общей выгоды для всех, включая саму природу. При этом главным является включение в эту систему принципов сохранения ресурсов, предупреждения опасности, ответственности каждого водопользователя и кооперации всех, кто может своими действиями влиять на водную среду и ресурсы. Трудность решения данной задачи состоит в том, что вода выполняет в природе и обществе не менее 30 разнообразных функций, многие из которых находятся в прямой конкуренции. Вода - одновременно среда жизни, важный природный ресурс, транспортное средство, источник энергии, водообменная система, геохимическая среда, геологическое тело, осложняющий фактор разработки полезных ископаемых и строительства, место отдыха, лечения, сброса всех отходов и т. п. Из такого рода конкуренции в ее использовании возникает множество организационных, правовых, экономических и экологических проблем.

В основу управления водными ресурсами должны быть положены несколько важных принципов.

1. *Принцип единства природных вод*: управлять надо одновременно всеми типами вод.

2. *Бассейновый принцип* заключается в том, что управление ведется не водой, как физическим телом, а водообменной системой, за единицу которой принимается водосборный бассейн.

3. *Принцип коллективного управления*: вода принадлежит всем и законно право отдельного человека или предприятия на воду без ущемления прав других пользователей водными ресурсами. Данный принцип напрямую связан с концепцией устойчивого развития.

4. *Принцип «загрязнитель платит»*: кроме платы за водоотбор, взимается плата за любое изменение водной среды (изменения уровня, расхода, качества, температуры воды, изменения русла, подтопление и т. п.).

Сегодня мало у кого вызывает сомнение необходимость разработки и реализации водоохраных мероприятий практически во всех «техногенно-нагруженных» регионах. Все водоохраные мероприятия можно разделить на две группы: 1) профилактические, направленные на предотвращение загрязнения, например, организация зон санитарной охраны подземных водозаборов; 2) активные, связанные с восстановлением качества подземных вод.

В основе охраны и управления качеством подземных вод лежит *эколого-гидрогеологический мониторинг* - специальная система наблюдений, позволяющая осуществлять слежение за процессами, возникающими в подземных водах под влиянием техногенных воздействий, оценивать существующее состояние и прогнозировать изменения подземных вод с целью рационального управления за их использованием и контроля за их сохранностью. Выполняя важнейшую контрольную функцию, мониторинг одновременно ориентирован на информационное обеспечение экологических прогнозов, на обоснование систем защиты и реабилитации качества водных ресурсов. Мониторинг может вестись на разных уровнях: государственный, региональный и локальный. Программа внедрения и развития эколого-гидрогеологического мониторинга предполагает следующую последовательность действий: 1) выбор полигонов и проведение специальных работ (проходка скважин, геоэкологическая съемка, разведочный мониторинг); 2) строительство наблюдательных скважин и постов; 3) проведение стационарных наблюдений и опробований; 4) интерпретация результатов и анализ данных; 5) оценка и прогноз.

Режимная наблюдательная сеть - основной инструмент эколого-гидрогеологического мониторинга. Разработка методики проектирования режимной сети является одной из первостепенных и сложных задач гидрогеологического мониторинга. Сложность здесь заключается в большом наборе составляющих мониторинга. Для проектирования и создания системы эколого-гидрогеологического мониторинга необходимо иметь сведения о геологических, гидрогеологических, гидродинамических, геотермических, гидрогеохимических условиях зон

полного и неполного насыщения; механизмах переноса и торможения ингредиентов загрязнения; параметрах процессов инфильтрации, фильтрации и массопереноса; математических моделях переноса компонентов; геофильтрационных моделях.

Основу эколого-гидрогеологического мониторинга составляет стационарная режимная сеть специальных наблюдательных скважин, дополняемая пунктами наблюдений на родниках и увязанная с сетью наблюдений за поверхностными водами и пунктами гидрометеорологических наблюдений. В состав пунктов наблюдений могут включаться эксплуатационные скважины любого целевого назначения (водозаборные, дренажные и пр.), а также стационарные пункты наблюдений в горных выработках. Подавляющее большинство наблюдательных скважин стационарной режимной сети должно обеспечивать возможность замеров уровней, расходов, температуры и ряда других показателей, а также отбора представительных проб воды для ее последующего анализа.

Решение вопросов изменений эколого-гидрогеологических условий является одной из важных задач мониторинга и позволяет: 1) выявить существующие эколого-гидрогеологические условия; 2) составить ретроспективный анализ их формирования - эпигноз; 3) выполнить серию прогнозов изменения эколого-гидрогеологических условий под влиянием работы проектируемых или реконструируемых инженерных сооружений, рассматривая конкурирующие варианты режимов их эксплуатации, выбирая наиболее рациональный с экологических позиций; 4) составить рациональный план создания и развития целенаправленной сети наблюдательных скважин (мониторинг); 5) рассмотреть различные схемы и варианты природоохранных мероприятий, предупреждающих нежелательное развитие экологически негативных процессов; б) рассмотреть различные варианты ликвидации и уменьшения опасных зон экологического риска.

Экологические аспекты в гидрогеологических исследованиях заняли в настоящее время одно из главных мест ввиду того, что экологическое состояние окружающей среды стало определять жизнь и деятельность людей. Несомненно, эти аспекты вносят существенные изменения в традиционные приемы гидрогеологических исследований и, в частности, в проведение эколого-гидрогеологического мониторинга.

## ЛЕКЦИЯ 4 **ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

*Основы экологической геофизики. Природные и техногенные физические поля. Медицинская геофизика. Методика эколого-геофизических исследований. Дистанционное зондирование. Эколого-геофизический мониторинг*

К настоящему времени геофизика активно используется во всех без исключения отраслях геологии. Геофизические методы исследований также являются средством контроля за качеством среды обитания человека, поскольку с их помощью можно с высокой точностью и чувствительностью фиксировать напряженность и вариации физических полей любой природы, следить за изменением физических параметров в пространстве-времени. Это обусловлено тем, что антропогенная деятельность привела к созданию на планете огромного числа мощных искусственных источников физических полей (радиостанции, радары, атомные и тепловые электростанции, линии электропередач, транспортные магистрали, городские агломерации, горнодобывающие карьеры, горнообогатительные комбинаты, промышленные предприятия и др.).

Внедрение геофизических методов исследований в экологическую геологию обусловлены следующими особенностями:

- высокими чувствительностью, точностью и воспроизводимостью измерений широкого спектра естественных и искусственно создаваемых физических полей в геологическом пространстве;
- возможностью записи параметров любого физического поля в варианте непрерывного профилирования и дистанционного зондирования;
- относительной простотой реализации мониторинга любых показателей разнообразных природных и техногенных процессов за счет использования новейших образцов цифровой геофизической аппаратуры, характеризующейся высоким уровнем автоматизации измерений параметров физических полей;
- достаточной разработанностью методологических принципов геофизических исследований при решении геологических и экологических задач;



- готовой информационной средой, в качестве которой можно использовать распределенные базы данных и общее программное обеспечение;

- высокими экономичностью и производительностью геофизических исследований, определяющими их экспрессность.

**Экологическая геофизика (экогеофизика)** - это раздел экологической геологии, предназначенный для решения прикладных задач экологии, связанных с природными и техногенно-природными изменениями состояния биосферы. Главная ее цель - исследование масштабов и параметров воздействия физических полей на среду обитания человека, выявление физических условий, благоприятных для жизни людей и других живых организмов. **Предметом** исследования экологической геофизики являются природные (естественные) и техногенные (искусственные) физические поля, их изменения и воздействия на биоту. В экологической и в разведочной геофизике изучают аномалии физических полей. Однако разница заключается в том, что источники физических аномалий в экологической геофизике известны заранее, а в разведочной геофизике физические аномалии являются лишь индикаторами, с помощью которых опосредованно ведут поиск и разведку залежей полезных ископаемых. Поэтому одни и те же геофизические методы исследований играют в геологии и экологической геологии принципиально разную роль. В первой они выступают как косвенные методы поисков, и, проявляющаяся при этом многозначность решения обратной задачи геофизики, существенно снижает их эффективность. При решении экологических задач геофизические методы служат прямыми средствами изучения геологической среды, а интерпретация эколого-геофизических данных почти всегда вполне определена и однозначна.

Жизнь на Земле возникла в условиях абсолютного преобладающего влияния естественных полей (гравитационного, геомагнитного, сейсмоакустического, температурного и др.), к непрерывному воздействию которых живые организмы хорошо приспособились за длительное время своего существования. Поэтому прямое и сильное воздействие природных физических полей на биосферу Земли и экологические условия существования человеческой цивилизации неоспоримо. Техногенное загрязнение представляет собой присутствие в атмосфере, литосфере и гидросфере физических полей, создаваемых человеком в процессе реализации антропогенной и техногенной

деятельности. Благодаря влиянию человечества, в настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к сдвигу энергетического баланса в сторону искусственных полей, к насыщению окружающей среды электромагнитными полями в широком частотном диапазоне, упругими полями наведенной микро- и макросейсмичности, тепловыми и другими искусственно создаваемыми физическими полями. Поэтому живым организмам приходится приспосабливаться к новым условиям, что не всегда согласуется с адаптационными возможностями биоты, в том числе человека.

Техногенное физическое загрязнение наиболее характерно для крупных городов и промышленных районов. В пределах подобных территорий, благодаря большому количеству производимой, преобразуемой и потребляемой энергии, возникает и устойчиво существует повышенный фон техногенных физических полей. Таким образом, *техногенное физическое загрязнение* можно определить как суммарный энергетический потенциал искусственно создаваемых физических полей, значительно превосходящий по величине потенции естественных геофизических полей и оказывающий в силу этого негативное воздействие на окружающую среду, инженерные сооружения, живые организмы и человека.

Основными видами техногенного физического загрязнения окружающей среды являются: 1) шумовое (акустическое); 2) вибрационное (механические колебания); 3) тепловое; 4) электрическое; 5) электромагнитное; 6) радиационное.

Техногенное физическое воздействие, степень вызываемого им физического загрязнения, а также создающуюся экологическую обстановку и условия жизнедеятельности людей можно оценивать посредством условного деления всего диапазона изменения условий на четыре категории: слабое, умеренное, сильное и опасное воздействие; низкая, средняя, высокая и очень высокая степень загрязнения; экологическая норма, экологический риск, экологический кризис и экологическое бедствие; комфортные, дискомфортные, очень дискомфортные и опасные условия для жизнедеятельности людей.

*Медицинская геофизика* - раздел экологической геофизики, в рамках которого проводится исследование влияния естественных (природных) и искусственных (техногенных) физических полей на здоровье людей. Медицинская геофизика стала формироваться в XX веке, когда были

обоснованы представления о воздействии физических полей на сложные биогеохимические процессы в организме человека, на выработку организмом биологически активных веществ, а в лечебных целях начали использоваться специально создаваемые управляемые физические поля. Изучение геопатогенной (вредной) и витагенной (полезной) роли физических полей, используемых для диагностики и терапии, является **целью и основной задачей** медицинской геофизики.

Характерна синхронная ритмичность естественных геофизических полей и биологических процессов у людей, т. е. изменения интенсивности (энергии или амплитуды) естественных физических полей и биологической активности происходят с определенной периодичностью в виде квазигармонических и квазиимпульсных изменений во времени. Имеются убедительные данные о том, что преобладающей формой существования природных геологических процессов и физических полей на Земле является спокойная, фоновая, штилевая, эволюционная форма, которую можно назвать нормальной. Лишь малая часть таких процессов (около 5 %) является аномальной, беспокойной, катастрофической, проявляющейся в виде геодинамических процессов (землетрясения, вулканизм, обвалы и др.), вариаций физических полей (солнечной активности, геомагнитного, магнитотеллурического, радиационного, электростатического, инфразвуковых колебаний в атмосфере, корпускулярных излучений и др.), погодно-климатических явлений и факторов (циклоны, антициклоны, изменения освещенности, приземной температуры и др.).

Накопленный опыт изучения источников физического воздействия разных полей на людей в зависимости от длительности и интенсивности воздействия позволил подойти к разработке санитарных норм или предельно допустимых доз (ПДД) воздействия физических полей, превышение которых может вызвать различные заболевания. ПДД рассчитываются для проживания или работы в условиях повышенных уровней полей. Так, для радонового загрязнения помещений или воздействия радиоактивных изотопов на предприятиях или в геодинамических активных зонах ПДД равно 0,1 Бэр/год. Санитарные нормы для электромагнитных полей всевозможных радиопередатчиков с частотой от 0,06 до 300 МГц по напряженности электрического поля не должны превышать соответственно 50-5 В/м, а от шумового воздействия - 50 дБ. Вариации геомагнитного, гравитационного и теплового полей

вредны, если они превышают, соответственно, 1 нТл, 0,25 мГл, 10°C (в интервале  $\pm 30^\circ\text{C}$ ) в час.

Геофизический мониторинг в медицине, т. е. организация специальной службы для прогнозирования уровня солнечной активности, слежения за патогенными вариациями других геофизических полей, является важным направлением медицинской геофизики. В настоящее время созданы специальные приборы и разработаны методики наблюдений для осуществления в клинических условиях медико-ориентированного мониторинга естественных и техногенных физических полей, а также для выявления превышающих санитарные нормы физических аномалий на локальных территориях, конкретных объектах, в жилых и производственных помещениях.

При решении разнообразных экологических задач в настоящее время преимущественно используют методы геофизического картирования изучаемых территорий в вариантах профилирования и зондирования. Эколого-геофизические съемки могут быть одномоментными (например, радиометрическое обследование отдельного участка) или комплексными, выполняемыми несколькими геофизическими методами по специальной технологии в определенной последовательности.

Изучение характеристик техногенных физических полей проводится сейсмоакустическими, электромагнитными, термометрическими, радиометрическими методами в наземном, воздушном и скважинном вариантах. Результаты геофизических наблюдений представляются в виде графиков, карт, планов и схем. Далее проводится зонирование исследуемой территории на участки, различающиеся по уровню техногенного физического воздействия, по степени физического загрязнения и по сформировавшейся экологической ситуации.

Геофизические методы позволяют проводить с помощью современной цифровой автоматизированной аппаратуры объективную количественную оценку состояния геологической среды наиболее экономично и эффективно, в реальном масштабе времени, с любой детальностью и информативностью. С позиций технической оснащенности они полностью приспособлены к проведению мониторинга, т. е. обеспечивают наблюдения за изменениями во времени в режиме непрерывной регистрации и прогноз любых физических, геохимических и иных параметров геологической и техногенной сред. Этому способствует широкое использование в практике геофизических работ современной

цифровой электронной аппаратуры, предназначенной для измерений любых количественных показателей.

К основным *задачам эколого-геофизического мониторинга* можно отнести: 1) наблюдение за состоянием литосферного пространства и физическими полями приповерхностных частей атмосферы; 2) выделение составляющих, обусловленных техногенными факторами; 3) ранжирование негативных загрязняющих факторов по приоритету их воздействия на природные и техногенно-природные экосистемы; 4) формирование динамических геофизических моделей и прогноз состояния среды на ближайшую и отдаленную перспективы.

*Спутниковая экогеофизика* обеспечивает многоцелевой мониторинг ближайшего космического окружения нашей планеты, позволяет прогнозировать изменение солнечной активности, магнитные бури, вариации гравитационного поля, обусловленные изменениями взаимного расположения небесных тел, состояние верхних слоев атмосферы Земли, тренд конфигурации и размеров озоновых дыр, колебания уровня космического облучения дневной поверхности и т. п. Информация, получаемая спутниковой экогеофизикой, помогает познавать общие тенденции развития биосферы Земли, уточнять долгосрочные прогнозы погоды, прогнозировать качество радиосвязи, корректировать состояние диспансерных больных.

*Аэроэкогеофизика* - незаменимое средство средне- и крупномасштабного экспрессного многоцелевого обследования окружающей среды населенных и осваиваемых человеком территорий, сельскохозяйственных угодий, прибрежных частей акваторий. Аэроэкогеофизические исследования проводят с помощью высокоточной аэромагниторазведки, многоканальной гамма-спектрометрии, позволяющей отдельно фиксировать уран-радиевую, ториевую, калиевую, рубидиевую и другие составляющие радиоактивного излучения, электромагнитные, тепловые съемки, а также лазерные экологические исследования атмосферы с целью выявления источников загрязнения угарным газом, диоксидом серы, ртутью, утечек углеводородов из газо- и нефтепроводов.

*Экосейсмология* служит для изучения сейсмологической устойчивости геологической среды и проведения сейсмомониторинга. Сейсмомониторинг сводится к изучению деформации оснований сооружений с помощью деформографов и наклономеров, а также к

расчету изменений напряженного состояния, физико-механических, прочностных свойств среды и сейсмоакустических шумов полевыми и скважинными сейсмоакустическими методами.

*Лазерный дистанционный мониторинг* обеспечивает широкие перспективы применения лазеров для решения эколого-геофизических задач. Датчиками на основе лазеров, предназначенные для индикации параметров окружающей среды, являются: лазерный радар, оптический радар, лазерный флуородатчик, лидар и лазер (сокращение от термина «лазерный сенсор»). Лазерный мониторинг позволяет решать следующие задачи: дистанционно определять содержания озона, окиси азота и фторуглеродов, что помогает следить за эволюцией и деструкцией защитного озонового экрана; контролировать любое нарушение кислородно-азотного баланса в атмосфере методом лазерного комбинационного рассеяния; определять с помощью лазера CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>.

## ЛЕКЦИЯ 5

### ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННО-УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*Влияние урбанизации и промышленных объектов на биосферу и здоровье населения. Эколого-геологические проблемы промышленно-урбанизированных территорий. Отходы производства и жизнедеятельности. Подземное пространство мегаполисов. Экологические аспекты при разработке месторождений полезных ископаемых. Техногенные залежи минерального сырья. Мониторинг на промышленно-урбанизированных территориях*

Первые города на Земле появились почти пять тысяч лет назад. Численность населения городов росла медленно, что было связано с массовыми болезнями, легко распространявшимися при скоплении людей. Однако города постепенно становились центрами цивилизации и притягивали к себе население планеты. В первой половине XIX столетия темпы роста городского населения стали существенно превосходить общий прирост населения Земли. Первого миллиарда число горожан достигло в 1961 г., второго миллиарда - в 1986 г., то есть спустя 25 лет. На увеличение численности городского населения до 3-х миллиардов человек потребовалось 17 лет (к 2003 г.), а для достижения 4 миллиардов потребуется, согласно прогнозу, 15 лет (к 2018 г.) и примерно столько же, чтобы городское население мира увеличилось еще на один миллиард человек.

**Урбанизация** — это исторический процесс повышения роли городов в жизни общества, который характеризуется концентрацией большого количества населения на небольшой территории. Общими чертами современной урбанизации являются: быстрые темпы роста городского населения; концентрация городского населения в крупных городах и уплотнение городской застройки; расширение границ города и создание городских агломераций – мегаполисов; строительство зданий повышенной этажности, создающих высокую удельную нагрузку на породы основания; расширение использования подземного пространства; насыщение городской инфраструктуры промышленными предприятиями. Все это приводит к быстрому и многократному росту сосредоточенных техногенных нагрузок на геологическое пространство, истощению его

природного потенциала, дефициту площадок с благоприятными для строительства геологическими условиями и к возрастанию вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, увеличению геологического и экологического риска.

Урбанизация относится к наиболее трудноуправляемому процессу преобразования природы. Город потребляет из окружающей среды огромное количество природных ресурсов, а возвращает в нее отходы жизнедеятельности. Главная особенность городских территорий состоит в том, что в них невозможно экологическое равновесие как в биосфере. Все потоки регулирования потоков вещества и энергии в городских агломерациях человек берет на себя, а это связано с экстенсивным захватом новых территорий — «расползанием» городов. На урбанизированной территории многократно возрастают объемы поставок воды, энергии, продуктов питания, часто вместе с наращиванием производства и услуг происходит накопление на территории городов огромных объемов загрязненных вод, промышленных и бытовых отходов. В последнее время стал применяться термин «экологический след» города, под которым понимается площадь продуктивных земель и акваторий, необходимая для производства потребляемых городом ресурсов и ассимиляции отходов. Подсчитано, что для Лондона, имеющего площадь 170 тыс. га, «экологический след» составляет около 21 млн. га, что в 125 раз больше его собственной площади и равно всей площади продуктивных земель Великобритании.

В результате двух параллельно протекающих и взаимосвязанных процессов — индустриализации и урбанизации — происходит загрязнение внешней среды как в самих городах, так и на прилегающих территориях промышленными выбросами, выхлопными газами, сточными водами, твердыми отбросами, ядохимикатами и др. Возникновение и развитие многих городов происходит в районах добычи полезных ископаемых. Особенно ярко такая тенденция проявилась в последние 50–70 лет при реализации программ освоения горючих и металлических полезных ископаемых северных, сибирских и дальневосточных регионов Российской Федерации с увеличением здесь количества городов в несколько раз.

Проблема урбанизированных территорий усугубляется еще и тем, что, наряду с природными процессами, в их пределах широко развиты



техноприродные и техногенные процессы - принципиально новые опасные процессы в земной коре, спровоцированные деятельностью человека. К их числу относятся наведенная сейсмичность, опускание поверхности земли, искусственные физические поля, геохимические аномалии и др. Под влиянием хозяйственной деятельности активизируются подтопление, оползни, обвалы, просадки, карст, суффозия, эрозия, абразия, что приводит к увеличению вероятности развития опасных явлений, а с учетом уязвимости всей инфраструктуры городов, обуславливает высокие природные риски. В России встречается более 30 различных природных опасностей (табл. 3).

Таблица 3

Опасные природные процессы  
на урбанизированных территориях России

Процессы и явления	Степень пораженности территории России, %	Доля населения, проживающего на пораженной территории, %	Города, подверженные процессам	
			всего	% от общего числа
Землетрясения	41,6	14	103	10
Цунами	0,1	0,1	14	1,4
Оползни	5	7	725	70
Сели	5	2	13	1,3
Лавины	9	3	8	0,8
Карст	13	19	301	29
Суффозия	9	30	958	93
Просадки лессовых пород	11	26	563	55
Эрозия речная	0,2	0,3	442	43
Эрозия плоскостная и овражная	10	25	734	71
Переработка берегов морей и водохранилищ	0,07	5	53	5
Подтопление	0,5	6,9	960	93
Наводнения	2,4	0,9	746	72
Криогенные процессы	65	9	72	7
Ураганы, смерчи	21	12	500	49

Город разрушает не только природные системы, но и здоровье горожан. По современным данным, 80 % всех болезней жителей города связано с неблагоприятной экологической обстановкой в российских городах. Нарастание удельного веса так называемых «урбанистических» заболеваний требует принятия формулы «город для человека, а не для производства» и внимания к средообразующим функциям города, поощрения работ по медико-экологическому изучению городов, разработки новых подходов к его осуществлению.

Природная геологическая среда постоянно испытывает влияние антропогенных объектов, особенно в городах с большим количеством промышленных предприятий, которые получили название «геотехногенных комплексов» и состоят из домов, инженерных сооружений, коммунальных служб, транзитных магистральных систем, линий электропередач, подземных сооружений (нефте-, газопроводы, метро, подземные хранилища газа, воды, промышленных стоков). Каждое промышленное предприятие характеризуется как источник локального техногенного воздействия, но в сумме эти источники оказывают региональное техногенное воздействие на природную среду. Концентрация производства и городской инфраструктуры приводят к увеличению уровня искусственных техногенных физических полей (табл. 4), многократно превышающего естественный фон и часто достигающего критических значений. Неконтролируемый рост интенсивности воздействия данных полей на объекты и компоненты окружающей городской среды может привести к нежелательным нарушениям баланса системы «город - природная среда - человек».

Крупной экологической проблемой городов стал интенсивный водоотбор (сверхэксплуатация) из подземных горизонтов для питьевых и промышленных целей. В результате многолетнего интенсивного водоотбора для нужд крупных городов сформировались крупные депрессионные воронки, площадь которых достигает 50 тыс. км<sup>2</sup>, а снижение уровня подземных вод в центре составляет 80-130 м. Коренному преобразованию подвергается растительный и почвенный покров городских территорий. Так, изучение влияния понижения уровней подземных вод на геоботанические условия городских территорий свидетельствует об иссушающем влиянии водоотбора на местообитания растений. Под городскими магистралями и кварталами

Таблица 4

Техногенное воздействие промышленных и гражданских объектов урбанизированных территорий на геосреды и биоту [Куликова, 2005]

Вид и характер воздействия искусственного объекта	Коэффициент экологической весомости по техногенному воздействию на геосреды и биоту			
	Атмосфера	Гидросфера	Литосфера	Биогеоценоз
Механическое кратковременное долговременное	0,23/0,15 0,34/0,21	0,15/0,10 0,20/0,15	0,28/0,21 0,34/0,27	0,05/0,03 0,18/0,09
Тепловое кратковременное долговременное	0,18/0,07 0,37/0,14	0,25/0,11 0,40/0,20	0,14/0,10 0,21/0,17	0,08/0,04 0,22/0,02
Биохимическое кратковременное долговременное	0,12/0,08 0,19/0,19	0,05/0,04 0,35/0,16	0,28/0,21 0,39/0,25	0,31/0,23 0,46/0,31
Электромагнитное кратковременное долговременное	0,10/0,06 0,12/0,09	0,15/0,02 0,20/0,08	0,17/0,10 0,26/0,19	0,20/0,09 0,28/0,12

*Примечание: в числителе - значение коэффициента для промышленных объектов, в знаменателе - то же для жилищно-гражданских объектов*

практически уничтожается почвенный покров, а в зонах рекреаций (парки, скверы, дворы) он подвержен сильному загрязнению бытовыми отходами, вредными веществами из атмосферы. В пределах города почвы значительно отличаются от природных почв. Почвы заражены органическими веществами, главным образом, сажей — до 5 % (вместо обычных 2-3 %), содержание тяжелых металлов в 4-6 раз превышает природное, а рН почв достигает 8-9.

Ежегодно в мире образуется 140 млн. м<sup>3</sup> твердых бытовых отходов (ТБО). В России ежегодно образуется 35-40 миллионов тонн ТБО, что составляет около 10 % от всех ежегодно образующихся отходов, а объем накопленного за последние десятилетия отходов промышленного производства и жизнедеятельности превышает 94 миллиарда тонн, что

равно объему отвалов при разработке месторождений полезных ископаемых, накопленных за последние 100 лет. Таким образом, можно говорить, что скорость накопления отходов начала превышать скорость формирования техногенных отвалов при добыче минерального сырья.

Основным способом утилизации ТБО достаточно продолжительное время будет оставаться создание полигонов для их складирования. Поэтому одним из приоритетных направлений природоохранной деятельности для большинства территорий крупных городских агломераций в мире является создание полигонов ТБО, отвечающих современным санитарно-гигиеническим и экологическим требованиям. Несомненна актуальность организации в пределах полигонов ТБО систематических мониторинговых исследований.

Обращение с отходами производства и потребления считается одним из наиболее экологически опасных видов хозяйственной деятельности, нуждающемся в детальном государственном регулировании. Можно выделить ряд перспективных направлений совершенствования законодательства, которые отражают важнейшие приоритеты государственной экологической политики в сфере обращения с отходами производства.

1. Предупреждение и сокращение объемов образования отходов, максимально полное использование сырья и материалов путем внедрения и применения малоотходных и ресурсосберегающих технологий и оборудования — принцип 3R (по трем начальным буквам английских слов *«reduce, reuse and recycle waste»* — сокращение объема, повторное использование и переработка отходов).

2. Переход от административных мер регулирования отношений в области обращения с отходами к экономическим методам.

3. Обеспечение экологической безопасности деятельности по размещению и обезвреживанию отходов — переход от «коричневой» к «зеленой» экономике.

4. Внедрение принципа ответственности производителей.

5. Ликвидация прошлого (накопленного) экологического ущерба.  
***Существует прямая связь желаемого устойчивого развития с сокращением отходов.***

Рост урбанизации приводит к интенсификации городского строительства, конструктивному усложнению и повышению высотности возводимых объектов, более широкому использованию подземного

пространства. Потребность в увеличении жилой площади вынуждает городские власти уплотнять застройку, использовать под нее территории, неблагоприятные в инженерно-геологическом отношении: оползне- и карстоопасные, подтопленные и заболоченные участки, поймы рек, места бывших свалок и т. д.

Техногенные процессы оказывают двойное воздействие на условия строительства и эксплуатации подземных сооружений и на окружающую среду. С одной стороны, характер их проявления может улучшить природные условия и сделать их более приемлемыми для подземного строительства, с другой — инженерная и хозяйственная деятельность человека часто создает условия, благоприятные для развития некоторых геологических процессов и явлений. Взаимодействие человека с геологическим пространством проявляется в ходе строительства и эксплуатации подземных объектов, при проведении горно-строительных работ, в процессе прямого преобразования структуры и свойств геологической среды с заданной целью (мелиорация, химическое укрепление и т. п.) или может проявляться как побочный, не учтенный заранее процесс.

Освоение *подземного пространства городов* может осуществляться следующими путями: 1) использование отработанных горных выработок при их соответствующем переустройстве для выбранных целей; 2) строительство специальных подземных объектов; 3) использование естественных полостей, образованных в результате природных явлений или являющихся следствием техногенной активности в данном районе. Подземные сооружения находятся в тесном взаимодействии с подземными частями наземных зданий и сооружений на основании ряда общих санитарно-гигиенических, инженерно-строительных, архитектурных и других требований, предопределяющих оптимальные планировочные и инженерно-технические решения. Таким образом, подземные и наземные сооружения города представляют собой элементы одной сложной системы, которые влияют друг на друга, приводя к перераспределению природного баланса в ту или иную сторону.

Задача экологической безопасности городского подземного строительства состоит в сохранении территориальной ценности, целостности и удобства застройки; максимальном снижении ущерба, наносимого природе, и создании многоуровневых (с подземным пространством) городских образований для размещения объектов

различного назначения; изыскании эффективных и рациональных способов инженерной защиты окружающей среды от техногенного вмешательства.

Из-за сложности и взаимосвязанности процессов, развивающихся между подземными объектами и геологической средой, не все они поддаются точным прогнозам, среди которых различают:

1) *устанавливающий прогноз* - выделение существенных, но неизвестных до своего завершения или внешнего проявления, процессов. К этому виду относятся прогнозы геологического строения, гидрогеологических условий и геологических процессов в пределах предполагаемого района строительства подземных сооружений;

2) *ретроспективный прогноз (эпигноз)* - объяснение условий возникновения какого-либо процесса или явления в прошлом, причин катастроф или аварий существующих сооружений;

3) *перспективный прогноз* - предсказание событий, процессов или явлений, которые неизвестны в настоящее время и не наблюдались ранее, но могут возникать в изучаемом породном массиве или в районе исследований при определенном техногенном воздействии.

***Экологические аспекты при разработке месторождений полезных ископаемых.*** Основные площадные источники техногенеза связаны с добычей, переработкой и использованием минеральных ресурсов. Крупные изъятия земли осуществляются при добыче полезных ископаемых открытым способом. Например, на отдельных территориях РФ под карьерами занято до 25 % земель общего пользования, а на одного россиянина добываются более 45 тонн минерального сырья. Добыча наземными и подземными горными выработками относится к наиболее мощным источникам техногенеза в геологическом пространстве, его составными элементами являются инженерные сооружения, карьеры, шахты, горно-обогатительные комбинаты, скважины, промыслы, нефтехимические предприятия и др.

Выделяют прямое и косвенное техногенное воздействие на геологическое пространство. Прямое техногенное воздействие связано с функционированием добывающей отрасли, технологией добычи и переработки минерального сырья и чаще всего приводит к изменению сложившихся форм рельефа, снятию растительности и почвенного покрова, геохимической трансформации биоты, а также изменению форм речной сети и нарушению водного режима поверхностного и подземного

стока воды, а также трансформацией литосферы. Косвенное техногенное воздействие проявляется изменениями в установившихся природных связях окружающей среды, ландшафтах, в состоянии здоровья населения.

Различают локальное, региональное и глобальное техногенные воздействия на природную среду. На местном (локальном) уровне объекты антропогенеза представлены горно-обоганительными комбинатами, карьерами, шахтами, скважинами, рудниками. Комплекс объектов локального уровня образует узлы и группы, входящие в состав регионального уровня: группа месторождений, бассейн (угольный, торфяной, соляной, водный, нефтяной, газовый и т. п.), пояс (нефтегазоносный, рудный, угольный, тектонический). Региональное воздействие часто по масштабам переходит в разряд глобального источника. Например, поступление метана от природных источников (через болотные системы, тектонические разломы, зоны субдукции и рифтовые зоны) составляет 80 % от общей эмиссии его в атмосферу. В таком случае техногенная составляющая (20 %) вполне соизмерима по своим масштабам с природными источниками.

Разработка крупных месторождений обусловила формирование своеобразных карьерно-техногенных ландшафтов и ландшафтов нефтяных промыслов. Реальную экологическую опасность, связанную с разработкой месторождения, представляют собой отходы горного производства: шламо- и хвостохранилища, отвалы убогих руд и вскрышных пород. Эксплуатация крупных горнодобывающих предприятий нередко приводит к необратимым негативным явлениям регионального характера - истощению ресурсов и ухудшению качества подземных вод на больших площадях, прилежащих к карьерным и шахтным полям. При дренаже месторождений откачиваются большие объемы воды (сотни и тысячи кубических метров в час), что вызывает формирование вокруг горных выработок депрессионных воронок с радиусом в десятки километров и понижениях напоров в сотни метров. Таким образом, ухудшается водный баланс крупных территорий; водозаборы, попадающие в зону влияния дренажных работ, существенно снижают свою производительность или выходят из строя; нарушаются условия питания открытых водоемов и водотоков; развиваются мощные зоны техногенной аэрации, что нарушает естественный влажностный режим почв и грунтов. Все это превращает горнодобывающие районы в наиболее «горячие» точки планеты с позиций охраны подземных вод от

истощения и загрязнения. Глобальный характер проблемы подтверждается всей мировой практикой горных разработок.

Последовательность гидрогеологических работ на горнодобывающих объектах:

1) выявление и анализ общих закономерностей и основных причин региональных и локальных изменений в гидродинамическом и гидрохимическом режиме подземных вод, определяющих возможности прогрессирующего их загрязнения под влиянием горного производства;

2) типизация условий загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах;

3) разработка требований к гидрогеологической изученности месторождений, к составу и видам гидрогеологических изысканий, а также к проектам горных предприятий;

4) обоснование принципов и методов прогнозирования изменения качества подземных вод под влиянием горного производства;

5) разработка методики гидрогеологических работ, обеспечивающих в период разведки месторождений необходимые данные для предварительного прогноза процессов загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах;

6) разработка научно-методических основ подготовки, проведения и интерпретации режимных наблюдений за качеством подземных вод;

7) разработка конкретных водоохраных мероприятий.

В ходе эволюции на нашей планете создана цепочка геологических формаций: эндогенная (магматические, вулканогенные, рудные месторождения) → экзогенная (россыпи, осадочные месторождения, газово-жидкие скопления) → геотехногенная. Происхождение последней обусловлено техногенезом, под действием которого в приповерхностной части литосферы формируются новые скопления металлов, неметаллических веществ, соединений и вод. **Техногенные месторождения** - это скопления минеральных веществ на поверхности Земли или в горных выработках, образовавшиеся в результате их отделения от массива и складирования в виде отходов горного, обогатительного, металлургического и других производств и пригодных по количеству и качеству сырья для промышленного использования. Обычно в ходе урбанизации и промышленного освоения территорий достаточно быстро растет группа антропогенно-преобразованных



подземных вод, донных осадков и пород, которая может представлять интерес для обнаружения техногенных месторождений.

Решение проблем с техногенными отходами необходимо рассматривать, с одной стороны, как значительный ресурс минерально-сырьевой базы, а с другой - как решение проблем охраны окружающей среды и улучшения экологической обстановки. Техногенные отходы включают складированные вскрышные и вмещающие горные породы, забалансовые руды, отходы угольной промышленности, черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов. Объем продуктов антропогенной деятельности настолько велик, что максимальные концентрации и суммарные запасы техногенных скоплений тяжелых металлов и других химических элементов за счет выбросов предприятий не только соизмеримы, но нередко превышают таковые в природных месторождениях полезных ископаемых.

#### ***Мониторинг на промышленно-урбанизированных территориях.***

Геохимические исследования показали, что крупные города представляют собой техногенные геохимические провинции, которые по уровню накопления химических элементов превосходят территории развития рудных полей и месторождений. Обеспечение экологической безопасности жителей городов, помимо создания благоприятных и комфортных условий для проживания, является одной из норм устойчивого развития. Экологическая безопасность предъявляет принципиально новые требования к геологической оценке и районированию территории застройки. Наряду с традиционными инженерно-геологическими изысканиями территории города, необходима оценка воздействия возводимого сооружения на экологическое состояние геологической среды. При этом важно изучение состояния геологической среды по геохимическому загрязнению, оценка защищенности (прежде всего, подземных вод) от загрязнений, выявление зон геологического риска.

Необходимым документом при проведении государственной экологической экспертизы являются материалы по ***оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС)***. Они способствуют принятию экологически ориентированного управленческого решения о реализации намечаемой хозяйственной и иной деятельности посредством определения возможных неблагоприятных воздействий, оценки экологических последствий, учета общественного мнения, разработки мер

по уменьшению и предотвращению воздействий. *Целью* проведения ОВОС на промышленно-урбанизированных территориях является предотвращение или смягчение воздействия этой деятельности на окружающую среду и связанных с ней социальных, экономических и иных последствий.

Исследования по ОВОС включают следующие этапы:

1) определение характеристик намечаемой хозяйственной деятельности и возможных альтернатив (в том числе отказа от деятельности);

2) анализ состояния территории, на которую может оказать влияние намечаемая хозяйственная деятельность (состояние природной среды, наличие и характер антропогенной нагрузки и т. п.);

3) выявление возможных воздействий намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду с учетом альтернатив;

4) оценка воздействий на окружающую среду намечаемой хозяйственной деятельности (вероятности возникновения риска, степени, характера, масштаба, зоны распространения, а также прогнозирование экологических и связанных с ними социальных и экономических последствий);

5) определение мероприятий, уменьшающих, смягчающих или предотвращающих негативные воздействия, оценка их эффективности и возможности реализации;

6) оценка значимости остаточных воздействий на окружающую среду и их последствий;

7) сравнение по ожидаемым экологическим и связанным с ними социально-экономическим последствиям рассматриваемых альтернатив, в том числе варианта отказа от деятельности и обоснование варианта предлагаемого для реализации;

8) разработка предложений по программе экологического мониторинга и контроля на всех этапах реализации намечаемой хозяйственной деятельности;

9) разработка рекомендаций по проведению послепроектного анализа реализации намечаемой хозяйственной деятельности;

10) подготовка предварительного варианта материалов по оценке воздействия на окружающую среду намечаемой хозяйственной деятельности (включая краткое изложение для неспециалистов).

К основным результатам ОВОС относятся:

- информация о характере и масштабах воздействия на окружающую среду намечаемой деятельности, альтернативах ее реализации, оценке экологических и связанных с ними социально-экономических и иных последствий этого воздействия и их значимости, возможность минимизации воздействий;

- выявление и учет общественных предпочтений при принятии заказчиком решений, касающихся намечаемой деятельности;

- решения заказчика по определению альтернативных вариантов реализации намечаемой деятельности (в том числе о месте размещения объекта, о выборе технологий и иные) или отказа от нее, с учетом результатов проведенной ОВОС.

Результаты ОВОС служат основой для проведения мониторинга после проектного анализа и экологического контроля за намечаемой хозяйственной деятельностью.

## ЛЕКЦИЯ 6

### **ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

*Цели, задачи и этапы эколого-геологического картографирования. Классификация карт. Эколого-геологическое картографирование городов. Общие принципы эколого-геологического моделирования. Интегральные геоэкологические модели*

Эколого-геологическое картографирование представляет собой сложное единство специфических геологических и экологических методов получения площадных данных о состоянии геосред, их техногенных изменениях и приемов отображения информации. Создание картографической основы осуществляется для оценки экологического состояния геологической среды и принятия решений по природоохранным мероприятиям.

К основным задачам картографических исследований относятся:

1) выявление природных условий и факторов, определяющих эколого-геологические особенности территорий, новейшие структурно-тектонические элементы, способствующие развитию неблагоприятных геологических процессов, региональные фоновые геохимические поля в коренных и почвообразующих породах, донных отложениях, поверхностных водах;

2) выявление основных техногенных систем и факторов, воздействующих на геологическую среду региона: техногенных изменений геохимического фона, обусловленных воздействием крупных техногенных систем на изучаемой территории и привнесом загрязняющих веществ с прилегающих территорий; территорий с техногенной активизацией характерных ассоциаций эндогенных и экзогенных геологических процессов; направленности влияния техногенных изменений геологической среды на биоту, атмосферу, воды;

3) качественная региональная оценка направленности техногенных изменений геологической среды при сложившемся и планируемом характере освоения территории.

Принципиальные подходы к геоэкологическому картографированию включают параметрические, аналитические и синтетические карты геоэкологической направленности. При эколого-геологическом

картографировании рекомендуется проведение следующего комплекса исследований:

- аэрокосмических и ландшафтно-индикационных работ для получения информации о структурно-тектоническом строении, ландшафтах, состоянии геологической среды и региональном воздействии на них техногенных объектов, инженерно-геодинамических особенностях территории с отражением морфоструктур и сейсмической активности;

- ландшафтно-геохимических работ для оценки геолого-экологических особенностей в экономически освоенных районах;

- радиогеохимических работ для получения информации о площадном распространении природных и искусственных радионуклидов;

- гидролитохимических работ для оценки геохимических особенностей бассейнов регионального поверхностного стока;

- инженерно-геологических работ для изучения проявлений экзогенных, в т. ч. криогенных процессов, и их связи с эндогенными процессами, геолого-структурными, гидрогеологическими и другими условиями.

Эколого-геологические карты по своему содержанию объединяются в четыре группы.

1. Карты эколого-геологических условий (оценочные или фиксированные) отражают современное эколого-геологическое состояние литосферы или ее компонентов и возможность воздействия компонентов литосферы на биоту. Данные карты, как и карты 2 и 3 групп могут быть синтетическими (комплексными, интегральными) и частными (аналитическими).

2. Карты эколого-геологического районирования оценивают современное состояние эколого-геологических условий, как правило, способом ранжирования их на классы состояний. На этих картах дается оценка с позиций комфортности и безопасности проживания человека и функционирования экосистем. Этот тип карт является базовым для дальнейших прогнозных оценок и природоохранных рекомендаций.

3. Карты эколого-геологические прогнозные отображают пространственно-временной прогноз изменения эколого-геологических условий в ходе естественной динамики природной среды и в процессе хозяйственного освоения территории и функционирования природно-техногенных систем. Они позволяют давать прогнозную оценку эколого-геологического состояния литосферы или ее компонентов, которым будет

соответствовать предполагаемое состояние биоты или экосистемы в целом.

4. Карты эколого-геологические рекомендательные основаны на эколого-геологической и социально-экономической информации. Эти карты являются основой для рекомендаций по широкому кругу вопросов - от рекомендаций по рациональному с экологических и геологических позиций использованию территорий до регламентации хозяйственной деятельности и защиты объектов био- и социосферы. Карты данного типа составляются обычно как синтетические и финальные, которые помогают в выработке и принятии управляющих решений.

Важное место в исследовании урбанизированных территорий отводится *эколого-геологическому картографированию городов*. Обширность и разнородность исходной информации накладывает отпечаток на возможности ее обработки, создание единых методов ее учета и картографирования. Несмотря на четкую переориентацию многих исследований с глобальных на региональные и муниципальные проблемы, в настоящее время отсутствуют общепринятые концепции картографирования территории крупных городов, недостаточно разработаны критерии оценки различных ее компонентов, методические приемы создания инвентаризационных, оценочных и прогнозных эколого-геологических карт, отсутствуют унифицированные легенды и макеты карт различного содержания и масштаба, инструктивные документы по содержанию и организации работ. Разработка методики создания подобных карт - актуальная и перспективная задача картографии для повышения эффективности работ по информационной поддержке решений по управлению городской территорией.

Основными задачами эколого-геологического картографирования городской среды являются:

1) разработка перечня показателей, оптимально характеризующих природные, техногенные и социальные условия городской среды, их картографирование;

2) создание оценочных карт состояния компонентов урбогеосистемы;

3) выявление факторов и условий, определяющих качество жизни городского жителя;

4) картографический прогноз развития неблагоприятных и опасных ситуаций в пределах городской и прилегающей территории;

5) разработка рекомендательных карт для принятия управленческих

решений.

Общая схема последовательности изготовления карт городской среды обычно включает следующие этапы.

1. Первоначально создается цифровая модель топографической карты территории города. Актуализация картографических слоев производится с использованием аэро- и космических данных и полевых исследований.

2. Создание картографических и атрибутивных баз данных: фондовые картографические материалы, данные по выбросам и сбросам промышленных предприятий, информация по заболеваемости городского населения и др.

3. Создание покомпонентных базовых карт природы, техносферы и социосферы.

4. Составление карт, производных от базовых, дополняющих и перерабатывающих их содержание и карт синтетических (ландшафтная, функционального зонирования, урболандшафтное районирование).

5. Разработка серии оценочных эколого-геологических карт природы, техносферы и социальной среды (потенциальная устойчивость территории, карты оценки техногенной нагрузки, заболеваемость населения и др.). Оценка параметров, характеризующих экологическое состояние городов, производится с учетом общегосударственных и отраслевых нормативов.

6. Оценка экологического состояния урболандшафтных участков.

7. Создание карт возможного развития городской среды.

8. Создание рекомендательных карт по управлению территорией города.

Таким образом, эколого-геологическое картографирование города - это комплексная оценка состояния урбанизированных территорий как среды обитания, включающая системное рассмотрение структуры, взаимодействия и развития природно-геологической, географической, инженерно-технической и социальной составляющих урбогеосистемы с приоритетом экосистемного подхода.

Основным достоинством *моделирования* как метода познания окружающего мира является возможность получения данных о явлениях и процессах, которые недоступны для непосредственного изучения. Особенно это актуально для сложных природных и техногенных геологических процессов и систем, проявляющихся в большом многообразии их типов и особенностей. Одна из задач моделирования

заключается в выявлении закономерностей формирования природных систем и их взаимодействия с техническими системами для выработки общих принципов применения количественных оценок. Для достижения данной цели используется преимущественно математическое моделирование, так как человечество практически осознало, что не может понимать, прогнозировать и контролировать природу аналогично физической модели явления или процесса при лабораторном эксперименте.

Эколого-геологические системы как объект моделирования представляют очень сложные образования, т. к. в основе их образования лежат совершенно разные процессы, одни из которых (геологические) подчиняются природным закономерностям, а другие (экологические) – общественным. Однако данные процессы развиваются на одной площади (в одном регионе), действуют совместно и их результатом выступают крайне разнообразные и разноуровневые взаимодействия компонентов. При этом наибольшая трудность для экологической геологии заключается в организации и синтезе геологических знаний с данными, относящимися к сфере экологии и социологии, так как приходится анализировать и сопоставлять явления и процессы, развивающиеся с неодинаковыми скоростями.

Современный мир уже невозможно представить без достоверной, точной, постоянно дополняемой и обновляемой информации. Неоднородность геологического пространства не только способствуют созданию объемного изображения (3D модели), но также и исследованию закономерностей построения мозаик, образованных природно–техногенными объектами. Это, в свою очередь, позволяет проводить количественную оценку территорий, опираясь на статистические методы обработки разнообразной информации, представленной в виде пространственно распределенных характеристик-параметров. При этом формируются системы моделей, которые решают проблему достоверности оценок и быстрого перестраивания моделей при расширении информационной основы, определяя обоснованность геоэкологических прогнозов. В подобных системных моделях, по сравнению с традиционными картами, неизмеримо повышается адекватность информации реальному геологическому строению и степени техногенной нагрузки (табл. 5), так как модель сохраняет метрические (численные) характеристики изучаемых объектов. В экологической геологии представ-



## Различия между картами и компьютерными моделями

<b>Карты</b>	<b>Компьютерные модели</b>
Статичные	Динамичные
Плоские (двумерные – 2D)	Объемные (трехмерные – 3D)
Ограниченные объемы данных	Неограниченные объемы данных
Без возможности управления изображением (отсутствие обратной связи)	Возможность интерфейса в программно-управляемой среде (наличие обратной связи)
Единый масштаб	Многомасштабность
Один уровень генерализации	Мультигенерализованность
Эпизодическое обновление	Оперативное обновление в режиме реального времени
Фиксированные границы и контуры	Подвижные и/или нечеткие границы
Без отображения состояния окружающего пространства	С показом меняющегося состояния окружающего пространства

ляется перспективным переход от описательного и субъективного картографирования к количественному объемному моделированию природных и техногенных процессов. Подобный подход предполагает замену парадигмы сообщения (характерной для современного картографирования) аналитической парадигмой (характерной для моделирования).

Учет иерархической и таксономической принадлежности моделируемых объектов на разных уровнях организации вещества кардинально меняет стратегию создания моделей в экологической геологии. Все это позволяет говорить о существовании определенных масштабно-информационных уровней, в которых наилучшим образом сочетаются, сопоставляются и дополняются данные по разным объектам исследований. Отсюда, эколого-геологические модели, созданные по иерархическому принципу, становятся системами, накапливающими и хранящими информацию не только о случайных индивидуализированных объектах, а об объектах более высокого уровня, которые подчиняются общим закономерностям и со временем по мере получения новых знаний приближаются к реальному строению отдельных регионов и стран. При этом процесс познания (появление новой информации) основан на

открытии, изучении новых материальных и идеальных моделей или отдельных структурных элементов.

Для создания интегральной модели требуется определенный универсальный инструмент, который позволяет объединить отдельные параметры техногеосистемы. Таким универсальным инструментом выступает компьютерное моделирование. Процесс создания интегральной модели состоит из следующих последовательных операций: а) формирование базы количественных и качественных данных по различным средам; б) построение по ГИС–технологии монокомпонентных моделей 3D; в) создание общего грида для отдельных сред, обладающих разной сетью опробования; г) статистический анализ (корреляционный, кластерный, факторный и другие методы) матрицы параметров и значений, полученной с помощью общего грида (грид-анализ); д) выбор «техногенного», «природного» и «природно–техногенного» факторов на основе геологических, экологических и иных представлений, с обязательным учетом кластерной группировки параметров и вклада каждого из них в факторные нагрузки; е) построение по полученным факторным коэффициентам новых синтезированных моделей 3D, во-первых, системно обобщающих всю информацию о геоэкологическом пространстве, во-вторых, обладающих новым качеством (эмерджентностью), свойственным только для техногеосистем; ж) создание интегральной модели 3D с переходом на моделирование 4D (3D + время).

Таким образом, методика создания интегральных моделей объединяет различные среды путем систематизации количественных и качественных признаков. Переориентирование традиционного геоэкологического картографирования на компьютерное моделирование значительно расширяет ресурсность информационных баз данных, способствует оперативному изменению моделей и объективизирует процесс изучения техногеосистем.

## ЛЕКЦИЯ 7

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

*Особенности взаимодействия природы и общества. Концепция устойчивого развития. Эколого-геологические проблемы регионов. Прогнозирование и мониторинг состояния геологического пространства. Геоэкологический риск. Экологическое регулирование и экологическое право. Управление эколого-геологическими системами. Социальные проблемы недропользования. Геоэкологическое образование. Ноосфера и экологическая философия*

Человек оказался единственным представителем животного мира, «вырвавшегося» из экологической зависимости окружающей среды и ставшего властелином своей судьбы. Он стал добывать полезные ископаемые, строить города, преобразовывать природу, создавать техно-природные системы, функционирующие по своим (социальным) законам, отличным от законов, по которым существовала ранее биота Земли. До появления машин, приборов люди, в основном, жили в согласии с природой, и относительную гармонию того периода нарушали только природные катастрофы (наводнения, землетрясения, извержения вулканов и т. п.). Экологические кризисы на рубеже XX и XXI веков перестали носить локальный характер и стали охватывать целые регионы. К природным стихиям стали «присоединяться» антропогенные и техногенные катастрофы, по масштабам и последствиям значительно опаснее природных. Процесс антропогенеза в масштабах планеты стал неуправляемым и опасным по своим последствиям. Создалась ситуация общего перераспределения химических элементов, которая ведет, в частности, и к трансформации и загрязнению био-, атмо-, педо-, гидросфер и верхней части литосферы. Можно утверждать о возникновении новой геохимической среды миграции химических элементов антропогенного генезиса в геосредах.

**Устойчивое развитие** (от англ. sustainable development) есть такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои потребности. Отсюда, устойчивое развитие - это улучшение жизни людей в условиях устойчивости биосферы, когда хозяйственная деятельность не порождает превышение допустимого порога возмущения биосферы или

когда сохраняется такой объем естественной среды, который способен обеспечить устойчивость биосферы с включением в нее хозяйственной деятельности человека. По-видимому, устойчивое состояние потребует от общества меньшего потребления природных ресурсов, но гораздо более высоких моральных качеств. **Смогут ли люди и страны пойти к устойчивому развитию?** Новое преобразование должно носить осознанный характер, и управлять им следует со всей возможной предусмотрительностью, которую только может обеспечить наука. Если удастся выполнить данную задачу, это будет небывалым явлением во всей истории человечества.

Взаимоотношения общества с окружающей средой описываются некоторыми концепциями: природоохранной деятельности, технократического оптимизма и паритета между природой и обществом.

**Природоохранная концепция.** Есть основание предполагать, что на самых ранних этапах общественного развития люди, полностью зависящие от окружающей их природы, понимали необходимость рационального использования окружающей среды. Во второй половине XX века обострились проблемы природопользования. Общество никогда еще до этого не было столь сильно оснащено технически. Противостояние между обществом (техникой) и природой было не в пользу последней. В то же время охрана природы становится самостоятельной отраслью научных исследований. Работы по охране природы интегрируются геоэкологией на макрорегиональном уровне. Разрабатываются программы по охране и защите отдельных территорий и даже отдельных частей геосфер.

**Концепция технократического оптимизма.** Это научное направление возникло вследствие научно-технического прогресса, при котором общество «вдруг» удостоверилось в огромных объемах использования природы и природных ресурсов и уровне, нанесенному обществом окружающей среде. Данное течение в науке получило название алармизма (от англ. *alarm* - тревога, страх).

**Концепция паритета между природой и обществом.** Общество должно найти в себе силы и разум и разработать устойчивое развитие окружающей среды. Данная концепция основана на тезисе, что «существование общества и природы возможно только в виде научно обоснованного компромисса между ними» (Рио-де-Жанейро, 1992). К началу XXI века мировое сообщество осознало важность необходимости

сохранения биоразнообразия экосистем, устойчивого развития биосферы. При этом необходимо разумно и умеренно использовать ресурсы окружающей среды, включая полезные ископаемые, и рассматривать существующие технологии только как один из элементов решения экологических проблем и устойчивого развития. Проблема устойчивого развития природы видится в комплексном ее исполнении, т. е. решение текущих экологических задач регионов на путях познания закономерностей развития компонентов природы, в том числе и антропогенного генезиса. Понятие «устойчивое развитие» включает улучшение качества жизни людей, проживающих в пределах несущей емкости поддерживающих экосистем.

Стратегия устойчивого развития не может быть определена на основе только традиционных представлений и ценностей. Она предполагает выработку новых научных подходов, отражающих как современные реалии, так и перспективы развития. Концепция устойчивого развития основана на поддержании трёх принципов: 1) скорость восстановления возобновляемых ресурсов должна быть не ниже скорости их потребления; 2) потребление невозобновляемых ресурсов не должно превышать скорости отыскания их замены; 3) интенсивность выбросов загрязняющих веществ не должна превышать скорости их разложения или ассимиляции природной средой. Переход на устойчивое развитие помимо решения чисто научных задач, связанных с оценкой биологической емкости биосферы, предусматривает выработку общепланетарной экологической политики, которая бы выходила за рамки национальных, религиозных и других интересов народов и стран. Нельзя допустить, чтобы экологизация экономики привела к снижению уровня жизни в развитых странах, а политика консервации и управления природными ресурсами вызвала еще более хищническое уничтожение их в развивающихся странах.

Вторая половина XX и начало XXI столетия ознаменовались резким обострением ряда глобальных проблем, к числу которых относятся природные катастрофы. За последние 50 лет количество природных бедствий на Земле увеличилось более чем в 3 раза. Во всём мире участились природные и техногенные катастрофы, уносящие человеческие жизни и ещё больше загрязняющие окружающую среду. За период с 1965 по 2002 гг. на Земле от катастрофических явлений погибло 5,5 млн. человек, пострадало более 5 млрд. человек. В течение последних 20 лет от природных катастроф ежегодно погибало на Земле от 75 до

86 тыс. человек, а количество пострадавших составляло 147-211 млн. человек.

Природные катастрофы сопровождаются крупными материальными потерями. За последние 40 лет они возросли в 9 раз и составляют сейчас около 150 млрд. долл. в год. Ожидается, что к 2050 г. экономические ущербы от опасных природных процессов достигнут 300 млрд. долл. и по своей величине будут соответствовать почти половине прироста глобального валового продукта. Наиболее уязвимыми к природным катастрофам оказываются бедные страны, поскольку у них не хватает средств для предотвращения бедствия или исправления его последствий. Потери от природных катастроф развивающихся стран в пять раз превышают в пересчете на объем ВВП потери богатых стран.

К *опасным природным процессам* относятся любые изменения состояния породных, водных или воздушных образований неживой природы, обусловленные естественными причинами, которые могут привести к негативным для человека или объектов хозяйства последствиям. *Опасные техногенно-природные процессы* представляют собой подобные изменения неживой природы, которые вызываются человеческой деятельностью. Они, как правило, характеризуются большей интенсивностью и ущербностью, чем их природные аналоги.

Анализ развития природных и техно-природных катастроф в мире и в России свидетельствует о том, что стихийные бедствия стали важным фактором устойчивого развития. Уменьшение опасности и смягчение последствий катастроф относится к одному из основных направлений деятельности на глобальном, национальном и региональном уровнях. Может ли современная цивилизация уменьшить опасности стихийных бедствий? До недавнего времени так вопрос даже и не ставился: усилия направлялись в основном на ликвидацию последствий и оказание помощи пострадавшим. Время выдвигает новую стратегию – необходимо создавать модели прогнозирования и предупреждения катастроф.

*Мониторинг геологического пространства* – это система наблюдения, оценки и прогноза изменения состояния геологической среды (пространства) под влиянием антропогенного и техногенного воздействий. Задачами подобного мониторинга являются: количественная и качественная оценки состояния геосред (подземные воды, породы, геодинамические явления и др.), составление прогноза о состоянии геологической среды, разработка рекомендаций по устойчивому

развитию эколого-геологических систем на локальном и региональном уровнях.

*Основными функциями* экологического мониторинга являются: 1) выявление факторов, воздействующих на природную среду, оценка их интенсивности и определение источников; 2) оценка фактического состояния природной среды; 3) прогноз изменений в природной среде. Основные функции мониторинга сводятся к контролю качества отдельных геосред и определение основных источников их изменений. На основании мониторинговых наблюдений принимаются решения для улучшения и стабилизации экологической ситуации.

Государственный мониторинг состояния недр или геологической среды (ГМСН) представляет собой систему регулярных наблюдений, сбора, накопления, обработки и анализа информации, оценки состояния геологической среды и прогноза ее изменений под влиянием естественных природных факторов, недропользования и других видов хозяйственной деятельности. Целью ГМСН является информационное обеспечение управления государственным фондом недр и рационального недропользования.

Система ГМСН включает следующие подсистемы:

- ✓ мониторинг подземных вод;
- ✓ мониторинг опасных экзогенных геологических процессов;
- ✓ мониторинг опасных эндогенных геологических процессов;
- ✓ мониторинг месторождений углеводородов;
- ✓ мониторинг месторождений твердых полезных ископаемых;
- ✓ мониторинг участков недр, используемых для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых;
- ✓ мониторинг участков недр, испытывающих воздействие хозяйственной деятельности, не связанной с недропользованием;
- ✓ мониторинг геологической среды континентального шельфа.

Одной из важнейших задач систем мониторинга должна стать оценка экологического риска, связанного с состоянием недр, для населения и биоты в целом, а также для отдельных ее элементов. Оценка риска должна, в свою очередь, стимулировать развитие социальных мероприятий, связанных с антропогенным воздействием на геосреды (например, экологическое страхование). Введение оценки риска будет содействовать более тесной связи мониторинга геологической среды с

медико-биологическими, географическими, социальными и другими видами мониторинга.

Риск - вероятностная мера опасности, установленная для определенного объекта в виде возможных потерь в определенное время. Соответственно, *геологический риск* - вероятностная мера геологической опасности, установленная для определенного объекта в виде возможных потерь за определенное время. Обзор литературы показывает, что все большее распространение получает подход к экологической оценке через понятие геоэкологического риска, под которым понимается не только вероятность неблагоприятного события, но также все его возможные последствия. Вероятность события или процесса здесь выступает одним из компонентов риска, а мера последствий (ущерба) - другим. Такое двумерное определение риска используется при количественном оценивании риска.

*Геоэкологический риск* – это вероятность деградации окружающей природной среды (включая геологическое пространство) или ее перехода в неустойчивое состояние в результате хозяйственной деятельности. Сюда входит и возможность потери контроля за происходящими геологическими процессами. Источниками нестабильности для эколого-геологических систем выступают природные явления (землетрясения, извержения вулканов, опасные экзогенные геологические процессы) и техногенный фактор (техногенные аварии на продуктопроводах, катастрофы, искусственные землетрясения и др.). Геоэкологический риск – это вероятность разрушения круговорота жизни из-за деятельности человеческого общества и его ошибок. При этом обычно улучшение одной из частей эколого-геологических систем и неучет возможностей всей системы (отсутствие системного подхода) приводит к неустойчивости. Например, считается, что человеческие ошибки обуславливают 45 % экстремальных ситуаций на АЭС, 60 % авиакатастроф, 80 % морских катастроф.

Можно расходиться в оценках степени воздействия человека на природу, но нет никаких сомнений в том, что хозяйственная деятельность человека способствует необратимой перестройке биосферы и литосферы, вызывая в них растущую со временем несбалансированность потоков вещества и энергии. Человек не может не думать о своем будущем и поэтому научное прогнозирование является необходимым элементом планирования всех видов его деятельности. Сегодня применяются



различные типы прогнозов: качественные, количественные, кратко-, средне- и долгосрочные, бессрочные перспективные, локальные, региональные и глобальные и др. Поэтому при разработке концепции устойчивого развития отдельных регионов и страны в целом важно понять сущность совместной жизни между человеком и природой путем создания прогнозных моделей. Сама же концепция устойчивого развития имеет три основных подхода: природный (биосферный), технократический (ресурсно-техносферный) и коэволюционный (ноосферный).

Возможно и другое концептуальное развитие учения о ноосфере, в основе которого вместо создания нового типа биосферы и управления ею была бы идея об управлении на научной основе человеческой деятельностью в биосфере и гармонизации (коэволюции) отношений «человек-природа». Альтернатива заключается в том, что биосферу нужно не преобразовывать, а сохранять. Человек не может и не должен вмешиваться в пока еще недоступные для его сознания природные процессы эволюции биосферы.

Управление и прогноз – основные цели эколого-геологического моделирования. При этом управление эколого-геологическими системами является более затруднительным и неопределенным. Все более актуальным становятся комплексные исследования, связанные с моделированием геологической среды для целей управления, особенно для отдельных регионов. Геологическое пространство регионального уровня – сложное образование. Основные проблемы управления последним связаны с целеполаганием для территории как целостного объекта управления и отсутствием эффективного механизма, призванного осуществлять в интересах общества согласование внешних (экзогенных) управленческих воздействий на геологическое пространство и его внутренних (эндогенных) процессов и интересов. Наиболее рациональный путь управления региональной геосистемой можно представить в виде следующей последовательности действий: моделирование взаимодействий в геосистеме – анализ структуры геосистемы и возможностей ее преобразования – разработка способов целенаправленного воздействия на структуру объекта управления с целью регулирования процессов функционирования и развития.

Экологическое право (право окружающей среды) относится к одной из самых молодых и динамично развивающихся отраслей права, где регулируются специфичные общественные отношения. Специфичность их

определяется тем, что круг субъектов этих отношений обширен, а объектов права всего два – природные ресурсы и окружающая среда. Экологическое право как самостоятельная отрасль права сформировалась в 80-е годы прошлого века. Предметом экологического права являются общественные отношения, которые складываются в сфере использования и охраны природных ресурсов, а также охраны окружающей среды в целом. К этим отношениям в области недропользования относятся: 1) отношения собственности на полезные ископаемые; 2) отношения в сфере недропользования; 3) отношения в сфере охраны окружающей среды от различных форм деградации; 4) отношения в сфере обеспечения экологической безопасности людей, экологических прав и законных интересов юридических и физических лиц.

Юридическая ответственность за правонарушения в области использования и охраны геологической среды может быть гражданской, дисциплинарной, административной и уголовной.

Все мероприятия по управлению и снижению природных рисков должны подкрепляться решениями на государственном уровне. В этом заключается роль государства в осуществлении стратегии безопасности. В зависимости от целей и задач решения могут быть трех типов: стратегические, превентивные и чрезвычайные.

К первым относятся решения, принимаемые на государственном уровне с перспективой на долгосрочное устойчивое развитие регионов страны, например, рассредоточение по стране спасательных средств с учетом природных рисков в конкретных регионах; создание необходимого государственного резерва продуктов питания и мобильных средств жизнеобеспечения. Важное стратегическое значение имеет принятие решений по инвестированию и налогообложению отдельных регионов с учетом дополнительных средств на борьбу с природными опасностями. Эти расходы определяются необходимостью ведения строительства зданий и сооружений, устойчивых к тому или иному воздействию стихии, создания защитных сооружений, инженерной подготовки территории.

Превентивные управленческие решения представляют собой систему мер, реализуемых в относительно сжатые сроки (месяцы до года) на основании долго- и среднесрочных прогнозов о приближающейся опасности. Они включают мероприятия по укреплению наиболее ответственных зданий и сооружений,

строительство специальных сооружений для укрытия людей, создание системы оповещения в реальном режиме времени, подготовку лиц и специальных команд для участия в ликвидации последствий катастрофы и оказания санитарно-медицинской помощи, создание резервов продуктов питания и предметов первой необходимости.

Управленческие решения чрезвычайного характера принимаются на основе краткосрочных прогнозов и оперативной информации о предвестниках опасных явлений, т.е. в условиях, когда отсутствует время для проведения превентивных мероприятий. Они включают срочное оповещение населения, решения о частичном или полном выводе населения из района опасности, принятие экстренных мер по предотвращению разрушения жизнеобеспечивающих систем, мобилизацию специальных подразделений для работы в чрезвычайной ситуации.

Особенность развития всех стран на современном этапе обусловлена усилением процессов глобализации и связана с необходимостью их интеграции в мировое сообщество. Необходимое условие для этого — переход к модели устойчивого развития, которая гарантирует экологическую и эколого-геологическую безопасность для социально-экономического развития стран и крупных регионов. При этом экологическая безопасность отдельного региона является составной частью национальной безопасности страны и существенным компонентом ее участия в глобальной системе.

Главной экологической проблемой, стоящей перед человечеством, является сохранение и восстановление естественных экосистем в объеме, достаточном для регулирования и стабилизации окружающей среды. Возникшие в XX в. глобальные экологические проблемы есть результат свободного построения истории, но теперь такой способ ее построения исчерпан, необходимо строить новую историю, новую цивилизацию в согласии с законами биосферы. При принятии каждой новой технологии общество должно ответить на три вопроса. 1. Какими будут побочные физические и социальные эффекты от крупномасштабного внедрения новой технологии? 2. Какие социальные изменения необходимо осуществить до внедрения этой технологии и сколько времени потребуется на их реализацию? 3. Если новая технология может быть успешно реализована и устраняет какой-либо естественный предел роста, то на какой следующий предел выйдет испытывающая рост система?

Предпочтет ли общество оказаться лицом к лицу с проблемами выхода на новый предел или захочет остаться с проблемами, порожденными выходом на тот предел, который новая технология призвана устранить?

Одной из главных причин современной неблагоприятной эколого-геологической обстановки является низкий уровень экологической культуры граждан, которая включает экологическую грамотность, информированность, убежденность и активность в реализации рационального недропользования. В настоящее время экологическое образование и воспитание является одним из актуальных направлений развития системы образования и воспитания в целом. Без экологического образования невозможно формирование экологического сознания общества, которое позволит ему справиться с экологическими проблемами. Основной целью экологического воспитания и образования является экологизация общественного сознания, которая основывается на принципах всеобщности (для всех членов общества и во всех учебных заведениях), комплексности и непрерывности. Все это должно способствовать гармоничному развитию личности, способной решать как общественные задачи, так и управлять средой своего обитания.

Человечество пока не сформулировало целостной парадигмы дальнейшего движения вперед в гармонии с природой. Одним из путей выхода из критической ситуации может быть концепция устойчивого развития, предполагающая гармоничный прогресс в экономической и социальной сферах при максимально бережном отношении к окружающей среде. При этом естественно-научной основой для этой концепции может служить теория **ноосферы**, сформулированная, в частности, В. И. Вернадским.

Деятельность человечества, приводящую к изменению природных условий, В. И. Вернадский вначале рассматривал как процесс, чуждый биосфере. Однако с середины 1930-х гг. по мере накопления научных данных о свойствах биосферы и о характере человеческой деятельности он стал рассматривать деятельность человека как закономерный этап эволюционного развития биосферы. В. И. Вернадский считал, что обязательно должно наступить время, когда человечество станет более разумно относиться к окружающей его природной среде, и эволюция биосферы будет происходить как по природным законам, так и под сильным влиянием просвещенного человеческого разума. Для геологической оболочки Земли, включающей биосферу и

преобразующейся под влиянием разумной деятельности человечества, В. И. Вернадский ввел термин «**ноосфера**», которая «...есть новое геологическое явление на нашей планете. В ней впервые человек становится крупнейшей геологической силой. Он может и должен перестраивать своим трудом и мыслью область своей жизни, перестраивать коренным образом по сравнению с тем, что было раньше». В то же время В. И. Вернадский отмечал, что человек неотделим от биосферы, а «его существование есть ее функция».

Для становления ноосферы, по В. И. Вернадскому, необходимы следующие условия.

1. Заселение человеком всей планеты.
2. Преобразование средств связи и обмена между разными странами.
3. Усиление связей, в том числе политических, между всеми государствами Земли.
4. Преобладание геологической роли человеческой деятельности над природными геологическими процессами, протекающими в ноосфере.
5. Расширение границ биосферы и выход в Космос.
6. Открытие новых источников энергии.
7. Равенство людей всех рас и религий.
8. Увеличение роли народных масс в решении вопросов внутренней и внешней политики.
9. Создание в общественном и государственном строе условий, благоприятных для свободы научной мысли и научного искания.
10. Подъем условий жизни населения. Недопущение нищеты, недоедания и голода. Общедоступность здравоохранения.
11. Разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворить все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего человечества.
12. Исключение войн из жизни общества.

В наше время геолог вынужден заниматься философскими проблемами в гораздо большей степени, чем это приходилось делать геологам предыдущих поколений. К этому вынуждают современные трудности отдельных направлений и дисциплин геологии, включая и экологическую геологию, т. к. последняя становится социально значимой отраслью для человеческого сообщества.

Каким образом мы можем создать новое будущее и что для этого делать? Для устойчивого развития стран и регионов можно предложить решить некоторые проблемы.

- Человечество должно осознать свое место в биосфере.
- Человек должен познавать самого себя (свои цели, свою систему ценностей) так же глубоко, как он познает мир, который хочет изменить.
- Человечеству необходима реалистическая долгосрочная цель (например, устойчивое развитие), которая может обеспечить ему выход в общество равновесия, и стремление к достижению этой цели.
- В любой системе должны действовать ограничения, способные остановить экспоненциальный рост. Для устойчивого развития человек и человечество должны иметь ограниченные материальные (включая потребление природных ресурсов и полезных ископаемых) и безграничные духовные потребности.
- Экологическая безопасность общества должна стать приоритетным направлением будущего развития, основой государственной и региональной политики, базирующейся на экологическом праве, экологическом образовании и экологических технологиях.
- Необходимо дальнейшее углубление экологизации и социализации наук о Земле и подготовка геологов с «экологической» ментальностью.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Абалаков А. Д. Экологическая геология. Учебное пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2007. 267 с.
2. Авцын А. П. и др. Микроэлементозы человека. М.: Медицина, 1991. 496 с.
3. Адушкин В. В., Турунтаев С. Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). М.: ИНЭК, 2005. 252 с.
4. Алексеенко В. А. Экологическая геохимия. Учебник. М.: Логос, 2000. 627 с.
5. Белоусова А. П., Гавич И. К., Лисенков А. Б., Попов Е. В. Экологическая гидрогеология. Учебник для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 397 с.
6. Богословский В. А., Жигалин А. Д., Хмелевской В. К. Экологическая геофизика. М.: Изд-во МГУ, 2000. 254 с.
7. Вахромеев Г. С. Экологическая геофизика. Учебное пособие. Иркутск: ИрГТУ, 1995. 216 с.
8. Вернадский В. И. Очерки геохимии. М.: Наука, 1983. 422 с.
9. Жуков В. Т., Новаковский Б. А., Чумаченко А. Н. Компьютерное геоэкологическое картографирование. М.: Научный мир, 1999. 84 с.
10. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: Справочник в 6 кн. М.: Недра, Экология, 1994–2000.
11. Карлович И. А. Геоэкология. Учебник. М.: Академический Проект: Альма-Матер, 2005. 512 с.
12. Королёв В. А. Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. Учебное пособие. М.: Изд-во «Книжный дом университет», 2007. 416 с.
13. Косинова И. И., Богословский В. А., Бударина В. А. Методы эколого-геохимических, эколого-геофизических исследований и рациональное недропользование. Учебное пособие. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2004. 281 с.
14. Котлов Ф. В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 263 с.
15. Куликова Е. Ю. Подземная геоэкология мегаполисов. М.: Изд-во МГГУ, 2005. 480 с.
16. Лисенков А. Б., Фисун Н. В., Малков А. В. и др. Техногенные процессы в подземных водах. М.: Научный мир, 2003. 248 с.

17. Медоуз Донелла Х., Медоуз Денис Л., Рэндерс Йорген, Беренс III Вильям. Пределы роста. М.: Изд-во МГУ, 1991. 207 с.
18. Медоуз Дон., Рандерс Й., Медоуз Ден. Пределы роста. 30 лет спустя. М.: ИКЦ «Академкнига», 2008. 342 с.
19. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
20. Реймерс Н. Ф. Надежды на выживание человечества: Концептуальная экология. М.: ИЦ «Россия Молодая»-Экология, 1992 367 с.
21. Сунгатуллин Р. Х. Экологическая геология и устойчивое развитие промышленно-урбанизированных регионов. Учебное пособие. Казань: Казанский университет, 2012. 220 с.
22. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза / Под ред. В. Т. Трофимова. М: Изд-во «Ноосфера», 2006. 720 с.
23. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г. Экологическая геология. Учебник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. 415 с.
24. Трухин В. И., Показеев К. В., Куницын В. Е. Общая и экологическая геофизика. Учебник. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. 571 с.
25. Эколого-геологические карты. Теоретические основы и методика составления: Учебное пособие / В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг, М. А. Харькина и др. М.: Высшая школа, 2007. 407 с.