

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
ИМЕНИ А. Н. БЕКЕТОВА**

**О. В. ГАВРИЛЮК**

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

по дисциплинам

**«ГЕОЛОГИЯ И ГЕОМОРФОЛОГИЯ»,  
«ГЕОЛОГИЯ С ОСНОВАМИ ГЕОМОРФОЛОГИИ И  
ГИДРОГЕОЛОГИИ»,  
«ГЕОЛОГИЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЯ»**

*(для студентов всех форм обучения направлений подготовки  
6.080101 «Геоинформационные системы и технологии»,  
6.040106 «Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное  
природопользование»,  
6.060103 «Гидротехника (Водные ресурсы)»)*



**Харьков  
ХНУГХ  
2013**

Гаврилюк О. В. Конспект лекций по дисциплинам «Геология и геоморфология», «Геология с основами геоморфологии и гидрогеологии», «Геология и гидрогеология» для студентов всех форм обучения направлений подготовки 6.080101 «Геоинформационные системы и технологии», 6.040106 «Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование», 6.060103 «Гидротехника (Водные ресурсы)» / О. В. Гаврилюк; Харьк. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Х.: ХНУГХ, 2013. - 58 с.

Автор: О. В. ГАВРИЛЮК

*Рекомендовано кафедрой механики грунтов, фундаментов и инженерной геологии, протокол заседания кафедры №10 от 7 июня 2012 года*

<b>СОДЕРЖАНИЕ</b>	стр.
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>РАЗДЕЛ 1 «ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ»</b> .....	6
1.1 Геология как наука. Предмет, задачи и методы в геологии.....	6
1.2 Форма, размеры и строение Земли.....	8
1.3 Тепловой режим Земли.....	10
1.4 Геологическая хронология.....	11
1.4.1 Абсолютный и относительный возраст горных пород.....	11
1.4.2 Шкала геологического времени.....	12
1.5 Эндогенные геологические процессы.....	12
1.5.1 Тектонические движения .....	13
1.5.2 Землетрясения.....	17
1.6 Экзогенные геологические процессы.....	19
1.6.1 Выветривание .....	19
1.6.2 Геологическая деятельность ветра.....	22
1.6.3 Геологическая деятельность поверхностных текучих вод...	23
<b>РАЗДЕЛ 2 «ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ»</b> .....	28
2.1 Предмет и задачи гидрогеологии. Связь гидрогеологии с другими науками.....	28
2.2 Значение подземных вод в народном хозяйстве.....	29
2.3 Генезис подземных вод.....	29
2.4 Физические свойства и химический состав подземных вод.....	30
2.4.1 Физические свойства подземных вод.....	30
2.4.2 Химический состав подземных вод.....	31
2.5 Классификация подземных вод по гидравлическому признаку и условиям залегания .....	32
2.5.1 Верховодка и ее характеристика.....	33
2.5.2 Грунтовые воды и их характеристика.....	34

2.5.3	Межпластовые безнапорные подземные воды и их характеристика.....	35
2.5.4	Напорные подземные воды и их характеристика.....	36
2.5.5	Напорно-безнапорные подземные воды .....	38
2.6	Основные виды движения подземных вод .....	39
2.7	Основной закон движения подземных вод.....	40
2.8	Скорость фильтрации и действительная скорость движения подземных вод.....	41
2.9	Фильтрационные параметры горных пород и способы их определения.....	42
2.9.1	Коэффициент фильтрации и способы его определения.....	42
2.9.2	Коэффициент водопроводимости, пьезопроводности и уровнепроводности горных пород.....	43
<b>РАЗДЕЛ 3 «ОСНОВЫ ГЕОМОРФОЛОГИИ».....</b>		<b>44</b>
3.1	Геоморфология ее предметы и задания .....	44
3.2	Элементы форм рельефа.....	45
3.3	Формы рельефа.....	46
3.3.1	Типы рельефа.....	49
3.3.2	Элементарные формы рельефа.....	51
3.4	Генезис рельефа.....	53
3.5	Возраст рельефа.....	54
3.6	Геоморфологические карты.....	55
<b>СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....</b>		<b>57</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Конспект лекций по дисциплинам «Геология и геоморфология», «Геология с основами геоморфологии и гидрогеологии», «Геология и гидрогеология» написан для студентов всех форм обучения направления подготовки 6.080101 «Геоинформационные системы и технологии», 6.040106 «Экология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование», 6.060103 «Гидротехника (Водные ресурсы)»)

При работе над конспектом лекций авторы использовали опыт преподавания этих дисциплин в ХНУГХ.

В конспекте лекций даны общие представления о геологии и Земле, приведен материал по геологической хронологии, экзогенным и эндогенным геологическим процессам. В соответствии с задачами курсов уделено внимание основам гидрогеологии и геоморфологии. Ряд вопросов, в частности относящихся к минералогии и характеристика магматических, метаморфических и осадочных горных пород не излагается, т.к. их рассмотрение предусматривается на практических и лабораторных занятиях.

При изложении материала предложена компоновка разделов, которая является, на наш взгляд, целесообразной и будет способствовать лучшему пониманию изучаемого материала.

Конспект лекций включает в себя три основных раздела: «Основы геологии», «Основы гидрогеологии», «Основы геоморфологии». Каждый из разделов состоит из нескольких тем и подтем.

Список источников подобран, исходя из принципа ее доступности и наличия в вузовской библиотеки, а также возможности использования интернет ресурсов.

## **РАЗДЕЛ 1 «ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ГЕОЛОГИИ»**

### **1.1. Геология как наука. Предмет, задачи и методы в геологии**

Геология – наука о Земле (от др. – греч. гео – «Земля», логос – «учение»).

Геология, как наука, прошла большой серьезный путь в своем развитии. До XVIII века геология являлась отделом минералогии (пассивное описание минералов и пород), или физической географии. Основной задачей этой науки считалось разъяснение вопроса по происхождению земли. Геология, как наука в понимании, близком к современному, оформилась в конце XVIII века, когда разрозненный запас геологических сведений был систематизирован в России М. Ломоносовым, в Германии А. Вернером и другими. Термин «геология» был введен в 1657 г. ученым Эмольтом.

Геология – одна из фундаментальных естественных наук, изучающая строение, состав, происхождение и развитие Земли. Она исследует сложные явления и процессы, протекающие на ее поверхности и в недрах. Современная геология опирается на многовековой опыт познания Земли и разнообразные специальные методы исследования. В отличие от других наук о Земле, геология занимается исследованием ее недр. Основные задачи геологии состоят в изучении наружной каменной оболочки планеты - земной коры (литосферы) и взаимодействующих с ней внешних и внутренних оболочек Земли.

Объектами непосредственного изучения геологии являются минералы, горные породы, ископаемые органические остатки, геологические процессы.

Геология тесно связана с другими науками о Земле, например с астрономией, геодезией, географией, биологией. Геология опирается на такие фундаментальные науки как математика, физика, химия. Геология является синтетической наукой, хотя в то же время распадается на множество взаимосвязанных отраслей, научных дисциплин, изучающих Землю в разных аспектах и получающих сведения об отдельных геологических явлениях и процессах. Так, изучением состава литосферы занимаются: петрология, исследующая магматические и метаморфические породы, литология, изучающая осадочные горные породы, минералогия - наука, изучающая минералы как природные химические соединения и геохимия – наука о распределении и миграции химических элементов в недрах земли.

Геологические процессы, формирующие рельеф земной поверхности, изучает динамическая геология, частью которой являются геотектоника, сейсмология и вулканология.

Раздел геологии, занимающийся изучением истории развития земной коры и Земли в целом, включает стратиграфию, палеонтологию, региональную геологию и носит название историческая геология.

Есть в геологии науки, имеющие большое практическое значение. Такие, как гидрогеология, наука о месторождениях полезных ископаемых, инженерная геология, геокриология и др.

В последние десятилетия появились и приобретают все большее значение науки связанные с исследованием космоса космическая геология, дна морей и океанов морская геология.

Наряду с этим есть геологические науки, находящиеся на стыке с другими естественными науками: геофизика, биогеохимия, кристаллохимия, палеоботаника. К таковым относятся также геохимия и палеогеография. Наиболее близкая и разносторонняя связь геологии с географией. Для географических наук, таких как ландшафтоведение, климатология, гидрология, океанография, более всего важны геологические науки, изучающие процессы, влияющие на формирование рельефа земной поверхности и историю образования земной коры всей Земли.

В геологии применяют прямые, косвенные, экспериментальные и математические методы. Прямые - это методы непосредственных наземных и дистанционных из тропосферы, космоса изучений состава и строения земной коры. Основной метод это геологическая съемка и картирование. Изучение состава и строения земной коры производится путем изучения естественных обнажений. Это обрывы рек, оврагов, склоны гор, искусственных горных выработок, каналы, шурфы, карьеры, шахты и буровые скважины. В горных районах можно наблюдать естественные разрезы в долинах рек, вскрывающих толщи горных пород, собранных в сложные складки и поднятых при горообразованием с глубин 16 – 20 км. Таким образом, метод непосредственного наблюдения и исследования слоев горных пород применим лишь к небольшой, самой верхней части земной коры. Лишь в вулканических областях по извергнутой из вулканов лаве и по твердым выбросам можно судить о составе вещества на глубинах 50 – 100 км и больше, где обычно располагаются вулканические очаги.

Косвенные методы – это геофизические методы, которые основаны на изучении естественных и искусственных физических полей Земли, позволяющие исследовать значительные глубины недр. Различают сейсмические, гравиметрические, электрические, магнитометрические и др. геофизические методы. Из них наиболее важен сейсмический метод, основанный на изучении скорости распространения в Земле упругих колебаний, возникающих при землетрясениях или искусственных взрывах. Эти колебания называются сейсмическими волнами, которые расходятся от очага землетрясений. Скорость движения сейсмических волн в разных горных породах различна и зависит от их упругих свойств и их плотности. Чем больше упругость среды, тем быстрее распространяются волны. Изучение характера распространения сейсмических волн позволяет судить о наличии различных оболочек шара с разной упругостью и плотностью.

Экспериментальные исследования направлены на моделирование различных геологических процессов и искусственное получение различных минералов и горных пород. Математические методы в геологии направлены на повышение оперативности, достоверности и ценности геологической информации.

Метод, применяющийся в геологии для познания истории развития Земли, называется методом актуализма (actualis - действительный, настоящий). Актуализм основан на том положении, что геологические процессы, происходившие в прошлые геологические эпохи, и явления, вызывавшиеся этими процессами, имеют много общего с современными. Исходя из этого, изучая современные геологические процессы, обстановку, в которой они происходят, и их результаты (современные осадки, вулканические продукты, рельеф и т. д.), можно по древним породам, органическим остаткам, захороненным формам рельефа и т. п., сравнивая их с современными, приближенно восстановить геологические процессы и физико-географические условия прошлых геологических эпох. Актуализм, как метод познания прошлого Земли, ограничен в своих возможностях, т. к. Земля есть развивающаяся система, в силу чего геологические процессы прошлого нельзя полностью отождествлять с процессами, происходящими в настоящее время.

Геология Земли - относительно молода. Все происходящее в недрах нашей планеты изучено пока еще не полно, существует много тайн и загадок, над которыми нужно работать и работать.

## **1.2. Форма, размеры и строение Земли**

Земля как небесное тело не является предметом изучения геологии. Однако чтобы понять курс геологии, нужно иметь общее представление о ее положении в мировом пространстве, поскольку на большинство процессов, которые происходят на Земле и в ее недрах, влияет внешняя среда, что окружает нашу планету.

За физико-химическими свойствами вся планета Солнечной системы можно разделить на две группы:

✓ Внутренние, близкие к Солнцу и известны как планета земного типа (Меркурий, Венера, Земля и Марс). Характерная особенность планеты земного типа — незначительные размеры, относительно медленное вращение и большая плотность.

✓ Внешние, удаленные от Солнца (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, и Плутон). Характерные особенности — большие размеры, что в десятку раз превышают размеры планеты земного типа, быстрое вращение вокруг собственной ось (например, период вращения Юпитера 9 часов 50 минут) и маленькая плотность (рис.1.)



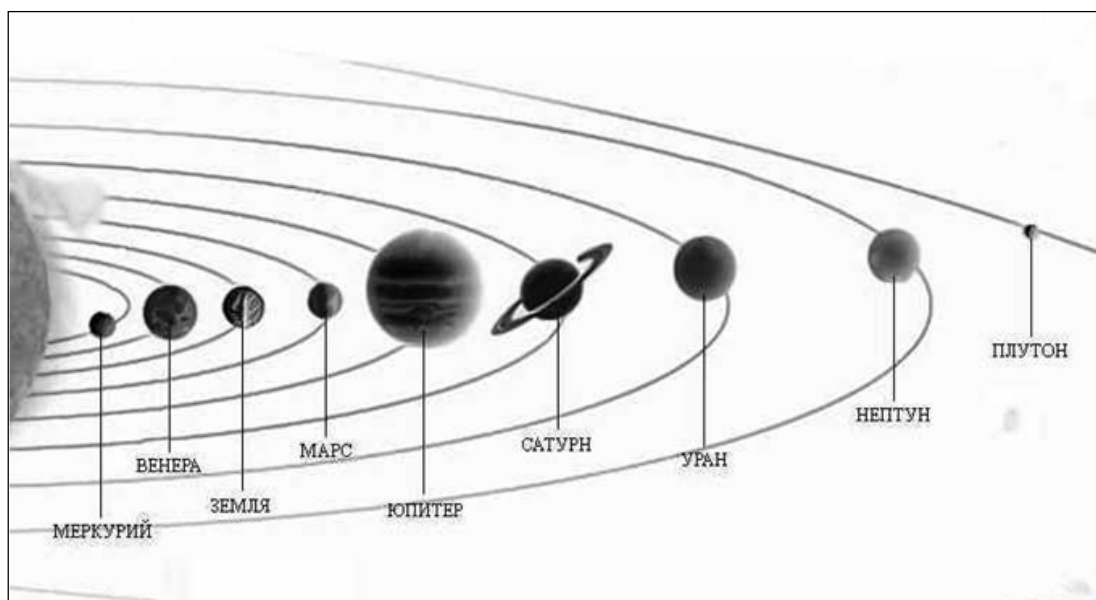


Рис. 1 – Строение Солнечной системы

Земля – третья планета Солнечной системы, которая имеет форму геоида. Геоид (буквально — «нечто подобное Земле»), форма Земли, ограниченная уровенной поверхностью, продолженной под континенты. Поверхность геоида отличается от физической поверхности Земли, на которой резко выражены горы и океанические впадины.

Средний радиус Земли составляет 6371 км, а так как она сжата с полюсов, поэтому экваториальный радиус на 21 км больше полярного радиуса:

- ✓ экваториальный радиус – 6378 км,
- ✓ полярный радиус – 6357 км.

Площадь Земли составляет 510 млн. км<sup>2</sup>,

объем -  $1,083 \times 10^{12}$  км<sup>3</sup>,

масса –  $5,975 \cdot 10^{27}$  т.

Средняя плотность вещества Земли  $\rho = 5,52$  г/см<sup>3</sup>,

а средняя плотность поверхностной породы составляет  $\rho = 2,7 - 2,8$  г/см<sup>3</sup>.

Наша планета имеет концентрическое строение и состоит из оболочек (геосфер) – внутренних и внешних.

К внутренним оболочкам относятся ядро, мантия и литосфера. Литосферу часто называют «земной корой».

На поверхности Земли располагаются внешние геосферы – гидросфера (водная оболочка), биосфера (сфера жизнедеятельности организмов) и атмосфера (газовая оболочка).

Непосредственному наблюдению доступны водная, и воздушная оболочки, сфера жизнедеятельности организмов и самая верхняя часть земной коры.

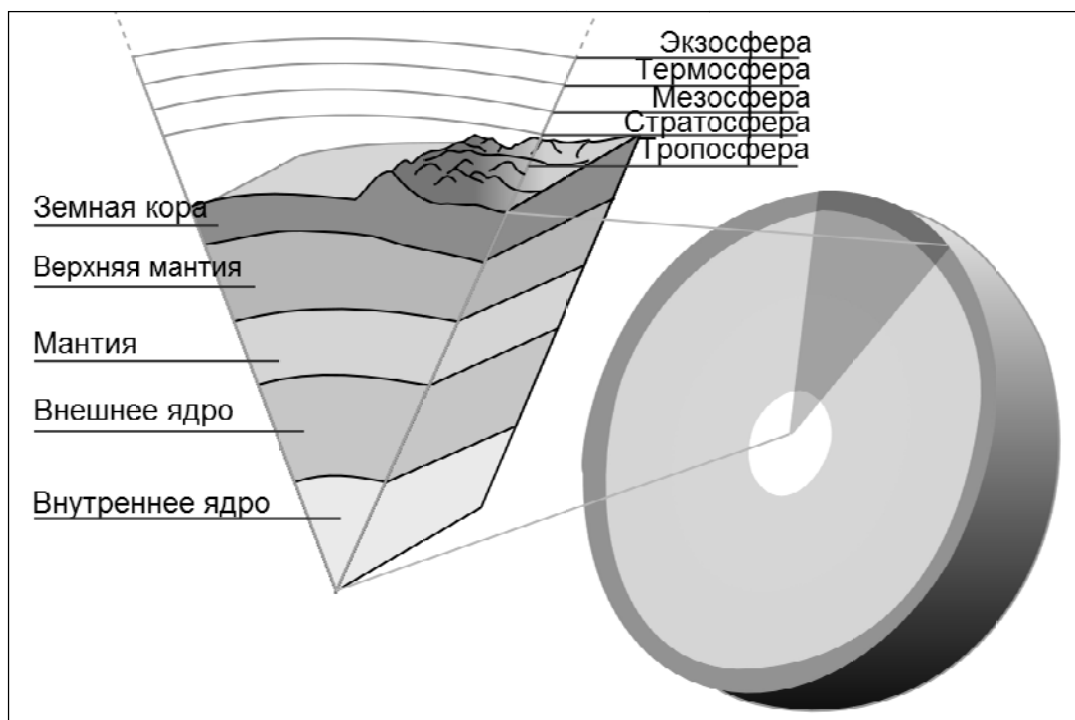


Рис. 2 – Строение Земли

### 1.3. Тепловой режим Земли

Температурный режим Земли определяется двумя источниками: теплом, получаемым от Солнца и собственным теплом планеты из ее недр (распад радиоактивных элементов в недрах планеты). Соотношение этих источников соответственно 99,5% и 0,5%.

Различают три температурные зоны (рис. 3):

- ✓ зона переменных температур;
- ✓ зона постоянных температур,
- ✓ зона нарастания температур.

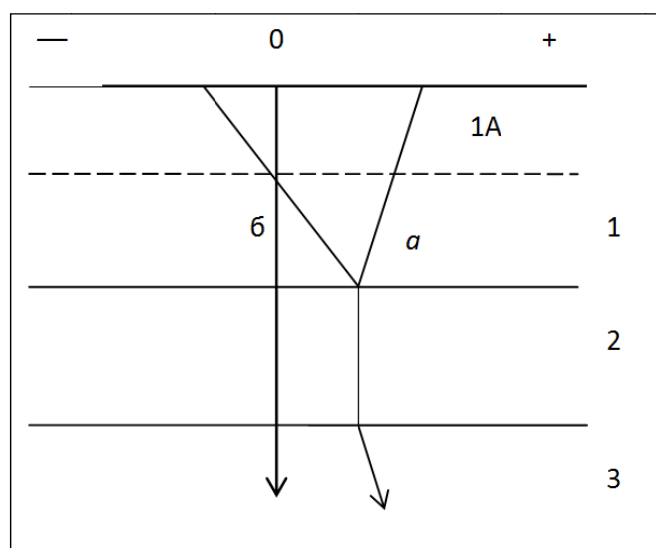


Рис. 3 – Температурные зоны Земли

Изменение температур в зоне переменных температур определяется климатом местности. Суточные колебания практически затухают на глубинах около 1,5 м, а годовые (сезонные) на глубинах 20-30 м. Для средних широт характерна кривая *a* (летний период) и кривая *б* (зимний период). В зимний период в зоне 1 образуется также подзона промерзания (1А), где температура опускается ниже нуля градусов. Мощность этой подзоны зависит от климата, типа горных пород и колеблется от нескольких см до 2 м и более.

По мере углубления влияние сезонных колебаний температур уменьшается и на глубине 15-40 м находится зона постоянной температуры, которая соответствует среднегодовой температуре данной местности. В пределах 3-ей зоны температура с глубиной возрастает.

Величина нарастания температуры на каждые 100 м глубины называется геотермическим градиентом, а глубина при которой температура повышается на один градус – геотермической ступенью. Теоретически средняя величина этой ступени составляет 33м.

Закономерное нарастание температуры с глубиной справедливо лишь до некоторой глубины.

## 1.4 Геологическая хронология

**Геохронология** – это подразделение геологического времени существования Земли на отдельные отрезки, имеющие собственные названия. Геохронология позволяет определить возраст горных пород.

### 1.4.1 Абсолютный и относительный возраст горных пород

Различают абсолютный и относительный возраст горных пород.

**Абсолютный возраст** устанавливается в годах, т.е. определяется, сколько лет прошло с момента образования породы. Для этой цели применяется радиоактивный и палеомагнитный методы.

**Радиоактивный метод.** Радиоактивные элементы в породе составляют десятитысячные доли %% и каждый со своим периодом полураспада ( $U^{238}=4,5$  млрд. лет,  $C^{14}=5568$  лет). Доказано, что на скорость распада радиоактивных элементов не влияют большие температуры и давления в земной коре. Зная содержание радиоактивного элемента и продуктов его распада в породе, по определенной формуле рассчитывают начало распада, которое отождествляют с началом жизни породы. В настоящее время применяются методы, основанные на определении содержания в горных породах продуктов распада урана или тория, а также промежуточных продуктов распада этих элементов (калия, рубидия, стронция, углерода и т.д.). Применение радиоактивных методов позволило составить шкалу абсолютного возраста горных пород.

**Палеомагнитный метод** основан на сохранении первичного магнитного поля окислами железа, которые выкристаллизовывались в момент

формирования осадочных пород и сохранили память о бывшем магнитном поле.

**Относительный возраст** пород позволяет определить их возраст относительно друг друга. Определение относительного возраста производится двумя способами: стратиграфическим и палеонтологическим.

*Стратиграфический метод* применяется при горизонтальном залегании слоев. При этом считается, что более древние породы залегают ниже, чем более молодые породы.

*Палеонтологический метод* является основным в геологии. В основу этого метода положена история развития органической жизни на Земле. Определение возраста пород производится по так называемым руководящим формам.

Руководящие формы – это животные и растения, которые за сравнительно короткий период времени появились, достигли своего развития и вымерли, при этом успели расселиться по всей территории Земли.

Животный и растительный мир развиваются последовательно и необратимо. Каждой геологической эпохе соответствует свой комплекс животных и растений.

#### **1.4.2 Шкала геологического времени**

В результате изучения строения земной коры, изучения истории развития жизни на Земле и применения различных методов появилась возможность всю геологическую историю Земли разделить на ряд отрезков по времени, т. е. составить геохронологическую шкалу (табл. 1.1).

Наиболее крупные промежутки времени получили названия эр, а толщи пород, образовавшиеся за это время – групп. Каждая эра подразделяется на периоды, а группа – на системы; периоды – на эпохи и т.д.

#### **1.5. Эндогенные геологические процессы**

Процессы изменения земной коры и более глубоких геосфер Земли называются геологическими. Земная кора изменяется непрерывно. Отдельные ее участки отличаются друг от друга составом и характером залегания горных пород. Все геологические процессы подразделяют на экзогенные (извне рожденные) и эндогенные (внутри рожденные). Эндогенные и экзогенные геологические процессы приводят к изменению как внутреннего строения земной коры и более глубоких оболочек, так и внешнего лика планеты.

*Эндогенные процессы* – геологические процессы, связанные с энергией, возникающей в недрах Земли, под действием процессов радиоактивного распада. К эндогенным процессам относятся тектонические процессы,

магматизм, метаморфизм, сейсмическая активность. Благодаря этим процессам, формируется неровности земной поверхности.

**Таблица 1.1 – Шкала геологического времени**

Геологическая история Земли	Эра (группа)	Период (система)	Типичные организмы	Абсолютный возраст, млн. лет
	Кайнозойская Kz	Четвертичный Q	Человек	1,5-2
		Неогеновый N	Млекопитающие, цветковые растения	26
		Палеогеновый Pg		63
	Мезозойская Mz	Меловой K	Головоногие моллюски и пресмыкающиеся	137
		Юрский J		195
		Триасовый T		240
	Палеозойская Pz	Пермский P	Амфибии и споровые	285
		Каменноугольный C		340-360
		Девонский D	Рыбы, плеченогие	410
		Силурийский S	Первые беспозвоночные	440
		Ордовикский O Кембрийский Cm		500
				Более 570
Протерозойская Prz	---	Редкие остатки примитивных форм	2600	
Архейская Arz			До 4500	
Планетарная стадия Земли			Свыше 4500	

### 1.5.1 Тектонические движения

Отрасль геологии, изучающая движения и деформации земной коры и их влияние на условия залегания и состояние горных пород, называется тектоникой (от греч. – строить).

Тектонические движения – перемещения вещества земной коры, нарушающие залегание горных пород. Тектонические движения подразделяются на эпейрогенические или колебательные (эпейрос – материк) и орогенические или горообразовательные (гр. эрос – гора).

*Эпейрогенические или колебательные движения* (от греч. epeiros — материк, суша и genos) — это медленные (вековые) тектонические движения земной коры. Они проявляются всегда и везде. Суть колебательных движений заключается в медленных и очень медленных вертикальных поднятиях и опусканиях значительных участков земной коры. Причем в одном и том же месте медленное опускание может смениться столь же медленным поднятием. Скорость колебательных движений различна. Наблюдения над современными колебательными движениями показали, что скорость поднятия таких районов Земли, как Кольский полуостров, Финляндия составляет 10-14мм в год. Наряду с поднятиями, ряд районов земного шара испытывает опускание. Так опускается территория современной Голландии. Установлено, что северные берега Африки опускаются, а западные и восточные поднимаются и т.д.

*Орогенические или горообразовательные движения* – это быстрые (по сравнению с колебательными движениями) перемещения вещества земной коры главным образом под действием бокового и глубинного давления.

В результате орогенических движений происходит образование нарушенного залегания горных пород характерное для горных районов. Любое нарушение горизонтального (горизонтального) залегания горных пород называется *дислокацией*.

Различают следующие формы дислокаций: пликативные и дизъюнктивные.

*Пликативными дислокациями* называются нарушения нормального залегания горных пород без разрыва их оплошности (плавные, волнообразные изгибы слоев горных пород). Такие нарушения горных пород называют складчатыми дислокациями. Основной формой пликативной дислокации является: складка, флексура, моноклиналь.

*Складкой* называется пликативное нарушение горных пород с изгибом их сложения (рис. 4).

Различают антиклинальные и синклинальные складки. Антиклинальная складка – это складка, с вершиной вверх. Синклинальная складка – это складка с вершиной направленной вниз.

Складка имеет следующие элементы:

- ✓ ось складки – условная, вертикальная линия, проходящая через высшую или низшую точку складки.
- ✓ крылья складки – пологие падения слоев горных пород от высшей точки или поднятия до низшей точки складки.
- ✓ замок складки – низшая или высшая точка складки (рис. 3).

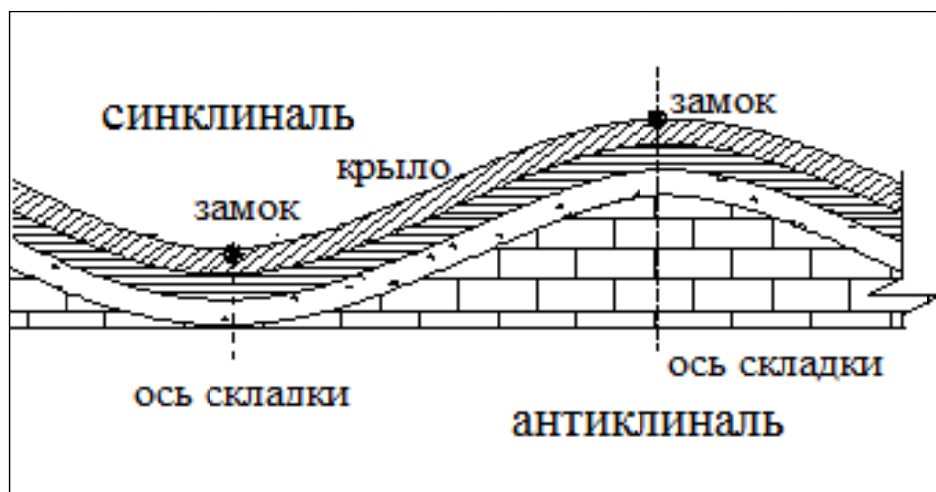


Рис. 4 – Складки и ее элементы

*Флексура* – пликативная форма нарушения залегания горных пород без разрыва их сплошности, представляющая одиночный мягкий изгиб горных пород (рис. 5).

*Моноклираль* – пликативная форма залегания горных пород, представляющая пологое падение горных пород с преимущественно одним направлением (рис. 6).

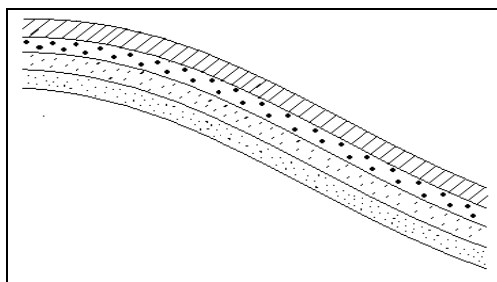


Рис. 5 – Флекстура

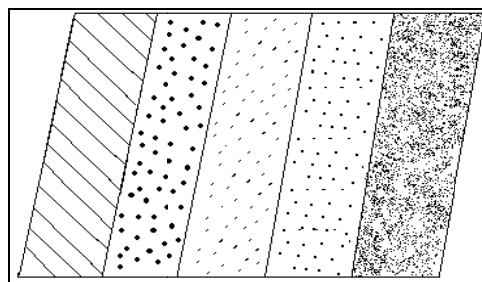


Рис. 6 – Моноклираль

По форме поперечного профиля и характера падения крыльев складки могут быть прямые, косые, опрокинутые и лежащие (рис. 7).

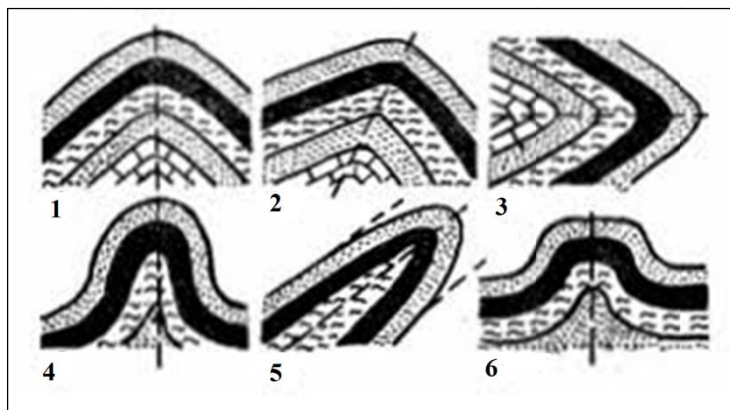


Рис. 7 – Виды складок: 1 – прямая, 2 – косая, 3- лежащая, 4 – веерообразная, 5 – изоклиральная, 6 – сундучная (коробочная); пунктиром показаны осевые линии

Складки наблюдаются в естественных обнажениях, например, в горах или в искусственных, в горных выработках. Складки имеют разные размеры.

*Дизъюнктивными дислокациями* называются нарушения нормального залегания горных пород с разрывом их сплошности. Разрыв сплошности происходит по сместителю. *Сместитель* – трещина в горных породах, по которой происходит смещение горных пород. Ширина раскрытия трещины колеблется от нескольких сантиметров до нескольких метров. Трещины сместителей обычно заполнены разрушенными горными породами – щебнем, дресвой. Эти горные породы могут быть сцементированными или сильно обводнены подземными водами, которые поднимаются по этим трещинам.

В зависимости от того, как горные породы перемещаются по сместителю, различают следующие формы разрывных дислокаций: сброс, взброс, сдвиг, надвиг, горст, грабен.

*Взброс* – перемещение слоев горных пород по сместителю вверх (рис. 8).

*Сброс* – перемещение слоев горных пород по сместителю вниз (рис. 8).

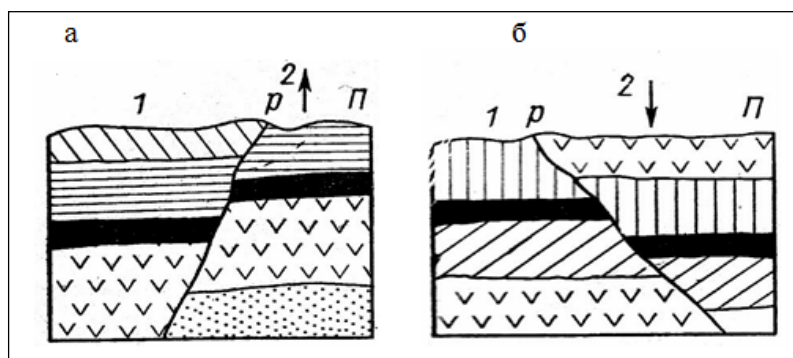


Рис. 8 – Взброс – а, сброс – б : 1 – неподвижная часть толщи, 2 – смещенная часть, П – поверхность Земли, р – сместитель

*Сдвиг* – перемещение слоев горных пород друг относительно друга по почти горизонтальному сместителю.

*Надвиг* – перемещение слоев горных пород по сместителю вверх, по очень полого наклоненному сместителю (рис. 9).

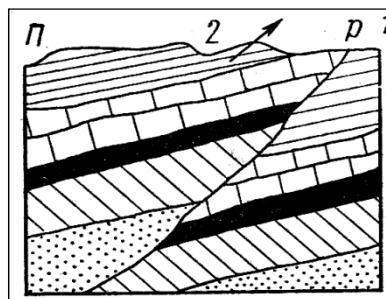


Рис. 9 – Надвиг: 1 – неподвижная часть толщи, 2 – смещенная часть, П – поверхность Земли, р – сместитель

*Горст* – перемещение слоев горных пород по двум сместителям вверх (рис. 10).



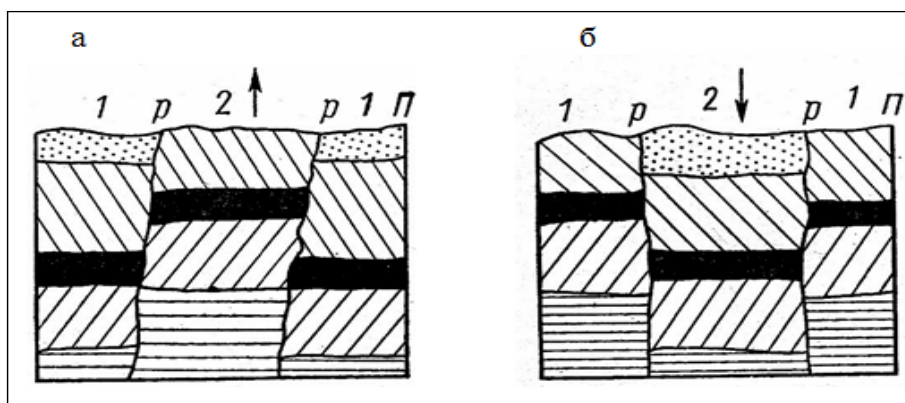


Рис. 10 – Горст – а , грабен – б: 1 – неподвижная часть толщи, 2 – смещенная часть, П – поверхность Земли, р – сместители

*Грабен* – перемещение слоев горных пород по двум сместителям вниз (рис. 10).

### 1.5.2. Землетрясения

*Землетрясение* – особый вид движения вещества земной коры, выражающийся в упругих волновых колебаниях. Землетрясения – результат быстрой разрядки напряжений, накапливающихся в глубинных зонах Земли.

На земной поверхности землетрясения происходят довольно часто (сейсмические станции регистрируют одно землетрясение через каждые 5 минут). Продолжительность землетрясений от 5-6 сек до 5-6 мин. Ежегодно регистрируются сотни тысяч землетрясений, но только около 100 из них можно отнести к разрушительным.

Наука, изучающая землетрясения называется сейсмологией. Все явления, сопровождающие землетрясения называются сейсмическими.

Любое землетрясение – это мгновенное высвобождение энергии за счет образования разрыва горных пород, возникающего в некотором объеме, границы которого не могут быть определены достаточно строго и зависят от структуры и напряженно-деформированного состояния горных пород в данном конкретном месте. Деформация пород происходит скачкообразно с образованием упругих волн. Объем пород определяет силу сейсмического толчка и выделившуюся энергию. Чем меньше объем очага, тем слабее толчки.

Гипоцентром, или фокусом землетрясения называют условный центр очага на глубине (рис. 11).

В зависимости от глубины гипоцентра различают:

- ✓ мелкофокусные (поверхностные) землетрясения – до 70 км,
- ✓ среднефокусные (коровые) землетрясения – 70-300 км,
- ✓ глубокофокусные (глубокие) землетрясения – 300-700 км.

Чаще очаги землетрясений находятся на глубине 10-30 км, т.е. в нижней части литосферы.

Непосредственно над гипоцентром на поверхности Земли находится эпицентр. В эпицентре землетрясение проявляется с наибольшей силой.

В результате землетрясения возникает три вида колебаний: продольные, поперечные и поверхностные (рис. 11). Продольные колебания вызывают расширение и сжатие пород, они распространяются во всех средах (вертикальные), скорость их распространения 5-8 км/сек. Поперечные колебания перпендикулярны продольным, распространяются только в твердой среде (вызывают деформации сдвига), скорость их 2-4 км/сек. На поверхности Земли от эпицентра расходятся колебания поверхностные. Скорость их ниже, чем у поперечных (~ 3,5 км/сек).

В зависимости от причин возникновения различают следующие три типа землетрясений: обвально-провальные (денудационные), вулканические и тектонические или горообразовательные.

*Вулканический* тип землетрясений связан с деятельностью вулканов. Такие землетрясения могут быть вызваны взрывами магматических газов в недрах вулканов. Интенсивность таких землетрясений значительно больше, чем денудационных и они могут быть очень разрушительны. Однако вулканические землетрясения, так же как и денудационные распространены на сравнительно небольших территориях.

Тектонические землетрясения являются следствием тектонических процессов, происходящих в толщах земной коры. Их воздействие распространяется на громадные площади и вызывает разрушительные последствия, как в земной коре, так и в различных зданиях и сооружениях построенных на ее поверхности.

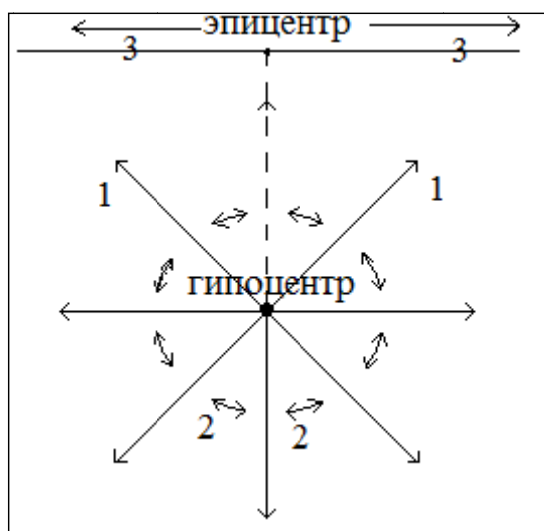


Рис. 11 – Структура землетрясения: 1 – продольные, 2 – поперечные, 3 – поверхностные волны

За землетрясениями ведут постоянные наблюдения при помощи спец. приборов – сейсмографов.

На практике силу землетрясений измеряют в баллах. Существует 12 бальная система (шкала Рихтера), где каждому баллу соответствуют определенные разрушения (табл. 1.2).

В районах, где интенсивность землетрясений бывает более 6 баллов, при строительстве различных сооружений предусматриваются специальные меры, обеспечивающие устойчивость зданий и сооружений.

Так, при выборе строительных площадок следует избегать территории с резко расчленённым рельефом и сыпучими грунтами. Наиболее устойчивы в сейсмическом отношении твердые (скальные) горные породы. Не рекомендуется возводить сооружения на насыпных грунтах, в районах оползней.

В сейсмических районах следует проектировать более широкие улицы, выход из зданий и квартир устанавливать на две стороны.

Предпочтение следует отдавать железобетонным сооружениям, а не кирпичным. В случае применения кирпича для возведения 3-4 – этажных зданий, последние должны быть укреплены железобетонными поясами.

Конфигурация сооружений в плане должна быть наиболее простой. Если здание в плане представляет сложную фигуру, то его необходимо разделить специальными антисейсмическими швами на отдельные части простой формы.

Должно соблюдаться особо тщательное производство работ и применяться высококачественные материалы.

## **1.6 Экзогенные геологические процессы**

Процессы внешней динамики Земли (экзогенные геологические процессы) идут на поверхности Земли. Их источником и движущей силой является Солнце (внешний источник). К экзогенным геологическим процессам относятся: выветривание, геологическая деятельность ветра, поверхностных и атмосферных вод, ледников, морей, океанов, рек, ледников, подземных вод. Эти процессы не менее грандиозны и не менее опасны для инженерных сооружений (ураганы, бури, оползни, паводковые разливы рек, подтопление территорий и мн. др.). Процессы внешней динамики повсеместны, часто носят скрытый характер, но их действие и результаты в планетарном масштабе очень большие. Эти процессы сметают горы с лица Земли, переносят миллионы км<sup>3</sup> горных пород и воды.

### **1.6.1 Выветривание**

*Выветриванием* называются процессы разрушения и изменения горных пород, происходящие под воздействием различных агентов на месте их залегания. Основными агентами выветривания являются: воздух, вода, лед, колебаний температуры, жизнедеятельность живых организмов. Выветриванию подвергаются не только природные горные породы и минералы, но и искусственные строительные материалы – стены и фундаменты зданий, подземные и наземные строительные конструкции, коммуникации, трубопроводы и т. д.

**Таблица 1.2 – Сейсмическая шкала (схематизировано)**

Бал	Название землетрясения	Краткая характеристика
1	Незаметное	Отмечается только сейсмическими приборами.
2	Очень слабое	Ощущается отдельными людьми, находящимися в состоянии полного покоя.
3	Слабое	Ощущается лишь небольшой частью населения.
4	Умеренное	Распознаётся по лёгкому дребезжанию и колебанию предметов, посуды и оконных стёкол, скрипу дверей и стен.
5	Довольно сильное	Общее сотрясение зданий, колебание мебели. Трещины в оконных стёклах и штукатурке. Пробуждение спящих.
6	Сильное	Ощущается всеми. Картины падают со стен. Откалываются куски штукатурки, лёгкое повреждение зданий.
7	Очень сильное	Трещины в стенах каменных домов. Антисейсмические, а также деревянные постройки остаются невредимыми.
8	Разрушительное	Трещины на крутых склонах и на сырой почве. Меняется уровень воды в колодцах. Памятники сдвигаются с места или опрокидываются. Падают дымовые трубы. Сильно повреждаются капитальные здания.
9	Опустошительное	Сильное повреждение и разрушение каменных домов
10	Уничтожающее	Крупные трещины в почве. Оползни и обвалы. Разрушение каменных построек. Искривление ж.-д. рельсов.
11	Катастрофа	Широкие трещины в земле. Многочисленные оползни и обвалы. Каменные дома совершенно разрушаются.
12	Сильная катастрофа	Изменения в почве достигают огромных размеров. Многочисленные трещины, обвалы, оползни. Возникновение водопадов, подпруд на озёрах, отклонение течения рек. Ни одно сооружение не выдерживает. На земной поверхности видны волны.

Наиболее активно процессы выветривания наблюдаются в верхней части земной коры, на контакте с атмосферой. Атмосфера – это не только газы, но и атмосферная влага в виде дождя, снега, льда, и колебания температуры. С глубиной интенсивность выветривания ослабевает. Глубина воздействия поверхностных агентов зависит от состава и строения пород. В плотных скальных породах процесс выветривания идет лишь с поверхности, в пористых и трещиноватых грунтах глубина выветривания больше, до 5-10 м. Инженерная

деятельность человека способствует проникновению агентов выветривания в толщу пород (отрывка котлованов, проходка тоннелей, шахт). Процессы выветривания дробят и разрушают горные породы, изменяют их химико-минералогический состав, ухудшают строительные свойства грунтов. Первичная монолитная порода превращается в рыхлое образование.

Продукты выветривания горных пород называются *элювием*, или *корой выветривания*.

В зависимости от характера агентов выветривания выделяют:

- ✓ физическое (механическое) выветривание,
- ✓ химическое выветривание
- ✓ биологическое (органическое) выветривание.

*Физическое выветривание* – это механическое разрушение горных пород без изменения их минералогического состава. Его агентами являются: резкие изменения температуры, механическое действие замерзающей воды, механическая сила ветра, в том числе с ударами песчинок, переносимых ветром, кристаллизация солей в капиллярах, давление растущих корней растений. В результате этих воздействий монолитная порода превращается в рыхлую массу обломков, глыб, щебень, гравий, песок.

Физическое выветривание преобладает в районах, где существует резкая разница в температурах зимних и летних, ночных и дневных – это места с сухим резко континентальным (пустыни) или холодным климатом (горные районы, арктический пояс).

*Химическое выветривание* выражается в разрушении горных пород путем растворения и изменения их состава. Наиболее сильными химическими агентами являются вода, кислород, уголекислота и органические кислоты.

Скорость химического выветривания зависит от климата. Чем выше температура и влажность, тем интенсивнее выветривание (из химии известно, что скорость химических реакций при повышении температуры на 100С увеличивается в 2-2,5 раза). Наиболее интенсивно хим. выветривание происходит в районах теплого и влажного климата.

Отличительной чертой химического выветривания является разрушение горных пород с изменением их минералогического состава.

Особенно интенсивно химическое выветривание протекает в породах, которые предварительно подверглись физическому выветриванию.

*Биологическое (органическое) выветривание* протекает под воздействием живых организмов – микроорганизмов (микробов) и макроорганизмов (черви, жуки, личинки, кроты, суслики), включая растения – высшие и низшие (лишайники, мхи, древесная растительность).

Таким образом, процессы физического, химического, биогенного выветривания идут постоянно и повсеместно. Под их влиянием медленно, но неотвратимо разрушаются даже самые прочные горные породы, постепенно превращаясь в дресву, песок и глину.

### 1.6.2 Геологическая деятельность ветра

Ветром называется движение воздуха в горизонтальном направлении вследствие разности атмосферного давления, которая возникает от неравномерного нагревания воздуха. Ветер – это могучая, чрезвычайно распространенная планетарная сила.

Геологическая деятельность ветра называется *эоловыми процессами* (Эол – бог ветра в древней Греции).

Эоловая деятельность включает процессы:

- ✓ выдувания,
- ✓ обтачивания,
- ✓ перенос и отложения пород.

*Процесс выдувания* (дефляция от латинского) – распространен в пустынных областях, представляет собой выдувание частиц породы и их перемещение по воздуху или перекачиванию по поверхности.

При выдувании рыхлых пород возникают котловины выдувания.

*Процесс обтачивания* (корразия от лат.) – переносимые ветром частицы с силой ударяются о поверхность твердых горных пород и постепенно истачивают их. В результате в породах образуются ниши, борозды, царапины. Создаются такие причудливые формы, как столбы, грибы, пирамиды,obelisks.

*Процесс переноса и отложения* (аккумуляции). Ветер, даже небольшой силы, легко поднимает и переносит мелкие частицы горных пород (пыль – лесс). Материал переноситься на огромные расстояния – 2-2,5 тыс. км. Иногда они перекачиваются по поверхности земли и приобретают окатанность.

В результате геологической деятельности ветра образуются *эоловые отложения*.

Формы рельефа, образованные геологической деятельностью ветра:

*Дюнами* называют песчаные возвышения, образующиеся на берегах морей и рек при наличии низких берегов и рыхлого песка (рис.12). Дюна имеет форму изогнутой гряды с гребнем и асимметричными склонами. Их скорость движения изменяется от 1 до 20 м/год. Дюны образуют цепь холмов.

*Барханы* имеют форму полумесяца, который обращен вогнутой стороной по направлению движения ветра (рис.12). Они образуются в пустынях при преобладании ветра одного направления. Как и дюны, барханы имеют крутые подветренные и пологие наветренные склоны.

Это песчаные холмы серповидной формы. Их поперечный разрез также асимметричный: наветренный склон пологий – до  $12^\circ$ , подветренная часть – крутая –  $30-40^\circ$ . Высота барханов достигает 60-70 м, а в Средней Азии и Сахаре – до 200 м, ширина барханов – десятки и сотни метров. Барханные цепи занимают сотни и тысячи км<sup>2</sup>. Скорость движения барханов – от 5-6 до 50-70 м/год.

*Эоловая рябь* – наблюдается на поверхности всех отмеченных форм, а часто и на выровненных участках песков. Это мелкие валики, образующие также серповидно изогнутые цепочки, напоминающие мелкую рябь на воде.

*Ветровые образования (лессы, лессовые породы)* – продукты переноса рыхлых частиц ветром.

Геологическая работа ветра вредна для хозяйственной деятельности человека, т.к. в результате неё уничтожаются плодородные земли, разрушаются постройки, нарушаются транспортные коммуникации.

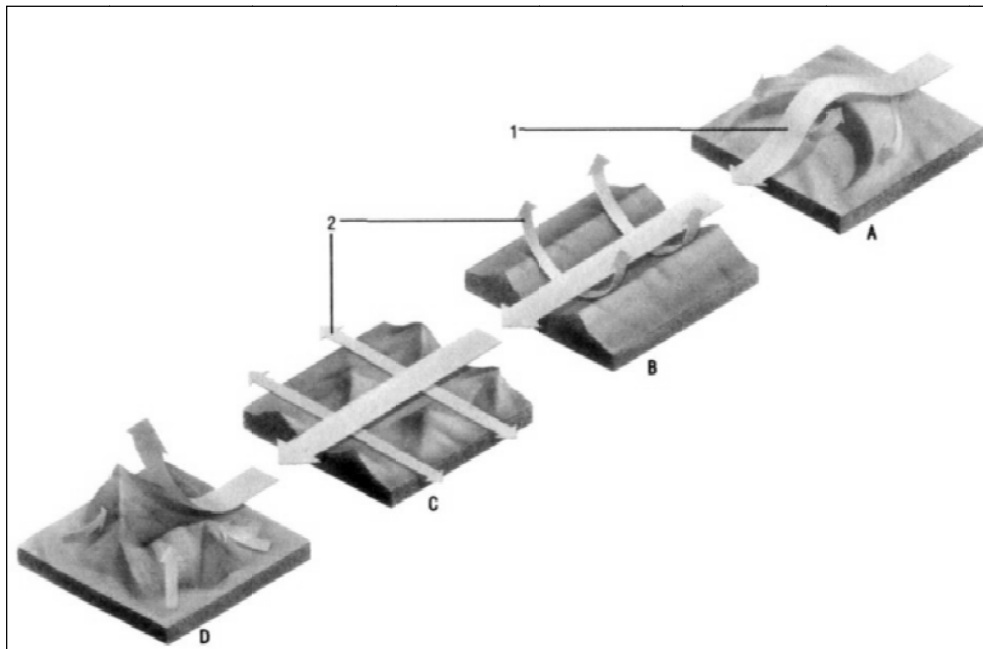


Рис. 12 – Дюны, барханы: 1, 2 – направление ветра; А – барханы, В – продольные дюны, С – поперечно-продольные дюны, D – пирамидные дюны

Выделяются два вида борьбы с эоловыми образованиями: пассивная и активная. Пассивная борьба сводится к мерам, направленным на закрепление песчаных полей. Активная борьба заключается в управление ветровой энергией. Создаются преграды, ослабляющие силу ветра или изменяющие направление переноса: плетни, заборы, лесополосы и др.

### 1.6.3 Геологическая деятельность поверхностных текучих вод

Под текучими водами понимаются все воды поверхностного стока на суше от струй, возникающих при выпадении дождя и таяния снега, до самых крупных рек. Геологическая работа поверхностных текучих вод зависит от массы воды и скорости ее течения. Чем больше масса и скорость, тем больше совершаемая работа.

В деятельности текучих вод могут быть выделены три составляющие:

- ✓ разрушение,
- ✓ перенос,
- ✓ отложение, или аккумуляция, переносимого материала на путях переноса.

По характеру и результатам деятельности можно выделить три вида поверхностного стока вод:

- ✓ плоскостной безрусловой склоновый сток;
- ✓ сток временных русловых потоков;
- ✓ сток постоянных водотоков - рек.

Деятельность поверхностных вод, или водная денудация, имеет огромное значение в формировании рельефа. Она приводит к расчленению и в целом к понижению поверхности материков.

*Плоскостной склоновый сток.* В периоды выпадения дождей и таяния снега вода стекает по склонам в виде сплошной тонкой пелены или густой сети отдельных струек. Они захватывают главным образом мелкоземлистый материал, слагающий склоны, переносят его вниз. У подошвы течение воды замедляется, и переносимый материал откладывается как непосредственно у подножья, так и в прилегающей части склона (рис.13). Такие отложения, образованные склоновым стоком, называются *делювиальными отложениями* или *делювием* (лат. «делюв» – смываю). К характерным чертам делювия относят:

- ✓ отсутствие слоистости и сортировки материала,
- ✓ смешанный и разнообразный состав (смесь всех пород, смытых со склона),
- ✓ содержание растительных и животных остатков во вторичном и переотложенном состоянии.

Наибольшая мощность делювия (до 15-20 м) наблюдается у основания склона, а вверх по склону она постепенно уменьшается. Продолжающийся процесс плоскостного смыва и образование делювия постепенно приводят к выполаживанию склонов.

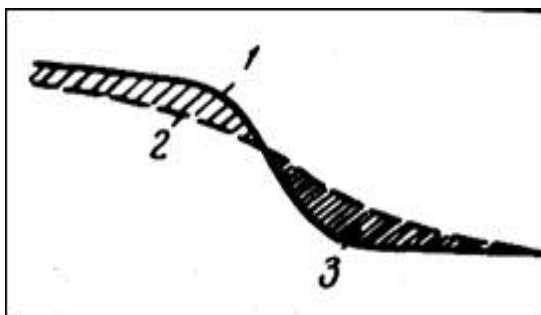


Рис. 13 – Схема образования делювия: 1 - первичная поверхность склона, 2 - сниженная поверхность склона в результате плоскостного смыва, 3 – делювий

*Деятельность временных русловых потоков.* Среди временных русловых потоков выделяются временные потоки оврагов и временные горные потоки.

*Временные потоки оврагов.* Начало оврагообразования связано в большинстве случаев со склонами долин рек. Если в пределах склона или его бровки имеются различные естественные или искусственные неровности, понижения, то при выпадении дождя или таянии снега в них происходит слияние отдельных стекающих струй воды, которые разрушают указанные части склона и на их месте образуются различные промоины, рывтины. Так



начинается на склонах процесс размыва, или эрозии (лат. «эродо» - размываю). Фактически это первая зародышевая стадия развития оврага. В последующем в таких рывинах периодически концентрируется еще большее количество воды, и они начинают расти в глубину, ширину, вниз и вверх по склону. В результате возникает сложная ветвящаяся овражная система, расчленяющая местами не только склоны, но и обширные водораздельные пространства (рис. 14).

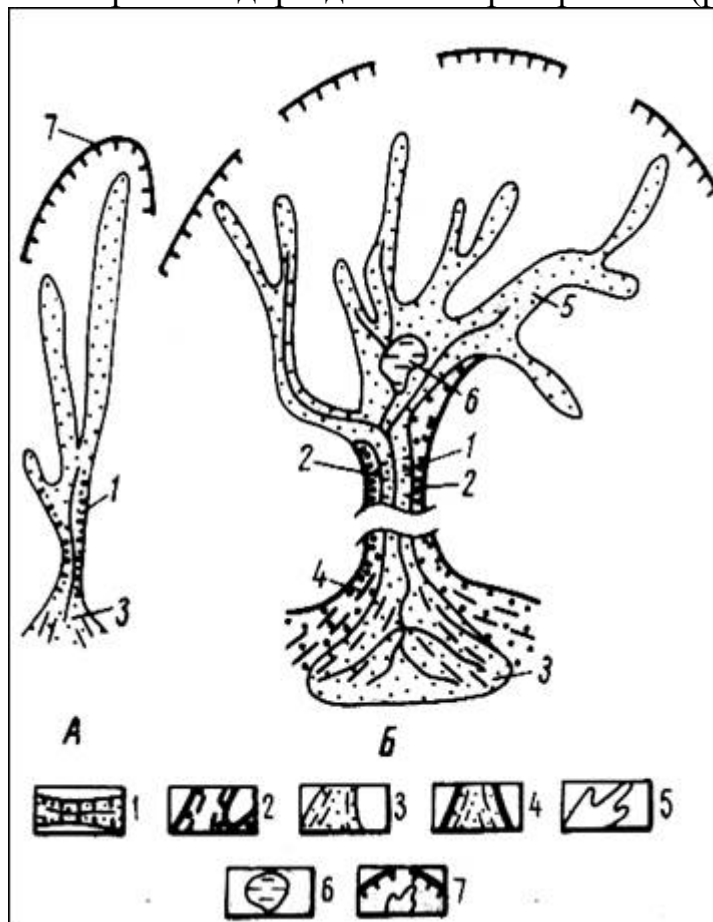


Рис. 14 – Типы оврагов: А - простой молодой овраг; Б - сложный разветвленный овраг; 1, 2 - линейная часть оврага, выработанная по направлению наибольшего уклона склона молодого (1) и древнего (2) оврагов, 3 - конус выноса молодой генерации оврага, 4 - то же, древней генерации, 5 - верховье оврага в различной степени разветвленное, 6 - заболоченность в районе слияния отдельных ответвлений в верхней части оврага, 7 - области дренирования поверхностных и местами подземных вод

Наиболее глубокая и разветвленная сеть оврагов образуется в районах развития легко размываемых горных пород - лёссовидных суглинков, песков, алевролитов, глин. Местами в областях лесостепи и степи наблюдаются оврагоподобные формы с расширенным дном и мягкими пологими склонами, покрытыми плащом делювия и в ряде случаев растительностью. Такие формы называют балками.

Следует отметить, что оврагообразованию способствуют не только природные факторы, но и необдуманная деятельность человека (вырубка леса, распаханность, заложение грунтовых дорог и канав в направлении вниз по склону и др.).

Для борьбы с оврагами применяются различные методы, направленные на предотвращение попятной эрозии и укрепление склонов: заравнивание промоин; запрет на возведение канав (особенно вниз по склонам); посадка деревьев, кустарников, сохранение растительности; возведение плотин (земляные, деревянные, каменные и др.), продольных и поперечных подпорных стен; организация стока воды в лотки с перепадами и водоотводах.

*Временные горные потоки* развиваются несколько differently от оврагов. Их верховья расположены в верхней части горных склонов и представлены системой сходящихся рытвин и промоин, образующих вместе водосборный бассейн. Ниже по склону вода движется в едином русле.

В периоды сильных дождей и интенсивного таяния снега временные горные потоки движутся с большой скоростью и захватывают значительное количество различного обломочного материала, который способствует интенсификации эрозионной деятельности. При выходе на предгорную равнину скорость движения уменьшается, горные потоки ветвятся на многочисленные рукава, в результате чего весь принесенный обломочный материал откладывается. Так образуется *конус выноса временного горного потока* в виде полукруга, поверхность которого имеет наклон от горного склона в сторону предгорной равнины (рис. 15). Отложения конусов выноса временных горных потоков называется *пролювием* (лат. "пролюо" - промываю). Конуса выносов, сливаясь друг с другом, образуют местами широкие подгорные волнистые шлейфы.



Рис. 15 – Конус выноса в Долине Смерти

*Геологическая деятельность рек.* Временные ручьи атмосферных осадков, стекая по оврагам и понижениям, собираются в постоянном водотоке – реки. На пути своего движения реки совершают большую геологическую работу – разрушение горных пород (*эрозия*), перенос и отложение (*аккумуляция*) продуктов разрушения. Эрозия осуществляется динамическим воздействием воды на горные породы. Кроме того, речной поток истирает

породы обломками, которые несёт вода. Одновременно вода оказывает на горные породы растворяющее действие.

Речные отложения называются *аллювиальными*.

В процессе размывающей и аккумулятивной деятельности реки на поверхности земли формируются речные долины (рис. 16).

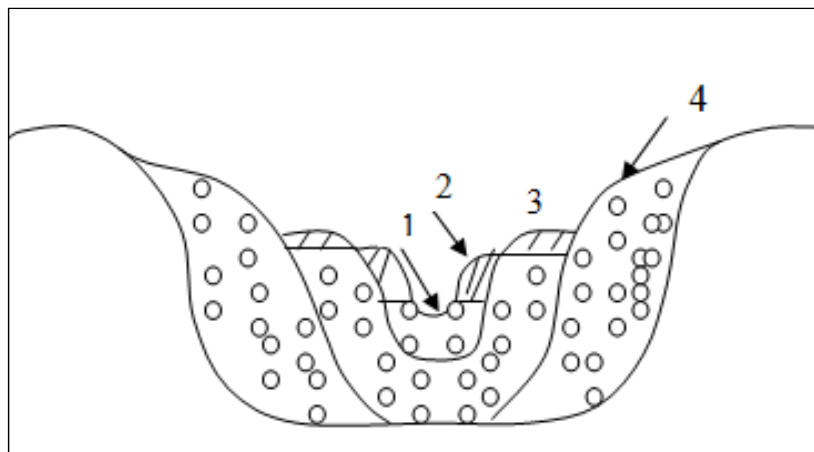


Рис. 16 – Речная долина: 1 – русло реки, 2 - пойма реки, 3 – первая надпойменная терраса, 4– вторая надпойменная терраса

Аллювий заполняет речные долины, образуя *аккумулятивные террасы*. Наносы, не обложившиеся в речной долине, выносятся в устье, где из них формируются приморские дельты.

Сложены они преимущественно мелкими песками с прослойками и линзами супесей, суглинков, глин. Мощность отложений составляет десятки, сотни метров.

Образование речных террас связано с изменениями высотного положения базиса эрозии, поднятием верховьев реки или периодическими изменениями расходов воды. Чем выше терраса, тем она древнее.

Террасы бывают эрозионными и эрозионно-аккумулятивными.

*Эрозионные террасы* образованы в коренных породах, прикрыты небольшим слоем аллювия и встречаются в горных районах.

*Эрозионно-аккумулятивные террасы* образуются в результате заполнения речной долины промытой в коренных породах, аллювием и последующего размыва рекой этих отложений.

## РАЗДЕЛ 2 «ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ»

### 2.1 Предмет, задачи и методы гидрогеологии. Связь гидрогеологии с другими науками

*Гидрогеология* — наука, изучающая происхождение, условия залегания, состав и закономерности движений подземных вод. Также изучается взаимодействие подземных вод с горными породами, поверхностными водами и атмосферой.

Гидрогеология как наука возникла в 18 веке. Гидрогеология связана с общей геологией, геоморфологией, динамической геологией, тектоникой, структурной геологией, инженерной геологией, метеорологией, геохимией, геофизикой и другими науками о Земле.

В свою очередь, внутри гидрогеологии развивается целый ряд самостоятельных научных направлений:

- ✓ *общая гидрогеология* изучает структуру, состав, строение и наиболее общие свойства подземной гидросферы;
- ✓ *гидрогеодинамика* исследует закономерности движения различных форм подземных вод;
- ✓ *гидрогеохимия* изучает особенности миграции химических элементов в подземной гидросфере;
- ✓ *региональная гидрогеология* — наука о связи пространственно-временного распределения подземных вод в земной коре с характером и историей развития геологических структур;
- ✓ *палеогидрогеология* изучает былые подземные гидросферы в тесной связи со становлением и развитием литосферы;
- ✓ *экологическая гидрогеология* изучает возможность управления подземной гидросферой с целью оценки масштабов изменений геологической и окружающей среды;
- ✓ учение о минеральных водах, учение о режиме и балансе подземных вод, гидрогеотермия, поиски и разведка подземных вод, разведочная гидрогеология, гидрогеология месторождений полезных ископаемых (рудных и нефтяных), мелиоративная гидрогеология и т.д.

В свою очередь, гидрогеология опирается на данные математики, физики, химии и широко использует их методы исследования. Данные же гидрогеологии используются, в частности, для решения вопросов водоснабжения, мелиорации и эксплуатации месторождений.

Гидрогеология, как и другие геологические науки, опирается на *принцип актуализма*.

Для анализа и оценки гидрогеологических явлений и процессов применяются многие частные методы (опытно-фильтрационные работы, режимные наблюдения, мониторинг подземных вод лабораторные работы и др.).

## 2.2 Значение подземных вод в народном хозяйстве

В строительной практике и в вопросах рационального использования подземные воды могут играть положительную и отрицательную роль.

Подземные воды являются одним из источников воды в хозяйственно-бытовом водоснабжении. В настоящее время 10% мирового водопотребления обеспечивается за счет подземных вод. Но объем использования подземных вод растет. Они лучше других источников защищены от загрязнения, имеют оптимальный для человека солевой состав, оптимальная температура и режим, не требуют дорогостоящей очистки и имеют повсеместное распространение.

Подземные воды использовать для технических целей: орошение сельскохозяйственных культур, а также в производствах требующих большое количество воды. Подземные воды используются также и в бальнеологических (лечебных) целях. Гидротермальные подземные воды применяются для получения электроэнергии и для отопления. Промышленные подземные воды используются для получения брома, йода, фтора, соли и т.д.

В строительной практике, при возведении зданий и сооружений подземные воды чаще всего имеют отрицательное значение. Так как наличие неглубоко залегающих подземных вод ведет к удорожанию строительства, удлинению сроков строительства, а также к удорожанию эксплуатации зданий и инженерных сооружений.

Особая роль подземных вод играют при строительстве каналов и водохранилищ. Они могут служить источником дополнительного питания каналы и водохранилища, но в тоже время могут быть путями потерь воды из них.

## 2.3 Генезис подземных вод

Существуют две основные теории происхождения подземных вод в верхней части земной коры: инфильтрационная и конденсационная.

*Инфильтрационная теория* основана на том, что атмосферные и поверхностные воды, просачиваясь (инфильтруясь) по порам и трещинам горных пород, задерживаются на водонепроницаемых слоях и дают начало подземным водам. Процесс инфильтрации весьма сложен. Инфильтрационный путь образования подземных вод является основным в зоне активного водообмена, в районах с достаточно высоким количеством атмосферных осадков.

В основе *конденсационной теории* образования подземных вод лежит механизм конденсации водяных паров, которые проникают в поры и трещины горных пород из атмосферы. Это характерный путь образования подземных вод в районах с небольшим количеством атмосферных осадков.

Подземные воды постоянно в течение длительного геологического времени пополняются и *ювенильными водами*, которые возникают в глубоких

горизонтах земной коры за счет кислорода и водорода, выделяемых магмой. Прямой выход на поверхность земли в виде паров и горячих источников ювенильные воды имеют при вулканической деятельности.

Минерализованные воды глубоких зон земной коры имеют седиментационное происхождение. Эти воды образовались после отложения (седиментации) древних морских осадков и последующего отжатия из них воды вследствие уплотнения пород.

## **2.4 Физические свойства и химический состав подземных вод**

### **2.4.1 Физические свойства подземных вод**

При оценке свойств подземных вод исследуют вкус, запах, цвет, прозрачность, температуру и другие физические свойства, которые характеризуют органолептические свойства воды.

Температур подземных вод колеблется в широких пределах и зависит от глубины залегания водоносных горизонтов, климатических условий, геологического строения и т.д. Различают воды холодные, теплые (субтермальные), термальные и перегретые (табл. 2.1).

**Таблица 2.1 – Классификация подземных вод по температуре**

Характеристика воды	Холодная	Теплая	Термальная	Перегретая
Температура, T <sup>0</sup> C	0-20	20-37	37-100	свыше 100

Очень холодные воды циркулируют в зоне многолетней мерзлоты и в высокогорных районах. Перегретые же воды характерны для районов молодой вулканической деятельности. На участках водозаборов вода, чаще всего, имеет температуру 7-11<sup>0</sup>C.

Окраску воде придают механические примеси. А прозрачность воды зависит от цвета и наличия мути. Вкус связан с составом растворенных веществ. Запах зависит от наличия газов биохимического происхождения или гниющих органических веществ.

Плотность воды – это масса воды, находящаяся в единице ее объема. Максимальную плотность вода приобретает при температуре 4<sup>0</sup>C, а при повышении температуры до 250<sup>0</sup>C плотность воды уменьшается до 0,799г/см<sup>3</sup>.

Вязкость воды характеризует внутреннее сопротивление частиц ее движению и уменьшается с повышением температуры.

Электропроводность подземных вод зависит от количества растворенных в ней солей, а радиоактивность вызвана присутствием в ней радиоактивных элементов.

## 2.4.2 Химический состав подземных вод

Подземная вода циркулирует по порам и трещинам горных пород, растворяя их, обогащает солями и газами, тем самым определяя разнообразие химического состава. В связи с этим подземные воды не имеют единой классификации.

На производстве чаще всего применяют *классификацию Щукарева.*, а для записи химического состава подземных вод применяют *формулу Курлова.* В основу этих классификаций положен принцип преобладающих ионов, на основе которых определяется тип воды. Преобладающими ионами являются Заниона –  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$  и 3 катиона –  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Na+K}$ . Есть в подземных водах и другие ионы – около 100 элементов. Но 6 главных ионов составляет более 90% всех растворимых солей.

Кроме химического типа воды, существенное значение при оценки качества воды играет общая минерализация. *Общая минерализация* – это общее содержание в воде растворённых солей. Определяется путем выпаривания воды при температуре  $105-110^\circ\text{C}$ . По степени минерализации подземные воды подразделяют на: пресные, слабосоленые, солоноватые, соленые и рассолы (табл. 2.2).

**Таблица 2.2 – Классификация подземных вод по степени минерализации**

Виды воды	Пресная	Слабосоленоватая	Солоноватая	Соленая	Рассолы
Сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>	До 1	1-5	5-10	10-50	Свыше 50

Питьевая вода должна содержать не более 1 г/дм<sup>3</sup> растворенных солей.

Важной характеристикой химического состава подземных вод является *концентрация водородных ионов (pH)*. По pH судят о характеристике активной реакции воды. По концентрации водородных ионов подземные воды делятся на очень кислые, кислые, нейтральные, щелочные и высокощелочные (табл. 2.3).

**Таблица 2.3 – Классификация подземных вод по показателю pH**

Характеристика воды	Очень кислая	Кислая	Нейтральная	Щелочная	Высокощелочная
pH	до 5	5-7	7	7-9	Свыше 9

Для питьевых целей обычно используют подземные воды с pH от 6,5 до 8,5.

Следующий существенный показатель качества подземных вод является их жесткость. Жесткость – это свойство воды, обусловленное содержанием в воде ионов  $\text{Ca}$  и  $\text{Mg}$ . За единицу жесткости принимают 1мг-экв/л  $\text{Ca}$  и  $\text{Mg}$ , растворенных в 1 литре воды. По степени жесткости подземные воды

классифицируют на: очень мягкие, мягкие, умеренно жесткие, жесткие и очень жесткие (табл. 2.4).

**Таблица 2.4 – Классификация подземных вод по степени жесткости**

Характеристика воды	Очень мягкая	Мягкая	Умеренно жесткие	Жесткие	Очень жесткие
Степень жесткости, мг-экв/л	До 1,5	1,5-3	3-6	6-9	Свыше 9

Питьевая вода не должна иметь жесткость более 7 мг-экв/л.

## 2.5 Классификация подземных вод по гидравлическому признаку и условиям залегания

Подземные воды классифицируются по генезису, характеру водовмещающих пород, по степени их минерализации, по геохронологическому признаку и т.д.

В 30-х годах 20 века академик Саваренский предложил классификацию подземных вод по гидравлическому признаку и условиям залегания. Эта классификация является наиболее распространенной в инженерной практике. Согласно ей все подземные воды по гидравлическому признаку подразделяют на напорные, безнапорные и напорно-безнапорные. Безнапорные, в свою очередь, подразделяют по условиям залегания на верховодку, грунтовые воды и межпластовые безнапорные. Напорно-безнапорные делятся на трещинные и карстовые.

К безнапорным подземным водам относятся все подземные воды, имеющие над своим уровнем свободную поверхность (см. рис. 17). Они не обладают напором. Передвигаются безнапорные воды от участков, где уровень воды выше к участкам, где он ниже. При выходе на дневную поверхность (долины рек, стенки оврагов) безнапорные подземные воды образуют безнапорные нисходящие источники.

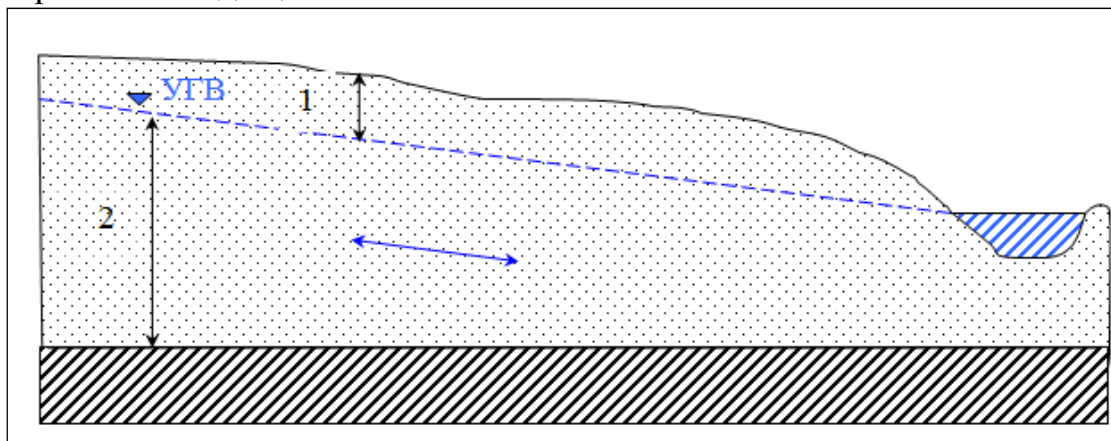


Рис. 17 – Схема безнапорных подземных вод: 1 – свободная поверхность, 2 – мощность водоносного горизонта



**Таблица 2.5 Классификация подземных вод по гидравлическому признаку и условиям залегания**

Типы воды по гидравлическому признаку	Типы воды по условиям залегания
Безнапорные подземные воды	Верховодка
	Грунтовые воды
	Межпластовые безнапорные воды
Напорные подземные воды	Межпластовые напорные воды (артезианские)
Напорно – безнапорные подземные воды	Трещинные воды
	Карстовые воды

### 2.5.1 Верховодка и ее характеристика

**Верховодка** – это временное скопление подземных вод у наиболее приповерхностной части Земли над водоупором, незначительным по мощности и протяженности (рис. 18). В качестве незначительного по мощности и протяженности водоупора обычно служат линзы глин и суглинков в песке. Образуется верховодка весной или осенью, в момент интенсивного снеготаяния или во время сильных дождей.

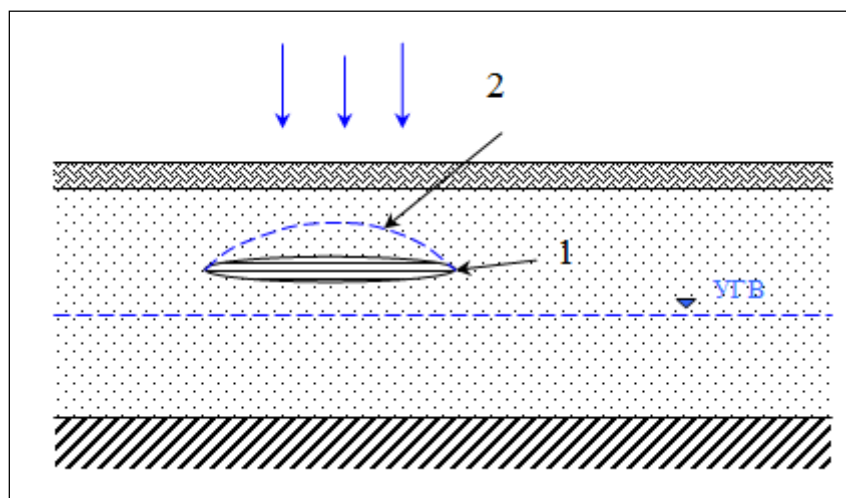


Рис. 18 – Схема верховодки: 1 – водоупорная линза, 2 – верховодка

В летне-зимний период верховодка исчезает, т.е. испаряется через поверхность Земли или просачивается в нижележащие водоносные горизонты через гидравлические окна.

В инженерно-строительной практике верховодка нежелательное явление. Она вызывает подтопление, тем самым снижая устойчивость зданий и инженерных сооружений, затрудняет их эксплуатацию.

Мероприятия по борьбе с верховодкой: при очень неглубоком залегании водоупорную линзу выбирают при выполнении нулевого цикла; производят

обустройство дренажных систем; выполняют гидроизоляцию подземных частей зданий и инженерных сооружений.

## 2.5.2 Грунтовые воды и их характеристика

*Грунтовые воды* – это постоянные во времени и значительные по площади горизонты подземных вод, залегающие на первом от поверхности земли региональном водоупоре.

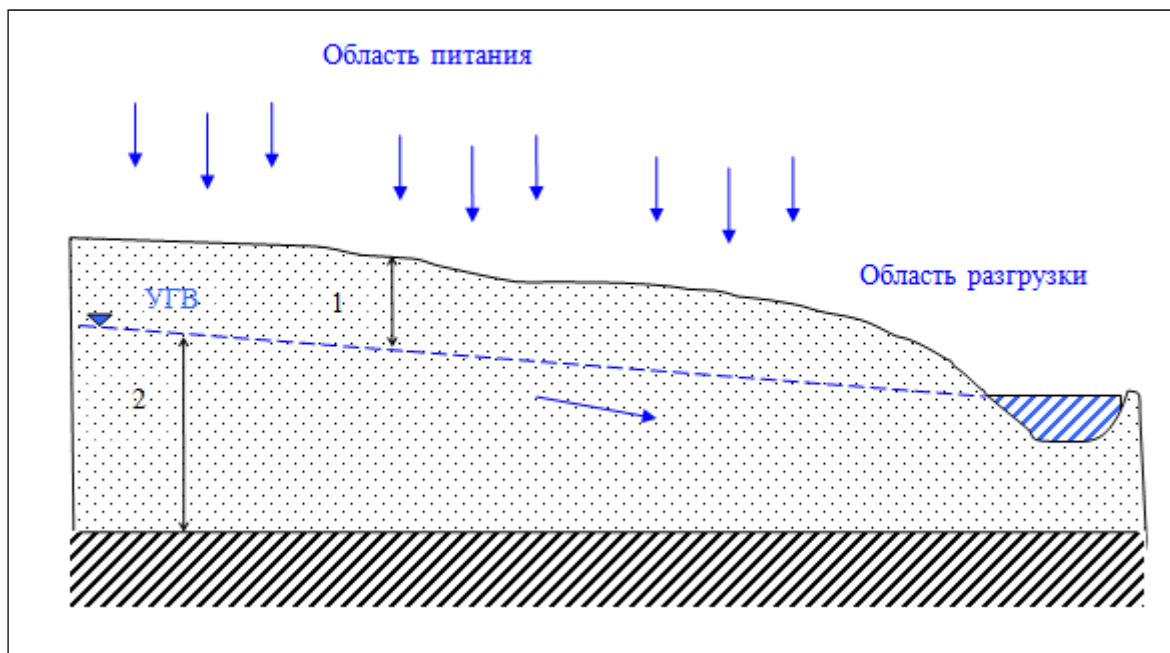


Рис. 19 – Схема грунтовых вод: 1 – свободная поверхность, 2 – мощность водоносного горизонта

Грунтовые воды имеют свободную поверхность, т.е. сверху они не перекрыты водоупорными слоями. Свободная поверхность грунтовых вод называется зеркалом (в разрезе уровнем грунтовых вод – УГВ). Водоупор, на котором лежит водоносный слой, называют ложем, а расстояние от водоупора до уровня подземных вод – мощностью водоносного слоя (рис.19).

Питаются грунтовые воды преимущественно за счет атмосферных осадков, которые инфильтруются на уровень грунтовых вод. Значительная часть грунтовых вод питается за счет паводковых вод в весенний период. Некоторое количество воды поступает в грунтовые воды из нижележащих напорных водоносных горизонтов через гидравлические окна.

Область питания грунтовых вод обычно совпадает с областью их распространения, т.к. нет верхнего водоупора.

Разгрузка грунтовых вод осуществляется в местные базисы эрозии (реки, овраги, балки) и в нижележащие безнапорные водоносные горизонты через гидравлические окна.

Различают два основных случая залегания грунтовых вод: грунтовый поток и грунтовый бассейн (рис. 20 ). При наклонном залегании водоупора и

возможного движения по нему грунтовых вод образуется грунтовый поток. Если грунтовые воды заполняют некоторое замкнутое понижение в рельефе водоупорного ложа и не имеют определенного течения – грунтовый бассейн.

Может быть, сочетание грунтового потока с грунтовым бассейном – тогда верхний слой участвует в движении, а нижний остается в состоянии относительного покоя.

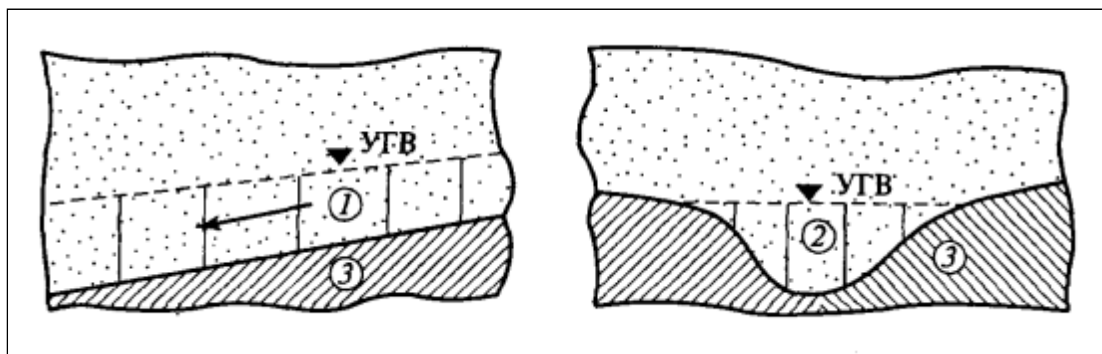


Рис. 20 Форма залегания грунтовых вод: 1 – грунтовый поток, 2 – грунтовый бассейн, 3 – водоупор

Грунтовые воды имеют повсеместное распространение. Количество, качество и глубина залегания зависят от геологических условий местности и климатических факторов. Однако, они редко используют для целей питьевого водоснабжения, ввиду того, что нередко бывают, загрязнены в химическом и бактериологическом отношении. т.к. нет верхнего защитного водоупорного слоя (особенно в районах крупных промышленных центров).

### 2.5.3 Межпластовые безнапорные подземные воды и их характеристика

*Межпластовые безнапорные подземные воды* – это воды, залегающие между двумя водоупорными пластами и не заполняющие всей мощности водопроницающих пород, т.е. имеющие над своим уровнем свободную поверхность (рис. 21).

Область питания межпластовых безнапорных подземных вод не совпадает с областью их распространения, т.к. имеется верхний водоупор, не пропускающий воду.

Питание этих вод осуществляется вне пределов их распространения, там, где верхний водоупор выклинивается или за счет подтока воды из нижележащего напорного водоносного горизонта через гидравлические окна.

Разгрузка осуществляется в пониженные участки рельефа (долины рек, овраги) или в нижележащий безнапорный водоносный горизонт через гидравлические окна.

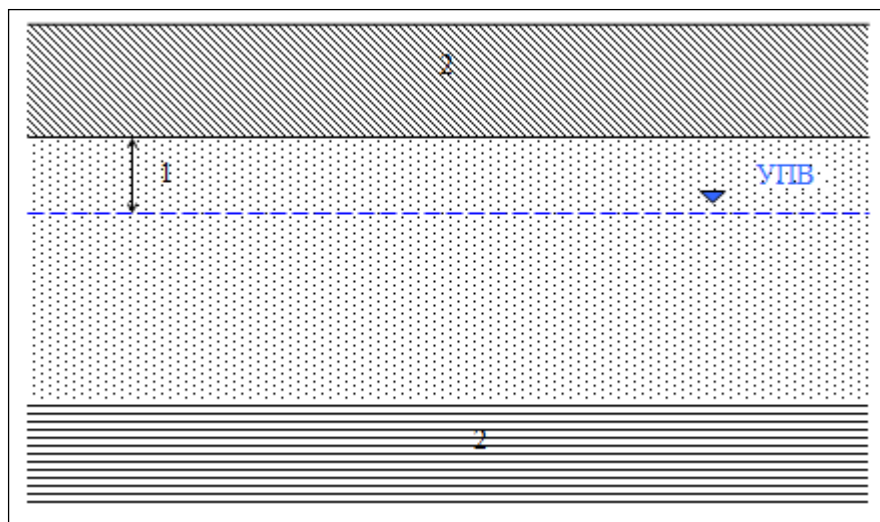


Рис. 21 Схема межпластовых подземных вод: 1 – свободная поверхность, 2 – водоупорные пласты

Воды этого типа обычно имеют хорошее качество, но используется редко, т.к. этот случай залегания безнапорных вод встречается редко.

#### 2.5.4. Напорные воды и их характеристика

К *напорным* водам относят все подземные воды, которые на значительных площадях залегают между двумя водонепроницаемыми пластами и заполняют всю мощность водопроводящих пород (рис. 22). Т.е. напорные воды не имеют свободную поверхность. Возникновение напора объясняется залеганием водоносных слоев в виде синклиналей или моноклиналей. Напорные воды часто называются артезианскими.

При вскрытии напорных вод скважинами, вода поднимается выше кровли водоносного горизонта и образует поверхность, которая называется пьезометрическим уровнем или уровнем равных напоров. Другими словами, пьезометрический уровень – это условная линия, соединяющая область питания и область разгрузки. Если пьезометрический уровень ниже поверхности земли, то скважина фонтанировать не будет, а если выше – фонтанирует. Пьезометрический уровень ( $H_2$ ) измеряется в абсолютных отметках над уровнем моря (рис. 23). Напор ( $H_1$ ) измеряется в метрах от кровли водоносного горизонта до пьезометрического уровня (рис. 23).

Питание артезианских вод осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков в области питания, а также за счет перетока из напорных нижележащих водоносных горизонтов через гидравлические окна.

Разгрузка осуществляется в области разгрузки или в понижениях рельефа (при этом образуются восходящие источники).

Область распространения и область их питания артезианских вод не совпадают.

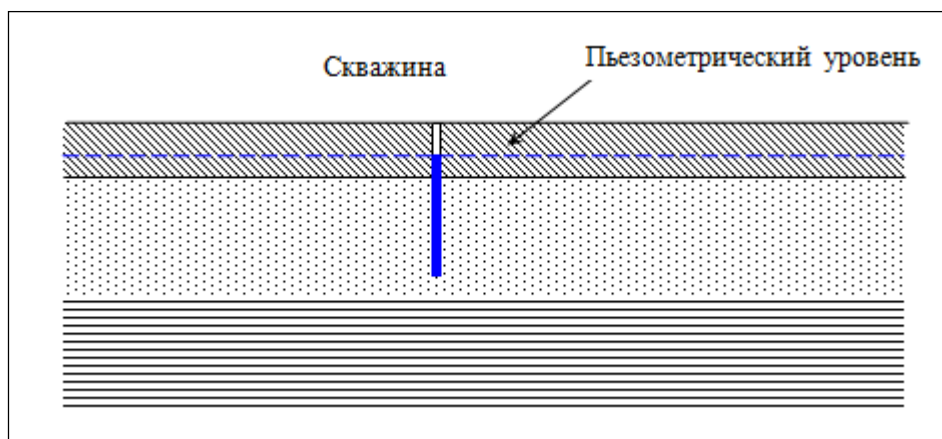


Рис. 22 – Схема напорных вод

Геологические структуры синклинального типа, содержащие один или несколько напорных водоносных горизонтов и занимающие значительные площади, называют *артезианскими бассейнами* (рис. 23). В артезианских бассейнах условно выделяют три области: область питания, область распространения и область разгрузки.

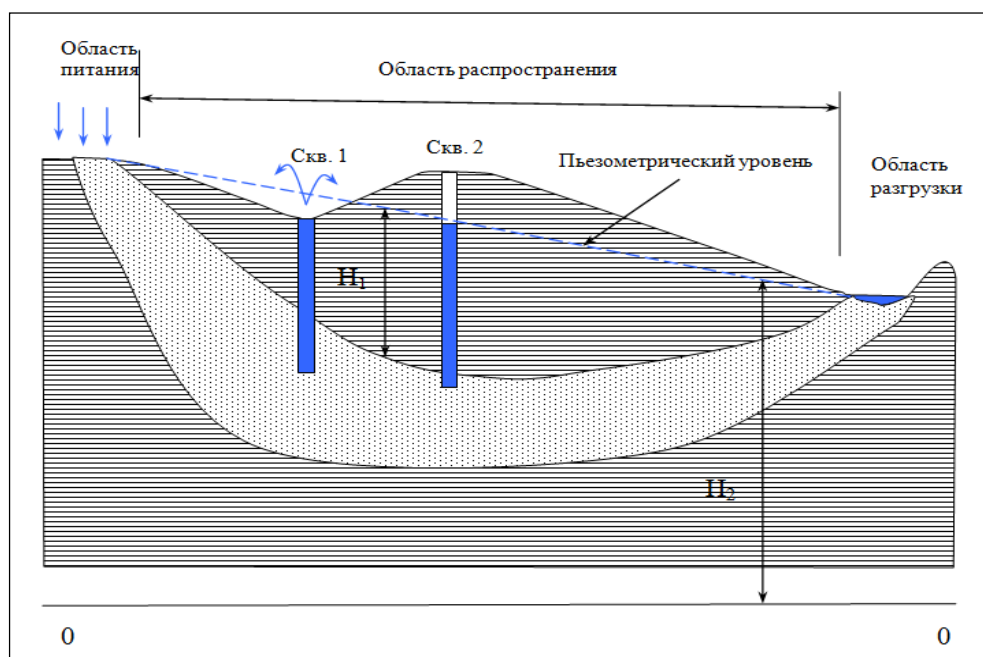


Рис. 23 – Схема артезианского бассейна (в условиях синклинального залегания слоев):

$H_1$  – напор,  $H_2$  – пьезометрический уровень

При использовании артезианских вод для водоснабжения наиболее перспективными считаются самые верхние напорные горизонты, где обычно залегают слабоминерализованные (пресные) воды. Химический состав и минерализация артезианских вод изменяются с глубиной.

### 2.5.5 Напорно-безнапорные подземные воды

Напорно-безнапорные подземные воды – это все воды, которые в одном сечении имеют напор, а в другом нет. К этим водам относят трещинные и карстовые воды.

*Трещинные воды* – это воды находящиеся в трещинах тектонического происхождения (рис. 24). Вода обычно находится в трещинах магматических и метаморфических пород. На участках, где трещина полностью заполнена водой, вода является напорной. На участке, где происходит резкое расширение трещины, вода принимает безнапорный характер. Эти трещины выражены по простиранию. Стенки трещин прямые и обрывистые.

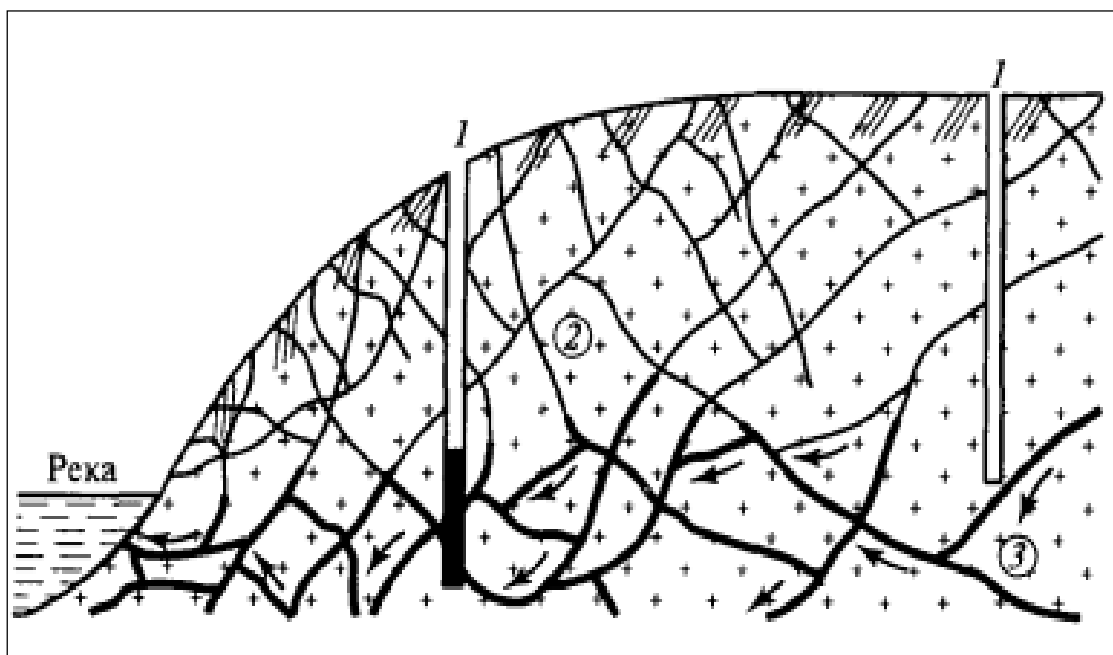


Рис. 24 – Схема залегания трещинно-грунтовых вод: 1-скважины, 2 – трещины в скальных породах, 3 –трещины, заполненные водой

В зависимости от условий залегания трещинные воды могут быть грунтовыми, межпластовыми и жильными.

Как правило, это воды хорошего качества для хозяйственно-бытового водоснабжения.

*Карстовые воды* – это воды, которые находятся в трещинах карстового происхождения, т.е. в трещинах, которые образовались в результате растворения горных пород. Эти трещины извилисты и не выдержаны по простиранию. Стенки трещин шероховатые.

Вода характеризуется высокой жесткостью и минерализацией, поэтому не используется в хозяйственно-бытовом водоснабжении.

## 2.6 Основные виды движения подземных вод

Подземные воды в большинстве своем находятся в движении. Раздел гидрогеологии, изучающий закономерности движения подземных вод, называется динамикой подземных вод. Движение подземных вод подчиняется определенным законам с присущими им определенными формами передвижения. Все это учитывается при гидрогеологических расчетах, при решении вопросов водозабора и водопонижения уровней подземных вод.

Подземные воды передвигаются в горных породах путем инфильтрации или фильтрации. При инфильтрации передвижение воды происходит при частичном заполнении пор воздухом или водяным паром. При фильтрации движение подземных вод происходит при полном заполнении пор или трещин водой. Масса этой движущейся воды создает фильтрационный поток.

По характеру движения выделяют два вида движения подземных вод: ламинарный и турбулентный.

*Ламинарное движение* – это такое движение, когда струйки воды в водонасыщенных породах двигаются без завихрения, параллельно друг другу с небольшими скоростями (не более 400 м/сут), образуя при этом сплошной поток (рис. 25, а). В своей практической деятельности мы чаще всего имеем дело с ламинарным движением подземных вод.

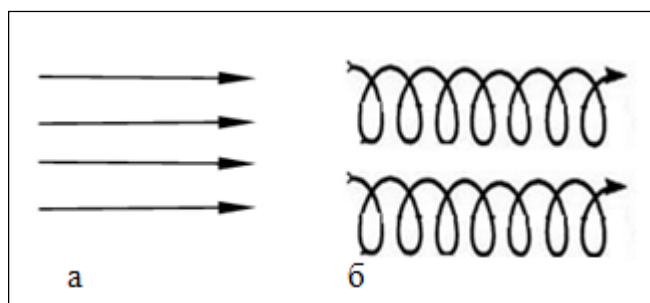


Рис. 25 – Движение струек воды при  
а – ламинарном, б – турбулентном движении

*Турбулентное движение* – это движение подземных вод с большими скоростями, вихреобразное, с перемешиванием отдельных струй и даже с разрывом сплошности потока (рис. 25, б). Турбулентное движение возникает в весьма широких трещинах горных пород или в местах интенсивной откачки трещиноватых подземных вод. Встречаются редко.

Движение подземных вод может быть установившимся и не установившимся, напорным и безнапорным. При установившемся движении все элементы фильтрационного потока (скорость, расход, направление и т.д.) не изменяются во времени. При не установившемся движении элементы фильтрационного потока изменяются не только от одной точки к другой, но изменяются и от времени.

## 2.7 Основной закон движения подземных вод

Современная теория движения подземных вод основывается на применении закона Дарси:

$$Q = k_{\phi} F \frac{\Delta H}{l} = k_{\phi} F I,$$

где  $Q$  – расход воды или количество фильтрующейся воды в единицу времени,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;

$k_{\phi}$  – коэффициент фильтрации,  $\text{м}/\text{сут}$ ;

$F$  – площадь поперечного сечения потока,  $\text{м}^2$ ;

$l$  – длина пути фильтрации,  $\text{м}$ ;

$I$  – напорный градиент или гидравлический уклон (рис. 26).

Расход потока можно выразить и иначе:

$$Q = FV,$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения потока,  $\text{м}^2$ ;  $V$  – скорость фильтрации подземных вод,  $\text{м}/\text{сут}$ .

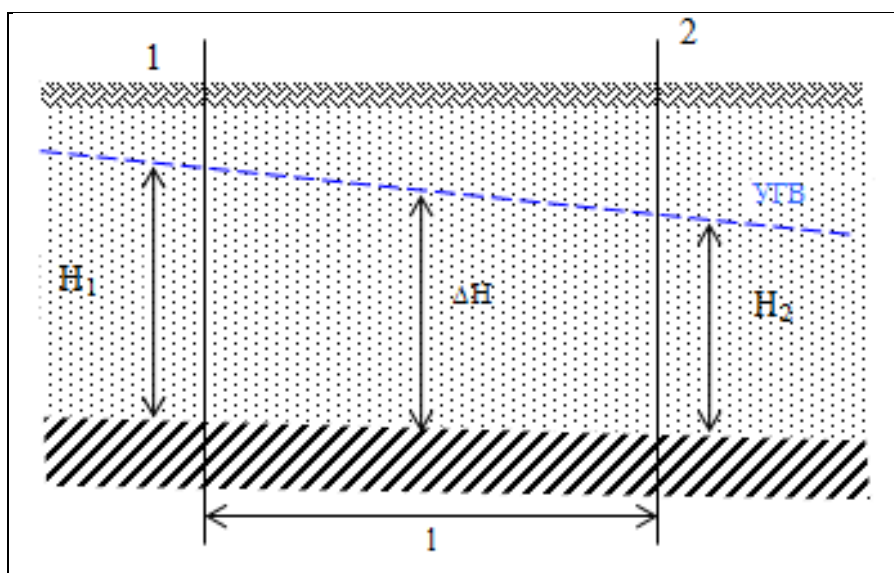


Рис. 26 – Схема безнапорной фильтрации грунтовой воды:  $H_1$  – величина напора в первом сечении,  $H_2$  – величина напора во втором сечении,  $\Delta H$  – падения напора грунтовой воды,  $l$  – расстояние между сечениями

Тогда получим

$$FV = k_{\phi} F I,$$

следовательно

$$V = k_{\phi} I.$$

Вот это уравнение и называется основным законом движения подземных вод.

Ламинарное движение – наиболее часто встречающийся вид движения подземных вод, поэтому полученное уравнение называют основным законом движения (фильтрации) подземных вод (закон Дарси).



По этому закону скорость фильтрации подземных вод прямо пропорциональна  $k_{\phi}$  и  $I$  в 1-ой степени.

Турбулентное движение подземных вод не подчиняется закону Дарси. Если в законе Дарси мы видим линейную закономерность, то турбулентное движение подземных вод подчиняется нелинейному закону и называется Шези-Краснопольского.

Скорость турбулентного движения подземных вод прямо пропорциональна коэффициенту водопроницаемости и гидравлическому уклону в степени  $1/2$ :

$$V = k_{\phi} \sqrt{I}$$

где  $k_{\phi}$  – коэффициент водопроницаемости, имеющее такое же значение, что и  $k_{\phi}$  в формуле Дарси.

## **2.8 Скорость фильтрации и действительная скорость движения подземных вод**

Мы знаем уже выражение  $Q = FV$ , откуда скорость движения подземных вод равна:

$$V = \frac{Q}{F}.$$

Эти формулы требуют уточнения, в связи с тем, что в них входит величина  $F$ , отражающая все сечение фильтрующейся воды, а воды, как известно, течет только через часть сечения, равную площади пор и трещин горных пород. Поэтому величина  $V$  является кажущейся.

Действительную скорость движения подземных вод определяют с учетом пористости породы по формуле:

$$U = \frac{Q}{Fe},$$

где  $U$  – действительная скорость движения подземных вод, м/сут;

$Q$  – расход потока, м<sup>3</sup>/сут.;

$F$  – площадь поперечного сечения потока, м;

$e$  – коэффициент пористости.

Выразим действительную скорость движения подземных вод через скорость движения подземных вод. Т. к.  $Q = FV$ , тогда

$$U = \frac{V}{e}.$$

Коэффициент пористости всегда меньше 1, значит, действительная скорость движения подземных вод всегда будет больше скорости фильтрации.

## 2.9 Фильтрационные параметры горных пород и способы их определения

К основным фильтрационным параметрам относят коэффициент фильтрации, а также коэффициент водопроводимости, пьезопроводимости и уровнепроводимости.

### 2.9.1 Коэффициент фильтрации и способы его определения

Как следует из основного закона движения подземных вод, коэффициент фильтрации – это скорость фильтрации при напорном градиенте равном  $I=1$ . Коэффициент фильтрации в основном определяется размерами и формой пор. На значения коэффициента фильтрации также влияют свойства фильтрующейся воды – вязкость, плотность; минеральный состав породы, степень засоленности и др.

Коэффициент фильтрации очень важный показатель водопроводных свойств грунтов. Этот показатель входит практически во все формулы динамики подземных вод.

Можно выделить 4 способа определения коэффициента фильтрации ( $k_\phi$ ):

1-й способ – литературный. Определение коэффициента фильтрации производится по данным, приведенным в литературе (табл. 2. 6).

**Таблица 2.6 – Коэффициент фильтрации некоторых горных пород**

Название горной породы	Суглинок	Супесь	Песок
$k_\phi$ , м/сут	Менее 0,005	0,1-5	0,5-1

Безусловно, определение коэффициента фильтрации по литературным данным носит ориентировочный характер, и делают это при производстве приближенных расчетов.

2-й способ – расчетный. Коэффициента фильтрации определяют по специальным графикам. Применяют этот способ в основном для песчаных пород. Он тоже приближенный, но более точный, чем первый.

3-й способ – лабораторный. Суть этого способа заключается в том, что в специальный цилиндр помещают испытываемый грунт, и через него начинают фильтровать воду под некоторым напором (трубка СПЕЦГЕО).

Во время опыта замеряем расход ( $Q$ ) профильтрованной воды и напорный градиент ( $I$ ), а диаметр цилиндра известен ( $F$ ). Затем определяют коэффициент фильтрации по формуле:

$$Q = k_\phi FI;$$

$$k_\phi = \frac{Q}{FI} = \frac{Ql}{F(h_1 - h_2)},$$

где  $h_1, h_2$  – показатели пьезометров,

$l$  – расстояние между точками их присоединения.

Простота и дешевизна лабораторных методов позволяют широко их использовать для массовых определений коэффициента фильтрации.

В строительной практике более широко используется именно 2-й способ, т.к. он позволяет определить значение коэффициента фильтрации в грунтах, которые будут находиться в основании зданий, т.е. под определенным давлением. При решении вопросов водоснабжения применяют 1-й способ определения коэффициента фильтрации.

4-й способ – полевой. Это наиболее точный способ. Коэффициент фильтрации определяют непосредственно на строительной площадке, на участке предполагаемого водоснабжения, т.е. без нарушения естественных залеганий пород. Коэффициент фильтрации определяется с помощью откачек воды из скважин. А в случае неводоносных грунтов – методом налива воды в шурфы и нагнетанием воды в скважины.

### **2.9.2 Коэффициент водопроводимости, пьезопроводности и уровнепроводности горных пород**

*Коэффициент водопроводимости* ( $T$ , м/сут) представляет собой произведение коэффициента фильтрации ( $k_f$ ) на мощность водоносного пласта ( $m$ ):

$$T = k_f m$$

*Коэффициент пьезопроводности* – показатель перераспределения напоров в водоносном напорном пласте в условиях неустановившейся фильтрации. Коэффициент пьезопроводности зависит от упругих свойств подземных вод, а также от пористости, коэффициента фильтрации и упругих свойств водоносной породы.

Коэффициент уровнепроводности отражает способность водоносного пласта передавать изменение уровня подземных вод со свободной поверхностью в процессе неустановившейся фильтрации.

Для гидрогеологических расчетов в условиях установившейся фильтрации достаточно иметь данные только коэффициента фильтрации. При неустановившемся движении необходимо определять не только коэффициент фильтрации, но и коэффициент уровнепроводности (пьезопроводности).

Коэффициент уровнепроводности и пьезопроводности определяют опытным путем по данным откачек воды из скважин, наблюдений за восстановлением уровня после откачки, а также в результате анализа работы действующих водозаборов.

## РАЗДЕЛ 3 «ОСНОВЫ ГЕОМОРФОЛОГИИ»

### 3.1 Геоморфология ее предметы и задания

Геоморфология – наука о рельефе земной поверхности. Объектом изучения геоморфологии является рельеф, т.е. совокупность неровностей земной поверхности, разных по форме, размерам, происхождению, возрасту и истории развития.

Земная кора, верхняя часть которой образует рельеф, не является чем-то неизменным. Она подвержена не только воздействию сил, обусловленных процессами, протекающими в атмосфере и гидросфере, но и является продуктом глубинных (эндогенных) процессов, протекающих в недрах Земли, испытывает многообразные изменения, происходящие под воздействием этих процессов. Земная кора состоит из магматических, осадочных и метаморфических горных пород, которые по-разному реагируют на воздействие внешних и внутренних сил.

Рельеф является поверхностью раздела и одновременно поверхностью взаимодействия различных оболочек земного шара: литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы. Вместе с тем рельеф – составная часть географической оболочки. Поэтому изучение рельефа и законов его развития может быть наиболее плодотворным только при изучении его при взаимодействии и взаимообусловленности со всеми другими компонентами географической среды. Этим и определяется особо тесная связь геоморфологии с физической географией и другими науками географического цикла.

Геоморфология – наука историческая. Она стремится установить последовательность происходивших на Земле событий, приведших к формированию современного рельефа.

В познании рельефа геоморфология использует достижения не только географии и геологии, но и многих других наук естественно исторического цикла. Поскольку Земля является планетой, геоморфология использует данные таких наук, как астрономия и космогония. В вопросах познания строения, состава и состояния вещества, участвующего в строении тех или иных форм рельефа, геоморфология использует достижения физики, химии и др.

Геоморфология изучает строение, происхождение, историю развития и динамику рельефа земной поверхности. Цель изучения – познание законов развития рельефа и использование выявленных закономерностей в практической деятельности человеческого общества.

Как научная дисциплина геоморфология начала формироваться лишь в конце 18 века вслед за геологией. Идею развития рельефа, как результата взаимодействия эндогенных и экзогенных сил, впервые выдвинул Ломоносов в 1763 г. В противовес преобладающим в 19 в. катастрофическим представлениям о событиях в истории Земли, Лайель считал, что основные формы рельефа возникают как результат движений земной коры. Созданные

неровности впоследствии разрушаются под действием внешних сил, проходит их денудация. К середине 19 в., были определены основные внешние агенты, влияющие на развитие рельефа Земли. В начале 20 в., предприняты попытки генетической классификации форм рельефа, что впоследствии легло в основу геоморфологических карт, первая из которых была создана в 1933 г.

### 3.2 Элементы форм рельефа

Рельеф любого участка земной поверхности складывается из чередующихся между собой отдельных форм рельефа, каждая из которых состоит из элементов рельефа.

По геометрическим признакам выделяются следующие *элементы рельефа*: поверхности или грани, линии или ребра, точки.

*Поверхности*, пересекаясь, образуют форму рельефа. Они имеют разное размеры и наклон. По величине наклона выделяют субгоризонтальные поверхности – с углом наклона до  $2^0$  и склоны с углом наклона более  $2^0$ . По простиранию, они делятся на замкнутые и открытые.

Поверхности могут быть ровными, выпуклыми и вогнутыми (рис. 27).

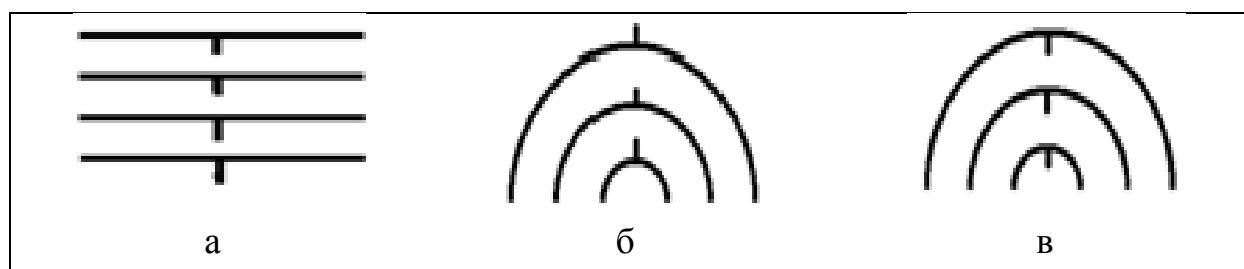


Рис. 27 – Поперечные профили поверхностей:

а – ровная, б – выпуклая, в – вогнутая

*Линии* образуются в результате пересечения поверхностей. Выделяют следующие разновидности линий: гребневая линия, килевая линия, линия выпуклого перегиба, линия вогнутого перегиба.

Гребневая линия (гребень) – это линия, по обе стороны от которой высоты убывают (рис. 28, а).

Килевая линия (талвег) – это линия, по обе стороны от которой высоты повышаются (рис. 28, б).

Линия выпуклого перегиба – это линия, разделяющая два площадных элемента так, что элемент, лежащий выше, положе элемента лежащего ниже (рис. 28, в).

Линия вогнутого перегиба (тыловой шов) – линия, разделяющая два площадных элемента так, что элемент, лежащий выше, характеризуется большим уклоном, а ниже меньшим уклоном (рис. 28, г).

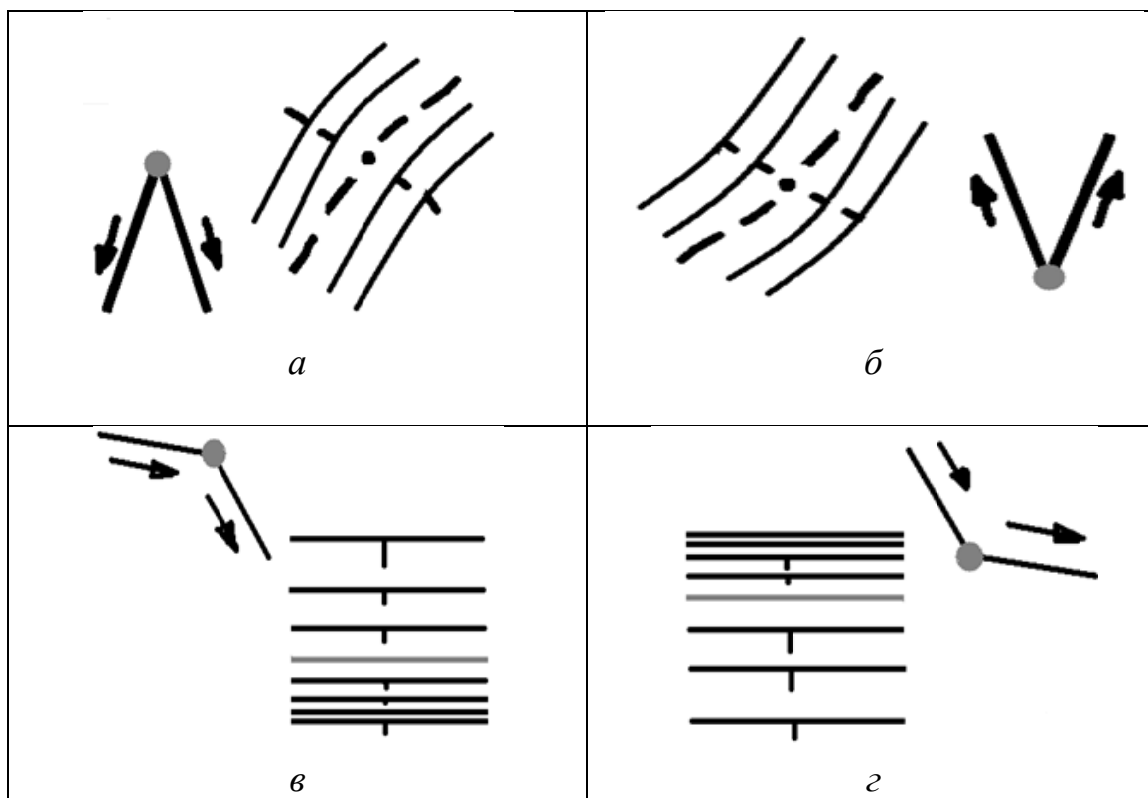


Рис. 28 – Разновидности линий:

а – гребень, б – тальвег, в – линия выпуклого перегиба, г – тыловой шов

*Точки* находятся на пересечении структурных линий. Им дают имя по тем линиям, которые они пересекают. Могут играть роль границ площадных элементов.

### 3.3 Формы рельефа

**Формы рельефа** состоят из элементов рельефа.

К числу внешних признаков форм рельефа принадлежит степень их сложности. По этому признаку различают простые и сложные формы. *Простые формы* обычно невелики по размерам, имеют более или менее правильные геометрические очертания, состоят из элементов рельефа. Сложные формы состоят из ряда простых.

По отношению к плоскости горизонта, выделяют положительные и отрицательные формы рельефа. *Положительные формы рельефа* – это выпуклые по отношению к плоскости горизонта формы, окруженные более низкими элементами рельефа (нагорья, горный кряж, горный хребет, гора, вершины и пики, плоскогорья, плато, гряда, увал, холм, курган, конус выноса). *Отрицательные формы рельефа* – это вогнутые формы, окруженные повышенными участками рельефа (котловина, впадина, балка, овраг, промоина, лощина).

По морфологическим признакам, формы рельефа могут быть замкнутыми и открытыми.

В зависимости от размеров выделяют следующие формы рельефа: планетарные, мегаформы, макроформы, мезоформы, микроформы и наноформы.

*Планетарные формы* занимают площади в сотни тысяч и миллионы квадратных километров. Вся площадь земного шара составляет 510 млн км<sup>2</sup>, следовательно, количество планетарных форм невелико. К планетарным формам рельефа относятся: материки, геосинклинальные пояса (переходные зоны), ложе океана, срединно-океанические хребты (рис. 29).



Рис. 29 – Планетарные формы рельефа

*Мегаформы* занимают площади в сотни или десятки тысяч квадратных километров. К ним относятся горные пояса и равнинные страны в пределах материков, крупные впадины и поднятия в пределах ложа океана, разломы планетарного масштаба, выраженные в рельефе, и др. Примером мегаформ могут служить впадины Мексиканского залива и Карибского моря, горные системы Альп и Кавказа, Западно-Сибирская равнина и Среднесибирское плоскогорье.

*Макроформы* являются составными частями мегаформ. Площади, занимаемые ими, измеряются сотнями или тысячами (реже десятками тысяч) квадратных километров. К макроформам относятся отдельные хребты и впадины какой-либо горной страны: например, Главный Кавказский хребет, Куринская низменность.

*Мезоформы* измеряются обычно несколькими квадратными километрами или десятками квадратных километров. Примером таких форм являются овраги, балки, долины рек, крупные аккумулятивные формы типа барханных цепей или моренных гряд (рис. 30).

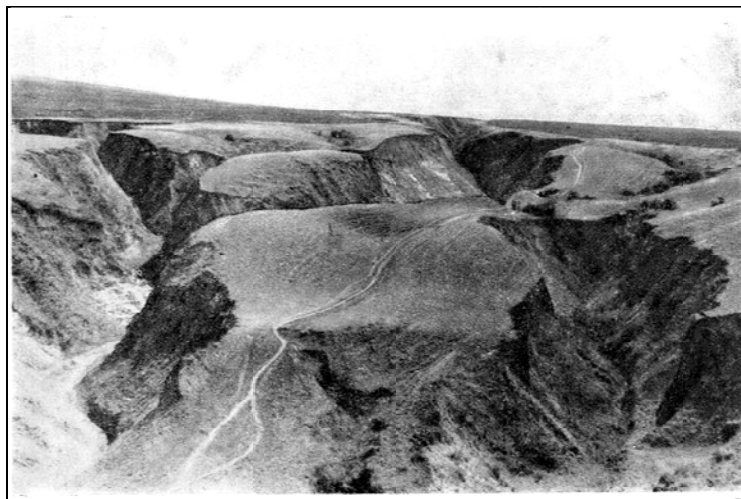


Рис. 30 – Овраги правобережья Волги

*Микроформы* — это неровности, являющиеся деталями более крупных форм. Таковы, например, карстовые воронки, эрозионные рытвины, береговые валы (рис.31).



Рис. 31 – Карстовые провалы. Техас США

*Формами нанорельефа* (от греч. nanos — карлик) называют очень мелкие неровности, осложняющие поверхность макро-, мезо- и микроформ. Таковы, например, луговые кочки, сурчины, мелкие эрозионные бороздки, знаки ряби на морском дне и на поверхности эоловых форм рельефа (рис. 32).





Рис. 32 – Эоловая рябь

Деление форм рельефа по их размерам в значительной степени условно, так как в природе нет четких границ между указанными выше градациями.

Среди форм рельефа, различают аккумулятивные и денудационные формы. *Аккумулятивные формы рельефа* образуются за счет накопления материалов (моренный холм, бархан). *Денудационные* (выработанные) *формы рельефа* сформировались за счет выноса материала (овраги, котловины выдувания).

### 3.3.1 Типы рельефа

Сочетание форм рельефа, обладающих сходным генезисом и закономерно повторяющихся на определенной территории, образует *тип рельефа*.

По возвышению над уровнем моря и степени расчлененности земной поверхности различают два основных типа рельефа — горный и равнинный (табл. 3.1).

**Таблица 3.1 – Классификация рельефа по высоте над уровнем моря**

Горный рельеф	Высота над уровнем моря, м	Равнинный рельеф	Высота над уровнем моря, м
Низкие горы (низкогорье)	500–1000	Низменности	Ниже 200
Средневысотные горы (среднегорье)	1000 –2000	Возвышенные равнины (возвышенности)	200 – 500
Высокогорье	Свыше 2000	Плоскогорья	Свыше 500

Горный рельеф складывается главным образом из линейно вытянутых, простирающихся на большие расстояния горных цепей и хребтов с их отрогами, разделенных продольными долинами и другими межгорными понижениями. В местах их пересечения поднимаются горные узлы, которые,

как и места ответвлений отрогов от главного хребта, обычно отличаются своей высотой и наибольшей труднодоступностью.

По глубине расчленения горы делятся на низкие, средние, высокие (табл. 3.2)

**Таблиц 3.2 – Классификация гор по высотному признаку**

Горный рельеф	Высота над уровнем моря, м	Примечание
Высокие горы	более 1000	для них характерны снежные обвалы, сели, лавины
Средние горы	500 – 1000	для них характерны осыпи, курумы
Низкие горы	до 500	для них характерны пологие склоны

Равнины представляют собой рельеф, который характеризуется малыми колебаниями высот до 200 м. Равнинный рельеф подразделяется по их отношению к уровню моря, общей форме поверхности, расчленению, происхождению.

По отношению к уровню моря различают следующие виды равнин: отрицательные, низменные, возвышенные и нагорные. Отрицательные равнины (впадины, депрессии и т.д.) лежат ниже уровня моря; низменные, расположенные в пределах 0 – 200 м над уровнем моря; возвышенные -200 – 500 м над уровнем моря; нагорные имеют отметками выше 500 м (таблица 3.3).

**Таблица 3.3 Виды равнин**

Виды равнин	Высота над уровнем моря, м
Отрицательные равнины	Ниже уровня моря
Низменные равнины	0 – 200
Возвышенные равнины	200 – 500
Нагорные районы	Выше 500

С учетом происхождения равнины подразделяются на структурные, аккумулятивные и скульптурные.

*Структурные равнины* обусловлены геологическим строением данного региона (при изливании лавы заполняются все неровности рельефа и образуются ровные поверхности).

*Аккумулятивные равнины* образуются вследствие накопления большого количества материала в море или на суше, а также имеют большое распространение.

*Скульптурные равнины* образуются в результате разрушения горных пород и подразделяются на абразионные и денудационные. Абразионные возникают при разрушении побережья морскими волнами и поэтому являются поверхностью в коренных породах с отложением на ней слоя новейших

морских осадков. Денудационная равнина представляет собой участок суши с близко расположенными коренными породами.

Холмистый рельеф является одной из разновидностей равнинного рельефа. По форме и строению неровностей различают также плоскоравнинный, волнистый, ступенчатый, овражно-балочный и другие разновидности равнинного рельефа.

### 3.3.2 Элементарные формы рельефа

Все многообразие неровностей, из которых складывается рельеф земной поверхности, можно в основном свести к следующим пяти элементарным формам:

1) **Гора** — значительное куполообразное или коническое возвышение с более или менее явно выраженным основанием — подошвой (рис. 33). Небольшая горка округлой или овальной формы с пологими (менее  $30^\circ$ ) скатами и с относительной высотой не более 200 м называется холмом, а искусственный холм — *курганом*.



Рис. 33 – Гора Эльбрус 5642 м над уровнем моря

2) **Котловина** — замкнутая чашеобразная впадина обычно с пологими скатами. В некоторых котловинах дно заболочено или занято озером (рис. 34).

3) **Хребет** — линейно вытянутое возвышение, постепенно понижающееся к одному или обоим своим концам. Линия, соединяющая противоположные скаты хребта, называется водораздельной линией, или *водоразделом*. Ее часто называют также топографическим (географическим) гребнем, или просто *гребнем*.



Рис. 34 – Убсунурская котловина

*Горный хребет* — цепь гор, простирающаяся в одном направлении. В продольном разрезе гребень горного хребта представляет собой волнообразную линию. Его выступающие части образуют *вершины*. В плановом начертании хребет обычно имеет весьма извилистый и ветвистый вид, который придают ему отходящие в стороны горные отроги и их более мелкие ответвления.

Вытянутые возвышения с очень пологими скатами, незаметно переходящими в равнину, называются *увалами*.

4) *Лощина* — вытянутое углубление, понижающееся в одном направлении. Имеет скаты с четко выраженным верхним перегибом — *бровкой*. Линию по дну, к которой направлены скаты лощины, называют водосливом, или *тальвегом*. Лощины обычно хорошо задернованы, часто бывают заросшими кустарником или лесом, а дно иногда заболочено.

Большие и широкие лощины с пологими скатами и слабо наклонным дном называются *долинами*. В горной местности встречаются узкие и глубокие лощины с почти отвесными, обрывистыми скатами; они называются *ущельями* (рис. 35).

К разновидностям лощин относятся также овраги и балки. *Овраги* — это большие глубокие промоины с крутыми незадернованными скатами, образованные временными водостоками. Их длина может достигать 5 — 10 км, глубина — 30 м, ширина — 50 м и более. Овраги имеют широкое распространение и встречаются в самых разнообразных условиях — на равнинной и холмистой местности, на склонах гор и долин. Они образуются и из года в год увеличиваются под действием талой и дождевой воды в рыхлых и легкоразмываемых грунтах (лёсс, глина, суглинок). С течением времени овраг, достигнув водоупорного слоя, перестает расти в глубину, скаты его выполаживаются, зарастают травой; овраг превращается в *балку*.



Рис.35 – Ущелье в национальном парке Пакленица

В предгорьях и на возвышенных каменистых равнинах иногда встречаются узкие, глубоко прорезанные реками расщелины с почти отвесными или ступенчатыми щеками, которые называются *каньонами*. Их глубина может достигать нескольких десятков, а иногда и сотен метров. Дно каньона обычно бывает целиком занято руслом реки.

5) **Седловина** — понижение на гребне хребта между двумя смежными вершинами; к ней с двух противоположных направлений, поперечных к хребту, подходят своими верховьями лощины. В горах дороги и тропы через хребты проходят по седловинам, которые называются перевалами.

### 3.4 Генезис рельефа

Рельеф формируется и развивается в результате взаимодействия эндогенных и экзогенных сил и процессов.

Наиболее крупные формы имеют эндогенное происхождение, а более мелкие — экзогенное. Эндогенные и экзогенные процессы формирования рельефа взаимосвязаны.

Основным источником энергии *эндогенных рельефообразующих процессов* является внутренняя энергия Земли, продуцируемая гравитационной дифференциацией и радиоактивным распадом вещества недр Земли. К эндогенным рельефообразующим процессам относят тектонические движения земной коры, сопровождаемые образованием разломов, перемещением блоков земной коры, складчатостью и магматизм. Эти процессы приводят к горизонтальным и вертикальным движениям литосферы, что ведет к формированию неровностей поверхности Земли. Однако создаваемые этими процессами формы рельефа, в нетронутom виде, в природе встречаются редко, так как уже с момента своего зарождения они подвергаются воздействию экзогенных процессов и преобразуются ими.

Главный источник энергии *экзогенных рельефообразующих процессов* — энергия Солнца, трансформируемая на земной поверхности в энергию движения воды, воздуха, вещества литосферы. К числу экзогенных процессов относятся: рельефообразующая деятельность текучих вод и водных масс (деятельность рек, океанов, морей, озер); растворяющая деятельность поверхностных и подземных вод; деятельность ветра и льда, склоновые процессы. К экзогенным геоморфологическим процессам можно отнести рельефообразующую деятельность организмов и хозяйственную деятельность человека.

Экзогенные рельефообразующие процессы проходят на поверхности Земли с маленькой скоростью и значительно продолжительнее эндогенных. В результате образуются преимущественно мезо- и микроформы. Роль этих процессов двоякая: с одной стороны, они активно разрушают положительные формы рельефа, а с другой стороны, заполняют продуктами разрушения понижения, тем самым повышая их уровень.

Перечисленные рельефообразующие процессы лишь в редких случаях протекают обособленно. При определении генезиса рельефа геоморфолог всегда или почти всегда сталкивается с вопросом, какому геоморфологическому процессу следует отдать предпочтение, какой из них следует считать ведущим и в наибольшей степени определяющим генезис рельефа.

### 3.5 Возраст рельефа

В геоморфологии определение возраста — задача более сложная, так как геологические методы применимы лишь для аккумулятивных форм рельефа и не могут быть непосредственно использованы для определения возраста выработанного (денудационного) рельефа.

В геоморфологии, обычно используют понятия «относительный» и «абсолютный» возраст рельефа.

*Относительный возраст рельефа.* Это понятие имеет несколько аспектов:

1. Развитие рельефа какой-либо территории или какой-либо отдельно взятой формы, является стадийным процессом. Поэтому под относительным возрастом рельефа можно понимать определение стадии его развития.
2. Следовательно, один из аспектов определения относительного возраста рельефа — это определение стадии его развития по комплексу характерных морфологических и динамических признаков.
3. Понятие относительный возраст рельефа применяется также при изучении взаимоотношений одних форм с другими. В общем случае любая форма является более древней по отношению к тем, которые осложняют ее поверхность и сформировались в более позднее время.

4. Определение геологического возраста рельефа означает установление того отрезка времени, когда рельеф приобрел черты, в основном аналогичные его современному облику.

Для определения *абсолютного возраста рельефа* широко применяется радиоизотопный метод, который устанавливает возраст рельефа в абсолютных единицах, т.е. в годах. Для этого необходимо знать период полураспада того или иного радиоизотопа; затем определяют соотношение его количества в отложениях с производным.

В настоящее время широко используются для определения абсолютного возраста такие методы, как радиоуглеродный, калий-аргоновый, фторовый, метод неравновесного урана, термолюминесцентный и др. Каждый из них имеет свои пределы применимости.

Абсолютный возраст древних отложений и форм рельефа можно также определить с помощью палеомагнитного метода.

Установление морфографических и морфометрических характеристик рельефа, его генезиса, возраста и истории развития и современной динамики — основные задачи геоморфологического исследования.

### 3.6 Геоморфологические карты

Наиболее выразительным средством обобщения материалов полевых геоморфологических исследований является геоморфологическая карта.

Геоморфологические карты — карты, характеризующие рельеф земной поверхности по физиономическим признакам (морфографии и морфометрии), по происхождению и возрасту (рис. 36).

Геоморфологические карты достаточно разнообразны по масштабу, содержанию и назначению.

По масштабу различают карты: крупномасштабные (крупнее 1 : 200 000), среднемасштабные (от 1 : 200 000 до 1 : 1 000 000), мелкомасштабные и обзорные (меньше 1 : 1 000 000).

По содержанию геоморфологические карты разделяют на частные и общие. *Частные геоморфологические карты* составляют на основе отдельных (частных) показателей, относящихся только к морфографии, морфометрии, происхождению, возрасту рельефа и так далее. *Общие геоморфологические карты* дают характеристику рельефа по совокупности частных показателей. Содержание карт определяет их назначение. Частные геоморфологические карты предназначены для решения частных задач: практических, научно-исследовательских и др. Общие геоморфологические карты удовлетворяют потребностям, предъявляемым к ним со стороны различных отраслей науки и народного хозяйства. На их основе могут проводиться любые геоморфологические работы, а также составляться карты более узкого назначения путем нанесения дополнительных показателей, выделения или исключения некоторых элементов их нагрузки.

Карти можуть бути аналітичними і синтетичними. На *синтетичних картах* виділяють природні морфологічні комплекси, або морфогенетичні типи рельєфу, зображувані кольоровим фоном і характеризовані по синтетичним геоморфологічним показателям. На *аналітичних картах* виділяють елементи рельєфу або елементарні поверхності, однорідні по своєму походженню і віку. На цих картах морфографічні і морфометричні особливості рельєфу відображають ізогіпсами, внемасштабними і лінійними знаками, висотними відмітками, генезис — кольоровим фоном, вік — інтенсивністю кольорового фону. Кожна генетична категорія елементів рельєфу зображується своїм особливим кольором. Кольоровими внемасштабними і лінійними знаками, штрихувкою різного рисунку зображають елементи і форми рельєфу, не виражаються в масштабі карти, а також елементи і форми рельєфу структурно-денудаційного і тектонічного походження.

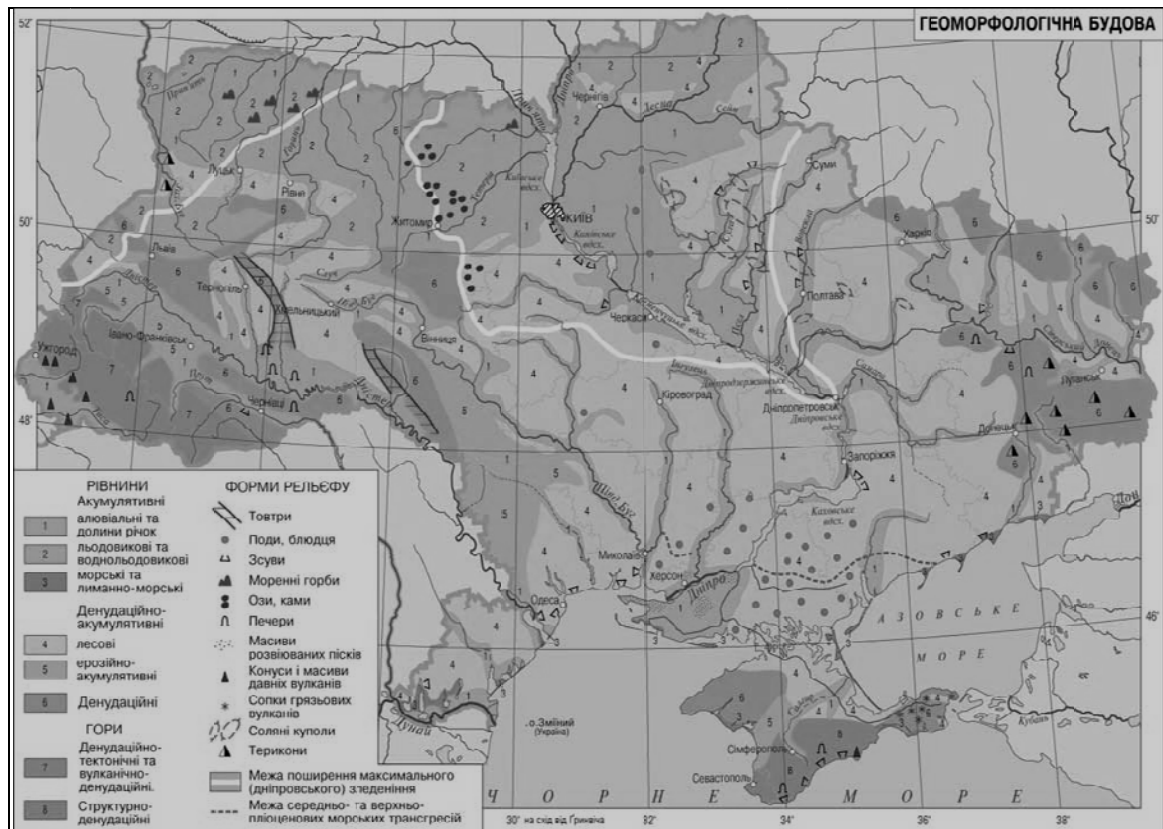


Рис. 36 – Геоморфологіческая карта Украины



## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ананьев В.П., А.Д. Потапов А.П. Инженерная геология. М.: Высшая школа, 2005.
2. Передельский Л.В., Приходченко О.Е. Инженерная геология. Ростов-на-Дону: изд-во Феникс, 2006.
3. Рычагов Г.И. Общая геоморфология. 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во Моск. ун-та: Наука, 2006.
4. Сергеев Е. М. Инженерная геология. М.: Изд-во МГУ, 1982.
5. Якушко О. Ф. , Емельянов Ю. Н., Иванов Д. Л. Геоморфология: учебник для студентов высших учебных заведений по специальностям «География», «Геоэкология» — Минск: ИВЦ Минфина, 2011.
6. <http://www.physiography.ru/content/view/1485/51>
7. <http://www.znay.ru/dictionary/2745.shtml>
8. <http://www.twirpx.com/files/geologic/geology/gmf/?show=downloads>

*Навчальне видання*

**ГАВРИЛЮК Ольга Володимирівна**

**Конспект лекцій**

з дисциплін

**«Геологія та геоморфологія»,**

**«Геологія з основами геоморфології та гідрогеології»,**

**«Геологія та гідрогеологія»**

(для студентів 1-3 курсів денної і заочної форм навчання напрямів підготовки

6.080101 «Геоінформаційні системи і технології»,

6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»,

6.060103 «Гідротехніка (водні ресурси)»)

*(рос. мовою)*

Відповідальний за випуск *д.т.н., проф. Л. М. Шутенко*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *К. А. Ехвая*

План 2012, поз. 9Л

---

Підп. до друку 12.06.12р.

Друк на ризографі.

Зам. №

Формат 60x84 /16

Ум. друк. арк. 2,7

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет міського господарства

імені О. М. Бекетова,

вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК №4064 від 12.05.2011р.