

В.Н. Губин, С.А Сладкопевцев

**ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ
(ТЕОРИЯ И МЕТОДЫ)**

**Учебно-методическое пособие
для студентов-геологов
географического факультета
по курсу
«Основы экологической геологии»**

Минск 2002

Основы экологической геологии (теория и методы)

Введение.

1. Экология и геологические науки
2. Техногенное воздействие на геологическую среду
 - 2.1. Загрязнение
 - 2.2. Нарушенность
3. Устойчивость геологической среды к техногенным воздействиям
4. Методы и критерии оценки экологического состояния геологической среды
 - 4.1. Аналитические методы
 - 4.2. Дистанционные методы
 - 4.3. Картографические методы
5. Экологическая геология и комплексные ресурсно–экологические проблемы

Заключение

Литература

Введение.

Проблемы экологии – отрасли знаний, изучающей взаимоотношения организмов и природной среды – в настоящее время характерны для всех естественных наук и видов хозяйственной деятельности человека. Важность экологических проблем и пристальное внимание к ним связаны с тем, что взаимоотношения человеческого общества и природной среды столкнулись с серьезными противоречиями зачастую близкими к катастрофическим. Глобальное влияние человека на природную среду приобрело такие масштабы, что восстановительные функции природы не в состоянии нейтрализовать загрязнение и нарушенность горных пород, земель, растительности, атмосферы, поверхностных и подземных вод. Стремление не допустить необратимости процессов деградации природных комплексов, потери генофонда многих исчезающих организмов и угрозы существования будущих поколений привело к появлению концепции "устойчивого развития", в основу которой положена идея динамического сбалансированного развития экономики, природы и общества. Рассмотрение проблем устойчивого развития началось со Стокгольмской конференции ООН в 1972 г, когда мир был официально предупрежден о надвигающейся экологической катастрофе. Наиболее детально проблемы развития общества и окружающей среды рассматривались на Всемирной конференции в Рио-де-Жанейро в 1992 г.

Получив всеобщее признание и право называться "Повесткой дня на XXI век", экология вошла в число наиболее активно развивающихся современных отраслей знания. Из чисто биологической науки (биоэкологии), существовавшей примерно до середины XX века, экология превратилась в междисциплинарное учение, охватившее биологические, социальные, экономические и правовые основы нашей жизни. В общей системе экологии наибольший прогресс характерен для таких её направлений как экология человека, геоэкология (экология природной среды), инженерная экология. Внимание к нравственно-философским вопросам обусловило появление "экологии культуры" и "экологии духа".

Исходя из существа экологии, объектами экологических исследований в любом случае являются пространственно ограниченные и функционально единые сочетания организмов и среды. Наиболее распространенное название этих сочетаний – экологические системы. Однако, этот же смысл имеют термины "природно-технические или геотехнические системы", а так же "природно-антропогенные комплексы или ландшафты". При исследовании состояния экосистем важно определить объекты экологического анализа и условия или факторы, определяющие состояние объектов. В биоэкологии объектами служат организмы, а факторами – компоненты природной среды. В геоэкологии, напротив, анализируется состояние среды и её составляющих под влиянием организмов, главным образом человека.

Геологическая среда (почвогрунты, приповерхностные горизонты литосферы и образованный ими рельеф) образуют морфолитогенную основу экосистем. Её развитие подчинено как природным факторам (эндогенным и экзогенным процессам), так и техногенному воздействию. В свою очередь, многообразно влияние геологической среды на процессы во внешних оболочках Земли и на хозяйственную деятельность человека. Таким образом, проблемы экологии геологической среды или экологической геологии можно рассматривать в узких "геологических" рамках, и в то же время их рассмотрение в той или иной степени затрагивает всю совокупность экологических проблем.

Настоящее пособие содержит краткое изложение теоретических и методических вопросов экологической геологии. Оно может использоваться в учебных программах геолого-географических дисциплин, а также специальностей "экология и природопользование", "геоэкология", "кадастр и мониторинг земель", "охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов", "географическая экология", "геоморфология и эволюционная география".

1.0 Экология и геологические науки.

Экологические проблемы (процессы экологизации, по Н.Ф. Реймерсу, 1992), глубоко проникшие в нашу жизнь, не обошли стороной и геологию, представляющую собой систему наук о Земле (литология, тектоника, геофизика, геохимия, гидрогеология, инженерная геология, геоморфология и ряд других). Причиной этого являются многочисленные и сложные взаимные связи геологической среды с внешними оболочками Земли (атмосферой, гидросферой и биосферой) и с хозяйственной деятельностью человека – техногенезом. Эти связи в обобщенном виде иллюстрируются табл. 1–4.

Влияние на геологическую среду внешних оболочек многообразно по формам и различно в региональном плане (табл. 1). Физическое воздействие затрагивает рельеф и самые верхние горизонты горных пород. Повсеместным является влияние температурного и влажностного режима на процессы выветривания и подготовки обломочного материала к перемещению. От растительного покрова зависит активность биологического выветривания. Ветер, вода (лед) и растения – ведущие факторы экзогенного рельефообразования. Процессы внешних оболочек определяют напряженность естественных экологических обстановок. В регионах активной водной и ветровой эрозии, частых наводнений, развития оползневых, обвально – осыпных и криогенных процессов эта напряженность особенно велика.

Хозяйственная деятельность человека приобрела такие масштабы, что её относят к мощному геологическому фактору развития природной среды. Даже косвенно, через изменение климата, поверхностного стока, почв и растительности человек меняет состояние геологической среды. Прямое же влияние техногенеза (карьеры, шахты, скважины, подземные газохранилища) затрагивают литосферу на глубины многих сотен метров и в ряде случаев на километры. Совместно с природным фоном техногенное воздействие дает интегральные показатели нарушенности и загрязнения геологической среды (табл. 2).

В свою очередь, являясь морфолитогенной основой ландшафта, геологическая среда обуславливает механизм многих процессов во внешних оболочках Земли (табл. 3). Большой круговорот воды в природе, в котором участвует литосфера, включает динамику атмосферы и гидросферы, влияет на распределение осадков, нормы стока, условия формирования почвенно-растительного покрова. При этом весьма активную роль играет рельеф, создавая климатические барьеры, высотную поясность, влияя через уклоны на водный баланс, а через экспозицию склонов на микроклимат и дифференциацию ландшафтов.

Наконец, можно привести немало примеров влияния геологических (инженерно–геологических, сейсмотектонических, геоморфологических) условий на технологию и организацию работ при различных видах инженерного освоения территорий (табл. 4). Методы добычи минерального сырья всецело зависят от его запасов, глубины залегания, условий обводнения месторождений. Для строителей важны категории разработки грунтов, рельеф местности, глубины залегания подземных вод, сейсмичность территории. Даже в сельском хозяйстве большое значение имеет учет уклонов и расчленение рельефа, процессы эрозии, механический состав почвообразующих пород, условия увлажнения, подтопления и заболачивания сельскохозяйственных угодий.

Среди рассмотренных выше многочисленных прямых и обратных связей в системе: геологическая среда – внешние оболочки Земли – техногенез первостепенное значение для экологической геологии имеет техногенное воздействие на геологическую среду – загрязнение и нарушенность. Однако, это воздействие в различной степени затрагивает интересы отдельных геологических наук. При этом в каждой науке возникшие экологические проблемы могут решаться различными методами. С проблемами экологического типа прежде всего сталкиваются прикладные геологические науки, в сфере интересов кото-

рых находятся процессы взаимодействия техногенеза и геологической среды (табл. 5). Для инженерной геологии и геоморфологии первостепенным является физическое воздействие на геологическую среду, а для гидрогеологии и геохимии – химическое.

Взаимоотношения человека и природы непрерывно усложняются, и это отражается на экологических проблемах геологии. Влияние техногенеза на процессы в литосфере зачастую трудно прогнозировать, что приводит к частому возникновению очагов опасных деформаций горных пород, их обводнению или загрязнению. С другой стороны, возрастающие опасности вынуждают совершенствовать технологии в горнорудной и нефтедобывающей промышленности, строительстве, мелиоративном проектировании.

2.0. Техногенное воздействие на геологическую среду.

Территории активного техногенного влияния на геологическую среду – месторождений полезных ископаемых, транспортных коммуникаций, промышленного строительства – относятся к одним из наиболее сложным в экологическом отношении. Это обусловлено следующими основными причинами (9).

1. Многообразием видов добываемых сырьевых ресурсов. В настоящее время из недр Земли извлекается более 400 видов сырья, из которых по стоимости преобладают горючие ископаемые – 80%, далее идут металлы – 12% и строительные материалы – около 2%, причем последние находятся на первом месте по объемам добычи. Горнодобывающие комплексы загрязняют все компоненты природной среды углеводородами, сернистым газом, многими металлами – ртутью, кадмием, свинцом, хромом, медью, никелем. Большая часть соединений отличается стойкостью и большой миграционной способностью.

2. Многообразием систем использования природных ресурсов недр, которые включают открытые (карьерные) виды разработки, подземные (шахтные), проходку скважин, технологии подземной газификации углей, выщелачивания солей, выплавки серы и другие. Каждая из перечисленных основных систем имеет свои модификации и составляющие, зависящие от конкретных условий. Открытая разработка связана с объемами вскрышных работ, проблемами размещения отвалов и их последующей рекультивации. Глубокие карьеры требуют откачки подземных вод и сброса их в поверхностные водоемы. Шахтная добыча сталкивается со многими сложными проблемами: трудностями разработки маломощных и наклонных горизонтов, прорывами подземных вод, обвалами, растеплением многолетнемерзлых пород, взрывами рудничных газов. Для более эффективной добычи нефти используются кусты скважин, наклонное бурение, закачки в нефтеносные горизонты больших объемов воды и поверхностно-активных веществ. Одна из технических новинок – подземные ядерные взрывы для повышения отдачи продуктивных горизонтов. Технология буровых работ непрерывно совершенствуется в целях увеличения глубины и скорости проходки, оптимизации режима эксплуатации, борьбы с обводнением и растеплением грунтов, прихватами и коррозией труб.

3. Комплексным активным влиянием на природную среду, которое охватывает большие площади (в отличие от ряда других отраслей промышленности) и затрагивает все природные компоненты, в том числе относительно глубокие зоны литосферы.

4. Длительной – в течение десятилетий, а иногда и столетий – эксплуатацией месторождений, что приводит в конечном счете к глубоким и необратимым изменениям природной среды.

Технологические и региональные особенности систем использования ресурсов недр и их воздействие на геологическую среду в общем случае зависят от типов месторо-

ждений полезных ископаемых и закономерностей их распределения, рельефа местности, инженерно–геологических и гидрогеологических условий.

2.1. Нарушенность геологической среды.

Многочисленные виды механического, в том числе гидромеханического и гидродинамического, воздействия на массивы горных пород приводят к нарушениям их естественного состояния, развитию неблагоприятных и часто опасных процессов. На примере систем разработки месторождений полезных ископаемых можно получить представление об основных процессах и явлениях подобного рода (табл. 6).

табл. 6

Добыча полезных ископаемых и нарушенность геологической среды.

Системы разработки месторождений полезных ископаемых	Инженерно-хозяйственное воздействие на среду и его последствия	Инженерно-геологические процессы и явления.
Открытые горные работы (карьеры)	Строительство карьеров, изменение напряженного состояния массива, создание отвалов пустой породы Осушение карьеров, изменение режима подземных вод	Деформации в бортах карьеров – оползни, оплывины и др., изменение ландшафтов, деформации откосов отвалов и подстилающих пород Иссушение территории, активизация карста, фильтрационное уплотнение грунтов
Подземная (шахтная) разработка	Строительство шахт и других подземных выработок Изменение напряженного состояния массива, создание отвалов пустой породы Осушение месторождения, изменение режима и состава подземных вод Вентиляция выработок Изменение температурного режима	Деформации в горных выработках, карст, изменение мерзлотных условий Оседания земной поверхности и провалы на ней Иссушение территории, фильтрационное уплотнение грунтов, прорывы плывунов, активизация карстовых и суффозионных процессов Активизация мерзлотных процессов Активизация физикохимических процессов – окисление, выщелачивание
Извлечение полезного ископаемого скважинами – нефть, газ, вода	Изменение напряженного состояния массива Изменение гидрогеологических условий	Оседание земной поверхности Активизация карстовых процессов, загрязнение подземных вод
Подземная переработка по-	Изменение напряженного состояния массива	Оседание и провалы земной поверхности

лезного ископаемого (газификация угля, выплавка серы, выщелачивание солей)	Изменение гидрогеологических условий Изменение температурного поля	Оползневые деформации на склонах Активизация карстово-суффозионных процессов
--	---	---

Изъятие и перемещение больших объемов горных пород обусловлено тем, что объемы полезного ископаемого по отношению к массам извлекаемой породы невелики. Для железа и алюминия это 15–30%, свинца и меди примерно 1%, серебра и олова – 0.01%, а для золота и платины – 0.00001%. В связи с этим внушительны объемы отвалов, которые в мировом масштабе равны для рудных ископаемых более 1200 куб. км., нерудных около 100 и топливных около 300 куб. км. Открытая разработка минерального сырья в среднем в 3–4 раза дешевле шахтной. Поэтому доля карьерной добычи равна 70%. В среднем карьеры мира углубляются на 5–10 м/год, их максимальные глубины равны 500–700 м, а высоты отвалов и терриконов превышают 100 м. В настоящее время в крупных угольных бассейнах насчитывается до 1000 – 1500 терриконов. Таким образом, амплитуды техногенного рельефа приближаются к 1 км. Открытыми разработками полезных ископаемых нарушены сотни тысяч гектаров земли, на которых образовались своеобразные карьерно-отвальные ландшафты. Современные драги перерабатывают продуктивные на россыпи горизонты пород на глубины до 50 м. Ежегодно техногенные ландшафты промышленных зон расширяются на 35–40 тыс. га.

Откачка воды из карьеров, часто необходимая для создания условий разработки месторождений, вызывает ряд сложных процессов на днищах и склонах карьеров. Снятие напряжения в породах (релаксация) при углублении карьеров приводит к образованию зон разуплотнения пород. В этих зонах увеличиваются трещиноватость или пористость, активизируются процессы растворения, суффозии, гравитационного смещения и оползания. Мощности зон разуплотнения достигают в магматических породах 15 м, в карбонатных 20–30 м, а в песчаниках и сланцах 50 м. Перечисленные выше процессы максимально проявляются в глинистых породах. Обнажение пород в стенках карьеров активизирует процессы их выветривания, которое по мере сноса материала может охватывать все новые объемы пород. Скорости техногенного выветривания пород – 0.3–1.7 м/год, а его признаки иногда проявляются уже в первые дни. Выветривание и разуплотнение – активные факторы отступления и выколаживания стенок карьеров.

Отток подземных вод к карьерам создает обширные депрессионные воронки, зоны снижения уровней водоносных горизонтов. Их диаметры достигают 15 км, площади 200–300 км², а снижение уровней грунтовых вод при откачках 300–400 м. Истощение грунтовых вод и осушение поверхностных горизонтов влияют на состояние почвенно-растительного покрова, поверхностный сток, то есть обуславливают общую трансформацию ландшафта. Помимо этого в случае наличия карбонатных пород значительно активизируются процессы карстообразования. Причины этого – вынос заполнителя и раскрытия карстовых полостей, нарушение равновесия в массивах пород, усиление вертикального водообмена. Наибольшей активностью отличаются процессы карстообразования в соленосных отложениях на месторождениях Прикарпатья, Белоруси, Татарстана. В течение 1–2 лет здесь можно наблюдать образование поверхностных воронок и провалов глубиной до 10–15 м. Объемы подземных полостей увеличиваются до 22–23 тыс. м³/год.

Проходка шахтных стволов и скважин приводит к соединению и перераспределению вод между ранее разобщенными водоносными горизонтами, к прорывам мощных потоков воды в туннели, забои, продуктивные пласты. Уплотнение пород под совместным

влиянием осушения и веса массивных инженерных сооружений является причиной понижения поверхности на значительных площадях. Средние радиусы воронок прогибания равны 50–120 м от периметров сооружений. Оседание в скальных породах достигает 40–120 мм, а в осадочных 10–30 см, причем в первые 1–2 года процесс особенно активен. Нагрузки от сооружений распространяются до глубин 50 м. На площадях добычи соли методом подземного выщелачивания в Башкортостане наблюдается прогибание поверхности со скоростью 10 мм/год. На Апшеронском полуострове величины оседания грунтов достигают 2.5 м, а его скорости 100 мм/год. Мульды оседания в районах крупных нефтегазовых месторождений достигают площадей в тысячи км². Прогнозы для Западной Сибири оценивают возможное понижение поверхности в пределах нефтегазодобывающих площадей от 0.2 до 15 м. Учитывая близкое к поверхности залегание грунтовых вод (0.3–1.5 м), можно предвидеть увеличение площадей заболачивания и заозеривания, а также процессов подтопления инженерных сооружений. Резкие подвижки пород при падении температуры и давления на месторождениях нефти могут привести к значительным землетрясениям – до 7 баллов в районе г. Грозного.

Антропогенные изменения рельефа в наиболее освоенных областях достигают значительных масштабов и выражаются следующими коэффициентами (7).

Коэффициент антропогенного морфогенеза, равный отношению объема антропогенных форм Y к площади S :

$$K_a = Y \text{ тыс. м}^3 / S \text{ км}^2.$$

Например, Волгоградская область при $V = 863$ млн. м³ и $S = 113$ тыс. км² имеет $K = 7.6$. Этот показатель для Ростовской области равен 8.7, Астраханской – 2.3 и бывшей Гурьевской – 0.3. Для городов Волгограда и Москвы значения K_a примерно равны 242.

Геотехнический коэффициент, равный отношению ежегодного прироста антропогенных форм ΔV к площади S

$$K_r = \Delta V \text{ тыс. м}^3 / S \text{ км}^2.$$

Для Волгоградской области при $\Delta V = 22$ млн. м³ и $S = 113$ тыс. км² $K_r = 0,2$.

Косвенное влияние техногенеза на рельеф относится к региональному, охватывающему огромные площади. Это в основном нивелировка и моделирование поверхности земной коры в результате планировки застраиваемых площадей, сельскохозяйственной обработки и плоскостного смыва почв. На ограниченных площадях техногенное влияние приводит к увеличению дифференциации рельефа, созданию крупных форм. Так, карьеры достигают глубины 700 – 800 м., а терриконы и отвалы высоты более 100 м. В отдельных районах амплитуды техногенного рельефа приближаются к 1 км.

Влияние инженерных комплексов на геологическую среду влечет за собой глубокую перестройку совокупности инженерно–геологических процессов (табл. 7). При этом наблюдается активизация или появление одних процессов и затухание или исчезновение других. Прежде всего меняется картина миграции веществ на поверхности грунтов, происходит изменение типа, направления и скорости их перемещения. Обнажение значительных площадей создает условия для активного плоскостного смыва, делювиальных процессов на месте слабых дефлюкционных. При значительных уклонах и благоприятных литологических условиях возникают предпосылки для появления промоин, а затем и оврагов. Подобные процессы особенно активны на стенках карьеров, склонах терриконов, откосов насыпей и дамб. Изменения водности, режима стока и мутности водотоков кардинально меняют характер русловых эрозионно-аккумулятивных процессов. Обезлесение и подрезка склонов на площадях горных рудников благоприятствует обвально-осыпным и лавинно-селевым процессам. Особенно активны склоновые смещения на отвалах, дамбах и терриконах в случае их сложения из глинистых грунтов.

Строительство линейных сооружений оказывает влияние на движение грунтовых вод, вызывает заболачивание и подтопление вдоль насыпей и трасс трубопроводов. В районах многолетнемерзлых пород активизируются процессы растепления грунтов, солифлюкции, наледообразования, термокарста.

Непрерывное увеличение площадей нарушенных земель в районах добычи полезных ископаемых требует разработки оперативной и эффективной системы рекультивации. Мероприятия по восстановлению природного потенциала следует проводить с учетом зональных или поясных особенностей местности и биологического потенциала ландшафта, глубины и площади трансформации природной среды. Важно также целевое назначение рекультивации, то есть будущее использование земель – селитебное, сельскохозяйственное, рекреационное. Зависимость мероприятий по рекультивации от конкретных условий связано с тем, что площади горно-промышленного освоения состоят из нескольких зон:

1.Очаговая с необратимыми изменениями природной среды – непосредственно промышленные объекты;

2.Сильного влияния с уничтожением растительности и нарушением водного режима, почв и грунтов, где восстановление затруднено, но возможно;

3.Среднего влияния с угнетением отдельных видов растительности, прежде всего мхов, лишайников и в меньшей степени травянистых и древесно-кустарниковых видов;

4.Слабого влияния с локальными и несущественными изменениями, мало отличными от фона.

Рекультивация отвалов должна проводиться с учетом их состава путем выбора наиболее устойчивых для конкретного случая растений. Основные виды очищения почв, загрязненных нефтью – аэрация, улучшение состава поглощающего комплекса, активная фитомелиорация. Важную роль играет внесение фосфорных удобрений, известкование. Не рекомендуется внесение органики, которая увеличивает дефицит кислорода. Сжигание и захоронение нефти также увеличивает сроки очищения почв.

Разработка природосберегающих технологий добычи, транспорта и переработки полезных ископаемых, мероприятий по охране и рекультивации природных комплексов требует организации экологического мониторинга – системы регулярных наблюдений за состоянием природной среды. Служба мониторинга должна базироваться на материалах, отражающих современное состояние компонентов природной среды, функционирование всех элементов промышленных комплексов, опыт и перспективы освоения месторождений.

Добыча и транспорт полезных ископаемых в прибрежной зоне и на шельфе океана влекут за собой серьезные изменения в поверхностном слое литосферы. Наибольшее площадное распространение имеют процессы техногенного осадконакопления в результате осаднения взвесей и загрязняющих веществ в районах добычи строительного сырья, металлов из россыпей, сброса промышленных стоков. В результате использования материала пляжей для строительства и перекрытия многих впадающих в море рек протяженные участки побережий лишились пляжей и начали активно размываться. Для сохранения пляжей используются бетонные ограждения, буны и искусственные отсыпки. Процессы движения вдольбереговых потоков наносов трансформируются также портовыми сооружениями, волноломами, причалами. Для количественной оценки техногенной нагрузки на берега используется отношение общей протяженности инженерных сооружений к длине берега (табл. 8).

Таблица 7

**Инженерно–геологические процессы при строительстве
и эксплуатации наземных сооружений.**

Инженерно-геологические процессы при строительстве	Действующие факторы – природные и вызванные инженерной деятельностью	Инженерно-геологические процессы при эксплуатации
Выветривание дна и откосов строительных выемок	Климатические	Выветривание откосов постоянных выемок и материала сооружений
Разуплотнение дна и откосов строительных выемок	Напряженное состояние пород в массиве	Уплотнение пород оснований под нагрузкой сооружений
Гравитационные процессы в котлованах и на склонах, примыкающих к стройплощадке	Силы тяжести	Наведенные землетрясения
Эрозия в водотоках, плоскостная эрозия, насыщение массива пород водой	Поверхностные воды	Гравитационные процессы на склонах, примыкающих к сооружению, и в откосах постоянных выемок
Выщелачивание, фильтрационные деформации: суффозия, подземная эрозия, напорно-силовые деформации	Режим подземных вод, фильтрационный поток	Переформирование берегов водохранилищ, эрозия в каналах, подтопление, кольматация
Промораживание, растепление	Температурный режим массива пород под действием сооружений	Выщелачивание, подтопление, просадки, заболачивание, кольматация трещин и полостей
	Сейсмическое воздействие	Растепление и промораживание

Таблица 8

Протяженность (%) разных по степени техногенного преобразования берегов

Береговая линия моря или страны	Естественные берега	Берега, частично измененные	Искусственные берега	Речные устья
Азовского	69,3	64,1	2,5	14,1
Каспийского	43,5	36,5	0,7	19,3
Северо-западной части Черного	4,5	56,1	6,6	32,8
Юго-восточной части Балтийского				
(в пределах Калининградской области)	22,2	69,5	8,3	—
Япония	59,0	13,0	27,0	1,0

2.2. Загрязнение геологической среды.

В отличие от нарушения загрязнение геологической среды редко бывает "физиономичным", то есть внешне заметным. Соответственно, для его обнаружения и оценки используются главным образом аналитические, полевые или лабораторные методы. Ос-

новные пути загрязнения горных пород и подземных вод идут от внешних оболочек Земли: атмосферы, поверхностных вод, почв и даже растительности. Реже загрязнение непосредственно попадает на значительные глубины (закачка газов, воды, буровых растворов или поверхностно-активных веществ, захоронение отравляющих веществ или радиоактивных отходов). В целом пространственно-временные закономерности распределения загрязнителей в породах очень сложны, так как имеет место совокупное влияние многих источников воздействия, а так же миграция загрязнения, определяемая структурами земной коры, речными и гидрогеологическими бассейнами, крупными подземными сооружениями (шахтами, скважинами, хранилищами). На региональном уровне загрязнение литосферы во-многом зависит от фоновое состояние внешних оболочек. На локальном уровне наибольшее значение имеет воздействие крупных промышленных комплексов, городов, объектов складирования или захоронения отходов. Заслуживают внимание и локальные зоны загрязнения, связанные с трубопроводами и с транспортными коммуникациями.

На территориях, где находятся предприятия горнодобывающего комплекса, наблюдается активное поступление в атмосферу, а затем и в геологическую среду углеводородов и пылевых частиц (табл.9). Окислы серы и азота, образующие в атмосфере кислоты, способствуют повышенному закислению почв и грунтов. Для выбросов химических предприятий характерно значительное содержание аммиака, хлора, сероуглерода, сероводорода, а также таких высокотоксичных соединений как пятиокись ванадия, ацетон, толуол, бензол. Через сточные воды от химических предприятий в геологическую среду попадают фенол, анилин и металлы – медь, цинк, ванадий, никель.

Таблица 9

**Выбросы вредных веществ в атмосферу предприятиями
горно-добывающего комплекса в тыс. т/год, за 1986г.**

Отрасли промышл.	Всего	Твердые вещ-ва	SO ₂	CO	NO	Углеводороды
Нефтяная	4795,5	33,1	42,6	279,1	40,4	4393,1
Угольная	1556,5	386,2	409,7	708,3	30,0	3,9
Газовая	2384,3	7,3	314,4	553,1	230,8	1269,3
Стройма- териалы	3330,3	2042,0	411,0	678,7	154,4	6,7
Всего по промыш- ленности	64680,7	1617800	186947	153052	4332,1	9037,4

Почвы и поверхностные отложения в нефтедобывающих районах подвергаются воздействию многих загрязнителей, среди которых одним из основных является нефть. Загрязненные нефтью почвы испытывают сложные, часто необратимые изменения. В почвогрунтах возрастает общее количество органического углерода, битуминозных веществ и полициклических ароматических углеводородов. Ухудшение водно-воздушного режима идет за счет диспергирования частиц грунта и гидрофобных свойств нефти. Уменьшается содержание водно-растворимых углеводородов, водно-растворимого органического вещества, свободных гуминовых кислот. В то же время общие запасы органического вещества, тип гумуса и его распределение по профилю меняются мало. Важные

последствия нефтяного загрязнения – битуминизация, изменение почвенного поглощающего комплекса, внедрение ионов натрия и развитие солонцового процесса. Хозяйственное использование почв, загрязненных нефтью, возможно через 15–20 лет. Среди других загрязнителей почвы и грунтов можно назвать тяжелые металлы, соединения серы, фосфора, азота. При этом одни из них обладают пониженной миграцией, накапливаются в подстилке и верхних горизонтах – металлы, соединения фосфора, органические компоненты, пыль, а другие мигрируют по профилю почвы, достигая горизонтов подземных вод – например, соединения азота и серы.

Бурение скважин при разведке и эксплуатации месторождений сопровождается сооружением котлованов–отстойников, где накапливаются отходы бурения – нефтепродукты, химреагенты, минеральные соли. Загрязняя поверхность, эти соединения фильтруются в грунты и путем горизонтальной миграции могут распространяться на большие площади. Для нефтепродуктов миграция ограничивается водоносными горизонтами и мало проницаемыми грунтами (2). В процессе буровых работ активному загрязнению подвергаются подземные воды, особенно пресные и неглубоко залегающие (до 150 – 200 м). В нефтегазоносных районах загрязнение нефтепродуктами зависит от их растворимости (жидкие парафины и нефтяные углеводороды 40–150 мг/л, толуол – 500 мг/л, бензол – 1800 мг/л). Однако во всех случаях концентрации названных соединений превышают предельно допустимые. В водоносных горизонтах в процессе анаэробно-биохимических реакций происходит окисление нефтепродуктов, и развивается восстановительная обстановка. В воде исчезают кислород, нитраты и сульфаты, но появляются сероводород и метан, возрастает содержание железа, марганца, свободной углекислоты. Помимо нефтяного загрязнения в ряде регионов добычи нефти наблюдается повышенное содержание в подземных водах хлоридно-сульфатных соединений.

Разнообразны формы загрязнения геологической среды в районах сельскохозяйственного и мелиоративного освоения. Фильтрационные воды из водохранилищ и каналов распространяются на глубины до сотни метров и на десятки километров в стороны, сильно изменяя водно-солевой режим территорий. В результате применения удобрений меняется миграция в почвогрунтах и подземных водах органических веществ, кальция, магния, соединений азота. В почвообразующие породы проникают такие токсичные элементы как фтор, стронций, мышьяк, свинец, никель, кадмий, уран. Особую проблему создает загрязнение пестицидами, большая часть которых не выполняет свою защитную роль, а включается в миграционные потоки (4). В почвах и верхних горизонтах пород концентрации загрязнителей небольшие, однако здесь же наиболее активны процессы их разложения и детоксикации при участии микроорганизмов. На значительных глубинах даже небольшие количества загрязнителей могут сохраняться многие годы, медленно мигрируя в соответствии с динамикой подземных вод.

3.0 Устойчивость геологической среды к техногенезу.

Рассматривая нарушенность и загрязнение геологической среды как определяющие факторы образования напряженных экологических обстановок, следует иметь в виду, что при одних и тех же масштабах техногенных воздействий результаты их влияния могут быть неодинаковыми в пространстве и времени. Это связано с тем, что компоненты геологической среды могут по-разному реагировать на внешние факторы, обладать различной способностью меняться в худшую или лучшую сторону. Устойчивость литосферы к внешним воздействиям и её способность к восстановлению исходного потенциала важно учитывать при прогнозах, особенно долговременных. От оценки этих свойств в значительной мере зависит стратегия и технология использования ресурсов недр, величины до-

пустимых техногенных нагрузок на геологическую среду. К сожалению, на сегодняшний день возможны лишь качественные (балльные) оценки устойчивости геологической среды.

Для грунтов основными показателями их отношения к техногенезу являются механический состав, теплофизические и воднофизические свойства. В самом общем виде эти зависимости показаны в табл.10. Анализ таблицы свидетельствует о разнонаправленности реакции одного и того же типа грунтов на различные воздействия. Поэтому значения геологической среды как фактора устойчивости экосистем и напряженности их состояния будет меняться в регионах с разными видами и масштабами хозяйственного освоения. Например, мало устойчивые к водной эрозии суглинистые грунты одновременно способствуют активному самоочищению территории от поверхностного загрязнения. Многолетнемерзлые грунты предохраняют подмерзлотные водоносные горизонты от загрязнения, однако неустойчивы к процессам водной эрозии, солифлюкции, разного рода деформациям.

Оценка устойчивости подземных вод должна проводиться с учетом их запасов, динамики и химизма. Истощению и загрязнению более подвержены малодобитные водоносные горизонты с ограниченными запасами и источниками питания. Высокая динамичность характерна для приповерхностных горизонтов подземных вод, а глубоко залегающие отличаются весьма замедленным водообменом – до первых тысяч лет. Поступление загрязнения в мало подвижные подземные воды не может быть значительным без вмешательства человека, но и самоочищение их происходит очень медленно. Минерализованные и гидрокарбонатные по составу воды наиболее устойчивы к загрязнению. Соленые сульфатно–карбонатные воды даже в своем естественном состоянии являются показателями напряженного экологического состояния геологической среды.

Смысл оценки устойчивости геологической среды различен при физическом воздействии и загрязнении. Нарушенность литогенной основы (эрозия, смещения, просадки) – явление практически необратимое. Поэтому основное внимание здесь обращается на способность грунтов противостоять начальным этапам развития опасных процессов, которые затем могут получить широкое развитие. В случае загрязнения важно оценить способность геологической среды к самоочищению и восстановлению фонового геохимического состояния. Степень напряженности экологических обстановок увязывается при этом с ПДК загрязняющих веществ, их миграционными свойствами и периодами разложения.

Исходной информацией для региональной типизации геологической среды по устойчивости служит содержание геологических, инженерно–геологических и гидрогеологических карт (8). Составленные на их основе карты геоэкологического профиля должны дать представление о дифференциации территории по реакции геологической среды на потенциальное техногенное воздействие (5). В целях более детального анализа возможно составление ряда частных карт, например, карты защищенности подземных вод, чувствительности среды к загрязнению, её реакции на механическое воздействие. Все карты подобного рода являются прогнозными, дающими примерную, априорную информацию. Достоверность и важность таких оценок возможно оценить лишь на примере территорий активных техногенных изменений геологической среды, путем сравнительного анализа материалов по устойчивости к техногенезу. Решение данного вопроса затрудняется тем обстоятельством, что техногенные нагрузки на геологическую среду весьма дифференцированы по времени, площадям, видам и интенсивности. Территории с близкими параметрами устойчивости могут находиться на разных стадиях техногенного преобразования и, напротив, характеризоваться одинаковой пораженностью при различной устойчивости.

Геологическая среда – одна из наиболее "инертных", стабильных составляющих экосистем и одновременно наименее обратимая в своем развитии. Эти её свойства долж-

ны определять тактику и стратегию систем природопользования, затрагивающих литогенную основу. Принципиально важно не допускать значительных техногенных изменений состояния геологической среды, которая затем длительное время будет играть роль дестабилизирующего фактора по отношению ко всей природной среде.

Рельеф совместно с горными породами формирует морфолитогенную основу и структуру экосистем, во-многом определяет активность и соотношения вертикальных и горизонтальных связей в пределах экосистем, а также их внешние связи. При этом оценка экологического значения рельефа затруднена, вследствие одновременного влияния грунтов, почв и растительности. В "чистом" виде это значение проявляется в немногих регионах, главным образом в горных областях с аридным климатом.

Любая информация о региональных закономерностях строения и развития рельефа может быть полезной для решения задач экологической геологии. Однако значение основных характеристик рельефа – возраста, генезиса и морфологии (морфометрии) – неодинаково. Возраст геоморфологических комплексов может рассматриваться как косвенный фактор устойчивости экосистем к физическому техногенному воздействию. При прочих равных условиях более древние генерации рельефа находятся ближе к равновесному или относительно стабильному состоянию. Их развитие чаще всего имеет направленность в сторону стабилизации, выравнивания, что придает им устойчивость к деструктивным процессам. Антиподами служат генерации молодого или современного рельефа, образование которых далеко до завершения и сопровождается активными процессами денудации или аккумуляции. Следует отметить, что молодые активные типы рельефа часто развиваются путем увеличения площадей за счет более древних. Подобные закономерности иллюстрируются рельефом участка западного побережья Байкала, где междуречные морфосистемы более древние и стабильные, а наступающие на них прибрежные имеют более молодой возраст и низкую устойчивость (рис.1). Приведенный пример показывает как естественное развитие геологической среды приводит к расширению площадей экосистем пониженной устойчивости.

Генетические типы рельефа также можно расположить в виде своеобразного ряда по устойчивости к потенциальной нарушенности. В общем случае этот ряд будет выглядеть следующим образом (от более к менее устойчивым):

- структурные плато и денудационные равнины;
- ледниковые и озерно–морские равнины;
- водноледниковые и аллювиальные равнины;
- эрозионные равнины;
- структурно–эрозионный горный рельеф;
- золотые равнины.

Региональная дифференциация генетических комплексов рельефа лучше всего отражается на синтетических (типологических) геоморфологических картах (рис.). В пределах каждого генетического типа снижению устойчивости способствует нарастание уклонов, расчленения и обнаженности. Оценка генетических категорий рельефа наглядно показывает как трудно разделить влияние собственно рельефа и слагающих его поверхностных отложений на устойчивость экосистем.

Морфология и морфометрия рельефа (качественная и количественная оценка внешних особенностей земной поверхности) непосредственно и наиболее наглядно отражает его экологическое значение. Густота расчленения выступает как показатель сложности структуры экосистем регионального уровня, предрасположенности их к проявлению ряда деструктивных процессов: оползневых, эрозионных, солифлюкционных. На примере Русской равнины (рис. 3) видно, что наименьшей устойчивостью обладают экосистемы Средне-Русской возвышенности, правобережья Волги и Среднего Заволжья, а относи-

тельно устойчивы территории Нижнего Поволжья и Калмыкии. О влиянии морфометрии рельефа на пораженность территории опасными процессами (в данном случае овражной эрозией) можно судить по сравнению рисунков 3 и 4. Во многих случаях величины густоты долинно-балочного и овражного расчленения коррелируются, что вполне естественно. Несоответствие между ними объясняется влиянием на оврагообразование таких факторов как залесенность территорий и их неодинаковое сельскохозяйственное освоение. Комплексная оценка динамики современного рельефа по специализированным картам экзогенных процессов (рис. 5) позволяет уверенно проводить границы экосистем разных степеней устойчивости к физическому техногенному воздействию.

Своеобразие рельефа как экологического фактора заключается в том, что его реакция на физическое воздействие и загрязнение неодинаковая. По способности к самоочищению рельеф можно подразделить на три основные категории:

Области преобладания сноса и денудации (возвышенные междуречья, верхние части склонов, эрозионные типы рельефа). Отличаются активной горизонтальной и ограниченной вертикальной миграцией поверхностного загрязнения, его значительным площадным распространением и рассеиванием. Очищение поверхности в целом значительное, однако не исключено образование ареалов временной повышенной концентрации загрязнения в руслах, тальвегах и у оснований склонов.

Области преобладания аккумуляции (днища котловин, шлейфы и конусы выноса, русла и поймы в низовьях крупных рек). Опасны возникновением локальных, линейных или значительных по площади ареалов повышенного загрязнения. Слабая горизонтальная миграция поверхностного загрязнения при благоприятных условиях может стимулировать загрязнение грунтов и водоносных горизонтов.

Области преобладания транзита (склоны, придолинные зоны, средние звенья гидросети), в пределах которых в условиях активной горизонтальной миграции вещества его баланс может от равновесного периодически переходить в отрицательный или положительный. Это влечет за собой изменение способности территории к самоочищению.

Отмеченная выше неадекватность реакции рельефа на различные виды техногенного воздействия заключается в том, что наиболее устойчивые к деструктивным процессам комплексы обладают повышенной потенциальной опасностью загрязнения. Напротив, наиболее динамичные комплексы относятся к наиболее самоочищаемым. На примере рельефа еще раз убеждаемся в сложности интегральной оценки природного потенциала и в важности оценки устойчивости геологической среды по отношению к определенным видам техногенного воздействия.

Почвы представляют собой буферную зону между внешними оболочками Земли и литосферой. На преобладающей площади суши, за исключением русел рек и выходов на поверхность горных пород, загрязнение попадает в геологическую среду через почвы, которые играют роль своеобразных фильтров. Физическое воздействие на литосферу также часто начинается с эрозии или перемещения почвогрунтов. В названии почвы заключена важная и многоплановая информация экологического значения, а сведения о структуре почвенного покрова дают представление о строении экосистем. В общем случае способность почв накапливать, сохранять или удалять загрязнение зависит от реакции среды (табл. 11) и преобладающего типа водного режима (табл. 12).

Почвы северных регионов (тундровой и таежной зон) характерны низкой гумусностью, слабо развитой структурой, кислой реакцией среды, оглеенностью, торфянистостью и мерзлотностью. Они мало устойчивы к механическому воздействию и закислению. Разложение загрязняющих веществ в этих почвах происходит очень медленно. Подвижность многих соединений, опасная для растений, и переувлажнение могут обеспечивать относительно быстрое удаление загрязняющих веществ при условии значительного стока и

дренажа. При движении к югу перечисленные свойства почв закономерно меняются, и черноземные почвы степной зоны приобретают высокую устойчивость к эрозии и кислотным осадкам, а также способность "переваривать" загрязнение. Однако миграция загрязнений здесь становится ограниченной. Почвы южных областей (каштановые и бурые пустынно-степные) во всех отношениях мало устойчивы, подвержены эрозии, засолению и загрязнению. Устойчивы они лишь к закислению. При движении от западных районов СНГ к центральным качество почв в пределах одного типа снижается. Либо нарастает оглеенность и мерзлотность, либо снижается гумусированность и нарастает засоление. Одновременно снижается отзывчивость почв на удобрения.

Дифференциация условий почвообразования, главным образом климатических и отчасти геоморфологических и мерзлотных, позволяет выделить широтные почвенно-экологические зоны, а в их пределах провинции или региональные категории. Структура почвенного покрова в пределах провинций в свою очередь дифференцируется в зависимости от особенностей рельефа, его абсолютных высот и специфики расчленения. При этом почвы засушливых и континентальных регионов более чувствительны к изменениям рельефа, образуют более контрастные и дробные структуры.

Основные региональные различия интенсивности разложения органического техногенного загрязнения в почвах отражены на рис. 6. Можно видеть, что потенциальная опасность накопления в почвах органических продуктов техногенеза связана с поступлением органики от растительного опада и с интенсивностью его разложения. Первый фактор слабо действует в северных регионах СНГ и ослаблен вдоль его южных рубежей, имея максимальное влияние в подзоне смешанных лесов и в лесостепной зоне. Влияние второго фактора закономерно увеличивается с севера на юг.

Нефтяное загрязнение – одно из важных видов химического воздействия на почвогрунты. Скорости разложения нефтепродуктов в почвах зависят от температуры и влажности. В жарком и влажном климате они в 500 раз выше, чем в холодном. Активность разложения возрастает при переходе от восстановительных условий болот к окислительным в дренированных почвах. Помимо этого кислый класс водной миграции в сочетании с промывным режимом способствует выщелачиванию и удалению нефтепродуктов. Велика роль и поглощательной способности почв. Она выше у глинистых и богатых гумусом почв. Минимальная поглощательная способность наблюдается у песчаных подзолистых почв (1–10 мг/экв. на 100г сухого вещества), а максимальная у черноземов на лессах и у торфяно-болотных почв (до 100 и более мг/экв.). В целом же поглощательная способность загрязненных нефтью почв снижается. Поэтому рекомендуется вносить в загрязненные почвы удобрения для поддержания необходимой активности процесса разложения нефтепродуктов. Масштабы загрязнения почв нефтью и активность процесса их восстановления зависят от состава нефтепродуктов, свойств почв и климатических условий. Сочетание этих факторов весьма неблагоприятно в северных и восточных нефтедобывающих регионах СНГ, где использование загрязненных почв возможно через 15–20 лет. Западные, центральные и южные регионы СНГ в этом отношении более благоприятны.

4.0 Методы и критерии оценки экологического состояния геологической среды

4.1. Аналитические методы

Аналитические методы играют основную роль в оценке состояния компонентов геологической среды, поскольку лишь с их помощью можно представить виды и масштабы загрязнения почв, горных пород и подземных вод. Важность этих методов связана с

тем, что именно загрязнение – наиболее опасный для человека, животных и растений вид техногенного воздействия на природу. Вместе с тем химические анализы почв, грунтов и подземных вод весьма дороги и трудоёмки. Аналитические данные обычно бывают недостаточными, что в свою очередь приводит к использованию косвенных показателей. Так, о загрязнении пород и подземных вод пытаются судить по концентрациям загрязнителей в атмосфере и снеговом покрове, в растительности, почвах и поверхностных водах. Ценность количественных показателей, получаемых при химическом опробовании снижается из-за недостаточно разработанной методики определения ПДК для многих загрязняющих веществ. Экстраполяция "точечных" или локальных измерений на большие площади затрудняется недостатком данных о закономерностях разложения и миграции соединений в литосфере.

Загрязнение почв при учете их буферных свойств служит важным критерием состояния близких к поверхности пород и подземных вод (табл. 11). Многие показатели таблицы являются критическими для человека. Следует отметить, что для растений эти показатели в 2–7 раз ниже. В промышленных районах и крупных городах проблемы загрязнения почв в значительной степени сводятся к накоплению в них тяжелых металлов (табл. 12). Пределы колебаний приведенных в таблице величин связаны с тем, что для песчаных и супесчаных почв эти пределы в несколько раз ниже чем для суглинистых и глинистых. Это обстоятельство имеет особое значение для состояния почвообразующих пород, так как в легких по механическому составу почвогрунтах активная вертикальная миграция загрязнения приводит к его быстрому проникновению на значительные глубины. Отдельного рассмотрения заслуживают почвогрунты городов и промышленных зон, низкая устойчивость которых (почвогрунтов) обусловлена снижением гумусности, потерей структуры, образованием таких новых видов почвогрунтов как урбаноземы (глубоко переработанные), индустриземы (химически преобразованные) и урботехноземы (насыпные).

Методы оценки загрязнения геологической среды в нефтегазоносных районах весьма разнообразны, вследствие значительной номенклатуры показателей, требующих определения. При этом в зависимости от утилизации отходов бурения важность тех или иных показателей меняется (2). При оценке сбрасываемых на поверхность загрязненных вод важны такие их отрицательные свойства как содержание нефтепродуктов, токсичных солевых компонентов, тяжелых металлов, а также реакция среды. Используемые при этом методы: отгонка нефтепродуктов (точность – 5 мг/л), осаждение хлоридов (точность – 2–4 мг/л), титрование сильной кислотой для определения щелочности. При использовании сточных вод для заводнения пластов важным является оценка содержания сероводорода и железа. Для определения содержания последнего применяются атомно-абсорбционный и калориметрический методы. Опасность для водных систем представляет присутствие в сточных водах, кроме нефтепродуктов, взвешенных веществ и коллоидных частиц минеральной и органической природы, а также растворенных солей и эвтрофирующих агентов – фосфора, серы, азота. В большинстве случаев сточные воды нефтегазовых месторождений не удовлетворяют требованиям утилизации и требуют очистки. Основные методы, используемые при этом:

- гравитационный для взвесей;
- коагуляционный для коллоидов;
- окисление, абсорбция и аэрирование для растворимых органических веществ и газов;
- ионный обмен и мембранный метод для растворимых минеральных солей.

Общее влияние загрязнения подземных вод на состояние геологической среды оценивается по совокупному учету качества воды (концентрации загрязнителей относительно ПДК) и площадей загрязнения (табл. 13).

К аналитическим методам оценки нарушенности геологической среды относятся подсчеты числа и объемов техногенных форм рельефа. в том числе рассмотренные выше определения величин коэффициента антропогенного морфогенеза и геотехнического коэффициента. К этой категории также относятся многочисленные подсчеты величин смыва почв и их загрязнения (табл. 14 и 15). Известны количественные методы расчета уплотнения грунтов и техногенно обусловленных опусканий земной коры на площадях добычи нефти и газа и в границах крупных городов (до 2.5 м. на Апшеронском полуострове и до 10 см. на территории Москвы. Оценка нарушения режима подземных вод базируется на определении изменений их уровней и дебитов в скважинах, а в шахтах путем измерения объемов откачек и прорывов воды из вскрытых горизонтов.

4.2. Дистанционные методы.

Оценивая дистанционные методы анализа состояния геологической среды, следует иметь в виду два обстоятельства. Во-первых, информация о загрязнении и нарушенности глубоко залегающих горных пород и подземных вод на аэрокосмических снимках практически отсутствует. Весьма эффективны результаты дешифрирования только почв и особенно рельефа. Во-вторых, материалы съемки дают ценные сведения главным образом о нарушенности и гораздо менее информативны в отношении загрязнения поверхности литосферы.

Рассматривая использование аэрокосмических снимков в целях изучения рельефа, прежде всего следует указать на их высокую информативность в отношении таких параметров как густота расчленения и длина склонов, поскольку эти параметры рассчитываются путем непосредственных измерений. По сравнению с картами информативность снимков в отношении густоты расчленения повышается по мере уменьшения размеров дешифрируемых эрозионных форм, так как формы первого порядка на картах либо отсутствуют, либо отражаются с разрежением. Снимки сильно упрощают проведение границ между категориями рельефа с разными величинами расчленения, облегчают выбор масштаба морфометрических карт. Снимки незаменимы для анализа морфометрии элементов рельефа или микрорельефа склонов, который практически неразличим на картах. Такие разновидности микрорельефа как бороздчатость, бугристость, ступенчатость, скалистость во-многом определяют характер склоновых процессов.

Для количественного анализа углов наклона и глубины расчленения необходима стереофотограмметрическая обработка снимков. Однако предварительная качественная оценка этих параметров возможна и путем визуального дешифрирования. Изучение стереопар снимков под стереоскопом или интерпретоскопом дает весьма наглядное представление о профилях склонов и изменениях их строения от междуречий к долинам. Эти исследования особенно эффективны на площадях обнаженных склонов и достаточно расчлененного рельефа.

Также как и прочие виды тематического дешифрирования анализ морфометрии рельефа требует выбора снимков определенных параметров (табл. 16). Из таблицы можно видеть, что инфракрасный диапазон снимков наиболее эффективен при распознавании эрозионных форм по увлажнению и непригоден для дешифрирования малых форм и рельефа мелководий. Такие индикаторы рельефа как растительность хорошо "работают" в красном диапазоне, а объемность форм в условиях неравномерного освещения хорошо читается в сине-зеленой зоне спектра.

Съемки равнинного рельефа требуют более низкого положения Солнца ($15-30^{\circ}$), а съемки горного рельефа более удачны при углах освещения $40-50^{\circ}$. Морфометрические построения нежелательны как по снимкам малой контрастности, так и по чрезмерно контрастным изображениям. Выбор сезонности снимков особенно важен в равнинных зале-сенных районах, где растительность и увлажнение играют роль индикаторов рельефа. В итоге можно отметить, что при анализе морфометрии по прямым признакам дешифриро-вания рельефа важны масштабы и углы освещения, а при использовании косвенных при-знаков – сезонность и диапазоны съемки.

Аэрокосмические снимки дают разнообразную и ценную информацию, касаю-щуюся прямых и косвенных индикаторов современной динамики рельефа. В качестве косвенных индикаторов выступают основные морфологические и морфометрические ха-рактеристики рельефа. Например, о распространении обвально-осыпных явлений можно судить по крутизне и скалистости склонов, по резкости гребней хребтов, глубине расчле-нения и обнаженности рельефа. Участки подмыва крутых склонов и выхода у подножий грунтовых вод, а также ступенчатость склонов – вероятные признаки оползневых процес-сов. Строение русел и рельефа пойм, сопряжение склонов и днищ долин указывают на направленность эрозионно-аккумулятивных процессов в долинах. Более важное значение имеют прямые индикаторы – формы рельефа, созданные теми или иными процессами. При этом признаки дешифрирования форм-индикаторов меняются в зависимости от ландшафтных особенностей района, условий съемки и параметров снимков (табл. 17). Особого рассмотрения при оценке рельефа заслуживает информация снимков, указываю-щая на зарождение или начальные стадии развития экзогенных процессов, на потенци-альную опасность разрушительных явлений. Подобные формы-индикаторы обычно от-сутствуют на топографических картах и распознаются лишь при дешифрировании доста-точно крупномасштабных изображений. В подобных случаях используются косвенные признаки дешифрирования – изменения увлажнения или почвенно-растительного покрова (табл. 18).

Разнообразие, комплексность и объективность аэрокосмической информации по-зволяет использовать её при решении различных задач экологии геологической среды. К ним относятся анализ границ экосистем и структуры их морфолитогенной основы, оценка активности внутренних и внешних связей в экосистемах, а также условий миграции об-ломочного материала и растворенных соединений. Дистанционные методы весьма эффек-тивны при изучении техногенного влияния на рельеф, сочетаний естественных и антропо-генных форм. Важно отметить, что информация, касающаяся изменений поверхности ли-тосферы, в ряде случаев позволяет судить о состоянии её более глубоких частей.

Оценка почв с использованием аэрокосмических снимков в методическом отноше-нии имеет два аспекта. В районах со сплошным растительным покровом невидимые на снимках почвы распознаются по косвенным признакам-индикаторам. Подобный метод основывается на взаимных связях почв с рельефом, растительностью, гидросетью и усло-виями увлажнения. На обнаженных площадях, в том числе на пахотных угодьях, исполь-зуются прямые признаки дешифрирования: тон или цвет и структура почв. Однако и в этих случаях индикация почв не теряет своего значения, особенно при работе в мелких масштабах (7). При решении задач, связанных с картографированием почв, снимки дают ценную информацию о границах типов почв и структуре почвенного покрова. Имея дан-ные по индикационным связям почв с другими компонентами природной среды на эта-лонных участках, возможно экстраполировать эти данные на значительные территории в пределах определенных типов местности. Как видно из сравнения рис. 7 и 8, почвенное картографирование по аэроснимкам приводит к недогрузке карт, а материалы космиче-ских съемок обеспечивают картам высокую детальность.

Помимо типологического анализа почвенного покрова дистанционные методы эффективны при изучении и оценке отдельных свойств или параметров почв, что важно для оценки их состояния как поверхностной части литосферы, регулирующей влияние на неё внешних оболочек Земли.

Влажность почв определяет тон и температуру их поверхности. Поэтому эта характеристика фиксируется на снимках видимого и теплового диапазонов. Оптические свойства почв коррелируются с так называемой рыхлосвязанной влагой почв, причем эти связи наиболее тесные для песков в интервале влажности 1–5%, для супесей 2–12% и для глин от 4 до 22% (Рис. 9). Изучение стабильных границ увлажнения почв позволяет определять площади гидроморфных почв, заболачивания и подтопления, а оперативные наблюдения за влажностью в весенний период помогают оценке запасов воды в почвах в интересах сельского хозяйства.

Гумусированность почв оказывает большое влияние на их тон, поскольку гуминовые кислоты имеют очень низкие значения коэффициентов спектральной яркости (0.02 – 0.03). Тон почвы меняется от почти белого у сероземов и солончаков до почти черного у черноземов и луговых почв. На снимках связь оптических характеристик почв и содержания в них гумуса прослеживается в интервале 0–7% гумуса и определяется с точностью до 10%. Непременным условием должна быть полная обнаженность почвы или проективное покрытие растительности не более 10–15%. Можно видеть, что для наиболее плодородных черноземных почв с содержанием гумуса 8–12% использование снимков неэффективно. По мере увеличения длины волны диапазона съемки спектральные коэффициенты яркости почв возрастают примерно в 3 раза, от 0.4 мкм. до 0.8 мкм. Например, дерновые почвы в красной зоне могут выглядеть на снимке также как сероземы в голубой зоне. Поэтому нельзя изучать характеристики почв, используя одновременно снимки разных диапазонов.

Засоление почв различно влияет на их оптические свойства. В сухом состоянии избыточно засоленные почвы светлее незасоленных, а во влажном темнее, так как соль очень гигроскопична и быстро поглощает влагу. Оценка засоления затрудняется влиянием увлажнения, гумуса и растительности. Оптимальные условия для изучения этой характеристики – обнаженность, сухость и значительная гумусированность почв. Подтверждением этого обстоятельства служит то, что в малогумусных почвах (2–3%) засоление фиксируется при величинах 1–2%, а в среднегумусных (более 4%) уже при величинах 0.5 – 1.0% (3).

Эродированность почв приводит к сокращению или полному уничтожению наиболее плодородного гумусового горизонта, имеющего низкие значения коэффициентов спектральной яркости. С этим связано осветление эродированных и дефлированных почв на снимках. Осветленные ареалы почв обычно видны среди пахотных угодий на вершинах холмов и вблизи бровок коренных склонов. Слабая эродированность влияет лишь на тон изображения. При более активной эрозии появление борозд, промоин и мелких оврагов приводит к образованию тонкополосчатой, струйчатой структуры на месте однородной.

4.3. Картографические методы.

Организация и технология при картографическом обеспечении эколого-геологических исследований зависят от конкретных решаемых задач, детальности работ, изученности территории, экономических возможностей и ряда других условий. Однако в общем случае можно выделить следующие этапы работ этого направления.

В первую очередь целесообразно провести детальный и всесторонний анализ экологической информативности тематических природных и социально-экономических карт различного масштаба, имеющихся на исследуемую территорию. Это касается карт геологического, геоморфологического и почвенного профиля, а также топографических основ. Информация карт позволит представить структуру экосистем данной территории и оценить характеристики компонентов экосистем, которые определяют естественное состояние геологической среды и её потенциальную реакцию на техногенные воздействия. Сведения о составе поверхностных отложений важны для оценки вертикальной и горизонтальной миграции поверхностного загрязнения, а также для суждения об устойчивости литогенной основы к эрозии и механическим нагрузкам. Такое же значение имеют карты типов мерзлоты. Особую ценность представляют инженерно-геологические карты, несущие многоплановую информацию о строении геологической среды, и гидрогеологические карты, позволяющие судить о защищенности водоносных горизонтов (рис.10). Аналогичным образом можно использовать геоморфологические и почвенные карты. Априорную информацию о возможном загрязнении и нарушении геологической среды несут карты промышленности, транспорта и земельных угодий.

Интерпретация базовых тематических карт должна послужить основой для составления серии специализированных картографических документов, отражающих различные стороны природного потенциала территории. Примерный перечень подобных карт выглядит следующим образом:

- типы инфильтрационных сред;
- защищенность водоносных горизонтов;
- инженерно-геологические процессы;
- типология и кинематика разломов;
- типы и ареалы техногенного воздействия;
- геохимия ландшафтов.

Наиболее сложный и ответственный этап – составление собственно эколого-геологических карт. В зависимости от поставленных задач эти карты могут быть:

- параметрическими, отражающими закономерности распределения какого-либо параметра экологического состояния геологической среды. Например, содержания свинца в почве или нефтепродуктов в подземных водах;
- компонентными дающими комплексную информацию о состоянии рельефа, почв, массивов горных пород или подземных вод;
- комплексными аналитическими, содержащими сведения о многочисленных видах техногенного воздействия и их масштабах;
- комплексными типологическими, на которых дается ранжирование структурных или стратиграфо-генетических комплексов по напряженности экологической обстановки.

Эколого-геологическое картографирование требует сбора и систематизации большого материала о загрязнении и нарушении геологической среды. Принципиально важным следует считать ранжирование критериев экологического состояния и системный подход при районировании территорий по экологической опасности.

В заключение подчеркнем, что раздельное рассмотрение основных методов решения задач экологической геологии следует считать условным. На практике эти методы либо образуют звенья единой технологической цепи, либо используются одновременно, дополняя друг друга.

5.0. Экологическая геология и комплексные ресурсно-экологические проблемы.

Между проблемами экологической геологии и смежными с ними комплексными проблемами изучения, оценки и развития территорий существуют сложные и многосторонние связи. Значение наиболее важных проблем для решения задач экологической геологии можно кратко сформулировать следующим образом.

1. Региональные системы природопользования, их технология, развитие и экологические последствия, определяют всю совокупность техногенных воздействий на природную среду, отражают взаимодействие человека и природы. Анализ проблем природопользования – ключ к объективной оценке состояния геологической среды как основы экосистем.

2. Разработка стратегии устойчивого развития предусматривает обобщение обширного материала природно-экологического и социально-экономического содержания. Это стимулирует разноплановые исследования в рамках аспектов экологической геологии.

3. Реализация программ комплексного экологического мониторинга на государственном и региональном уровне требует получения оперативной информации о состоянии геологической среды, включения этой информации в базу данных информационно-аналитических центров, контролирующей работу систем мониторинга.

4. Разработка и внедрение программ природоохранных мероприятий базируется в том числе и на информации о состоянии геологической среды, причинах и опасности эколого-геологических ситуаций. Планы работ по рекультивации сильно нарушенных природных комплексов базируются на данных о типах и масштабах техногенного воздействия на геологическую среду и о последствиях этого воздействия.

Раскрыв значение перечисленных проблем для экологической геологии, рассмотрим обратные связи, а именно важность оценки состояния геологической среды для решения актуальных комплексных проблем настоящего времени.

Исследование систем природопользования включает следующие аспекты (9):

- анализ предпосылок их появления и развития;
- изучение технологических и организационных особенностей систем;
- оценка экологических последствий;
- выводы и рекомендации по оптимизации систем природопользования.

Результаты исследований в области экологической геологии имеют значение для всех указанных аспектов. Природно-техногенные особенности геологической среды и её состояние могут рассматриваться как важные предпосылки природопользования. Для использования ресурсов недр важно состояние месторождений и подземных вод, для землепользования необходимы сведения о состоянии рельефа и почв. В целях транспортного и строительного освоения территорий используется информация о рельефе, грунтах и инженерно-геологических процессах. Реализация систем природопользования в последнее время всё больше зависит от экологической обстановки, в том числе от состояния геологической среды. В значительной мере от этого зависят ресурсосберегающие технологии, почвозащитные севообороты, безотходное производство. Наконец, анализ экологических последствий систем природопользования не в последнюю очередь является задачей экологической геологии. Оценка состояния геологической среды лежит в основе разработки систем защиты почв, поверхностных и подземных вод. Можно сказать, что чем менее совершенны системы природопользования и более опасны их экологические последствия, тем теснее зависимость природопользования от достижений экологии в целом и экологической геологии, в частности.

Стратегия устойчивого развития, её программы государственного и регионального уровней, базируются на критериях или показателях, характеризующих качество жизни,

уровень экономического развития, экологическое благополучие. Отдельная группа подобных критериев касается состояния геологической среды. К ним относятся показатели нарушенности и загрязнения почв, рельефа, горных пород и подземных вод. Роль этих показателей особенно велика для селитебного, промышленного, транспортного и сельскохозяйственного освоения. Региональная специфика задач экологической геологии предопределяет их важность для реализации программ устойчивого развития. С этой точки зрения большую роль должны играть эколого–геологические карты, отражающие дифференциацию территорий по состоянию геологической среды и её устойчивости к техногенезу.

Постановка задач и разработка программ экологического мониторинга в любом случае начинаются с определения объектов мониторинга и выявления экологически значимых природных факторов, с которыми связаны неблагоприятные или опасные явления (табл. 19). Это позволяет выделить приоритетные объекты, которые целесообразно включить в систему мониторинга. Как можно видеть на примере северных районов Западной Сибири, среди значимых факторов главную роль играют геологические, определяющие состояние рельефа и верхних горизонтов литосферы. Информация по источникам, ареалам и интенсивности техногенного воздействия на геологическую среду (табл. 20 и 21) дают возможность классифицировать объекты мониторинга по их типам, категориям опасности и распространению. Это, в свою очередь, служит основой для проектирования сети пунктов мониторинга, их ранжирования по объектной принадлежности, целевому назначению, режиму наблюдения и техническому обеспечению. Целесообразным можно считать составление кадастров объектов и пунктов мониторинга, а также их паспортизация.

Литература

1. Айбулатов Н.А., Артюхин Ю.В. Геоэкология шельфа и берегов Мирового океана. СПб., Гидрометеиздат, 1993
2. Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. М.: Недра, 1997
3. Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984
4. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. М.: Колос, 1996
5. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. М.: Изд. МГУ, 1995
6. Реймерс Н.Ф. Надежды на выживание человечества. Концептуальная экология. М.: 1992
7. Сладкопевцев С.А. Основы экологии. М.: Изд. МИИГАиК, 1994
8. Сладкопевцев С.А. Геоэкологическая картография. М.: Изд. МНЭПУ, 1996
9. Сладкопевцев С.А. Системы природопользования. М.: Изд. МНЭПУ, 1998
10. Спиридонов А.И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1985
11. Теория и методология экологической геологии. М.: Изд. МГУ, 199