* 1. ***Последствия техногенного преобразования литосферы***

**Основные пути рационального использования и охраны недр**

Верхняя часть литосферы подвергается интенсивному техно­генному воздействию в результате хозяйственной деятельности человека, в том числе при проведении геологоразведочных ра­бот и разработке месторождений полезных ископаемых. Возни­кающие в связи с этим негативные изменения нередко приводят к непрерывной ее перестройке и проявлению опасных и необра­тимых в экологическом отношении процессов и явлений. Изме­нения, происходящие в верхней части литосферы, оказывают существенное влияние на экологическую обстановку в конкрет­ных районах, так как через ее верхние слои происходит обмен веществ и энергии с атмосферой и гидросферой, что в итоге при­водит к заметному воздействию на биосферу в целом.

Верхние слои литосферы в пределах территории Беларуси испытывают интенсивное воздействие в результате проведения инженерно-геологических исследований и геологоразведочных работ на различные виды полезных ископаемых. Необходимо отметить, что только с начала 50-х годов XX в. пробурено около 1400 поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин на нефть (глубиной до 2,5—5,2 км), более 900 скважин на камен­ную и калийную соли (глубиной 600—1500 м), более 1000 скважин особо охраняемых геологических объектов, имеющих особую научную, историческую, культурную, эстетическую и рекреационную ценность.

Кодекс Республики Беларусь о недрах (1997) определяет основные требования по рациональному использованию и охране недр, среди них:

* соблюдение установленного законодательством страны порядка предоставления недр в пользование и недопущение самовольного пользования недрами;
* полное и комплексное геологическое изучение недр, обеспечивающее достоверную оценку запасов полезных ископаемых;
* недопущение порчи разрабатываемых и близлежащих месторождений полезных ископаемых в результате пользования недрами, а также запасов этих ископаемых, консервируемых в недрах;
* обеспечение наиболее полного извлечения из запасов ос­новных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов;
* рациональное использование вскрышных пород;
* охрана месторождений полезных ископаемых от затопления, обводнения, пожаров и других бедствий, снижающих качество и промышленную ценность полезных ископаемых.

Охрана недр и рациональное использование минеральных ресурсов непосредственно связаны с перспективами развития добывающих отраслей, геологоразведочных работ, проведением природоохранных мероприятий в целом по стране. Производственные программы (бизнес-планы) предприятий добывающей промышленности и геологоразведочных работ, с одной стороны, и планы охраны окружающей среды, с другой, должны разраба­тываться в едином блоке. Однако добыче и потреблению минеральных ресурсов предшествуют геологоразведочные работы. Именно на стадии поиска и разведки полезных ископаемых выявляются наиболее рациональные пути их использования.

В Программе ускорения геологоразведочных работ по разви­тию минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 1996—2000 гг. в качестве приоритетных были определены сле­дующие направления:

* поиск и разведка месторождений нефти и газа;
* поиск и подготовка к промышленному освоению бурых уг­лей;
* оценка перспектив алмазоносности;
* разведка запасов железных руд;
* подготовка к промышленному освоению минерализован­ных рассолов на одной из перспективных площадей;
* поиск и разведка новых месторождений полезных ископаемых.

Предусматривались задания по приросту запасов минерального сырья, другим итоговым показателям геологоразведочного производства, в том числе задания по техническому перевооружению.

Перспективные планы и прогнозы включают разработку эколого-безопасных и экономически эффективных технологий добычи, переработки и использования минерального сырья, повышения коэффициента извлечения полезных ископаемых на эксплуатируемых месторождениях. Особенно актуально это в отношении добычи нефти, извлечение которой в условиях Беларуси не превышает 40 %, в то время как новейшие технологии позволяют повысить этот показатель до 60 %. Внедрение прогрессивных технологий при разработке калийных солей обеспечит более рациональное использование запасов Старобинского месторождения, сокращение отходов калийного производства до 10 % и уменьшение оседания земной поверхности на 15—20 %. Повышение эффективности использования минерально-сырьевых ресурсов для производства строительных материалов связа­но с сокращением потерь сырья в процессе добычи и производ­ства, использованием низкосортного сырья, вторичных ресурсов. Развитие научно-технического прогресса обеспечивает вовлечение в эксплуатацию месторождений полезных ископае­мых с более низким содержанием полезных веществ, более высоким содержанием вредных примесей и менее благоприятными горно-геологическими условиями залегания и в итоге — расширение минерально-сырьевой базы.

При этом отчуждаются сельскохозяйственные и лесные угодья, происходит изменение теплового баланса недр, загрязнение окружающей среды нефтепродуктами, буровым раствором, кислотами и другими токсичными компонентами, используемыми при проводке скважин. Проведение сейсмических исследований с применением буровзрывных работ, плотность которых особенно высока в пределах Припятского прогиба, вызывает наруше­ние физико-химических свойств почвы и верхних слоев литосферы, загрязнение грунтовых вод, техногенные изменения ми­нерального состава отложений.

Большое негативное воздействие на характер изменения литосферы оказывает добыча полезных ископаемых. В результате деятельности горнодобывающих предприятий происходит пере­мещение больших объемов пород, изменение режимов поверх­ностных, грунтовых и подземных вод в пределах обширных тер­риторий, нарушение структуры и продуктивности почв, активи­зация химических и геохимических процессов.

Особенностью добычи полезных ископаемых является их временный характер: при истощении запасов полезного ископа­емого горные работы на месторождении прекращаются. В связи с этим разработку месторождений целесообразно вести так, чтобы формируемые при этом новые ландшафты, выемки, отвалы, инженерные сооружения могли в последующем с максимальным эффектом использоваться для других народнохозяйственных целей. Это обеспечит снижение негативного воздействия горных работ на окружающую среду и уменьшит затраты на ее восстановление.

Авария на Чернобыльской АЭС привела к радиоактивному загрязнению значительной части минерально-сырьевых ресурсов страны, оказавшихся в зоне ее негативного воздействия. По данным исследований, проведенных Белорусским научно-исследовательским геологоразведочным институтом, в зоне радиоактивного загрязнения оказались 132 месторождения минера­льно-сырьевых ресурсов, в том числе 59 разрабатываемых. Это, главным образом, месторождения глины, песков и песчано-гравийных смесей, цементного и известкового сырья, строительного и облицовочного камня. В зону загрязнения попали также Припятский нефтегазоносный бассейн и Житковичское место-Рождение бурого угля и горючих сланцев.

Охрана недр рассматривается как система мероприятий, обеспечивающая сохранение существующего разнообразия и рациональное использование геологической среды. *Шимова, О.С. [и др.]. Основы экологии и экономики природопользования: учебник / О.С. Шимова, Н.К. Соколовский. – Минск: БГЭУ, 2002. (стр. 140-143)*

Истощаемые и возобновляемые энергетические

ресурсы.

Истощаемые ресурсы - это запасы топлива в недрах земли.

Мировой запас угля оценивается в 9-11 трлн.т. (условного топлива) при добыче более 4,2 млрд./год. Наибольшие разведанные месторождения уже находятся на территории США, СНГ, ФРГ, Австралии. Общегеологические запасы угля на территории СНГ составляют 6 трлн.т. /50% мировых/, в т.ч. каменные угли 4,7 и бурые угли – 2,1 трлн.т. Ежегодная добыча угля – более 700 млн.т., из них 40% открытым способом.

Мировой запас нефти оценивается в 840 млрд.т. условного топлива, из них 10% - достоверные и 90% - вероятные запасы. Основной поставщик нефти на мировой рынок – страны Ближнего и Среднего Востока. Они располагают 66% мировых запасов нефти, Северная Америка – 4%, Россия – 8-10%. Отсутствуют месторождения нефти в Японии, ФРГ, Франции и многих других развитых странах.

Запасы природного газа оцениваются в 300-500 трлн. м3. Потребление энергоресурсов в мире непрерывно повышается. В расчете на 1 человека потребление энергии за период 1990-2000 г.г. увеличилось в 5 раз. Однако это потребление энергоресурсов осуществляется крайне неравномерно. Примерно 70% мировой энергии потребляют промышленно развитые страны, в которых проживает около 30% населения Земли. В среднем на 1 человека приходится в Японии 1,5-5 т., в США – около 7т., а в развивающихся странах 0,15-0,3т. в нефтяном эквиваленте.

Человечество ещё, по крайней мере, 50 и более лет сможет обеспечить значительную часть своих потребностей в различных видах энергии за счет органического топлива. Ограничить чрезмерное их потребление могут два фактора:

* очевидная исчерпаемость запасов топлива;
* осознание неизбежности глобальной катастрофы из-за увеличения вредных выбросов в атмосферу.

**К ресурсам возобновляемой энергии относятся**:

* сток рек, волны, приливы и отливы, ветер как источники механической энергии;
* градиент температур воды морей и океанов, воздуха, недр земли /вулканов/ как источники тепловой энергии;
* солнечное излучение как источник лучистой энергии;
* растения и торф как источник химической энергии.

**Топливо** - вещество, выделяющее при определенных экономически целесообразных условиях большое количество тепловой энергии, которая в дальнейшем используется непосредственно или преобразуется в другие виды энергии.

Топливо бывает:

* горючее- выделяет тепло при окислении, окислитель- обычно О2, N2, азотистая кислота, перекись водорода и пр.
* расщепляющееся или ядерное топливо (основа ядерной энергетики (уран 235).

Горючее делят на **органическое** и **неорганическое**. Органическое горючее- углерод и углеводород. Горючее бывает **природное** (добытое в недрах земли) и **искусственное** (переработанное природное). Искусственное в свою очередь делится на **композиционное** (полученное механической переработкой естественного, бывает в виде гранул, эмульсий, брикетов) и **синтетическое** (произведенное путем термохимической переработки естественного - бензин, керосин, дизельное топливо, угольный газ и т.д.).

Более 90% потребляемой энергии образуется при сжигании естественного органического топлива 3 видов:

* твердое топливо (уголь, торф, сланцы).
* жидкое топливо (нефть и газоконденсаты).
* газообразное топливо (природный газ, СН4, попутный газ нефти).

Органическое топливо состоит из следующих составляющих: горючая составляющая (органические ингредиенты - С, Н, О, N, S) и негорючая составляющая (состоит из влаги, минеральной части).

Общепринятое слово "горючее" - это топливо, предназначенное для сжигания (окисления). Обычно слово "топливо" и "горючее" воспринимаются как адекватные, т.к. чаще всего "топливо" и бывает представлено "горючим". Однако следует знать и другие разновидности топлива. Так, металлы алюминий, магний, железо и др. при окислении так же могут выделять много теплоты. Окислителем вообще могут быть кислород воздуха, чистый кислород и его модификации (атомарный, озон), азотная кислота, перекись водорода и т.д.

Сейчас в основном используется ископаемое органическое горючее с окислителем - кислородом воздуха.

Различают три стадии преобразования исходного органического материала:

* торфяная стадия - распад высокомолекулярных веществ, синтез новых; при частичном доступе кислорода образуется торф и уголь, без доступа кислорода - нефть и газы;
* буроугольная стадия - при повышенной температуре и давлении идет полимеризация веществ, обогащение углеродом;
* каменноугольная стадия - дальнейшая углефикация.

Жидкая смесь углеводородов мигрировала сквозь пористые породы, при этом образовались месторождения нефти, газа; высокое содержание минеральных примесей приводило к возникновению горючих сланцев.

Твердое и жидкое органическое топливо характеризуется сложностью химического состава, поэтому обычно дается только процентное содержание (элементный или элементарный процентный состав топлива) химических элементов, без указания структур соединений.

Основной элемент, выделяющий теплоту при окислении - это углерод С, менее - водород Н. Особое внимание следует уделять сере S. Она заключена как в горючей, так и в минеральной части топлива. При сжигании сера влияет на коррозионную активность продуктов сгорания, поэтому это - нежелательный элемент. Влага W в продуктах сгорания представлена внешней ("мокрое" топливо), кристаллогидратной, образованной при окислении водорода. Минеральная часть А - это различные окислы, соли и другие соединения, образующие при сжигании золу.

Состав твердого и жидкого топлива выражается в % по массе, при этом за 100% могут быть приняты:

1. рабочая масса - используемая непосредственно для сжигания;
2. аналитическая масса - подготовленная к анализу;
3. сухая масса - без влаги;
4. сухая беззольная масса;
5. органическая масса.

Поэтому, например:



Состав топлива необходим для определения важнейшей характеристики топлива --теплоты сгорания топлива (теплотворная способность топлива).

**Теплота сгорания топлива** -- это количество тепловой энергии, которая может выделиться в ходе химических реакций окисления горючих компонентов топлива с газообразным кислородом, измеряется в кДж/кг для твердого и жидкого, в кДж/м3 - для газообразного топлива.

При охлаждении продуктов сгорания влага может конденсироваться, выделяя теплоту парообразования. Поэтому различают высшую **** - без учета конденсации влаги, и низшую  - теплоту сгорания, при этом:



Средние теплоты сгорания, кДж/кг(кДж/м3) 

мазут ……….………..40200

соляр…………………42000

торф………..………….8120

бурый уголь….……….7900

антрацит……………..20900

природный газ……….35800

Для сравнения различных видов топлива их приводят к единому эквиваленту - **условному топливу**, имеющему теплоту сгорания 20308 кДж/кг (7000 ккал/кг). Для пересчета реального топлива в условное используется тепловой эквивалент:

 ,

* для угля в среднем - 0,718;
* газа природного - 1,24;
* нефти - 1,43;
* мазут - 1,3;
* торфа - 0,4;
* дров - 0,25.

Твердое органическое топливо по степени углефикации делится на древесину, торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит.

Важной характеристикой, влияющей на процесс горения твердого топлива, является выход летучих веществ (убыль массы топлива при нагреве его без кислорода при 850оС в течение 7 мин). По этому признаку угли делят на бурые (выход летучих более 40%), каменные (10 - 40%), антрациты (менее 10%). Воспламеняемость антрацитов поэтому хуже, но  выше. Это надо учитывать при организации процесса сжигания.

**Зола** - порошкообразный горючий остаток, образующийся при полном окислении горючих элементов, термического разложения и обжига минеральных примесей.

**Шлак** - спекшаяся зола.

Эти продукты сгорания оказывают большое влияние на КПД топочного оборудования (загрязнения, зашлаковка), надежность работы (разрушение обмуровок, пережог труб).

Нефть в сыром виде редко используется как топливо, чаще всего для этой цели идут нефтепродукты. В зависимости от температуры перегонки нефтепродукты делят на фракции: бензиновые (200-225оС); керосиновые (140-300оС); дизельные (190-350оС); соляровые (300-400оС); мазутные (более 350оС). В котлах котельных и электростанций обычно сжигается мазут, в бытовых отопительных установках - печное бытовое (смесь средних фракций).

К природным газам относится газ, добываемый из чисто газовых месторождений, газ конденсатных месторождений, шахтный метан и др. Основной компонент природного газа - метан. В энергетике используется газ, концентрация СН4 в котором выше 30% (за пределами взрывоопасности).

Искусственные горючие газы - результат технологических процессов переработки нефти и других горючих ископаемых (нефтезаводские газы, коксовый и доменный газы, сжиженные газы, газы подземной газификации угля и др.).

Из композиционных топлив, как наиболее употребительное, можно назвать брикеты - механическая смесь угольной или торфяной мелочи со связующими веществами (битум и др.), спрессованная под давлением до 100 МПа в специальных прессах.

Синтетическое топливо (полукокс, кокс, угольные смолы) в Беларуси не используется.

Расщепляющееся топливо - вещество, способное выделять большое количество энергии за счет торможения продуктов деления тяжелых ядер (урана, плутония). В качестве ядерного топлива используется природный изотоп урана , доля которых во всех запасах урана менее 1%.

Природное топливо располагается в земной коре. Запасы угля в мире оцениваются в 14 триллионов тон (Азия - 63%, Америка - 27%). Основные запасы угля - Россия, США, Китай. Все количество угля можно представить в виде куба со стороны 21 км; из него ежегодно "выедается" человеком на свои разносторонние нужды "кубик" с ребром 1,8 км. Очевидно, при таком темпе потребления этого угля хватит на срок порядка 1000 лет. Поэтому, в общем разговоры о топливных и энергетических кризисах скорее имеют политическую, чем ресурсную подоплеку. Другое дело - уголь тяжелое, неудобное топливо, имеющее много минеральных примесей, что усложняет его использование, но главное - запасы его распределения крайне неравномерно.

Общеизвестны страны, обладающие самыми богатыми месторождениями нефти, при этом разведанные запасы нефти все время увеличиваются; прирост идет в основном за счет морских шельфов. Если некоторые страны берегут свои запасы в земле (США), другие (Россия) интенсивно их "выкачивают". Общие запасы нефти в мире ниже, чем угля, но более удобное для использования топливо, особенно в переработанном виде. После подъема через скважину нефть подается потребителям в основном нефтепроводами, железной дорогой, танкерами, расстояние может достигать нескольких тысяч километров. Поэтому в себестоимости нефти существенную долю имеет транспортная составляющая. Энергосбережение при добычи и транспортировке жидкого топлива заключается в уменьшении расхода электроэнергии на прокачку (удаление вязких парафинистых компонентов, нагрев нефти, применение экономичных насосов, увеличение диаметров нефтепроводов).

Природный газ располагается в залежах, представляющих собой купола из водонепроницаемого слоя (типа глины), под которым в пористой среде (передатчик) под давлением находится газ, состоящая в основном из СН4. На выходе из скважины газ очищается от песчаной взвеси, капель конденсата и других включений и подается на магистральный газопровод диаметром 0,5…1,5 м длиной несколько тысяч километров. Давление газа в газопроводе поддерживается на уровне 5 МПа при помощи компенсаторов, установленных через каждые 100…150 км. Компрессоры вращаются газовыми турбинами, потребляющими газ, общий расход газа составляет 10…12% от всего прокачиваемого. Поэтому транспорт газообразного топлива весьма энергозатратен. Транспортные расходы намного ниже для сжигания газа, но и доля его потребления мала. Энергосбережение при добычи и транспорте газообразного топлива заключается в использование передовых технологий бурения, очистки, распределения, повышения экономичности газотурбинных установок для привода компрессоров магистралей.

Для всех видов топлива коэффициент извлечения из недр составляет 0,3…0,6, а для его увеличения требуется существенные затраты.

Нетрадиционные и возобновляемые

источники энергии

**Возобновляемые** - это ресурсы, энергия которых непрерывно восстанавливается природой: энергия рек, морей, океанов, солнца, ветра, земных недр и т.п.

**Невозобновляемые** - это ресурсы, накопленные в природе ранее, в далекие геологические эпохи, и в новых геологических условиях практически не восполняемые (органические топлива: уголь, нефть, газ). К невозобновляемым энергоресурсам относится также ядерное топливо.

Энергетика на ископаемом топливе (тепловые, конденсационные электрические станции, котельные) стала традиционной. Однако оценка запасов органического топлива на планете с учетом технических возможностей их добычи, темпов расходования в связи с ростом энергопотребления показывает ограниченность запасов. Особенно это касается нефти, газа, высококачественного угля, представляющих собой ценное химическое сырье, которое сжигать в качестве топлива нерационально и расточительно. Отрицательное влияние оказывает сжигание больших количеств топлива в традиционных энергетических установках на окружающую среду: загрязнение, изменение газового состава атмосферы, тепловое загрязнение водоемов, повышение радиоактивности в зонах ТЭС, общее изменение теплового баланса планеты.

Практически неисчерпаемы возможности ядерной и термоядерной энергетики, но с нею связаны проблемы теплового загрязнения планеты, хранения радиоактивных отходов, вероятных аварий энергетических гигантов.

В связи с этим во всем мире отмечается повышенный интерес к использованию нетрадиционных возобновляемых источников энергии. Их природа определяется процессами на Солнце, в глубинах Земли, гравитационным взаимодействием Солнца, Земли и Луны. Установки работающие на возобновляемых источниках, оказывают гораздо меньшее воздействие на окружающую среду, чем традиционные потоки энергии, естественно циркулирующие в окружающем пространстве. Экологическое воздействие энергоустановок на возобновляемых источниках в основном заключается в нарушении ими естественного ландшафта.

В настоящее время возобновляемые энергоресурсы используются незначительно. Их применение крайне заманчиво, многообещающе, но требует больших расходов на развитие соответствующей техники и технологий. При ориентации части энергетики на возобновляемые источники важно правильно оценить их долю, технически и экономически оправданную для применения. Эта задача - оценить, использовать потенциал возобновляемых ресурсов, найти их место в топливно-энергетическом комплексе - стоит перед экономикой Беларуси. Ее решение поможет смягчить дефицитность энергосистемы республики, позволит снизить зависимость от импорта энергоресурсов, будет способствовать стабильности экономики и политической независимости.

При планировании энергетики на возобновляемых источниках важно учесть их особенности по сравнению с традиционными невозобновляемыми. К ним относятся следующие.

* 1.Периодичность действия в зависимости от неуправляемых человеком природных закономерностей и, как следствие, колебания мощности возобновляемых источников от крайне нерегулярных, как у ветра, до строго регулярных, как у приливов.
* 2.Низкие, на несколько порядков ниже, чем у возобновляемых источников (паровые котлы, ядерные реакторы), плотности потоков энергии и рассеянность их в пространстве. Поэтому энергоустановки на возобновляемых источниках эффективны при небольшой единичной мощности и прежде всего для сельских районов.
* 3.Применение возобновляемых ресурсов эффективно лишь при комплексном подходе к ним. Например, отходы животноводства и растениеводства на агропромышленных предприятиях одновременно могут служит сырьем для производства метана, жидкого и твердого топлива, а также удобрений.
* 4.Экономическую целесообразность использования того или иного источника возобновляемой энергии следует определять в зависимости от природных условий, географических особенностей конкретного региона, с одной стороны, и в зависимости от потребностей в энергии для промышленного, сельскохозяйственного производства, бытовых нужд, с другой. Рекомендуется планировать энергетику на возобновляемых источниках для районов размером порядка 250 км.

При выборе источников энергии следует иметь в виду их качество. Последнее оценивается долей энергии источника, которая может быть превращена в механическую работу. Электроэнергия обладает высоким качеством. С помощью электродвигателя более 95% ее можно превратить в механическую работу. Качество тепловой энергии, получаемой в результате сжигания топлива на тепловых электростанциях, довольно низкое - около 30%.

Возобновляемые источники энергии по их качеству условно делят на три группы:

1.Источники механической энергии, обладающие довольно высоким качеством:

* ветроустановки - порядка 30%,
* гидроустановки - 60%,
* волновые и приливные станции - 75%.

2.Источники тепловой энергии:

* прямое или рассеянное солнечное излучение,
* биотопливо, обладающее качеством не более 35%.

3.Источник энергии, использующие фотосинтез и фотоэлектрические явления, имеют различное качество на разных частотах излучения; в среднем КПД фотопреобразователей составляет порядка 15%.

Основными нетрадиционными и возобновляемыми источниками энергии для Беларуси являются гидро-, ветроэнергетические, солнечная энергия, биомасса, твердые бытовые отходы.

3.1.Солнечная энергетика.

Возможность использования солнечной энергии.

Известно два направления использования солнечной энергии. Наиболее реальным является преобразование солнечной энергии в тепловую и использование в нагревательных системах. Второе направление - системы непрямого и прямого преобразования в электрическую энергию.

**Прямое преобразование солнечной энергии в тепловую.**

Солнечные нагревательные системы могут выполнять ряд функций:

* подогрев воздуха, воды для отопления и горячего водоснабжения зданий в районах с холодным климатом;
* сушку пшеницы, риса, кофе, других сельскохозяйственных культур, лесоматериалов для предупреждения их поражения насекомыми и плесневыми грибками;
* поставлять теплоту, необходимую для работы абсорбционных холодильников;
* опреснение воды в солнечных дистилляторах;
* приготовление пищи;
* привод насосов.

На рис.3.1 представлены три из большого числа конструкций нагревателя воды, отличающихся по эффективности и стоимости.

***Рис.3.1. Приемники солнечного излучения***

*а) - открытый резервуар на поверхности Земли. Тепло уходит в Землю;*

*б) - черный резервуар в контейнере со стеклянной крышкой с изолированным дном;*

*в) - заполненная водой металлическая плоская емкость. Стандартный промышленный приемник: нагревая жидкость протекает через него и накапливается в специальном резервуаре.*

Вода

Земля

а)

Изоляция

Стекло

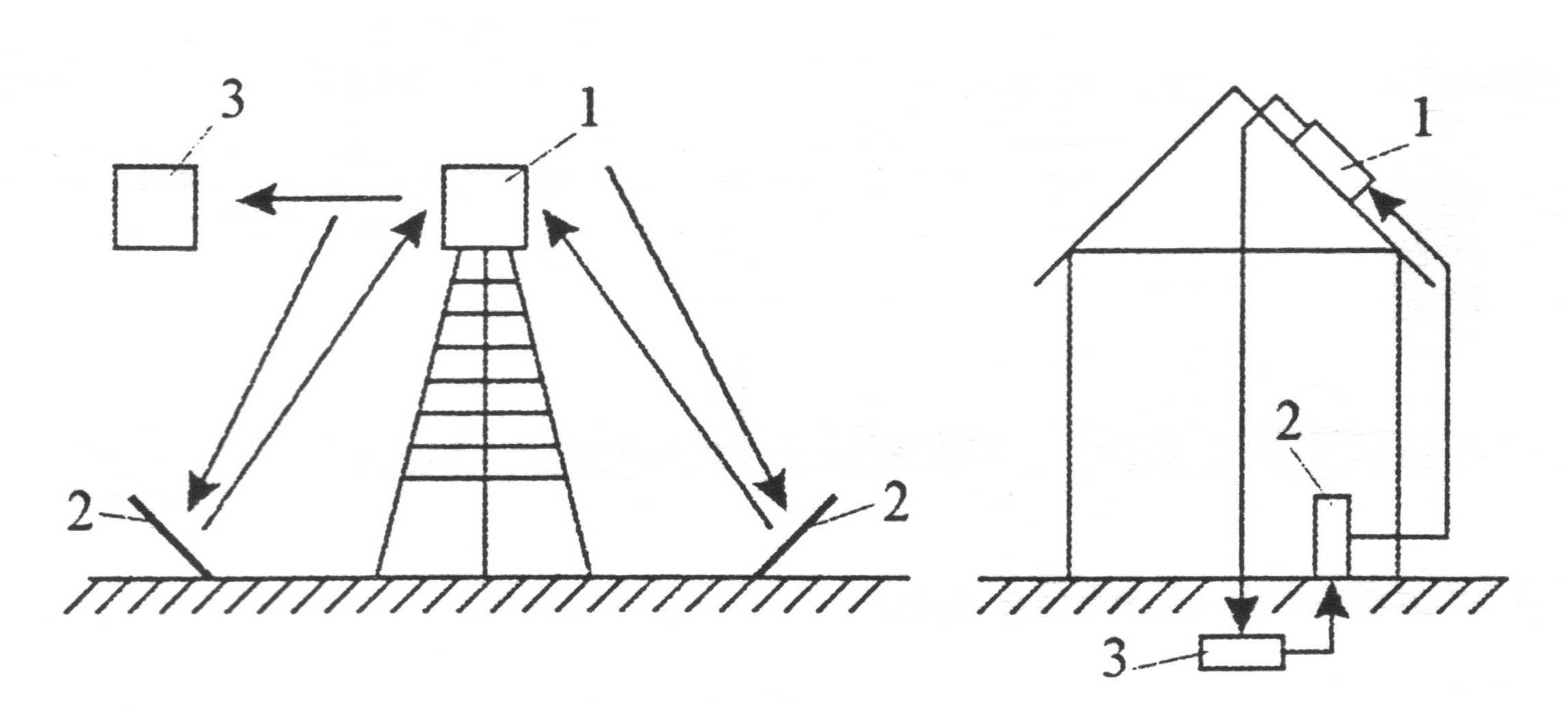
Вода

б)

в)

Для отопления зданий зимой могут применяться так называемые пассивные и активные солнечные системы. На рис.3.2а показан пассивный солнечный нагреватель: солнечные лучи попадают на заднюю стенку и пол здания, представляющие собой массивные конструкции с усиленной теплоизоляцией, окрашенные в черный цвет. Недостаток такой системы прямого нагрева - медленный подъем температуры в зимние дни и чрезмерная жара летом - устраняется с помощью накопительной стенки с солнечной стороны (рис.3.2б). Стенка работает как встроенный воздушный нагреватель с тепловой циркуляцией. Летом такую стену может затенять козырек крыши. Активные солнечные отопительные системы используют внешние нагреватели воздуха и воды. Их можно устанавливать на уже существующие здания.

В системах непрямого преобразования в электрическую - на гелиотермических электростанциях солнечная энергия, аналогично энергии органического топлива на ТЭС, превращается в тепловую энергию рабочего тела, например, пара, а затем в электрическую. Можно создать гелиотермические электростанции мощностью до нескольких десятков - сотен мегаватт. Концентрация солнечной энергии может осуществляться с помощью рассредоточенных коллекторов в форме параболоидов диаметром более 30м.

**

*Рис.3.2 Пассивные солнечные нагреватели:*

*а - прямой нагрев задней стенки здания: использованы массивные,*

*окрашенные в черный цвет поверхности с усиленной теплоизоляцией*

*для поглощения и накопления солнечной теплоты;*

*б - здание с накопительной стенкой.*

*Рис.3.3 Солнечные системы накопления тепловой энергии.*

*а) солнечная электростанция башенного типа:*

*1 - солнечный котел; 2 - гелиостат; 3 – паровая установка.*

*б) использование солнечного тепла на отопление:*

*1-солнечный коллектор; 2- нагревательный прибор; 3 – аккумулятор*

А)

Теплый

воздух

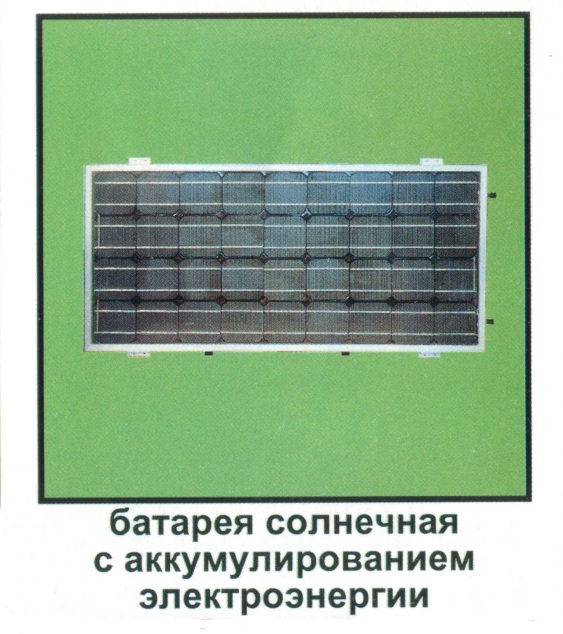
Холодный

воздух

Б)

Каждый из них независимо следит за Солнцем и передает его энергию теплоносителю. Альтернативный вариант - солнечные электростанции башенного типа. На них системы плоских зеркал, расположенные на большой площади, отражают солнечные лучи на центральный теплоприемник на вершине башни (рис.3.3).

К сожалению, КПД преобразования солнечной энергии в электрическую на гелиотермических электростанциях составляет не более 10%, а стоимость получаемой электроэнергии несопоставима с ее стоимостью на ТЭС и даже АЭС. Серьезная проблема - непостоянство солнечного излучения в течении суток, его зависимость от времени года. Для обеспечения круглосуточного энергоснабжения требуется аккумулирование энергии. В этой связи рациональна совместная работа гелиотермической и гидроаккумулирующей электростанций.

Заманчиво и многообещающе прямое превращение солнечной энергии в электрическую с помощью солнечных элементов (рис.3.4), в которых используется явление фотоэффекта. В настоящее время наиболее совершенны кремниевые фотоэлементы. Их КПД составляет не более 15%, и они очень дороги. Предложено два варианта реализации принципа фото-электрического преобразования. Первый заключается в создании солнечных станций на искусственных спутниках Земли, оборудованных солнечными панелями из фотоэлементов площадью от 20 до 100 км2 в зависимости от мощности станции. Вырабатываемая на спутниках электроэнергия будет преобразовываться в электромагнитные волны в микроволновом диапазоне частот, направляться на Землю, где принимается приемной антенной. Второй предполагает монтаж сборных панелей солнечных фотоэлектрических элементов в малонаселенных и малоиспользуемых пустынных районах Земли.

*Рис.3.4*

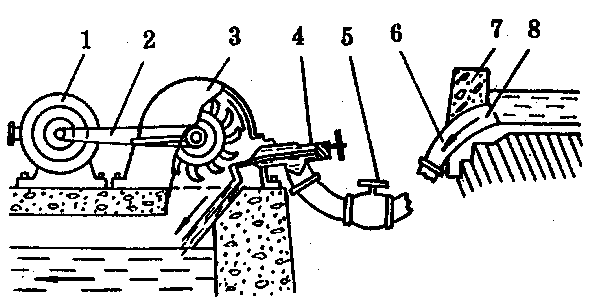
Для территории Беларуси свойственны относительно малая интенсивность солнечной радиации и существенное изменение ее в течение суток года. В этой связи необходимо отчуждение значительных участков земли для сбора солнечного излучения, весьма большие материальные и трудовые затраты. Поэтому для нашей республики реально использование солнечной энергии для сушки кормов, семян, фруктов, овощей, подъема и подогрева воды на технологические и бытовые нужды. В результате возможная экономия топливно-энергетических ресурсов оценивается всего в 5000 у.т./год.

3.2. Ветроэнергетика и малая гидроэнергетика.

Гидроэнергетика - это область наиболее развитой энергетики на возобновляемых ресурсах, использующая энергию падающей воды, волн и приливов.

Цель гидроэнергетических установок - преобразование потенциальной энергии воды в механическую энергию вращения гидротурбины.

Принципиальная схема производства электроэнергии на гидроэлектростанции представлена на рис.3.5. С помощью плотины в водохранилище создается запас потенциальной энергии воды. Через подводящий (напорный) водопровод вода под напором подается на турбину, с помощью которой кинетическая энергия падающей воды превращается в механическую энергию вращения турбины и далее вала электрогенератора. КПД превращения энергии воды в электрическую энергию в гидроэнергетических установках оказывается порядка 50%.



*Рис.3.5. Схема гидроэлектростанции.*

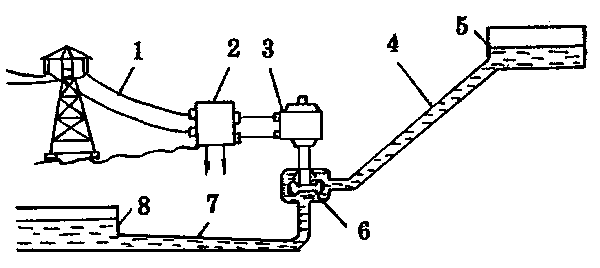
*1-электрогенератор; 2 – приводной ремень; 3 – гидротурбина;*

*4 – сопло; 5 – вентиль; 6 – водовод; 7 – плотина; 8 – решетка.*

Основные параметры, от которых зависит мощность ГЭС,- это расход воды, т.е. количество воды, подаваемой на турбину в единицу времени, и напор-перепад между водной поверхностью водохранилища и уровнем установки гидроагрегата. Поэтому мощность ГЭС, количество и стоимость вырабатываемой ею электроэнергии в конечном итоге зависят от типографических условий в районе размещения водохранилища и ГЭС.

Наиболее сложные проблемы гидроэнергетики - ущерб, наносимый окружающей среде водохранилищами (уничтожение уникальной флоры и фауны, затопление плодородных почв, климатические изменения, потенциальная угроза землетрясений и др.), заиливание гидротурбин, их коррозия, большие капитальные затраты на сооружение ГЭС. Вырабатываемую ГЭС энергию легко регулировать, и она преимущественно используется для покрытия пиковой части графика нагрузки энергосистем с целью улучшения работы базисных электростанций (ТЭС, КЭС, АЭС). Гидроресурсы Беларуси оцениваются в 1000 МВт. Однако практически реализуемый потенциал малых рек и водотоков Беларуси составляет едва ли 10% этой величины, что эквивалентно экономии 0,1 млн. тонн условного топлива. Для достижении большего пришлось бы затопить значительные площади из-за равнинного характера рек. К концу 60-х годов в Беларуси эксплуатировалось около 180 малых ГЭС (МГЭС) общей мощностью 21 МВт. В настоящее время осталось лишь 6 действующих МГЭС. Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) предполагается сооружать для использования избыточной мощности при снижении потребления электроэнергии в ночное время и нерабочие дни при вводе в Белорусской энергосистеме энергоисточников на ядерном топливе.

Принципиальная схема ГАЭС дана на рис.3.6.



*Рис.3.6 Схема гидроаккумулирующей электростанции.*

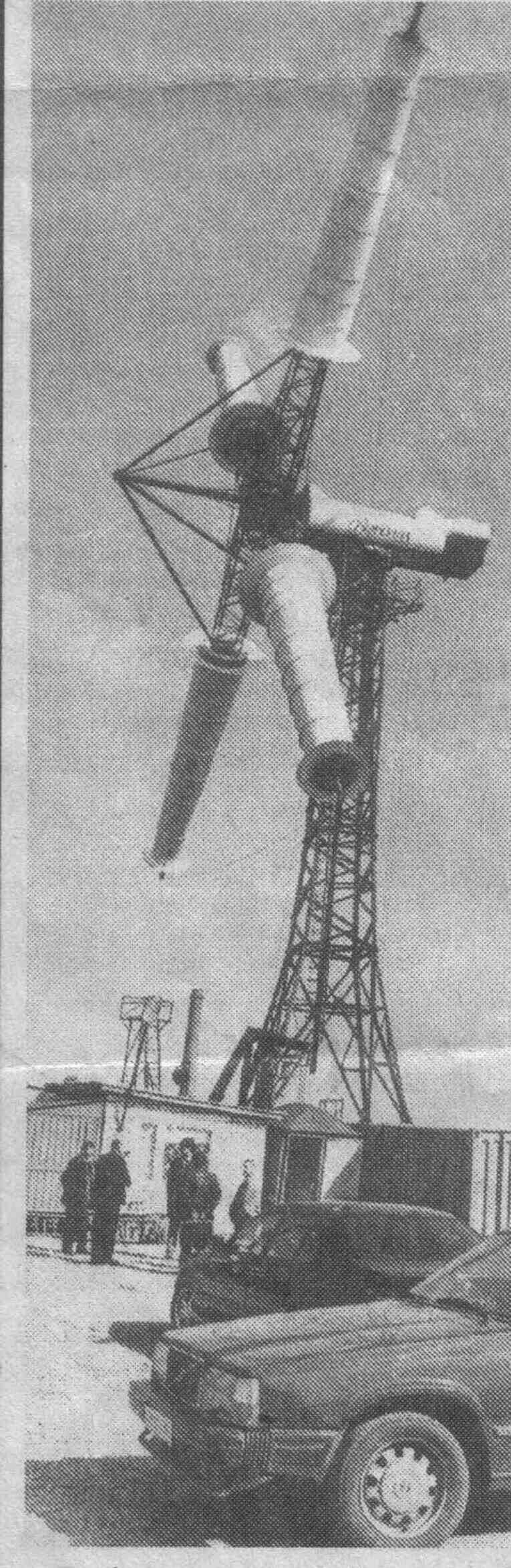
*1 – линия электропередачи; 2 – трансформатор; 3 – двигатель-генератор;*

*4 – напорный водовод; 5 – верхний резервуар; 6 – насос-турбина;*

*7 – водовод; 8 – нижний резервуар.*

При малых нагрузках в энергосистеме электроэнергия от базисных электростанций (ТЭС, АЭС) может использоваться в действии насосов, перекачивающих воду нижнего водохранилища в верхнее. В периоды пика вода пропускается обратно в нижнее водохранилище, проходя через гидроагрегат и вырабатывая дополнительную электроэнергию для пиковых нагрузок. Возможны надземный и подземный варианты сооружения ГАЭС.

Основные направления развития гидроэнергетики РБ является восстановление старых МГЭС путем капитального ремонта и частичной замены оборудования; сооружение новых МГЭС на водохранилищах неэнергетического (комплексного) назначения, на промышленных водосбросах; строительство бесплотинных ГЭС на реках со значительным расходом воды.

**Ветроэнергетика.** Энергия ветра на земном шаре оценивается в 175-219 тыс. ТВт/ч в год. Это примерно в 2,7 раза больше суммарного расхода энергии на планете. Постоянные воздушные течения к экватору со стороны северного и южного полушарий образуют систему пассатов. Существуют периодические движения воздуха с моря на сушу и обратно в течении суток - бризы и года - муссоны. Полезно может быть использовано лишь 5% указанной величины энергии ветра. Используется же значительно меньше.

Энергию ветра человек начал применять в глубокой древности для приведения в движении парусных кораблей, мельничных колес. В наше время она используется для выработки электроэнергии. Это - наиболее эффективный способ утилизации энергии ветра. В ветроэнергетической установке (ВЭУ) кинетическая энергия движения воздуха превращается в энергию вращения ротора генератора (рис.3.7), который вырабатывает электроэнергию. Выходная мощность установки пропорциональна площади лопастей ветрового ротора и скорости ветра в кубе. Поэтому ветроэнергетические установок большой мощности оказываются крупногабаритными, ведь скорость ветра в среднем бывает небольшой.

*Рис.3.7.*

Для защиты от разрушения сильными случайными порывами ветра установки проектируется со значительным запасом мощности. Трудности в использовании ветроустановок связаны с непостоянством скорости ветра. Приходится управлять частотой вращения ветроколеса и согласовывать ее с частотой вращения электрогенератора. Кроме того, в периоды безветрия электроэнергия не производится. Для исключения перебоев в электроснабжении ВЭУ должны иметь аккумуляторы энергии. Крупномасштабное применение ВЭУ в каком-то одном районе может вызвать значительные климатические изменения, испортить ландшафт, ВЭУ создают шум и электромагнитные помехи.

Научные разработки и исследования ориентированы на использование ВЭУ по двум направлениям: в региональных энергосистемах и для местного (автономного) энергоснабжения. Функционируют ВЭУ мощностью до 20 кВт, и созданы установки мощностью до 3-4 МВт. Срок службы таких генераторов порядка 20 лет. Стоимость вырабатываемой ими электроэнергии будет меньше, чем на ТЭС на жидком топливе. Устанавливаться такие ВЭУ могут на открытых равнинных местах. Ветроустановки мощностью от 10 до 100 кВт для автономного энергоснабжения жилых помещений, ферм и других потребителей могут применяться в странах с высоким жизненным уровнем.

Территория Республики Беларусь находится в умеренной ветровой зоне. Стабильная скорость ветра составляет 4-5 м/с и соответствует нижнему пределу устойчивой работы отечественных ВЭУ. Это позволяет использовать лишь 1.5-2.5% ветровой энергии. Поэтому ветроэнергетику можно рассматривать в качестве вспомогательного энергоресурса, решающего местные проблемы, например, отдельных фермерских хозяйств. Основными направлениями использования ВЭУ в нашей республике на ближайший период будет их применение для привода насосных установок и как источников энергии для электродвигателей. Готовиться к серийному выпуску ветроустановка ротационного типа (рис.3.7) мощностью 5-8 кВт, устойчиво работающая при скорости ветра 3.5 м/с. Разрабатывается и готовиться к испытаниям более мощная ВЭУ с горизонтальным ветроколесом. Автономные ВЭУ обязательно должны комплектоваться резервными источниками электроэнергии или аккумуляторными батареями.

3.3. Энергия биомассы.

Под действием солнечного излучения в растениях образуется органические вещества и аккумулируется химическая энергия. Этот процесс называется фотосинтезом. Животные существуют за счет прямого или косвенного получения энергии и вещества от растений. Этот процесс соответствует трофическому уровню фотосинтеза. В результате фотосинтеза происходит естественное преобразование солнечной энергии.

Вещества, из которых состоят растения и животные, называют **биомассой**. Посредством химических или биохимических процессов биомасса может быть превращена в определенные виды топлива: газообразный метан, жидкий метанол, твердый древесный уголь. Продукты сгорания биотоплива путем естественных экологических или сельскохозяйственных процессов вновь превращаются в биотопливо. Система круговорота биомассы показана на рис.3.8.

Энергия биомассы может использоваться в промышленности, домашнем хозяйстве. Так, в странах, поставляющих сахар, за счет отходов его производства покрывается до 40% потребностей в топливе. Биотопливо в виде дров, навоза и ботвы растений применяется в домашнем хозяйстве примерно 50% населения планеты для приготовления пищи, обогрева жилищ.

**Аккумулирование**

**энергии в биомассе**

**СО2**

**Питательные соли,**

**гумус**

**Фотосинтез**

**Естественное**

**разложение**

**Бытовые и промышленные**

**топлива**

**Высвобождение**

**энергии**

**hν**

*Рис.3.8. Система планетарного круговорота биомассы*

Существуют различные энергетические способы переработки биомассы:

* термохимические (прямое сжигание, газификация, пиролиз);
* биохимические (спиртовая ферментация, анаэробная переработка, биофотолиз);
* агрохимические (экстракция топлива).

Получаемые в результате переработки виды биотоплива и ее КПД приведены в таблице 3.1.

Источники биомассы и производимые биотоплива

Таблица 3.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Источник биомассы или топлива | Производимое биотопливо | Технология  переработки | КПД  переработки, % |
| Лесоразработки | теплота | сжигание | 70 |
| Отходы переработки древесины | теплота  газ  нефть  уголь | сжигание  пиролиз | 70  85 |
| Зерновые | солома | сжигание | 70 |
| Сахарный тростник, сок | этанол | сбраживание | 80 |
| Сахарный тростник, отходы | жмых | сжигание | 65 |
| Навоз | метан | анаэробное разложение | 50 |
| Городские стоки | метан | анаэробное разложение | 50 |
| Мусор | теплота | сжигание | 50 |

В последнее время появились проекты создания искусственных энергетических плантаций для выращивания биомассы и последующего преобразования биологической энергии. Для получения тепловой мощности, равной 100 Мвт, потребуется около 50 м2  площади энергетических плантаций.

Более широкий смысл имеет понятие энергетических ферм, которое подразумевает производство биотоплива как основного или побочного продукта сельскохозяйственного производства лесоводства, речного и морского хозяйства, промышленной и бытовой деятельности человека.

В климатических условиях Беларуси с 1га энергетических плантаций собирается масса растений в количестве до 10 т сухого вещества, что эквивалентно примерно 5т у.т. при дополнительных агроприемах продуктивность 1га может быть повышена в 2-3 раза. Наиболее целесообразно использовать для получения сырья выработанные торфяные месторождения площадь которых в республике составляет около 180 тыс. га. Это может стать стабильным, экологически чистым и биосферно-совместимым источником энергетического сырья.

Весьма многообещающе для Беларуси использование в качестве биомассы отходов животноводческих ферм и комплексов. Получение из них биогаза может составить на уровне 2000 г. около 890 млн. куб. м в год, что эквивалентно 160 тыс. т у.т.

Сдерживающим фактором развития биогазовых установок в республике являются продолжительные зимы, большая металлоемкость установок, неполная обеззараженность органических удобрений.

В жилых и общественных зданиях (школах, вузах, детсадах, магазинах, столовых и т.д.) образуются твердые бытовые отходы (ТБО). Содержание органического вещества в них составляет 40-75%, углеводов - 35-40%, зольность - 40-70%. Горючие компоненты в ТБО равны 50-88%. Их теплотворная способность - 800-2000 ккал/кг. Бытовые отходы содержат такие трудноразлагаемые химические элементы, в их числе хлорорганические и токсичные. В большей степени ТБО обогащены кадмием, оловом, свинцом и медью.

В мировой практике получение энергии из ТБО осуществляется сжиганием или газификацией. В Японии, Дании, Швейцарии сжигается около 70% твердых бытовых отходов, остальная часть складируется на полигонах или компостируется. В США сжигается около 14% ТБО, в Германии - 30%, Италии - 25%.

В Республике Беларусь ежегодно накапливается 2.4 млн.т ТБО с потенциальной энергией 470 тыс. т у.т. Учитывая бедность республики энергетическими ресурсами, необходимо вовлечь ТБО в ее энергопотенциал путем применения прогрессивных технологий, заимствованных из опыта других стран либо развернуть исследования и создать собственные технологии переработки ТБО.

Общие возможности экономии ТЭР за счет применения нетрадиционных и возобновляемых источников для условий РБ ограничены. Они оцениваются в 200-540 тыс. т у.т. в год, т.е. порядка 0.5-1% общих потребностей Беларуси в ТЭР. Основными потребителями возобновляемых энергоресурсов могут стать объекты сельского хозяйства. Возобновляемые источники энергии могут решать в основном локальные задачи энергообеспечения и служить необходимым дополнением к традиционной энергетике на органическом топливе и ядерной энергетике. *Кирвель, И.И. Основы энергосбережения: курс лекций / И.И. Кирвель. – Минск: БГУИР, 2004. (стр. 8-15, 31-47)*

**§ 18. Минералы**

\* Термин минерал происходит от латинского слова «минера» — кусок руды.

Минералы\* — это природные соединения химических элементов, слагающих литосферу. Они возникли в результате разнообразных физико-химических процессов, протекающих в Земле и ее географической оболочке. В настоящее время под минералами подразумеваются составные части горных пород, однородные по составу и строению, любого агрегатного со­стояния— твердого, жидкого и газообразного. Минералы изу­чает одна из геологических наук — минералогия.

В настоящее время известно более 2500 минералов. Боль­шинство из них редко встречается в природе, и лишь около 100 минералов относятся к породообразующим. Последние об­разуют основную массу горных пород. В отличие от них мине­ралы, входящие в горные породы в виде второстепенных, не­обязательных, называются акцессорными.

В зависимости от условий образования минералы делятся на три группы. Эндогенные, или первичные, минералы об­разуются при остывании магмы внутри Земли в условиях вы­соких температур и давления, а также в результате выпадения твердого вещества из воды, паров и газов в глубине литосферы. Экзогенные минералы образуются на поверхности Земли в условиях низких температур и давления путем выветривания горных пород, жизнедеятельности живых организмов и выпа­дения в осадок солей при высыхании отдельных водных бассей­нов на Земле.

Если эндогенные или экзогенные минералы с течением вре­мени в результате горообразования окажутся на большой глу­бине в земной коре, они могут коренным образом изменить свои свойства, превратиться в новые, метаморфогенные минералы.

Минералы подразделяются на кристаллические, атомы в ко­торых расположены в строго определенном порядке и обра­зуют кристаллы различной формы, и аморфные.

По химическому составу минералы делятся на классы, важ­нейшие из которых описываются ниже.

Класс самородных элементов образуют минералы, состоящие из одного химического элемента. Они химически не­активны, редко вступают в реакции, а образованные ими хими­ческие соединения неустойчивы и легко распадаются. К само­родным элементам относятся: золото, платина, серебро, медь, сера, алмаз и др. Этот класс включает около 50 минералов, со­ставляющих 0,1 % земной коры.

Сульфиды чаще всего встречаются в виде соединений цветных металлов с серой. К ним относятся галенит PbS, халь­копирит CuFeS2, пирит FeS2, сфалерит ZnS и др. Многие мине­ралы этого класса имеют гидротермальное происхождение и образуют месторождения полезных ископаемых. Сульфиды на­считывают около 250 минералов, составляющих 0,25 % земной коры.

Галоидные соединения являются солями соляной, фтористоводородной и других кислот. Они образуются в магма­тических расплавах при высоких температурах, гидротермаль­ных процессах, а также в наземных условиях при выпадении солей в высыхающих водоемах. В состав галоидных соедине­ний входят калий, натрий, магний, кальций и другие металлы.

Часто встречается и широко используется галит NaCl (пова­ренная соль), залегающий в земной коре пластами мощностью в сотни метров на месте древних озер и морей.

Оксиды и гидроксиды образуют около 200 минера­лов, составляющих 17 % массы земной коры. Наиболее рас­пространены минералы, включающие кварц Si02, оксиды и гидроксиды железа и алюминия (гематит Fe203, бурый желез­няк 2Fe203 • ЗН20, корунд А1203 и др.). Кварц относится к важ­ным породообразующим минералам. Он составляет около 12 % массы земной коры.

Силикаты, представляющие собой различные соединения кремния,— самые распространенные минералы в земной коре. Их известно около 800. Они являются главными породообра­зующими минералами. Образовались силикаты в основном в процессе остывания и кристаллизации магмы в недрах Земли. К силикатам относятся оливин, гранаты, кварц, тальк, слюда, полевые шпаты и др.

Фосфаты, или соли фосфорной кислоты, включают около 350 минералов. Они часто встречаются в земной коре, состав­ляя 1 % ее массы. Наиболее характерными представителями фосфатов являются апатит Ca5F(P04)3 и фосфорит. В них вме­сто фтора часто входит хлор.

Сульфаты представляют собой сернокислые соли каль­ция, натрия, бария, магния и других металлов. К сульфатам относятся ангидрит CaS04, гипс CaS04-2H20, мирабилит Na2SO4-10H2O и др. Известно около 260 минералов этого класса. Многие из них входят в состав различных горных пород.

Карбонаты являются солями угольной кислоты. Чаще других встречаются карбонаты кальция и магния, образующие огромные толщи известняков и доломитов. Карбонаты имеют светлую окраску, небольшую твердость и малый удельный вес. При их соединении с соляной кислотой происходят бурная ре­акция вскипания и выделение углекислого газа. К карбонатам относится около 80 минералов, составляющих 1,7% массы зем­ной коры. Наиболее распространенные породообразующие ми­нералы этого класса — кальцит СаС03, доломит CaC03-MgC03 и др.

Органические соединения представлены неболь­шой группой минералов, из которых янтарь является окамене­лой смолой деревьев неогенового и палеогенового периодов, а озокерит (горный воск) и асфальт— продукты естественного преобразования нефти в земной коре.

Минералы различаются по их физическим свойствам — блеску, цвету, твердости, излому, спайности и т. д.

*Блеск* относится к наиболее постоянным и легко наблюдае­мым свойствам минералов. Блестящие непрозрачные минералы обладают металлическим блеском (пирит). Большинство про­зрачных минералов со средним светопреломлением имеют стек­лянный блеск (кварц, кальцит). Прозрачные, но с сильным све­топреломлением минералы обнаруживают сильный блеск, кото­рый называется алмазным (горный хрусталь, пьезокварц). Некоторые прозрачные минералы с топкими воздушными про­слойками, отражающими свет, имеют перламутровый блеск (мусковит). Блеск, возникающий при рассеивании света от не­ровной шероховатой поверхности, называется матовым. Суще­ствуют также смоляной и жирный блеск минералов.

Минералы отличаются богатой цветовой окраской. Однако цвет минерала не является его определяющим признаком, по­тому что один и тот же минерал может иметь различный цвет в зависимости от посторонних примесей в его составе. В то же время разные минералы могут иметь одинаковый цвет, если в их химическом составе имеются одинаковые химические эле­менты. Так, большинство соединений меди окрашено в зеленый и синий цвета различных оттенков. Многие соединения мар­ганца имеют розовый или фиолетовый цвет. Некоторые мине­ралы бесцветны и совершенно прозрачны, например, разновид­ности кварца и алмаза.

*Цвет черты* минерала часто служит в качестве более надеж­ного его признака, чем цвет минерала в монолите. Цвет черты определяется получением порошка минерала при трении о ше­роховатую поверхность фарфоровой или фаянсовой пластинки. На их белой поверхности хорошо выделяется цвет черты опре­деляемого минерала. У некоторых минералов цвет черты резко отличается от цвета металла в куске. Например, цвет талька бледно-зеленый, желтый или буроватый, а цвет черты — белый; пирит светлый, латунно-желтый, а черта — буровато- или зе­леновато-черная.

*Спайность* — свойство минералов колоться по плоскостям, строго ориентированным в данном минерале. Направление плоскостей строго ориентировано и зависит от кристаллической решетки минерала. Принято классифицировать спайность ми­нералов по степени их совершенства. Весьма совершенная спай­ность позволяет минералу делиться на зеркально-блестящие листочки и пластинки (слюда, гипс). Минералы, рассыпающиеся при ударе на обломки, ограниченные плоскими поверхностями, имеют совершенную спайность (галит, кальцит). Средняя спай­ность характерна для минералов, распадающихся на обломки, ограниченные как ровными поверхностями, так и шерохова­тыми (полевые шпаты, флюорит). При несовершенной спайно­сти плоскости на обломках минералов образуются очень редко. Преобладают неправильные изломы (апатит). Существуют ми­нералы, обладающие весьма несовершенной спайностью (кварц, пирит). У них плоскости при расщеплении вообще не наблю­дается.

*Излом* — важный диагностический признак для многих ми­нералов. Под изломом понимают вид или характер поверхно­сти, получающийся при разбивании, раскалывании минерала.

Выделяют занозистый, раковистый, крючковатый, зернистый и землистый изломы минералов. Занозистый излом наблюдается у волокнистых минералов (асбест) и внешне напоминает из­лом деревянной палки поперек волокон. Раковистый излом на­поминает поверхность раковины с концентрически волокни­стыми полосами (обсидиан, кремень). Крючковатый излом характерен для ковких минералов типа самородной меди и се­ребра. Зернистый излом создает впечатление зернистой поверх­ности с мелкими впадинами и выступами. Землистый излом образует матовую поверхность, как будто покрытую пылью (боксит).

*Твердость* минералов, или способность сопротивляться ца­рапанию, стиранию, является их важным свойством. В минера­логии для определения твердости минералов используется шкала Мооса, которая составлена из 10 минералов-эталонов, каждый из которых соответствует твердости от 1 до 10:

Тальк-1, Гипс-2, Кальцит-3, Флюорит-4, Апатит-5, Ортоклаз-6, Кварц-7, Топаз-8, Корунд-9, Алмаз -10.

В природе твердость 10 имеет только алмаз, а существова­ние минералов, кроме корунда, с твердостью 9 проблематично. Некоторые минералы в результате различного строения кри­сталлической решетки имеют различную твердость.

Твердость минерала можно определить на ровном участке-свежего излома или на плоскости спайности. Острым краем оп­ределяемого минерала царапают по минералу-эталону. Напри­мер, если определяемый минерал царапает апатит и не остав­ляет следа на ортоклазе, то его твердость равняется 5,5.

Важными физическими свойствами минералов являются также плотность, магнитность, радиоактивность, люминесцен­ция (способность светиться), запах, растворимость и др.

**§ 19. Горные породы**

Горные породы — это самостоятельные геологические тела, представляющие собой механическое соединение различных по составу минералов.

Земная кора состоит из весьма разнообразных горных по­род, состоящих из не менее разнообразных минералов. При изучении горной породы прежде всего исследуют ее химиче­ский и минеральный состав. Но этого недостаточно для пол­ного познания горной породы. Одинаковый химический и минеральный состав могут иметь породы различного происхож­дения, а следовательно, и различных условий залегания и рас­пространения.

Поэтому, для того чтобы дать полную характеристику гор­ной породы, надо изучить не только ее химический и мине­ральный состав, но и другие особенности, а именно: структуру, текстуру и др.

*Структура* горных пород определяется взаимным простран­ственным расположением минеральных частиц, их формой и размерами. Зернистая структура свойственна интрузивным магматическим горным породам. Магма, медленно остывающая в недрах Земли, успевает кристаллизоваться полностью. Порфировая структура присуща горным породам, осты­вающим с различной скоростью. Сначала в относительно мед­ленно остывающей магме успевают вырасти кристаллы более тугоплавких минералов. Затем, излившись на поверхность, магма застывает сравнительно быстро, и на фоне мелкокри­сталлической или стекловатой массы горной породы встреча­ются отдельные более или менее крупные кристаллы, образо­вавшиеся ранее. Стекловатая, некристаллическая струк­тура характерна для эффузивных горных. пород. Излившаяся на поверхность магма остывает настолько быстро, что кри­сталлы не успевают вырасти, и она превращается в однооб­разную стекловидную массу, например, обсидиан.

*Текстура,* или сложение горных пород, определяется рас­положением минералов в них, ориентировкой кристаллов, мас­сивностью, пористостью, слоистостью, сланцеватостью. Одно­родной, массивной текстурой отличаются горные породы, в ко­торых минералы расположены без определенной ориентировки. Осадочные горные породы часто имеют сложную текстуру, а после их метаморфизации — сланцеватую, позволяющую раз­делить породу на отдельные пластинки и листы.

*Трещиноватость* горных пород показывает степень их раз­дробленности трещинами. В результате дробления породы рас­падаются на столбчатые, кубические, призматические, шаро­вые и другие отдельности. Пористость и трещиноватость очень важны при оценке горных пород, так как определяют во мно­гом их прочность, возможность накопления нефти, газа и воды, интенсивность карстовых процессов, развитие оползней и обва­лов и т. д.

Важными свойствами горных пород являются их плотность, теплоемкость, теплопроводность, упругость и др. Они влияют на процессы выветривания горных пород и рельефообразование.

В основу классификации горных пород берется их генезис, т. е. происхождение. Выделяют три крупные группы пород: маг­матические, осадочные и метаморфические.

*Магматические* (изверженные) горные породы образуются при застывании магмы. Магматические горные породы, воз­никшие при застывании магмы в литосфере на различных глу­бинах в условиях высоких температур и давления, называют интрузивны м и. Медленная потеря тепла обеспечивает длительный процесс раздельной кристаллизации химических соединений. Породы, возникающие в таких условиях, имеют крупнокристаллическую структуру, например, лабрадорит и некоторые виды гранита. Чем быстрее поднимается магма, в верхние горизонты литосферы и остывает, тем мельче выра­стают кристаллы породообразующих минералов.

Эффузивные магматические горные породы образуются при излиянии магмы на поверхность. Быстрое остывание магмы в условиях низких температур приводит к превращению ее в аморфную, стекловидную массу (обсидиан). Лишь внутри лавовых потоков могут образоваться кристаллы очень малых размеров. Текстура застывшей лавы часто приобретает пузыр­чатый характер вследствие выделяющихся газов и разбрызги­вания лавы при взрывах во время извержения вулканов. За­твердевшая лава с многочисленными пузырями образует лег­кую пористую горную породу — пемзу.

Изверженные обломочные вулканические породы в виде пепла, песка, вулканических бомб и других слагают многомет­ровые толщи. После цементации они превращаются в вулка­нические туфы, имеющие небольшую плотность и разнообраз­ную окраску.

Магматические горные породы сложены главным образом силикатными минералами. По содержанию кремнезема Si02 (в процентах) они делятся на пять групп.

*Таблица 3*

**Классификация обломочных горных пород**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Неокатан ные** | | **Окатанные** | |
| **Размер обломков, мм** | **рыхлые** | **сцементи­рованные** | **рыхлые** | **сцементированные** |
| Больше 200  10—200  2—10  0,05—2  0,01—0,05  Меньше 0,01 | Глыбы Щебень Дресва (хрящ) Песок Лесс  Глина, **ил** | Брекчия Брекчия Брекчия Песчаник | Валуны Галька Гравий Песок | Конгломерат Конгломерат Конгломерат Песчаник |

Кислые и средние породы, содержащие больше Si02, отли­чаются светлой окраской. Полевые шпаты и особенно кварц являются главными породообразующими минералами для этих пород. Основные и ультраосновные породы окрашены преиму­щественно о темно-серые и зеленовато-черные тона благодаря присутствию оливина.

*Осадочные* горные породы возникают на земной поверхно­сти и в водных бассейнах планеты в результате разрушения и химического преобразования магматических, метаморфических и более древних осадочных горных пород, выпадения мине­рального вещества из водных растворов и жизнедеятельности организмов. По способу образования они подразделяются на обломочные, хемогенные и биогенные.

О *б л* о м о ч и ы е горные породы (табл. 3) — это продукты механического дробления коренных пород под воздействием главным образом экзогенных факторов. Угловатые обломки горных пород при обработке водой или льдом стираются и ста­новятся окатанными.

Неокатанные грубообломочные горные породы при цемента­ции образуют брекчии, а окатанные — конгломераты. Среднеобломочные горные породы (т. е. пески различной зернистости) при цементации превращаются в песчаники. Мелкообломочная горная порода (лесс) залегает покровом мощностью от не­скольких до 100 м преимущественно в степных и пустынных районах умеренного пояса. Обычно лессы богаты карбонатами и являются хорошей материнской породой для формирования почв. Глины и илы состоят из очень мелких частиц и занимают промежуточное положение между обломочными и хемогенными осадочными горными породами.

Хемогенные осадочные горные породы образуются в ре­зультате различных химических реакций, протекающих глав­ным образом в водоемах, и выпадения минералов в осадок при избыточной концентрации их в воде. К таким породам отно­сятся различные соли (галит, гипс, мирабилит), известняки, мергели, доломиты, фосфориты и др.

Биогенные горные породы — это продукты жизнедея­тельности животных и растительных организмов. Раковины моллюсков, умершие кораллы, останки простейших организмов составляют огромные толщи известняков. В результате жизне­деятельности организмов образуются железистые породы, за­лежи мела. К биогенным породам относятся каустобиолиты — торф, бурые и каменные угли, горючие сланцы и нефть. Ока­завшись погребенными под толщей других осадочных горных пород, при недостатке кислорода, под действием повышенных температур и давления, остатки животных и растительных ор­ганизмов подвергались разложению и дальнейшему преобразо­ванию в различные полезные ископаемые.

*Метаморфические* горные породы образуются в толще зем­ной коры в результате коренного преобразования осадочных или магматических пород под влиянием высоких температур и давления, а также, в меньшей степени, активных химических соединений в горячих водных растворах и газах. Все метамор­фические горные породы приобретают кристаллическое строе­ние, а некоторые изменяют свой минеральный и химический со­став, но сохраняется обычно сланцеватая и полосчатая тек­стура.

Метаморфизация глин приводит к образованию глинистых или слюдяных сланцев. Уплотнение и перекристаллизация пе­сков и песчаников дают в результате кварциты. Известняки при метаморфизации превращаются в мраморы. Исходным мате­риалом для гнейсов служат осадочные и магматические горные породы.

*Выветривание горных пород*

Горные породы и минералы на поверхности Земли и в верх­них слоях литосферы непрерывно подвергаются разрушению и химическому преобразованию, т. е. выветриванию. Про­цессы выветривания обеспечиваются энергией, поступающей на Землю от Солнца. Не следует понимать, что выветривание — результат работы только ветра. Главными факторами выветри­вания горных пород являются колебание температур, работа воды, ледников, живых организмов и в меньшей степени ветра. Интенсивность выветривания горных пород зависит от их хи­мического состава, структуры, текстуры и трещиноватости, от рельефа земной поверхности и климата. Наиболее результа­тивны процессы выветривания на контакте литосферы с атмо­сферой и гидросферой.

По характеру воздействия на земные породы различают физическое, химическое и органическое выветривание.

*Физическое выветривание* приводит к механическому раз­дроблению горных пород и минералов на обломки различной величины без изменения их химического состава. Измельчение, разрушение горных пород происходит в результате трения и ударов обломков в камнепадах, речных потоках, морском при­бое, в ледниках. В пустынях разрушение горных пород осуще­ствляет ветер с помощью переносимых им песка и мелких ка­мешков.

В пустынях и полупустынях в результате резкого колебания суточных температур наблюдается температурное выветрива­ние горных пород. В дневные часы отдельные камни и моно­литы на поверхности нагреваются до 50—80 °С и расширяются, в то время как внутри них сохраняется более низкая темпера­тура. Напряжения, возникшие в них, приводят к образованию трещин. В ночные часы, наоборот, горные породы быстро осты­вают до 0 °С и ниже на поверхности, но некоторое время со­храняется высокая температура внутри них. Это также вызы­вает растрескивание горных пород. Интенсивность температур­ного выветривания усиливается, если горные породы состоят из минералов, имеющих различный коэффициент расширения. Например, гранит, состоящий из кварца, полевого шпата и слюды, теряет свою прочность при многократном нагревании и охлаждении, так как происходит разрыв по контактам кри­сталлов соответствующих минералов. Обломки выветрившегося гранита легко разрушаются на зерна кристаллов даже при сжимании его в кулаке.

*Морозное выветривание* можно рассматривать как разно­видность температурного. Оно происходит при замерзании воды в трещинах горных пород. Лед, занимая больший объем по сравнению с водой, создает огромное давление в трещинах и разрывает самые прочные породы. Морозное выветривание особенно интенсивно в районах, где температуры часто пере­ходят через 0 °С, т. е. летом — в полярных широтах и высоко в горах, а весной и осенью — в умеренных широтах.

*Химическое выветривание* заключается, в коренном преоб­разовании горных пород и минералов, изменении их химиче­ского состава. Так, при выветривании гранита образуется гли­нистая порода каолин. Продуктами выветривания кислых маг­матических пород являются бокситы. Важнейшими агентами химического выветривания выступают вода, кислород и угле­кислый - газ, находящиеся в атмосфере, и живые организмы. Наиболее интенсивно протекают процессы химического вывет­ривания в условиях влажного теплого климата.

*Органическое выветривание* приводит к механическому дроблению горных пород и их химическому преобразованию в результате жизнедеятельности бактерий, животных и расте­ний. Например, черви-камнеточцы прокладывают свои ходы даже в камнях, разрушая их. Деревья, растущие на скалах, корнями заполняют трещины и разрывают монолитные горные породы на части. Вещества, выделяемые животными и расте­ниями, вступают в химические реакции с окружающими гор­ными породами, ускоряя их преобразование.

Продукты выветривания горных пород, оставшиеся на зем­ной поверхности на месте их первичного залегания, называются элювием. Он почти повсеместно, за исключением крутых склонов, покрывает коренные породы, образуя кору вывет­ривания. Мощность ее неравномерна, что объясняется де­нудацией, или сносом части элювия водой, льдом, ветром, непосредственно действием силы тяжести с возвышенных уча­стков местности в понижения. Наносы, аккумулирующиеся у подножия и на низких частях склонов возвышенностей, назы­ваются делювием. Они плохо отсортированы, состоят из глины, песков и грубообломочного материала и образуют де­лювиальный шлейф, сглаживающий переход к прилегающей равнине.

Образование горных пород, их выветривание и метаморфизация являются звеньями цепи круговорота веществ в лито­сфере (рис. 14). В докембрии более активным было перемеще­ние вещества по вертикали из недр Земли на поверхность. Этому способствовали мощные процессы вулканизма, интрузии магмы, горообразование. Формировались обширные платформы, уменьшались геосинклинали.

В последующие геологические эпохи обмен веществом между геосферами по вертикали достаточно активен в пределах 10— 20 км, а местами до 60 км, главным образом в районах актив­ного вулканизма. Там образуются новые магматические горные породы, выделяются в значительном количестве пар и различ­ные газы.

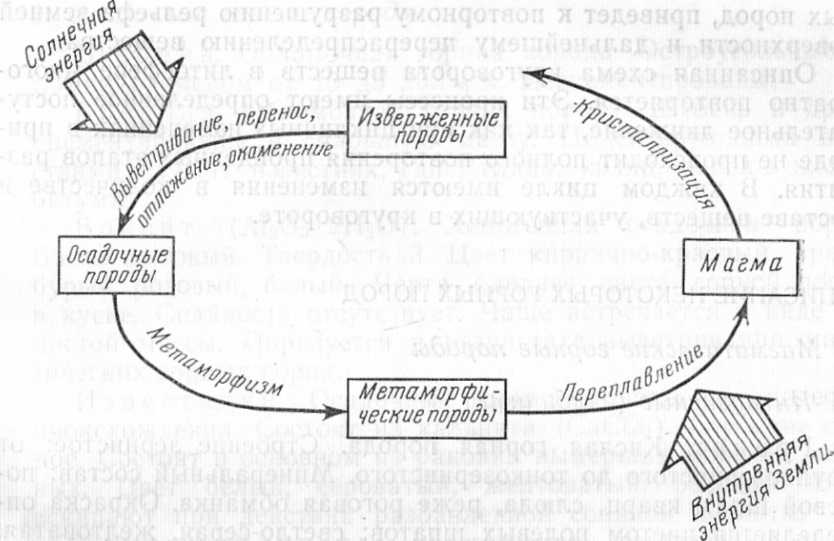


Рис. 14. Схема круговорота веществ в литосфере

На большей части планеты в верхних слоях лито­сферы в результате тектонических движений происходит под­нятие отдельных участков земной поверхности, разрушение горных пород, денудация продуктов выветривания и их накоп­ление в океанических впадинах и других понижениях и дальнейшая метаморфизация их. Последующее поднятие территорий, где происходили накопление и метаморфизация горных пород, приведет к повторному разрушению рельефа земной поверхности и дальнейшему перераспределению вещества.

Описанная схема круговорота веществ в литосфере много­кратно повторяется. Эти процессы имеют определенное посту­пательное Движение, так как при цикличных изменениях в при­роде не происходит полного повторения пройденных этапов раз­вития. В каждом цикле имеются изменения в количестве и составе веществ, участвующих в круговороте.

ОПИСАНИЕ НЕКОТОРЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

**1. *Магматические горные породы***

**а) *Интрузивные (глубинные)***

**Гранит.** Кислая горная порода. Строение зернистое: от крупнозернистого до тонкозернистого. Минеральный состав: по­левой шпат, кварц, слюда, реже роговая обманка. Окраска оп­ределяется цветом полевых шпатов: светло-серая, желтоватая, розовая, красноватая. Залегают в батолитах, штоках, лакколи­тах, дайках. Отдельности: плитняковая, матрацевидная.

**Лабрадорит.** Основная горная порода. Строение круп­нозернистое. Состоит из полевого шпата (Лабрадора). Цвет темно-серый, зеленовато-серый, синевато-серый. Характерен синий отлив на плоскостях спайности. Поверхности многих кристаллов ровные и блестящие. Залегает в штоках.

**б) *Эффузивные (излившиеся)***

**Андезит.** Средняя порода. Строение порфировое. Ноздре­ватый. Шероховатый на ощупь. Минеральный состав: полевой шпат, немного кварца, слюды, роговой обманки, пироксена. Окраска темно-серая, черная. Залегает в лавовых потоках и куполах. Имеет столбчатые и радиально-лучевые отдельности.

**Базальт.** - Основная порода. Строение плотное, тонкозер­нистое. Минеральный состав определяется под микроскопом. Присутствует полевой шпат, пироксен, редко роговая обманка, слюда. Окраска темно-серая, черная. Отдельности — столбча­тая и плитняковая. Залегает в потоках, покровах, куполах, дайках.

Пемза. Химический состав непостоянный. Строение пори­стое. Порода однородная. Окраска белая, желтоватая, серова­тая, черная. Плотность 0,3—0,9 г/см2. Образуется при быстром остывании лавы, насыщенной газами. Встречается в районах действующих и потухших вулканов.

Обсидиан (вулканическое стекло). Строение плотное, стекловидное. Излом раковистый. Блеск стеклянный. Цвет се­рый, почти черный, бурый, коричневый. Образуется при быстром застывании на поверхности земли лавы, не насыщенной газами.

**2. *Осадочные горные породы***

**Щебень.** Обломочная горная порода. Остроугольные об­ломки размером от 10 до 200 мм. Несцементировапы.

**Брекчия.** Обломочная горная порода. Щебень и дресва, сцементированы в сплошную массу. Цементирующими веще­ствами служат известняк, гипс, глина, кварц, окислы железа,, битумы.

**Боксит** (А1203 • 2Н20). Хемогенная осадочная порода.. Блеск матовый. Твердость 3. Цвет кирпично-красный, красно-бурый, розовый, белый. Черта бледнее цвета горной породы, в куске. Спайность отсутствует. Чаще встречается в виде зем­листой массы. Образуется в результате выветривания магма­тических горных пород.

**Известняки.** Осадочные горные породы органического-происхождения. Состоят из кальцита (СаСОз). Строение плот­ное. Состоят в основном из раковин вымерших морских живот­ных. Цвет белый, сероватый, желтоватый, розовый. Бурна вскипают при действии разбавленной соляной кислоты.

**Каменный уголь** — углеродистые соединения с при­месью минеральных веществ. Мягкий или средней твердости,., матовый. Преимущественно черный. Черта черная. Пачкает, руки. Спайность отсутствует. Плотный, полосчатый, слоистый.. Аморфный. Горит ярким пламенем.

**Нефть** — жидкость бурого или темно-коричневого цвета,,, как исключение, светлая. Смесь жидких углеводородов с рас­творенными твердыми и газообразными веществами. Залегает' в порах обломочных и трещиноватых горных пород. Горючая.. Широко используется в энергетике и химической промышлен­ности.

**Глинистый сланец.** Строение сланцеватое. Состоит из: тонких глинистых частиц с примесью пылеватых частиц кварца. Тусклый. Окраска зеленоватая, сероватая, черноватая, красно­ватая. Может раскалываться на тонкие и ровные плитки.

**Мрамор.** Состоит из кальцита (СаСОз). Строение крупнозернистого до тонкозернистого. Цвет различный. Не ос­тавляет царапин на стекле. Спайность совершенная. Вскипает при действии разбавленной соляной кислоты. Используется как ценный строительный, облицовочный и декоративный мате­риал.

**§ 20. Залегание горных пород**

Условия образования горных пород и особенности развития литосферы в течение геологической истории Земли определяют формы залегания. Первичные формы залегания горных пород соответствуют тому пространственному положению, которое они заняли в литосфере при их образовании. Вторичные формы возникают при деформациях, разломах и частичном разруше­нии земной коры.

Интрузивные магматические горные породы залегают в виде батолитов, штоков, лакколитов, даек, пластовых интрузий и других форм (рис. 15).

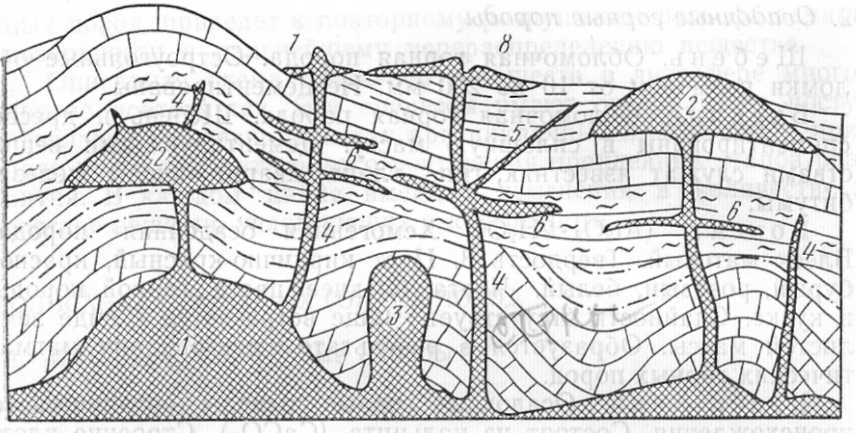


Рис. 15. Формы залегания магматических горных пород:

1— батолит; 2 — лакколит; 3 — шток; 4 — дайка; 5 — жилы; 6 —

пластовые интрузии.(силлы); 7 — лавовый обелиск;

8 — лавовые покровы

Батолиты—крупные кристаллические массивы, сложены преимущественно гранитами. Они образуются на значительной глубине в литосфере при медленном остывании крупных ин­трузий магмы и метаморфизации горных пород, окружающих магматический очаг. Батолиты имеют округлую куполообраз­ную форму. Они более устойчивы к разрушению и при размыве окружающих осадочных пород образуют крупные положитель­ные формы рельефа, например, в западной части Зеравшанского хребта в Средней Азии.

Штоки образуются при застывании расплавленной магмы, внедрившейся в литосферу. Размеры их достигают нескольких километров в поперечнике. Штоки представляют собой верти­кальные интрузивные столбообразные массивы.

Лакколиты — это грибообразные тела. Проникая в зем­ную кору по трещинам, магма внедряется под большим давле­нием между слоями горных пород и приподнимает вышележа­щую толщу породы над куполом интрузии. Размеры лакколитов достигают нескольких километров в поперечнике. Оказавшись на поверхности после разрушения осадочных горных пород, лакколиты выражаются в рельефе в виде куполообразных гор. Хорошо известны лакколиты Северного Кавказа в районе Пя­тигорска и Кисловодска (г. Машук, Бештау, Железная и др.) и Крыма (г. Аю-Даг).

Пластовые интрузии представляют собой плоские тела, возникшие в результате внедрения магмы между пла­стами горных пород. При этом сравнительно невысокое давле­ние магмы не позволяет вспучивать горные породы над пла­стовыми интрузиями, как это наблюдается при образовании лакколитов. Пластовые интрузии выражаются врельефе ввиде отпрепарированных ступеней, вчастности на Среднесибирском плоскогорье.

Дайки возникают при застывании магмы в вертикальных или наклонных трещинах, секущих горные породы. Дайки обычно состоят из более твердых пород и при выветривании возвышаются над окружающей местностью в виде каменных стен.

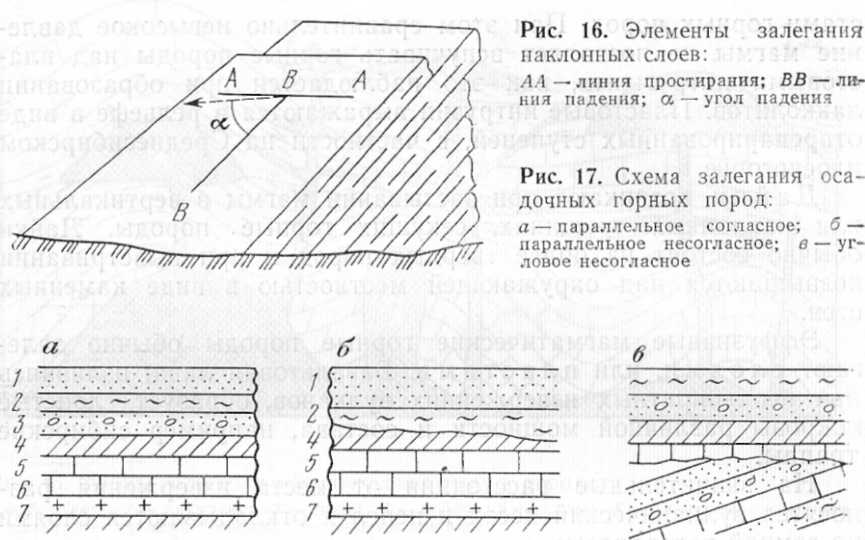
Эффузивные магматические горные породы обычно зале­гают слоями, или пластами. Базальтовая лава, изливаясь при неоднократных извержениях вулканов, образует слоистые покровы различной мощности и состава, например сибирские траппы.

На значительные расстояния от места извержения раз­носятся вулканический песок и пепел и откладываются слоями на земной поверхности.

Для всех осадочных горных пород первичной формой зале­гания являются слои. На равнинных участках земной поверх­ности и морского дна откладываются горизонтальные слои гор­ных, пород. Если слои откладываются на склонах пересеченного наземного или подводного рельефа, то они будут залегать на­клонно (моноклинально).

Положение наклонных слоев определяется линией прости­рания, линией падения и углом падения (рис. 16). Линия про­стирания является горизонтальной линией на поверхности слоя. По ней определяют азимут простирания слоев горных пород. Линия падения проводится на поверхности слоя под прямым углом от линии простирания в сторону его наклона. Она ха­рактеризуется азимутом и углом падения. Угол падения слоя измеряется между линией падения и ее проекцией на горизон­тальную плоскость.

При наличии в литосфере различных по возрасту слоев гор­ных пород возможны варианты согласного и несогласного их залегания. *Стратиграфическое согласное залегание* характери­зуется постепенной сменой слоев, свидетельствующей о непре­рывном накоплении осадков на данной территории (рис. 17).Если в толще параллельно залегающих слоев отсутствуют один или несколько из них, то имеет место *стратиграфическое па­раллельное несогласное залегание* горных пород. Оно объяс­няется перерывом в накоплении осадков в отдельные периоды развития территории или уничтожением древних отложении в более позднее время. При *структурном (угловом) несогласном залегании* нижние, более древние, и верхние, молодые слой горных пород имеют различные углы наклона. Обычно нижние слои смяты в складки и залегают под различными углами па клона.



Различают две группы нарушения первичного залегания\* горных пород: складчатые (пликативные) и разрывные (дизъ­юнктивные).

В результате тектонических движений литосфера деформи­руется, особенно в геосинклинальных областях, где происходит активное горообразование. Слои горных пород при этом сми­наются в складки — волнообразные изгибы. В каждой складке выделяют ось, крылья, замок, угол складки, ширину\* высоту и другие ее элементы. С их помощью описывают складки и определяют их пространственное положение.

Формы и размеры складок бывают различными. Выделяют-антиклинальные складки, обращенные выпуклостью кверху (рис. 18), и синклинальные, или вогнутые. Анти­клиналям обычно соответствуют положительные формы рель­ефа, а синклиналям — отрицательные.

В зависимости от положения элементов складок в простран­стве складки делятся на несколько групп (рис. 19). Прямая складка характеризуется вертикальной осевой плоскостью и одинаковыми углами наклона крыльев. Косая складка имеет-наклоненную осевую плоскость, но крылья ее падают в разные-стороны от вертикали. Опрокинутая складка имеет наклонен­ную осевую поверхность, и оба крыла наклонены по одну сто­рону от вертикального положения. У лежачей складки осевая: плоскость расположена горизонтально. Выделяют сундучные., веерные и другие виды складок.

Размеры простых складок колеблются в весьма широких: пределах — от нескольких сантиметров до нескольких километ­ров. Однако встречаются более крупные и сложные деформа­ции литосферы — с и н к л и н о р и и и антиклинории. Это обширные прогибы и поднятия земной поверхности шириной до сотни и протяжением на многие сотни километров. Они ослож­нены множеством простых складок.

Деформация литосферы создает в ней огромные напряже­ния. Если горные породы недостаточно пластичны или напря­жения в них превышают их прочность, в литосфере происходят разломы и разрывы, или дизъюнктивные дислокации. Они мо­гут проникать на всю глубину литосферы и простираться на сотни километров.

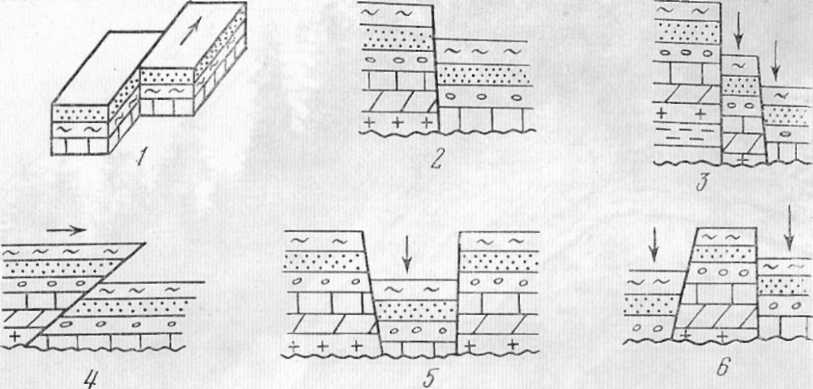
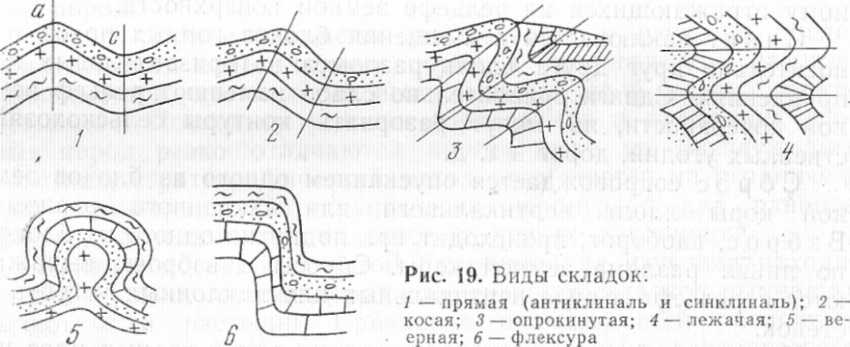


Рис. 20. Схема залегания горных пород. Разрывные нарушения:

1 — сдвиг; 2,3 — сбросы; 4 — надвиг; 5 — грабен; 6 — горст

Переходной формой от складки к разрывным нарушениям является флексура, или коленообразная складка (см. рис. 19). Она возникает при растяжении горных пород вдоль, линии наибольшего напряжения, если это напряжение недо­статочно для их разрыва.

Разрывные нарушения проявляются в различных формах (рис. 20).Блоки земной коры, раздробленной трещинами, в процессе подвижек создают множество комбинаций, по-раз­ному отражающихся на рельефе земной поверхности.

Сдвиг заключается в смещении блоков горных пород от­носительно друг друга вдоль разломов в горизонтальных на­правлениях. Сдвиги сравнительно слабо изменяют рельеф зем­ной поверхности, но могут разорвать контуры сельскохозяй­ственных угодий, дорог и т. д.

Сброс сопровождается опусканием одного из блоков зем­ной коры вдоль вертикального или наклонного разлома. Взброс, наоборот, происходит при поднятии одного из блоков по линии разлома земной коры. Сбросы и взбросы выража­ются в рельефе в виде вертикальных или наклонных уступов и: стенок.

Надвиг образуется при надвигании одних горных масс на другие по наклонной плоскости разрыва в литосфере. В отдель­ных случаях надвиги происходят почти по горизонтальным на­правлениям. При этом огромные массы горных пород переме­щаются на расстояние до 20 км.

Грабен представляет собой понижение в рельефе земной поверхности, образовавшееся в результате опускания участка литосферы по крутым, часто вертикальным разломам. В гра­бенах размещаются крупнейшие озера Байкал, Танганьика, Ньяса и др.

Горст — это участок литосферы, поднятый по разломам на определенную высоту. В рельефе горсты часто выражены в виде плосковершинных гор.

Обычно разрывные дислокации приурочены к тектонически активным районам земного шара, где многочисленные разломы разбивают толщи горных пород на отдельные глыбы, имеющие разную степень подвижности. Поэтому сбросы, горсты и гра­бены часто имеют сложный, ступенчатый характер. Высота смещения отдельных блоков колеблется от нескольких санти­метров до нескольких километров, а линейная протяженность разломов достигает 1000 км. Ширина горстов и грабенов также варьирует от нескольких десятков метров до 100 км и более.

Складчатые и разрывные нарушения залегания горных по­род оказывают огромное влияние на интенсивность процессов выветривания и формирование рельефа земной поверхности.

**§ 21. Геологическая история Земли**

Путем изучения горных пород и минералов, слагающих ли­тосферу, можно восстановить геологическую историю Земли. Поэтому чрезвычайно важно правильно определить время их образования. В настоящее время применяются относительная и абсолютная системы геологического летоисчисления (геохро­нологические системы).

Относительная геохронология использует стратиграфиче­ский и палеонтологический методы определения возраста гор­ных пород.

*Стратиграфический метод* заключается в изучении после­довательности слоев горных пород в геологическом разрезе. Принимается, что каждый вышележащий слой моложе ниже­лежащего. Поскольку условия образования и отложения гор­ных, пород резко отличаются иногда даже на близлежащих участках, стратиграфический метод применяется на ограничен­ных территориях. Он практически непригоден для районов сильной складчатости, надвигов и других дислокаций.

*Палеонтологический метод* базируется на изучении находя­щихся в слоях горных пород окаменевших остатков вымерших животных и растений. Сравнение окаменелостей различных слоев позволило установить процесс развития органического мира и выделить в геологической истории Земли ряд этапов с характерными для каждого из них животными и растениями. Устанавливая сходство руководящих окаменелостей фауны и флоры в слоях горных пород, приходят к выводу об их одно­временном образовании. Этот метод широко применяется в гео­логии, так как он позволяет определить примерный возраст любых слоев, включающих остатки окаменевших организмов, независимо от нарушений залегания горных пород и расстоя­ния между изучаемыми территориями.

Абсолютная геохронология определяет возраст горных по­род в годах, тысячелетиях, миллионах и миллиардах лет. Из­мерение возраста проводится по содержанию продуктов рас­пада радиоактивных химических элементов, содержащихся в горных породах и минералах. Процесс распада происходит с постоянной скоростью на протяжении истории Земли. В результате радиоактивного распада появляются атомы устой­чивых, уже не распадающихся элементов. Их количество уве­личивается соответственно возрасту горных пород. Разные элементы распадаются с различной скоростью, поэтому разра­ботано несколько методов определения возраста горных пород.

*Свинцовый метод* базируется на изучении содержания в гор­ных породах количества радиоактивных элементов урана и то­рия, а также радиогенного свинца, конечного продукта их рас­пада. Зная скорость распада и установив соотношение указан­ных элементов в горной породе, можно вычислить ее возраст.. Поскольку продолжительность распада урана и тория состав­ляет несколько миллиардов лет, этот метод используется для. определения возраста наиболее древних горных пород.

*Аргоновый метод* основан на определении содержания ра­диогенного аргона в калиевых минералах. Изотоп калия с атомным весом 40 при радиоактивном распаде превраща­ется в газ аргон с таким же атомным весом. Определив со­держание 40К и 40Аг в исследуемом минерале, по периоду по­лураспада 40К можно вычислить его возраст. Однако радио­генный аргон сравнительно быстро улетучивается из многих горных пород. Поэтому этот метод применяется для определе­ния возраста некоторых осадочных пород, достаточно надежно удерживающих радиогенный аргон.

*Радиоуглеродный метод* применяют для определения возра­ста горных пород в пределах до 60 000 лет. В атмосфере уста­новилась постоянная концентрация атомов радиоактивного уг­лерода ИС с периодом полураспада более 5700 лет. Растения и животные в процессе жизнедеятельности усваивают его в та­кой же концентрации, в какой он находится в атмосфере. После их отмирания обмен веществ прекращается, и концентрация 14С в остатках организмов начинает уменьшаться в связи с его распадом. Измеряя содержание |4С, можно установить возраст органических остатков, соответственно, возраст горных пород и время различных геологических и исторических событий. Так, с помощью радиоуглеродного метода определены эпохи оледе­нения в Европе и Северной Америке.

Абсолютный возраст Земли как планеты большинство уче­ных оценивает в 5 млрд. лет. Образование Земли и ее началь­ный этап развития относят к догеологической истории планеты. Горных пород догеологического этапа развития планеты прак­тически не обнаружено, так как литосфера за миллиарды лет претерпела неоднократные и во многих районах коренные пре­образования.

Геологический этап развития Земли имеет продолжитель­ность 3,6 млрд. лет (по последним данным — около 4,2 млрд. лет). Он подразделяется на докембрий, продолжительность ко­торого составляет более 3 млрд. лет, и фанерозой, охватываю­щий последние 570 млн. лет существования нашей планеты.

По степени развития органической жизни, характеру про­текания геологических процессов и формированию рельефа зем­ной поверхности геологическую историю Земли подразделяют на пять эр: архейскую, протерозойскую, палеозойскую, мезо­зойскую и кайнозойскую. Каждая из эр, кроме архейской, в свою очередь, делится на более мелкие этапы — периоды, выделяемые на основании анализа палеонтологических дан­ных.

На протяжении геологической истории Земли периоды от­носительного спокойного тектонического развития литосферы неоднократно сменялись эпохами активного вулканизма и го­рообразования (орогенеза). Наиболее заметными и хорошо вы­разившимися в рельефе были рифейская (байкальская), кале­донская, герцииская, мезозойская и альпийская эпохи ороге­неза.

Все эпохи орогенеза представляют собой законченные тек­тонические циклы. В начале каждой эпохи происходит опу­скание значительных территорий и наступление моря на сушу (морские трансгрессии). В морских условиях накапливаются толщи осадочных горных пород. Затем происходят положитель­ные тектонические движения, приводящие к отступлению моря (морские регрессии). Заканчивается тектонический цикл смя­тием горных пород в складки и горообразованием. Тектониче­ские движения сопровождаются разрывами и разломами лито­сферы, интрузивным и эффузивным вулканизмом, который до­стигает наибольшей интенсивности в период горообразования в геосинклиналях. После каждой эпохи орогенеза площадь платформ увеличивается вследствие присоединения к ним гео­синклинальных участков, которые в результате развития при­обрели жесткость, свойственную платформам. " Краткое описание геологической истории Земли приводится в соответствии с геохронологической шкалой (табл. 4).

*Архейская эра* длилась около 1млрд. лет. Появившиеся на Земле простейшие организмы практически не сохранились в виде окаменелостей. Поэтому архей выделяется в основном по характеру залегания и составу мощных толщ осадочных и вулканических горных пород. Все они чрезвычайно сильно метаморфизованы и кристаллизованы.

*Протерозойская эра* охватывает период более 2 млрд. лет. В протерозое еще отсутствуют скелетные формы, но было много разнообразных низших животных и растений. В отложе­ниях осадочных горных пород сохранились отпечатки сине-зе­леных и нитчатых водорослей, медуз, кольчатых червей, губок и других организмов. Как и в архейскую эру, продолжали формироваться мощные отложения осадочных горных пород, их метаморфизация, сопровождавшаяся активным вулканизмом и складкообразованием. Особенно крупные эпохи складчатости имели место на стыке архея и протерозоя 2500—2700 млн. лет назад и в рифее. Следы рифейской, или байкальской, складча­тости хорошо сохранились до наших дней (Таймыр, частично "Урал, Северный Казахстан, Тянь-Шань и обрамление Сибир­ской платформы и другие районы).

В архейскую и протерозойскую эры в результате неодно­кратно повторяющихся эпох складчатости и горообразования происходит постепенное слияние крупных участков литосферы "и образование прочных платформ — Восточно-Европейской, Си­бирской, Китайской, Индийской, Аравийской, Австралийской, •Северо-Американской, Бразильской, Африканской и Антаркти­ческой. На платформах древние докембрийские породы смяты в складки, разбиты трещинами и перекрыты более молодыми ютложениями, которые не везде были нарушены последующими тектоническими движениями литосферы. Наиболее древние породы, слагающие докембрийский фундамент платформ, выходят на поверхность на кристаллических щитах—Балтийском, Анабарском, Украинском, Лабрадорском и других, где преобладали тектонические' поднятия и снос разрушенных пород.

Наряду с платформами к концу докембрия па Земле со­хранились весьма подвижные Средиземноморско-Гималайская, Урало-Тянь-Шаньская, Монголо-Охотская, Грампианская, Аппалачская и Андийско-Кордильерская геосинклинальные обла­сти с активным вулканизмом, землетрясениями и горообразо­ванием.

Докембрийские горные породы богаты различными полез­ными ископаемыми. Например, на Восточно-Европейской плат­форме имеются огромные запасы железных руд на Курской магнитной аномалии, в Кривом Роге и других районах. На Вольском полуострове находится уникальное месторождение .апатитов. В пределах Сибирской и "Африканской платформ от­крыты алмазоносные кимберлитовые трубки. Практически на всех платформах открыты и разрабатываются месторождения '.цветных и редких металлов.

*Палеозойская эра,* или эра древней жизни, длилась 340 млн. лет. Различия в фауне и флоре, петрографическом составе торных пород, особенностях тектонических движений и горо­образования позволили разделить палеозойскую эру на кем­брийский, ордовикский, силурийский, девонский, каменноуголь­ный и пермский периоды.

Первая половина палеозоя (кембрий, ордовик, силур) сов­падает с каледонским тектоническим циклом и характеризу­ется бурным развитием органической жизни в океане.

Кембрийский период отличается слабыми тектониче­скими процессами. Лишь в Урало-Тянь-Шаньской и Монголо-Охотской геосинклиналях наблюдались начало каледонского горообразования и слабый вулканизм (Салаирский кряж и др.) В начале кембрия преобладали континентальные условия, ко­торые затем сменились морскими трансгрессиями. Климатиче­ские условия были разнообразными. Об этом свидетельствуют отложения солей, гипса и известняков в условиях теплых мо­рей, например, на Восточно-Европейской и Сибирской платфор­мах и ледниковые отложения в Австралии. Фауна кембрия бо­гата червями, медузами, трилобитами и другими беспозвоноч­ными морскими организмами. Флора представлена различными водорослями, но появились и наземные растения, по-видимому,, лишайники.

Ордовикский период в первой половине продолжает оставаться тектонически спокойным. Лишь в конце его усили­лись каледонская складчатость и вулканизм в Казахстане, на Алтае, Урале и в Западной Европе. В ордовике усиливаются морские трансгрессии в связи с опусканием платформ. Климат Земли становится более влажным и мягким. Появляется огром­ное количество морских животных, в том числе различные ко­раллы, иглокожие, моллюски, граптолиты, трилобиты и др.

В силурийском периоде заканчивается эпоха кале­донской складчатости мощными поднятиями и горообразова­нием. Сформировались Саяны, Восточный Алтай, горы Казах­стана и Центральной Европы, Шотландии и Скандинавского полуострова (в Норвегии), Тиманский кряж. В районах горо­образования усилилась вулканическая деятельность. С магма­тизмом связано образование месторождений руд железа и цветных металлов. В силуре появились первые рыбы, паукооб­разные и первые крупные наземные растения.

Вторая половина палеозойской эры совпадает с герцинским тектоническим циклом. Она характеризуется дальнейшей эво­люцией органического мира, широким распространением на­земных растений и животных.

В девонском периоде продолжались поднятие плат­форм и регрессия моря, начавшаяся в конце силура. Резко из­менились климатические условия. В Южной Африке наблюда­лись оледенения. Теплый, даже жаркий и сухой климат устано­вился на северных материках, где откладывались соли, гипс и: ' красноцветные глины. В связи с изменением физико-географи­ческих условий вымирают трилобиты, граптолиты и другие бес­позвоночные животные. В девоне быстро распространились разнообразные рыбы, появились первые земноводные. Полу­чили широкое развитие насекомые — клещи, пауки и скор­пионы. Богаче стала наземная флора, в состав которой вхо­дили примитивные плауны и папоротники, образовавшие наи­более древние небольшие пласты каменного угля. В конце девона поднятия платформ сменились их опусканиями, сопро­вождающимися трансгрессиями моря. Некоторые платформы' претерпели деформации и разломы. Например, в результате разломов и опускания отдельных блоков на Восточно-Европей­ской платформе возникли Днепровско-Донецкая и (Восточно-Русская впадина. В девонских отложениях имеются запасы нефти, газа, различных руд и других полезных иско­паемых.

В каменноугольном периоде происходят главные 'События герцинского тектонического цикла. Начало периода характеризуется преобладанием опускания платформ и обшир­ными морскими трансгрессиями. Влажный, мягкий климат, установившийся на Земле, вызвал развитие пышной раститель­ности. Преобладали споровые, особенно древовидные хвощи, плауны и папоротники, способствовавшие образованию мощ­ных залежей каменного угля. В морях господствовали кораллы, мшанки, фораминиферы и другие беспозвоночные. Как и в де­воне, в изобилии представлены рыбы. Все более увеличивается количество земноводных и насекомых. В морях отложились толщи известняков'и терригенных осадков. В конце периода происходит поднятие платформ, складкообразование и мощный •орогенез в геосинклинальных областях, сопровождаемый ак­тивным вулканизмом. Поднимаются Уральские горы, Тянь-Шань, складчатые горы северного Казахстана, горы Централь­ной и Западной Европы (Гарц, Рейнские Сланцевые горы, складчатые сооружения севера Франции и юга Англии), Аппалачские горы.

Уменьшение водной поверхности планеты привело к форми­рованию разнообразных климатических условий на Земле, в том числе вызвало оледенение некоторых районов в южном полушарии.

В пермском периоде продолжаются активное горооб­разование, поднятие платформ и усиление континентальное™ климата. На Сибирской платформе происходит мощное излия­ние лавы и образование покровных сибирских траппов. На се­вере Восточно-Европейской платформы сохранялся умеренный климат, и на базе пышной растительности образовались бога­тые месторождения каменного угля Печорского угольного бас­сейна. На юге платформы в сухом, жарком климате отклады­вались пласты соли и континентальные осадки. В животном мире появляются головоногие моллюски аммониты и рептилии, а в растительности споровые сменяются голосеменными.

В результате многократных мощных складчатостей и горо­образования в палеозойской эре изменилось тектоническое строение значительной части литосферы. Отдельные платформы к концу палеозоя соединились и образовали два огромных жестких массива. В северном полушарии возникла Лавразия, включающая современные платформы Северо-Американскую, Восточно-Европейскую, Сибирскую и, возможно, Китайскую. В южном полушарии возникла Гондвана в результате объеди­нения Аравийской, Индостанской, Австралийской и Африкан­ской платформ. Между Лавразией и Гондваной располагалась Средиземноморская геосинклиналь, занятая морем, получив­шим название Океан Тетис. Геосинклинальные зоны размеща­лись также на западной и восточной окраинах Тихого океана.

*Мезозойская эра,* продолжавшаяся 163 млн. лет, подразде:ляется на триасовый, юрский и меловой периоды.

В мезозойскую эру наибольшее развитие складчатость и горообразование получили в тихоокеанском геосинклинальном поясе, поэтому мезозойский орогенез часто называют тихооке­анским. Многие ученые рассматривают его не как самостоя­тельный тектонический цикл, а как предварительный, началь­ный этап альпийского орогенеза.

Триасовый период в целом отличается слабыми тек­тоническими движениями. Происходит дальнейшее медленное поднятие платформ и усиление континентальности климата. Активный вулканизм наблюдался в Средиземноморско-Гима­лайской и Тихоокеанской геосинклиналях, а также на Сибир­ской платформе, где происходило дальнейшее образование траппов. В морях преобладали головоногие и другие моллюски, появились морские ящеры. Важнейшими представителями флоры стали голосеменные, особенно хвойные и гинкговые.

В юрский период начинается активная фаза мезозой­ской складчатости. Интенсивная складчатость и горообразова­ние захватывают Сихотэ-Алинь, Нижнее Приамурье, Джуг-джур, Верхоянский хребет, Сунтар-Хаята, хребет Черского, Чу­котское нагорье, Южный Китай, Индокитай, Кавказ, Крым, Кордильеры и некоторые другие районы. Горообразование со­провождалось сильным вулканизмом. В пределах платформ и областей горообразования произошли глубокие разломы и об­разовались впадины. Начался распад Гоидваны и Лавразии. Отделяется Северо-Американская платформа, и формируется северная часть Атлантического океана.

Опускание значительных участков земной поверхности вы­звало обширные трансгрессии моря, что, в свою очередь, при­вело к смягчению климата. В юрском периоде богат и разно­образен животный мир. Из морских беспозвоночных достигли расцвета моллюски аммониты и белемниты. В изобилии появи­лись пресмыкающиеся. В воде обитали ихтиозавры и плезио­завры, черепахи и крокодилы, на суше — динозавры, в воз­духе— птерозавры. Появились первые птицы (археоптерикс). В составе наземной растительности преобладали папоротники и голосеменные.

В меловом периоде продолжается интенсивное горо­образование, сопровождавшееся складчатостью и разломами литосферы. Мощные поднятия происходили в Андах. Продол­жается дальнейший распад Гондваны и Лавразии. Возникли океанические впадины Индийского и южной части Атлантиче­ского океанов, произошло образование современных платформ. В этом периоде появляются различные птицы, насекомые и млекопитающие. Гигантских размеров достигли динозавры. В море, кроме ранее упоминавшихся организмов, широкое распространение получили фораминиферы, из остатков организ­мов которых образовались толщи мела. В меловом периоде появились цветковые растения, голосеменные частично усту­пают покрытосеменным. В конце мела произошло вымирание-аммонитов и почти всех белемнитов, многих морских пресмыка­ющихся. Вымерли все динозавры и птерозавры.

Таким образом, в мезозойскую эру произошел распад Лавразии и Гондваны. Одновременно увеличиваются размеры отде­лившихся платформ в результате присоединения к ним участ­ков геосинклиналей, где сформировалась жесткая литосферав процессе вулканизма и горообразования.

Горные породы мезозойского возраста богаты полезными ископаемыми. К ним относятся угольные бассейны Восточной Сибири, месторождения нефти и газа Западной Сибири и Ман­гышлака, фосфориты, строительные материалы и др. С интру­зивными породами мезозоя связаны месторождения золота, олова, полиметаллов, ртути и других полезных ископаемых.

*Кайнозойская эра,* или эра новой жизни, продолжается по­следние 67 млн. лет. Она подразделяется на палеогеновый, нео­геновый и антропогеновый периоды. В кайнозойскую эру раз­вивается альпийский орогенез. В начале эры произошли опуска­ние значительных участков платформ и мощные трансгрессии-распространились па большую часть Восточной Европы, Запад­ную Сибирь и Среднюю Азию. В конце палеогена начались ин­тенсивная складчатость и горообразование.

Альпийский орогенез с максимальной силой проявился; в Средиземноморско-Гималайской геосинклинали. Сформиро­вались крупнейшие горные системы: Атлас, Пиренеи, Апен­нины, Альпы, Карпаты, Балканы, горы Малой Азии, Эльбрус, Копетдаг, Памир, Гималаи, горы Камчатки и Сахалина. Полу­чили дальнейшее развитие Крымские горы, Кавказ, Алтай,. Тянь-Шань, Анды и Кордильеры. В эпоху альпийского ороге­неза произошли обширные разломы в Восточной Африке, обра­зовалась впадина Красного моря. В конце неогена материки приобретают очертания, близкие к современным.

Альпийский орогенез сопровождался интенсивным вулка­низмом, распространение которого было близким к существую­щему в настоящее время.

В кайнозойскую эру наблюдались значительные изменения климата. В палеогене благодаря морским трансгрессиям на обширных территориях он был теплым, влажным, без резких колебаний температур. В неогене с уменьшением водной поверх­ности планеты климат становился континентальным. В антропогеновом периоде климатические условия северного полушария продолжали ухудшаться. Наступившее похолодание вызвало-образование горного, а затем мощного материкового оле­денения на севере Европы и Северной Америки. В связи с ко­лебаниями климата выделяются несколько эпох оледенения, во< время которых ледники опускались далеко к югу и значи­тельно увеличивались по площади. В межледниковые эпохи климат становился значительно теплее, ледники таяли и отсту­пали далеко на север, но не исчезали полностью. Потепление в конце антропогеиа привело к полному таянию материковых льдов, за исключением Антарктиды и Гренландии, и постепен­ному формированию современных климатических условий.

В растительности палеогена и неогена наряду с голосемен­ными появляются покрытосеменные растения: дуб, бук, береза, клен, пальмы и др. Меняется характер растительности. Если в начале палеогена господствовали субтропические и тропиче­ские теплолюбивые растения (магнолии, пальмы и др.) на большей части суши, то в конце неогена и особенно в антропогене в связи с оледенением в умеренных широтах сохраняются лишь морозоустойчивые и сухолюбивые виды.

Фауна палеогена и неогена обогащается новыми видами животных и насекомых. В морях сохраняется обилие простей­ших организмов, различных моллюсков и рыб. На суше мно­гие вымершие виды пресмыкающихся заменены млекопитаю­щими и птицами. Появляются лошади, антилопы, носороги и другие копытные, мамонты, многочисленные хищники, грызуны и насекомоядные. Некоторые млекопитающие уходят в море (киты, моржи и др.). Происходит развитие человекообразных.

В антропогене на Земле появился человек. После эпохи оле­денения он расселился по всей планете и оказывает решающее влияние на ее растительный и животный мир.

Альпийская эпоха горообразования продолжается и в на­стоящее время. Происходят поднятия крупных горных систем, прогибы участков океанического дна, образование рифтовых разломов. Во многих районах земного шара наблюдается ак­тивная вулканическая деятельность.

Кайнозойские отложения вмещают различные полезные ис­копаемые. На Сахалине, Апшеронском полуострове, в Туркме­нии, в предгорьях Кавказа и Карпат открыты месторождения нефти и газа в палеогеновых отложениях. К такому же возра­сту относятся месторождения углей на Сахалине, марганца в Никополе (Украина) и Чиатури (Грузия), железных руд на Керченском полуострове и др. На дне морей продолжаются от­ложения фосфоритов, марганца, железа и других полезных ис­копаемых. В высыхающих водоемах накопляются толщи раз­личных солей.

**Геохронологическая таблица**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Эпоха орогенеза | Эра | | Период | Начало, млн. лет назад | Продолжи­тельность, млн. лет | Характер тектоники | Районы орогенеза |
| Альпийская | Кайнозойская | | Аптротюгеповый (четвертичный) | 1,5 | 1,5 | Интенсивное складкообра­зование и орогенез | Средиземноморская и Тихоокеан­ская геосинклинали: Атлас, Пи­ренеи, Альпы, Карпаты, Крым, |
|  |  | | Неогеновый | 25 | 23,5 | Опускание суши. Транс­грессии моря | Кавказ, Копетдаг, Памир, Тянь-Шань, Гималаи, Камчатка, Анды, Кордильеры, Алтай |
|  |  | | Палеогеновый | 67 | 42 |  |  |
| Мезозойская | Мезозойская | | Меловой | 137 | 70 | Интенсивное горообразова­ние | Распад Лавразии и Гондваны. Под­нятие Аид, гор Тихоокеанской гряды |
|  |  | | Юрский | 195 | 58 | Горообразование. Вулка­низм. Опускание суши. Трансгрессии моря | Сихотэ-Алинь, Северо-Восточная Азия, Кавказ, Крым, Кордильеры, Индокитай, Южный Китай |
|  |  | | Триасовый | 230 | 35 | Общее поднятие суши | Тихоокеанская, геосинклиналь. Вулканизм на Сибирской плат­форме |
| Герципская | Палеозойская | | Пермский | 285 | 55 | Общее поднятие суши |  |
|  |  | Каменноугольный | | 350 | 65 | Поднятие суши, регрессии моря . | Урал, Тянь-Шань, Центральная Европа, Аппалачи, Алтай, Саяны, Казахстан |
|  |  | Девонский | | 410 | 60 | Опускание сушит, транс­грессии моря |  |
| Каледонская |  | Силурийский | | 440 | 30 | Складчатость, орогенез, вулканизм | Саяны, Восточный Алтай, Цен­тральный Казахстан, Тиманский кряж, Шотландия, Скандинавия, Центральная Европа |
|  |  | Ордовикский | | 500 | 60 | Складчатость, орогенез | Алтай, Казахстан, Урал, Западная  Европа  *у* |
|  |  | Кембрийский | | 570 | 70 | Трансгрессии моря, сла­бые . тектонические про­цессы | Урало-Тяпь-Шаньская и Монголо-Охотская геосинклинали |
| Рифейская | Протерозой­ская | Верхний (рифей) | | 1600 | 1030 | Формирование докембрий-ских платформ и гео'сиИ- | Таймыр, Ур'ал, Тянь-Шань, Ки­тайская платформа, Австралия, |
|  |  | Средний | | 1900 | 300 | клиналей | Африка, Южная Америка |
|  |  | Нижний | | 2600 | 700 |  |  |
|  | Архейская |  | | 3600 | 1000 |  |  |

*Дополнительная литература (стр. 54-83): Фоменко А.Н. Общая физическая география и геоморфология: учебник / А.Н. Фоменко, В.И. Хихлуха. – М.: Недра, 1987.*