

## Глава 8. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АТМОСФЕРЫ И СУШИ

Они сошлись. Волна и камень,  
Стихи и проза, лед и пламень...  
А.С. Пушкин

### 8.1. Выветривание

#### *Основные понятия*

**1. Выветривание** – процесс разрушения и изменения горных пород на поверхности литосферы и небольших глубинах под действием физического и химического воздействия атмосферы, подземных вод и организмов.

*Физическое выветривание* – распадение горной породы на обломки различной величины, без изменения химического состава. Основными факторами этого процесса являются колебания температуры, замерзание и оттаивание воды в трещинах породы, растрескивание породы под воздействием корней растений.

- *Элювий* – продукты выветривания горных пород, залегающие на месте своего образования. По своему составу элювиальные обломки соответствуют подстилающим горным породам. Обычно они имеют неправильную форму с резкими углами и гранями.
- *Курумы* – большие скопления крупнообломочного элювия. На плоских и слабовыпуклых вершинах гор и на поверхности плато курумы часто занимают обширные площади, которые называют «каменными морями».
- *Делювий* – совокупность разнообразных продуктов выветривания (глин, песков, крупных обломков), перемещённых по склону вниз от коренных выходов в результате плоскостного смыва и сползания под действием силы тяжести и морозного сдвига. В логах, осложняющих склоны, щебнисто-каменистый делювий образует линейно вытянутые потоки, называемые «каменными реками».
- *Коллювий* – продукты выветривания, смещённые вниз по склону под влиянием силы тяжести. Образует шлейфы у подножия склонов в результате осыпания обломочного материала. Встречаются не только как современные отложения, но и в ископаемом состоянии.
- *Пролувий* – отложения временных водных потоков (селей, грязевых потоков), возникающих в период ливневых дождей и интенсивного весеннего снеготаяния. Обычно проявлен в виде конусов выноса в низовьях логов. В составе пролувия присутствуют угловатые и полуокатанные глыбы и камни, мелкозём, переотложенный почвенный слой, дерновина, остатки стволов и корней деревьев.
- *Кары* – системы гребешков и выступов, разделенных прихотливо ветвящимися бороздами–желобками. Являются продуктом растворения пород струями атмосферных и речных вод. Реже образуются под действием озёрных и морских вод.

Элювий, делювий, коллювий и пролувий взаимосвязаны и приурочены к определенным формам рельефа. Элювий на склонах вовлекается в движение и превращается в делювий, который, достигнув

пологих участков склона и подножия, становится коллювием. Временные водные потоки за короткий промежуток времени существенно перемещают все эти типы обломочного материала и вместе с почвой и сгружают его в виде пролювия у подошв возвышенностей или на некотором удалении от них в прилегающей равнинной местности.

*Химическое выветривание* – разрушение первичных пород в результате процессов гидролиза, гидратации, карбонизации, растворения и окисления. При этом изменяется состав минералов, из которых состоит исходная горная порода, и возникают новые устойчивые минералы. Определяющими процессами при химическом выветривании являются вода, растворенные в ней соли и кислоты, а также воздух. Особенно активно воздействуют на породу кислород, озон, углекислый газ.

*Органическое (органогенное) выветривание* – разрушение горных пород под механическим воздействием организмов и выделяемых ими кислот. Эта форма выветривания выделяется не всеми геологами, так как совмещает в себе элементы физического и химического выветривания.

- *Гидролиз* – реакция обменного разложения между водой и химическими соединениями, способными под воздействием воды переходить в более низкомолекулярные соединения с присоединением продуктов диссоциации воды ( $H^+$  и  $OH^-$ ).
  - *Гидратация* – реакция минералообразования, протекающая с поглощением воды. Включает процесс поглощения воды коллоидами и минералами цеолитной группы (см. любой курс по минералогии или интернет).
  - *Карбонизация* – процесс вступления минералов, содержащих ионы кальция, магния, натрия и калия, в реакцию с природными водами, насыщенными углекислотой.
  - *Растворение* – полное разрушение минерала с переходом его составляющих в структуру растворителя (в природных условиях – воды).
  - *Окисление* – общая группа химических реакций, в основе которых лежит частичное или полное перемещение электронов от одного атома к другому. При окислении низковалентные соединения переходят в высоковалентные, часто с образованием гидратов.
2. **Кора выветривания** – комплекс горных пород, формирующийся в верхней части литосферы в результате преобразования горных пород под влиянием различных факторов выветривания. Возникает в основном в зоне просачивания и аэрации.
  3. **Древние коры выветривания** – коры выветривания, сформировавшиеся в прошлые геологические эпохи. Известны во всех геологических системах (см. табл. 5.1 в гл. 5).
  4. **Почва** – самый поверхностный слой земной коры, состоящий из нескольких генетических горизонтов, возникших в результате сложного взаимодействия горной породы, климатических факторов, растительных и животных организмов, рельефа местности.

## ***Процессы выветривания***

### Физические процессы.

*Нагревание и охлаждение.* Связанно с суточными, сезонными и годовыми колебаниями температуры воздуха. Вызывают соответственно увеличение и уменьшение объема минеральных зерен, слагающих горные породы. Наиболее сильно такие сжатия и расширения протекают в приповерхностных частях горных пород и определяют явление, которое называется *шелушением*. Результаты этого явления проявляются в виде трещин, параллельных поверхности глыб и создающих отслаивание верхних частей от основной массы породы (см. рис 8.1). В отечественной литературе результаты воздействия на горные породы периодического нагревания и охлаждения получило название температурного выветривания.



Рис. 8.1. Иллюстрация явления шелушения [Горшков, Якушова, 1973].

*Температурному выветриванию* способствуют три важных обстоятельства, связанных с петрографическими особенностями пород.

1. Первое определяется кристаллическими свойствами минералов, в первую очередь их анизотропией. Напомним, что в соответствии с ней коэффициенты сжатия и расширения зависят от направления, что определяет неравномерность в распределении сил деформаций. Эта неравномерность существенно возрастает в случае, когда порода является полиминеральной.
2. Второе обстоятельство связано с разнообразной окраской минеральных зерен и породы в целом. Темноцветные породы нагреваются сильнее. Существенно по-разному нагреваются светлые и темные минералы. Поэтому температурное выветривание пестроокрашенных пород происходит более интенсивно, чем пород с однородной окраской.
3. Трещиноватость пород. Чем гуще система трещин, тем быстрее разрушается порода. Вначале происходит расширение трещин, затем по ним порода начинает распадаться на блоки, отдельные глыбы и куски.

Температурное выветривание наиболее активно протекает в областях с

сухим климатом, резко контрастным изменением температуры и слабым развитием растительности. К таким областям в первую очередь относятся пустыни, а также склоны высоких гор. В горах обломки пород, слагающих склоны, периодически обрушиваются вниз, создавая каменные, или глыбовые, осыпи. (см. рис. 8.2).

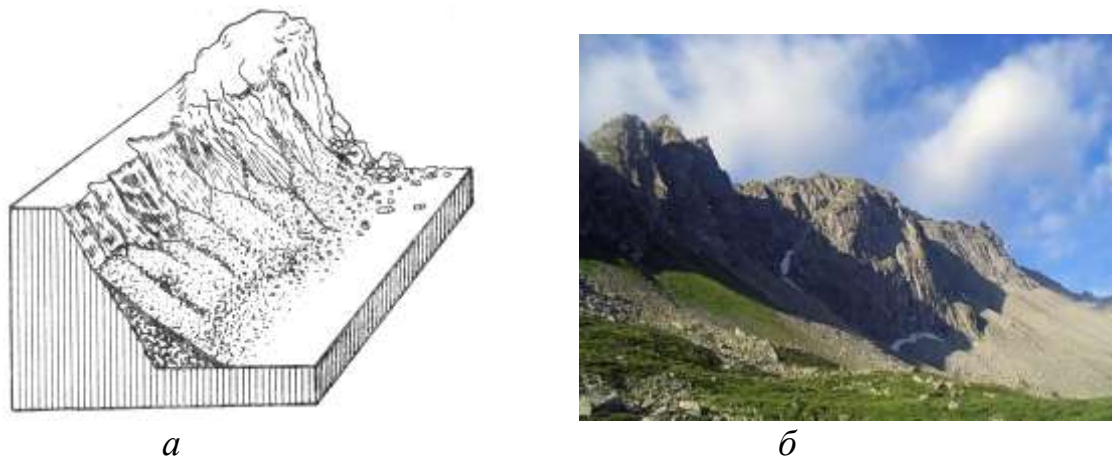


Рис. 8.2. а – Схема каменных осыпей (коллювий) [Горшков, Якушова, 1973].  
б – Фото. Каменная осыпь у подножья скал.

Следует отметить, что попытки экспериментальной проверки температурного выветривания в чистом виде (в лабораторных условиях) не дали положительного результата. Скорей всего этот тип выветривания «работает» в комплексе с другими факторами атмосферного разрушения пород.

*Замерзание воды.* Известно, что при замерзании вода увеличивается в объеме на 9 %, что создает высокое давление на ограничивающие её поверхности. Наиболее легко при этом разрушаются породы повышенной трещиноватости и пористости. Такого рода процессы иногда называют *морозным выветриванием*. В сочетании с другими эрозионными процессами морозное выветривание часто создает весьма причудливые формы рельефа (см. рис.8.3).

*Рост кристаллов.* При воздействии на породу воздуха и атмосферной влаги в трещинах и порах могут возникать новые для первичной породы минералы. Они увеличивают объем породы и способствуют ее разрушению, создавая раздвигающий эффект подобно ледяным клиньям при морозном выветривании.

*Разрушение животными и растениями.* Мощным фактором механического разрушения пород является корневая система растительности, особенно деревьев. Корни внедряются в трещины пород и

способны выталкивать куски породы вверх и в стороны (см. рис. 8.5).

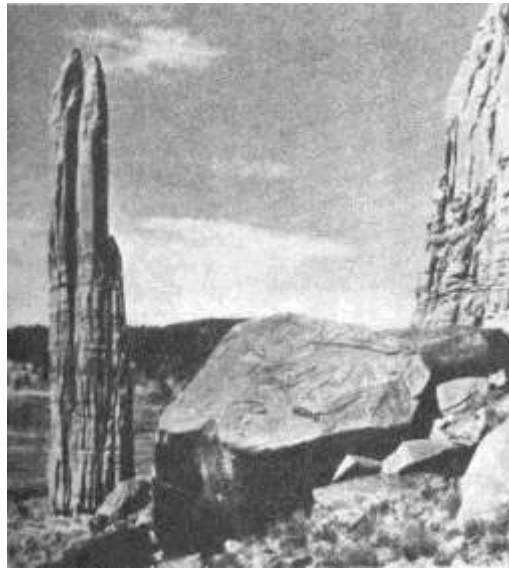


Рис. 8.3. «Игла Венеры» (слева) высотой более 60 м. Отделилась от скалы (справа) в результате разрушения трещинных пород вдоль вертикальных трещин [Аллисон, Палмер, 1984].



Рис. 8.4. Разрушающее действие корней деревьев.

Кроме того, ветер может валить деревья, выворачивая значительную часть корневой системы, и тем самым механическое разрушение породы продолжается и усиливается. Механической дезинтеграции пород способствует и деятельность животных, роющих норы, «работа» земляных червей и муравьев, вытаптывание растительного покрова животными.

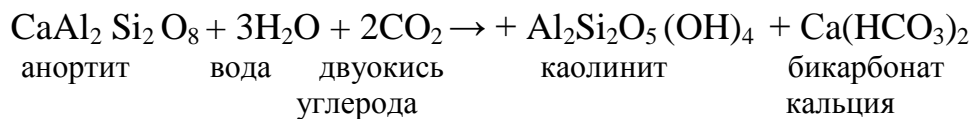
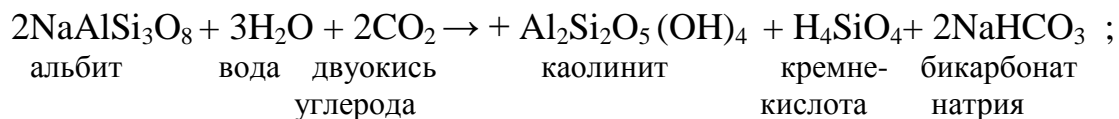
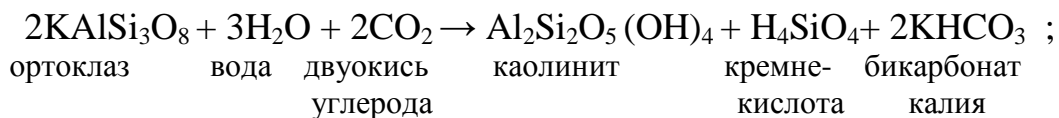
Мощное механическое воздействие на поверхность литосферы оказывает и деятельность людей: проходка туннелей, разработка карьеров,

рудников, строительство дорог, городов, распашка земель и т. д.

### Химические процессы.

*Гидролиз.* Характерным примером гидролиза может служить разложение полевых шпатов, которые наиболее широко распространены в земной коре. Схема этого процесса определяется такого рода цепочкой:

**Полевые шпаты → промежуточные минералы (гидрослюды, гидрохлориты и др.) → каолинит**



Эти реакции сопровождаются различными превращениями. В частности, *реакциями гидратации*, в результате которых возникает каолинит, и *карбонизации*, когда бикарбонаты калия, натрия и кальция могут растворяться в воде. Кварц выносятся из ортоклаза и альбита в виде слабых кремниевых кислот или в коллоидной форме в растворах бикарбонатов калия, натрия и кальция.

Каолинит в условиях поверхности Земли является довольно устойчивым минералом. Однако при большом количестве атмосферных осадков, высокой температуре и большом растительном отпаде связь между алюминием и кремнием в процессе гидролиза алюмосиликатов полностью нарушается, и возникают минералы, еще более устойчивые в условиях земной поверхности – боксит ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), опал ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) и др. (последняя стадия выветривания – латеритная).

*Гидратация.* Реакции с присоединением к минералам гидроксильной группы  $(\text{OH})^-$  распространены в природе довольно широко. Это не только образование каолинита, которое рассмотрено выше, но и образование таких минералов, как хлорит, серпентин, тальк, цеолиты. К реакциям гидратации относятся также и такие процессы, как образование гипса из ангидрита и лимонита из гематита:









Коры выветривания формировались в различные периоды геологической истории. Наиболее древние из них связаны с выветриванием архейских и протерозойских кристаллических пород и перекрыты палеозойскими осадочными образованиями. Наиболее древние метаморфизованные коры выветривания известны в районе Курской магнитной аномалии. С ними связаны железные руды. Широко распространена также девонская кора выветривания (на Украине, в Воронежской области, на Урале). Мезозойская кора установлена на Урале, в Казахстане, Западной Сибири. Палеогеновая и неогеновая коры развиты на Южном Урале, в Казахстане, на Украине. На Кавказе обнаружена кора выветривания четвертичного периода.

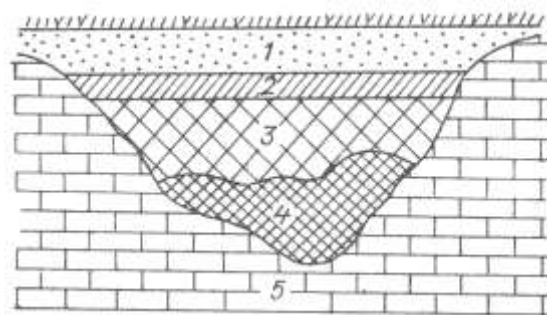


Рис. 8.6. Залежь боксита на закарстованных известняках.

1 – почва; 2 – лигнит; 3 – белый боксит; 4 – красный боксит; 5 – известняки. Лигнит – ископаемая древесина, находящаяся не в окаменелом, а в слабо обугленном состоянии. Обычно бурого цвета. Сохраняет анатомическое строение тканей *неизменной древесины*.

В корях выветривания часто наблюдается зональность, обусловленная стадийностью процессов, формирующих кору (см. рис.8.9).

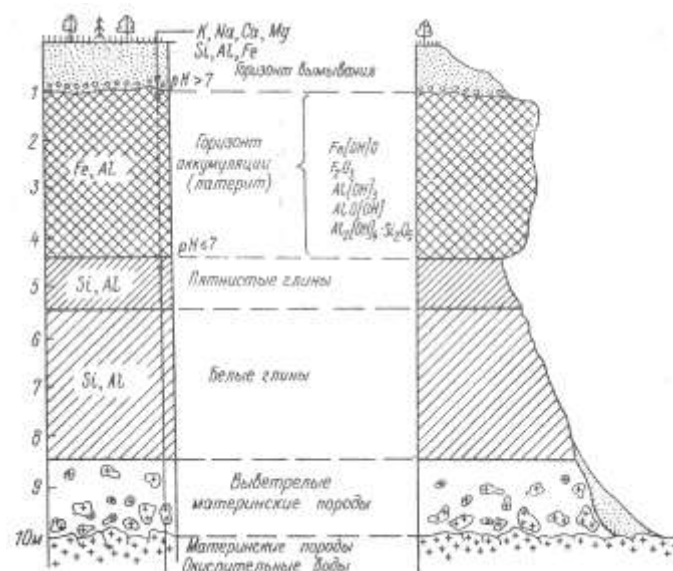


Рис. 8.7. Зональное строение коры выветривания [Общая..., 1991].  
Стрелками показано движение грунтовых вод.

Современные коры выветривания известны во многих регионах мира. Особенно интенсивно коры формируются в условиях влажного тропического климата с чередованием дождливых и сухих периодов.

В коре выветривания могут накапливаться многие устойчивые минералы, такие, например, как алмаз, хромит ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ), касситерит ( $\text{SnO}_2$ ) и др. Поэтому коры выветривания обычно являются перспективными объектами для поисков многих полезных ископаемых.

### **Образование почв**

Образование почвы связано с размельчением и разрушением массивных горных пород до мелкообломочного состояния, так называемого «рухляка», а также с разложением органических и минеральных соединений. В результате деятельности микроорганизмов образуются новые минеральные, органогенно-минеральные и органические вещества, придающие почве её главное свойство – плодородие.

Физические и химические свойства почв зависят от состава подстилающих материнских пород, климата, жизнедеятельности растений и животных, а также рельефа местности и продолжительности процесса почвообразования. В зависимости от климата в распределении различных почв наблюдаются две зональности:

- горизонтальная широтная, развитая преимущественно на равнинах;
- вертикальная, характерная для горных областей.

Широтная зональность подчинена природным поясам:

- полярному;
- умеренному, субэаральному;
- экваториальному.

В горах от подножия к вершине наблюдается приблизительно такая же система температурных поясов.

В зависимости от типа микроорганизмов, населяющих почву, выделяют два основных вида разложения органических веществ:

- Аэробный процесс, связанный с жизнедеятельностью грибной микрофлоры и бактерий, которые могут жить и размножаться в условиях свободного доступа кислорода воздуха. Этот процесс характерен для дернового и степного почвообразования.
- Анаэробный процесс вызывается жизнедеятельностью бактерий, развивающихся в условиях отсутствия кислорода. Разложение органического вещества при этом происходит значительно медленнее в сравнении с аэробным процессом.

Во всякой почве одновременно на различных уровнях могут протекать *оба процесса разложения – аэробный и анаэробный*. Благоприятное сочетание этих процессов создает оптимальные условия для

жизнедеятельности растений.

Если при формировании почвы преобладает движение веществ сверху вниз, обычно возникает почвенный профиль из трех горизонтов (рис. 8.8). Под иллювиальным горизонтом (С) залегает горная порода, не затронутая процессом почвообразования (слой R).

Ещё В.В. Докучаев выделил 5 основных природных зон:

- тундровую (бореальную),
- таёжную (или лесную),
- чернозёмную (степную),
- аэральную (пустынную),
- краснозёмную (латеральную) – зону экваториальных влажных лесов и саванн.
- 

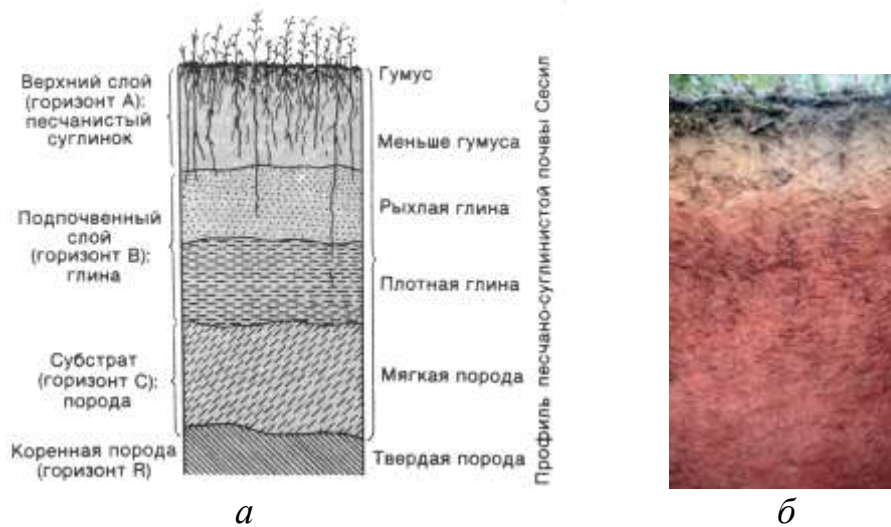


Рис. 8.8. а – Разрез типичной зрелой почвы с чётко выраженной зональностью [Аллисон. Палмер, 1984]. б – Разрез почвы в районе штата Алабама.

Внутри зон он выделял естественно-исторические районы, которые сегодня принято называть ландшафтами. Ландшафты характеризуются определенными закономерными соотношениями элементов природной среды: климатом, геологическим строением, рельефом, поверхностными и подземными водами, почвами, растительным и животным миром.

### **Общий вывод:**

*выветривание формирует верхний слой земной коры, защищающий ее первичные вещественно-структурные формы от разрушения атмосферными факторами.*

## **8.2. Геологическая деятельность ветра**

### **Основные понятия**

1. **Эоловые процессы** – процессы, обусловленные деятельностью ветра.
2. **Дефляция** – процесс выдувания и развевания ветром частиц горных пород.

3. **Корразия** – процесс обтачивания, шлифования и высверливания горных пород обломочным материалом, перемещаемым водой, ветром и льдом, а также обтачивание самих обломков.
4. **Эоловые отложения** – континентальные образования, возникшие при ветровой аккумуляции.
5. **Бархан** – асимметричный песчаный холм, представляющий собой морфологически наиболее резко очерчиваемую форму подвижного песка.
6. **Дюны** – холмы и гряды песка, иногда полулунной формы, образующиеся в результате деятельности ветра на песчаных побережьях морей, озёр и крупных рек, покрытых редкой растительностью.
7. **Лёссы** – однородная тонкозернистая, обычно неслоистая рыхлая горная порода, состоящая из мельчайших зёрен кварца, глины и углекислого кальция с примесью гидратов окиси железа, слюды и других минералов. Характерной структурной особенностью лёсса являются тончайшие вертикальные каналы, остающиеся в нем после отмирания стеблей травы, засыпанные пылью. Лёссы отличаются высокой пористостью и водопроницаемостью.

### **Эоловые процессы.**

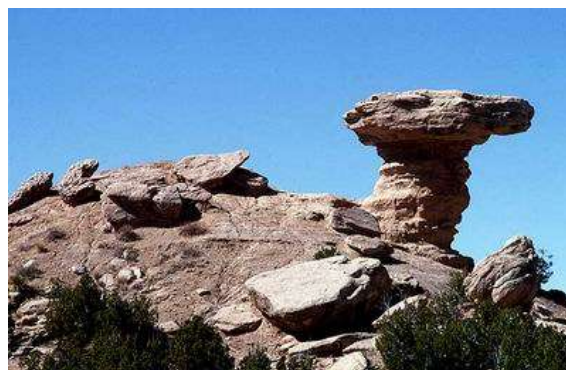
**Дефляция** – процесс, характерный для пустынных областей и горных вершин, где породы обнажаются (отсутствие или слабое развитие почв и растительного покрова). Струи воздуха, проходя через трещины твердых пород, выносят из них рыхлые продукты выветривания. Трещины становятся свободными. Активное физическое выветривание первичных пород продолжается. Таким образом, дефляция укладывается в простую схему:

*выветривание → ветровой вынос → выветривание → ветровой вынос → и так далее.*

Сочетание выветривания и дефляции приводит к расширению трещин и обтачиванию скал. При этом возникают причудливые морфологические формы в виде башен, колонн, выступов, ниш, карнизов и т.п. (см. рис. 8.9).



а



б

Рис. 8.9. Характерные формы рельефа при дефляции. а – Столбы из плитчатых пород. б – Скала «Верблюд» (Нью-Мексика, США).

В местах накопления разнообразного обломочного материала в результате дефляции происходит очищение этих отложений от песчаных и мелкозернистых фракций, и эти отложения превращаются в скопления каменистого и щебнистого материала.

Помимо простого выдувания мелкозёма из трещин пород (вертикальных, горизонтальных и наклонных) дефляция активно проявляет себя и при возникновении турбулентных потоков восходящих струй воздуха. Такие потоки возникают вследствие разницы в нагревании различных частей поверхности земли. Наиболее активно такой процесс протекает в котловинах с так называемым пухлым солончаком на дне котловин. Обычно это глубокие бессточные котловины пустынь, дно которых часто находится ниже уровня моря. За счёт испарения поднимающейся к поверхности таких впадин капиллярной каймы грунтовых вод, а также испарения атмосферных осадков происходит засоление верхнего слоя пород. Соли разрыхляют этот слой и формируют пухлый порошкообразный солончаковый горизонт, который легко развеивается ветром. Восходящие потоки воздуха и ветер способны полностью вынести весь этот «пухообразный» материал, очистить и тем самым углубить котловину. Инструментальные наблюдения в Закаспии показали, что при среднегодовой скорости ветра 6-7 м/с с поверхности солончаков сдувается слой в 3-5 см.

Мощные дефляционные выносы наблюдаются при ураганных и штормовых ветрах и в средней полосе. С ними связаны так называемые чёрные бури, разрушающие, иногда почти полностью, пахотный черноземный слой. Такого рода явления относят к *плоскостному выдуванию*. В отличие от него выделяют еще *бороздовый вид выдувания*. Его проявление часто обусловлено техногенными факторами. Например, в Китае выемки старых дорог в лессовых породах превращаются в своеобразные ущелья глубиной до 30 м. Они получили название *хольвегов*.

*Корразия*. Этот процесс обычно сопровождает дефляцию. Песчаные частицы поднимаются и переносятся ветром. При их ударе об обнаженные породы происходит обтачивание, шлифование и высверливание поверхностей этих пород. Поскольку наибольшей концентрации такие песчаные потоки достигают в нижних приземных слоях (1-2 м от поверхности земли), наибольшая корразия наблюдается именно на таких высотах, хотя песчаные частицы иногда поднимаются и на большие высоты (до 8-10 м). В результате избирательного по высоте воздействия нижние части скал как бы подрезаются и утоняются в сравнении с вышележащими (см. рис. 8.10).

В пустынях на глинистых поверхностях при устойчивых по направлению ветрах песчаные корразионные струи образуют борозды и желоба глубиной до 1-2, иногда до 6 м. Эти борозды и желоба разделены грядами. В Китае, где это явление широко распространено, они получили название *ярданги* (см. рис. 8.11).

Перенос и отложения. Ветер переносит захваченные им частицы двумя способами: в виде взвеси и волочением. Величина транспортируемых частиц и дальность переноса зависят от силы ветра:

- при скорости ветра до 6,5 м/с переносятся частицы до 2 мм в диаметре (пыль и тонкий песок);
- при скорости 10 м/с в перенос вовлекаются песчинки до 1 мм;
- при скорости 20 м/с в ветровую транспортировку втягиваются частиц до 4-5 мм;
- при ураганах ветер поднимает с поверхности даже мелкие камешки.



Рис. 8.10. Примеры корразионных форм.

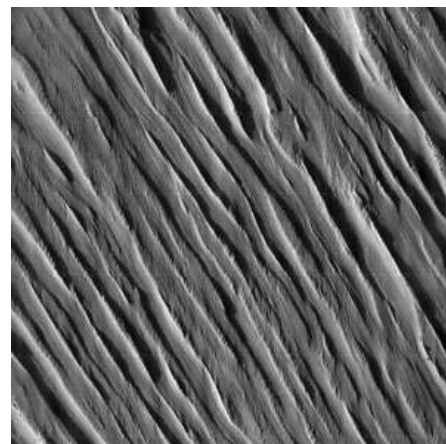
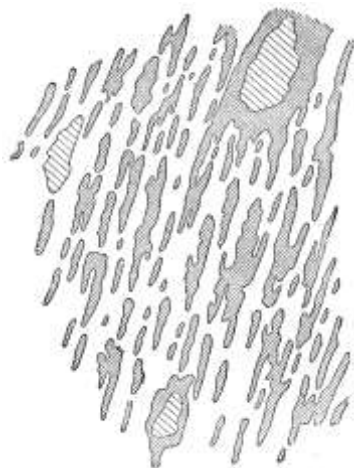


Рис. 8.11. а - Схематический план пустыни с гребнями, называемыми *yardangs* (ярданги) (по Свэн Гедину (Э. Ог. Геология. Т.1.– М.: Гос.изд-во, 1913). б – Марсианские ярданги.

Дальность переноса может быть огромной. Известно, например, что пыль из пустынь Африки пассатами переносится на тысячи километров и обнаружена в виде примеси в донных осадках Атлантического океана. В 1863 г. масса выпавшего на Канарских островах пыльного дождя составила около 10 млн. т. Из африканского тонкого песка здесь образуются дюны. Гигантскую транспортную работу совершает так называемый «афганец» – ветер, дующий со стороны Афганистана в направлении пустыни Каракум. При этом ветре воздух бывает настолько насыщен пылью и песком, что не видно солнца, а стекла в окнах домов через 2-3 года становятся матовыми.

При порывистых ветрах и относительно небольшой их скорости *значительная часть песчаного и пылеватого материала переносится* волочением частиц по поверхности или перемещается скачками.

Пылеватые и глинистые частицы, если они подняты на большую высоту, могут переноситься на «планетарные» расстояния. Установлено, например, что пепел, выброшенный в 1883 г. при взрыве вулкана Кракатау (см. тему 7), три раза облетел вокруг нашей планеты и держался в воздухе около трех лет. По существу, речь может идти о временном насыщении почти всей тропосферы.

Первого мая 1892 г. пыльная буря подняла в воздух огромный по площади слой чернозема в Восточной Украине. А уже 2 мая черные дожди прошли в районе Каунаса, 3 мая – в Германии, 4 мая – в Балтийском море, немного позже – в Скандинавии. Таким образом, ветер разметал украинский чернозем по прибалтийским странам Центральной и Восточной Европы.

По подсчетам А.П. Лисицына общее количество эолового материала, переносимого с суши на море, превышает цифру в 1,6 млрд. т в год.

Перенос глинистых, пылеватых и песчаных частиц носит во времени дискретный характер и рано или поздно заканчивается их возвращением на поверхность Земли. Большая их часть выпадает в морях и океанах, являясь добавками к осадкам морского происхождения. Меньшая часть выпадает на поверхность суши и формирует осадки, называемые *эоловыми отложениями*.

Современные эоловые отложения в основном являются рыхлыми, так как их уплотнение и цементация происходят существенно медленнее, чем у осадков водных. Среди них наибольшее распространение на суше имеют песчаные отложения. Самых крупных размеров они достигают в пустынях (до нескольких десятков метров). Эоловые пески имеют целый ряд специфических признаков, по которым они довольно легко отличаются от песков другого происхождения (рис. 8.12).



Рис. 8.12. Барханы в пустыне Каракумы.

Песчаные барханы на Марсе

При ветровом переносе происходит отчётливая сортировка влекомого и особенно взвешенного материала. Отделяемые при такой транспортировке пылеватые частицы откладываются вслед песчаным и при уплотнении формируют континентальные осадки, называемые лёссом (см. рис. 8.13).

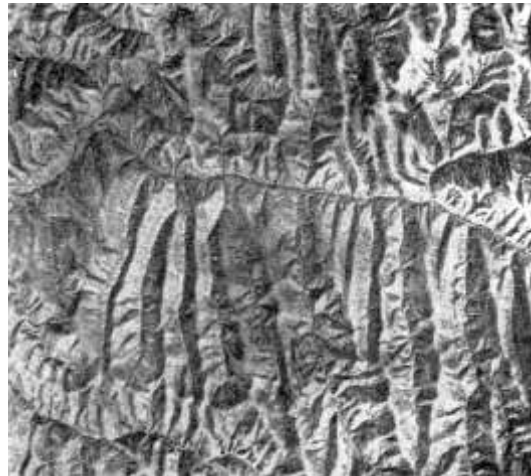


Рис. 8.13. Вид с самолета на грядовый лёссовый рельеф [Горшков. Якушова, 1973].

Типичный лёсс не имеет слоистости, малосыпуч и легко размывается текущими водами. При этом формируются овраги с очень крутыми, почти отвесными стенками. Наибольшее количество лёссов образовалось в четвертичный период на огромной территории, простирающейся от Украины до Южного Китая. Мощность древних лёссов в Китае, например, достигает 100 м.

Эоловые отложения встречаются в любой части света и практически в любой ландшафтной зоне, хотя наиболее мощные их скопления известны в областях с аридным климатом.

**Общий вывод:**

*ветер разрушает горные породы и переносит продукты разрушения, перераспределяя их по поверхности Земли в соответствии с законами газодинамики.*



### 8.3. Геологическая деятельность вод.

#### *Основные понятия.*

1. **Эрозия** – процесс разрушения горных пород водным потоком в результате механического размывания водной струей, шлифования и царапания пород переносимыми твёрдыми частицами и химического растворения.
2. **Аккумуляция** – накопление на поверхности суши, дне водного потока или бассейна минерального вещества или органических остатков. Аккумуляция бывает эоловая (см. раздел 8.2), вулканическая, морская (см. тему 7), речная, ледниковая, флювиогляциальная (см. ниже).
3. **Базис эрозии** – поверхность, на уровне которой водный поток теряет свою живую силу и ниже которой не может углубить своё русло.

Общий базис эрозии – уровень Мирового океана. Принимается условно, так как реки, впадающие в моря и океаны, способны углублять свои русла ниже уровня моря. Причина такого явления заключается в том, что в устье река имеет ещё достаточно большой запас кинетической энергии.

*Местный базис эрозии* может располагаться на любой высоте и может быть относительно постоянным или временным. Любые точки русла реки могут рассматриваться как местные базисы эрозии, поскольку они определяют возможность эрозии на выше расположенном участке.

4. **Дождевая эрозия** – размыв поверхности за счёт кинетической энергии дождевых капель.
5. **Склоновый сток** – разновидность поверхностного стока. Перемещение воды по склонам местности.
6. **Русловой сток** – разновидность поверхностного стока. Перемещение воды по руслам рек и временных водотоков.
7. **Плоскостная эрозия (плоскостной смыв)** – эрозия, возникающая за счёт склонового стока. Обычно эрозии подвергается только тонкий алевритовый или глинистый материал.
8. **Временные потоки** – водные потоки, возникающие при быстром таянии снега или сильных ливнях.
9. **Овраг** – крутосклонная долина, часто сильно разветвленная, сформированная деятельностью временного, редко небольшого постоянного, потока. Овраги характерны для возвышенно-равнинных пространств, сложенных легко размываемыми рыхлыми породами (лёссы, лёссовидные суглинки и т.п.).
10. **Реки** – водный поток сравнительно больших размеров, как правило, постоянный, питающийся стоком атмосферных осадков и подземными водами и текущий в разработанном им русле.
11. **Гидрограф** – график изменения во времени расходов воды в створе реки за год или часть года (сезон, половодье или паводок).
12. **Замкнутая речная система** – совокупность рек какой-либо территории, сливающихся в один общий поток, который выносит воду за пределы этой территории. Речные системы отделяются друг от друга водоразделами.
13. **Речной бассейн** – водосборная площадь реки с её притоками.
14. **Водораздел** – линия наиболее высоких точек земной поверхности, фиксирующая границу между соседними бассейнами главных рек речной системы. Речные бассейны включают в себя поверхностный и подземный водосборы.
15. **Русловая сеть** – система постоянно и периодически действующих водотоков.

- 16. Гидрографическая сеть** – русловая сеть, включающая в себя другие водные объекты.
- 17. Исток** – место начала реки. Если река образуется из слияния двух рек, то за её исток принимается начало более длинной из них, а общая длина должна отсчитываться от наиболее удаленного истока. Это так называемая гидрографическая длина главной реки.
- 18. Устье** – место впадения реки в другую реку, озеро, море или другой водоприемник. Если река впадает двумя и более рукавами, то за устье принимается окончание более длинного рукава. В районах аридного климата из-за очень высокого испарения река часто теряется в песках, и понятие «устье» в этом случае отсутствует. Конец реки фиксируется в месте исчезновения воды и носит название «слепой конец».
- 19. Речные долины** – относительно узкие и вытянутые формы рельефа, имеющие уклоны, большей частью извилистой формы, выработанные или оформленные на конечной стадии развития текучими водами (в основном реками).
- 20. Меандры** – изгибы, образованные рекой.
- Меандры врезанные (долинные)* – сформированы изгибами долины. При этом в каждую излучину входит выступ коренного склона.
- Меандры блуждающие (свободные или поверхностные)* – созданы рекой среди рыхлых аллювиальных отложений на плоском дне долины. Склоны долины в образовании этих излучин участия не принимают. Такие меандры постоянно меняют свою форму и положение, особенно при половодьях.
- Старица* – старое, брошенное рекой русло, обычно дугообразно изогнутое, оставленное ею при прорыве узкой части (шейки) меандра. Представляет собою сухую или заболоченную ложбину, иногда с водой (старичное озеро).
- 21. Речные террасы** – площадки на склонах речной долины, ограниченные уступом и образованные в результате эрозионно-аккумулятивной деятельности реки. По происхождению различают *террасы размыва (структурные), аккумулятивные (наносные) и смешанные*.
- 22. Бифуркация** – раздвоение. Термин имеет медицинские корни.
- 23. Аллювиальные отложения** – отложения, накопившиеся в речных долинах в результате сноса и отложения постоянным водным потоком рыхлых продуктов выветривания, а также разрушения горных пород самим потоком. Состоит из обломочного материала различной степени окатанности и сортировки.
- 24. Денудация** – снос, удаление продуктов выветривания. Главной движущей силой процессов денудации является сила тяжести, которая проявляется либо прямым способом (частицы породы передвигаются сами по себе – сползают, скатываются и т.п.), либо переносятся различными подвижными средами (водой, льдом).
- 25. Базис денудации** – уровень, соответствующий перелому профиля склона (от крутого к более пологому). По отношению к базису денудации определяется плоскостной снос гравитационного перемещения. Ниже этого уровня гравитационное перемещение прекращается.
- 26. Базис аккумуляции** – точка, выше которой аккумуляция не может происходить и сменяется денудацией.

*Уровень базиса аккумуляции* – горизонтальная плоскость, проходящая через базис аккумуляции. На этом уровне происходит аккумулятивное выравнивание рельефа и образование аккумулятивных равнин.

27. **Тальвег** – линия, соединяющая самые глубокие части русла реки. Иногда термин употребляется в более широком смысле, в применении ко всему руслу реки.
28. **Сель** – кратковременный разрушительный поток, перегруженный грязекаменным материалом. Возникает при выпадении обильных ливней (реже интенсивного таяния снега) в предгорных и горных районах, обычно в бассейне небольших речек и логов с большими уклонами тальвега (более 0,10). Проходит с большой скоростью в виде одного или нескольких последовательных валов.
29. **Подземный сток** – перемещение воды в толще земной коры под действием гидравлического уклона от области питания к области разгрузки.
30. **Водоносный горизонт** – толща горных пород, насыщенная водой, залегающая между водоупорными толщами или только подстилаемая водоупорными породами. Горизонт может быть представлен породами различного литологического состава.
31. **Источники** – сосредоточенный естественный выход подземных вод непосредственно на земную поверхность или под водой (субаквальный источник).
32. **Карст** – совокупность явлений, связанных с деятельностью вод (поверхностных и подземных) и состоящая в растворении горных пород и образовании в них пустот разного размера и формы.
33. **Оползни** – отрыв земляных масс и перемещение их по склону под влиянием силы тяжести.

### **Процессы**

Склоновый сток. Атмосферные осадки выпадают на поверхность суши в основном в виде дождя и снега. Часть воды, дождевой или талой, насыщает почву и лежащие под ней горные породы, а часть стекает по поверхности вниз по склону.

Дождевые капли сами по себе обладают достаточно высокой кинетической энергией. Подсчитано даже, что при сильных ливнях скорость таких капель у поверхности земли может достигать 7 м/с [Аллисон, Палмер, 1984]. Этого достаточно, чтобы создавать эффект дождевой эрозии, которая наиболее сильно проявляется на открытых поверхностях, не защищенных растительным покровом.

Если склон пологий, вода стекает по нему в виде тонкой плёнки, вызывая *плоскостную эрозию*, которую называют еще *плоскостным смывом*. Подсчитано, что с распаханых полей плоскостной смыв вместе с дождевой эрозией способен перемещать десятки тонн почвы в год с одного акра (около 4000 м<sup>2</sup>) пашни. Эрозионная деятельность плоскостного стока и дождевых капель, как правило, захватывает лишь тонкий слой земной поверхности, сложенной преимущественно пылеватыми и глинистыми породами.

Плоскостное перемещение воды по склону довольно быстро перерождается в систему отдельных ручейков, из которых постепенно формируется речная сеть. Представление об этом может дать модель

формирование гидросети. В основе решения этой задачи лежит модель случайного блуждания, использованная с позиций картирования [Павлов, 2004].

Временные потоки (струи) и ручьи могут существенно изменять конфигурацию первичных склонов, создавая рытвины, овраги и формируя из них небольшие долины с крутыми склонами (см. рис. 8.14).

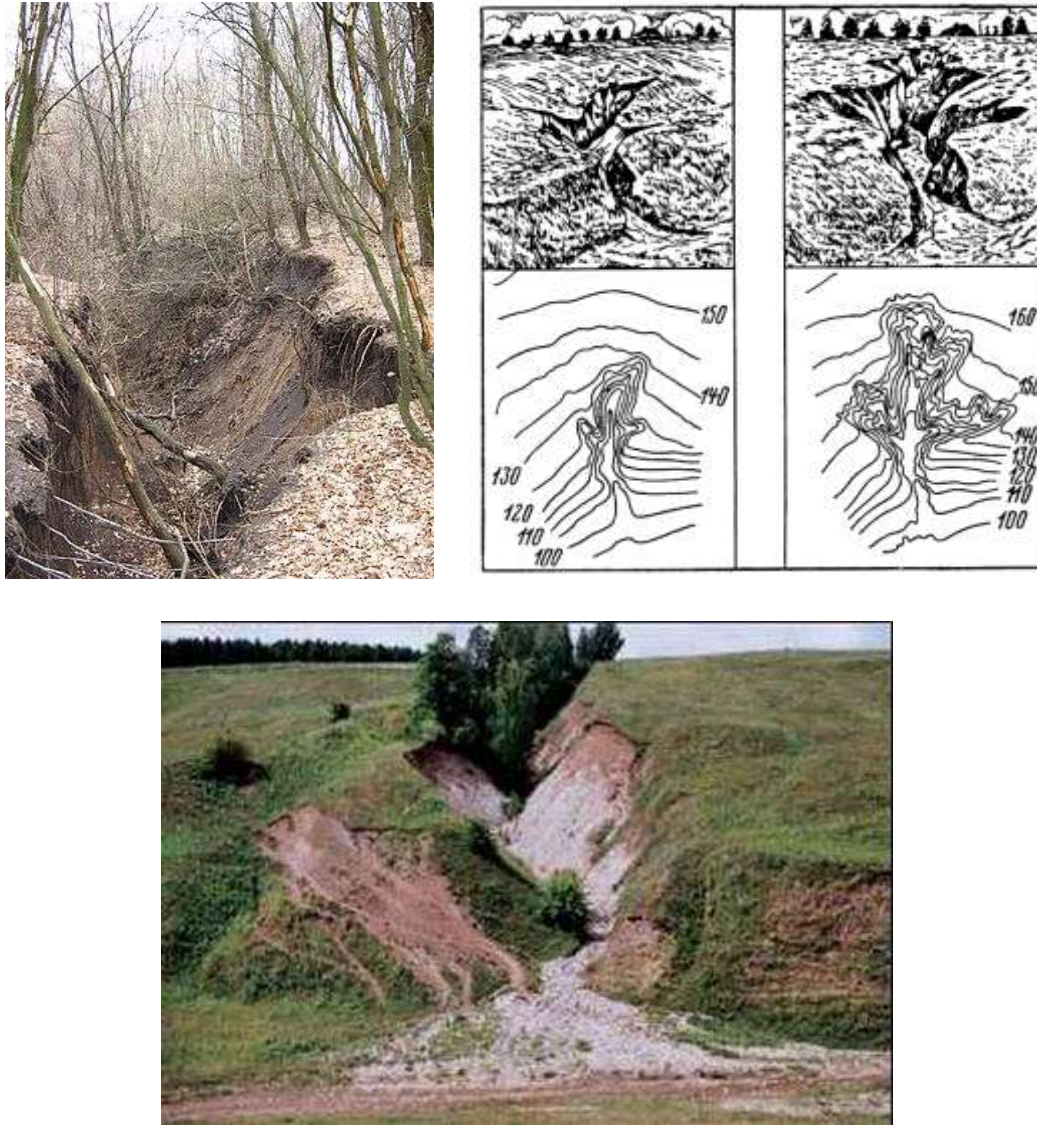


Рис. 8.14. Схема развития оврага [Горшков, Якушова, 1973] и фотоиллюстрации.

Речной сток. Представление о формировании речного стока даёт гидрограф реки (см. рис. 8.15). Речная эрозия связывается с так называемой живой силой реки, которая тождественна по смыслу кинетической энергии речного потока.

Если кинетическая энергия достаточно велика и обеспечивает перенос материала, которым водная струя наполнена, считается, что происходит эрозия. Если масса влекомого речной струей и взвешенного в ней

материала превосходит транспортные возможности реки, происходит аккумуляция наносов. В случае уравновешенности этих составляющих между эрозией и аккумуляцией также наблюдается равновесие.

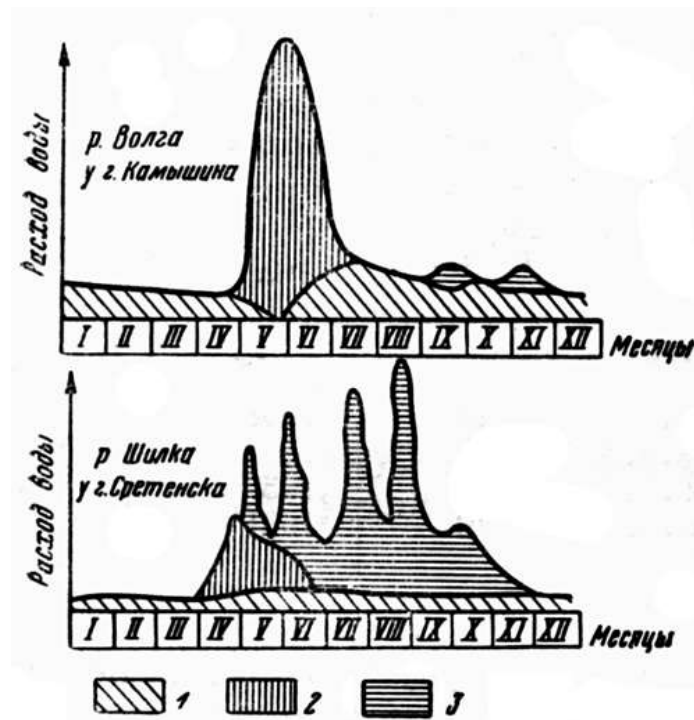


Рис. 8.15. Характер режима рек.  
Виды питания: 1 – подземное; 2 – снеговое; 3 – дождевое.

- *Донная (или глубинная) эрозия.*

Река врезается в горные породы, таким способом формируя своё русло. Этот процесс протекает до тех пор, пока не возникнет так называемый профиль равновесия (или предельный профиль). Теоретически он представляет собой кривую, характеризующую кинетические возможности речной струи в конкретных геологических условиях. Речь идет о соотношении разрушающих возможностей водного потока и прочностных свойствах подстилающего его ложа. Донная эрозия контролируется положением базиса эрозии и высотой истоков реки, которые могут меняться под влиянием многих причин: подтоплением в устье, появлением искусственных (дамбы, плотины) и естественных (сели, наледи, тектонические взбросы и сбросы) преград, поднятием областей питания и др.

- *Боковая эрозия.*

В силу эффекта блуждания наряду с глубинной эрозией всегда проявляется еще и эрозия боковая. На первых этапах развития реки она может быть малозаметна. По мере приближения общей кривизны русла к предельному

профилю активность боковой эрозии возрастает. Река расширяет свою долину, приближаясь и разрушая то один коренной берег, то другой. Формируется плоское дно. При этом река образует крупные излучины, называемые меандрами (см. рис. 8.16).

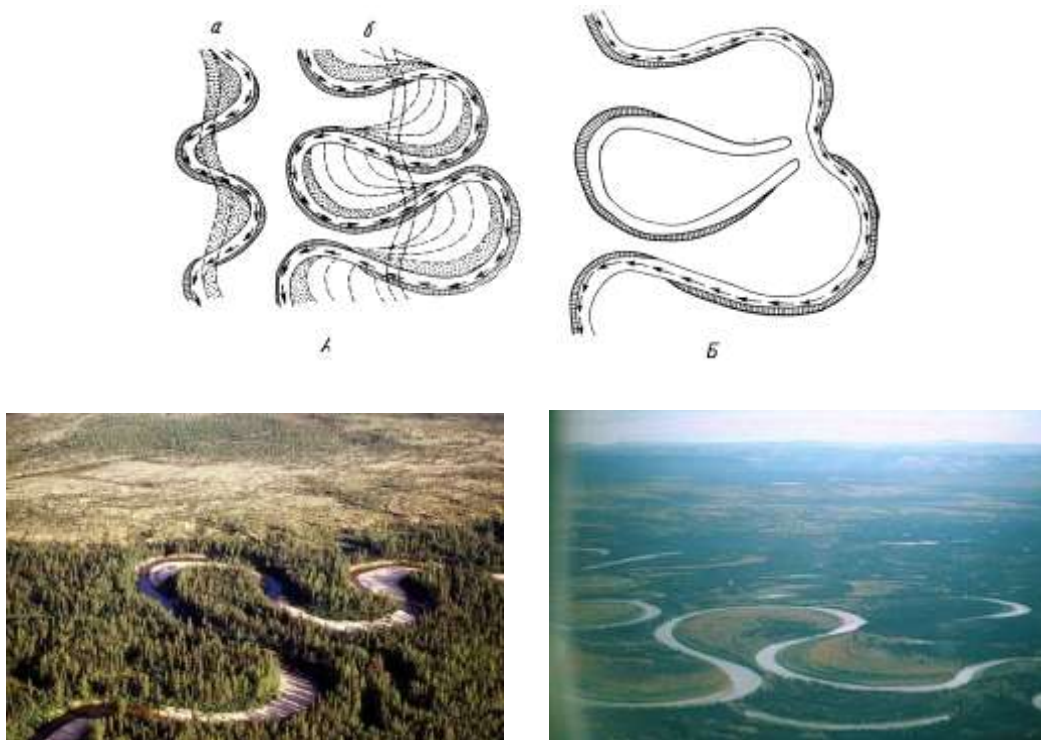


Рис. 8.16. Схема формирования излучин (меандр) [Якушова, Хаин, Славин, 1988]. а – начальная стадия; б – последовательные положения на более поздних стадиях (А); образование старицы (Б). Фотоиллюстрации.

- *Аккумуляция.*

Эрозия практически всегда сопровождается аккумуляцией. Активность аккумуляции зависит от живой силы реки. По мере её убывания влекомый и взвешенный материал, который несет водный поток, начинает оседать на дно, формируя так называемые аллювиальные отложения. Их состав и структура могут быть исключительно разнообразными, создавая иногда довольно причудливые соотношения слоев, линз, горизонтов как по разрезу отложений, так и по площади. Общее представление о формировании аллювиальных отложений даёт рис. 8.17, иллюстрирующий стадию, близкую к равновесной (*перстративный или перестилаемый аллювий*).

- *Основные типы профилей речных долин.*

В своем развитии речные долины проходят несколько стадий, определяемых преобладанием той или иной формы эрозии и аккумуляции. Молодая река как фреза прорезает толщу горных пород и формирует узкие

и глубоко врезаемые долины. В зависимости от своеобразия и крутизны склонов таких долин они носят разные названия: *щель или теснина, ущелье и каньон*. В случае, когда склоны сложены мягкими и непроницаемыми породами (например, глинами), возникают долины, напоминающие в разрезе латинскую букву V. Такие долины называются *V-образными*. На стадии зрелости реки и наступающей затем стадии старости процессы боковой эрозии и аккумуляции приводят к развитию широких плоскodonных долин с пологими склонами и низкими водоразделами. Принципиальная схема типизации речных долин по их профилю показана на рис. 8.18.

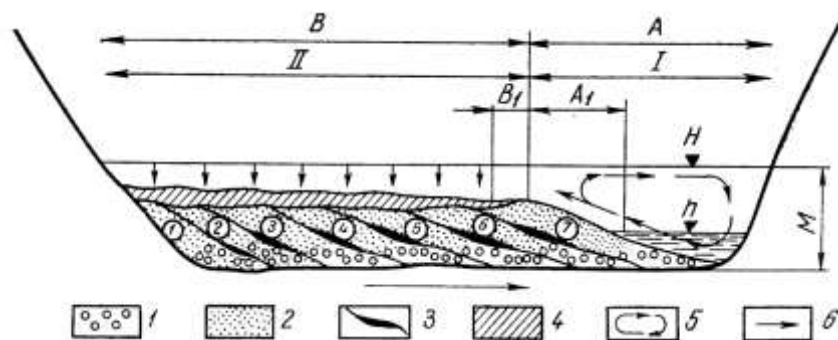


Рис. 8.17. Схема перстративной фазы аллювиальной аккумуляции (по Е.В. Шанцеру [Якушова, Хаин, Славин, 1988]).

A – русло (A<sub>1</sub> – русловая отмель); B – пойма (B<sub>1</sub> – прирусловой вал); H – уровень полых вод (половодья); h – уровень межени (низкого стояния вод); M – нормальная мощность аллювия; I – зона намывания наносов, влекомых поперечными циркуляционными токами; цифры в кружках (1-7) – последовательно образующиеся слои руслового аллювия; II – зона осаждения взвешенных наносов. Русловой аллювий: 1 – грубозернистые пески, гравий и галька; 2 – мелко- и тонкозернистые пески; 3 – прослойки заиления; 4 – пойменный аллювий; 5 – токи поперечной циркуляции в русле; 6 – направление смещения русловой ложбины в ходе накопления аллювия.

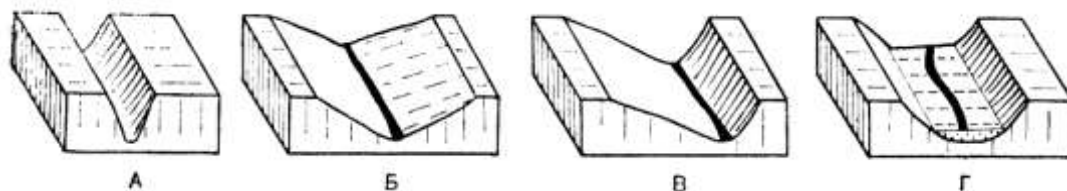


Рис. 8.18. Типовые поперечные профили речных долин [Якушова, Хаин, Славин, 1988].

A – долина в виде ущелья; Б – долина с V-образным поперечным профилем; В – асимметричная долина; Г – плоскodonная долина с развитой поймой.

На формирование речных долин оказывает влияние огромное число факторов. Изменение базиса эрозии может приводить как к омоложению реки, так и к преждевременному ее старению с точки зрения эрозионно-аккумулятивной деятельности. Например, при понижении базиса эрозии в долине с хорошо представленными аллювиальными отложениями могут

вновь активизироваться процессы глубинной эрозии, и река начнет врезаться в свои собственные отложения. Такого рода явление может происходить многократно. История жизни реки «записывается» в ее террасах. Этот факт хорошо виден на рис. 8.19.

Поверхностная денудация. Поверхностная денудация определяется преимущественно процессами механического и химического разрушения горных пород. Основным её результатом является образование стока взвешенных и влекомых наносов и части стока растворенных веществ с той или иной территории. И та и другая величины могут быть измерены в приустьевом створе реки и характеризуют денудацию на её водосборе. Для оценки денудации правильнее пользоваться данными по малым незарегулированным рекам, формирующимся за счет местного стока, т.е. стока, представляющего собой воды, образующиеся из атмосферных осадков, выпавших на поверхность данного водосбора. Соотношение между годовым стоком взвешенных, влекомых и растворённых веществ в среднем для всей суши оценивается как 10:1:2,8 (см. гл. 7. *Речной сток*).

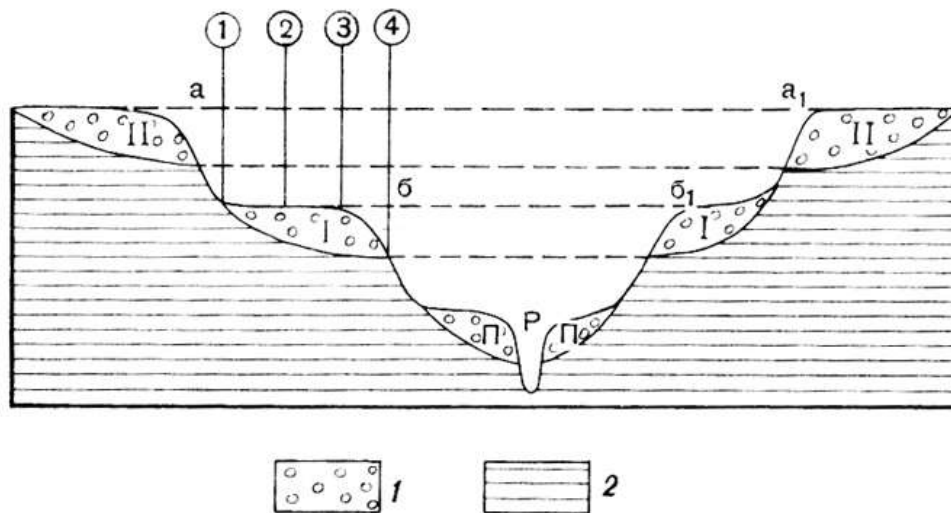


Рис. 8.19. Схема надпойменных речных террас.

Р – русло; П – пойма; I – первая надпойменная терраса; II – вторая надпойменная терраса; а-а<sub>1</sub> и б-б<sub>1</sub> – прежние поймы, прорезанные рекой; цифры в кружках: 1 – тыловой шов; 2 – террасовидные площадки; 3 – бровка террасы; 4 – уступ террасы.

1 – аллювий; 2 – коренные породы.

Сток взвешенных наносов принято оценивать через модуль эрозии  $M_э$ , который представляет собой отношение массы твердого стока реки  $R$  к единице площади  $F$  в единицу времени  $t$ . Поскольку поверхностная денудация (эрозия) всегда определяется, по крайней мере, двумя составляющими – механической и химической, то величину  $M_э$  правильнее называть модулем механической эрозии  $M_{мэ}$ , который может быть представлен как сумма модулей эрозии по взвешенным  $M_{вз}$  и



влекомым  $M_{вл}$  наносам:

$$M_{мэ} = M_{вэ} + M_{вл} \quad (8.1)$$

Общий же модуль эрозии, характеризующий поверхностную денудацию, определяется формулой:

$$M_э = M_{вэ} + M_{вл} + M_{хэ} \quad (8.2)$$

где  $M_{хэ}$  – модуль химической эрозии.

Модуль эрозии по взвешенным наносам можно выразить через мутность речной воды  $\rho$  и модуль склонового стока  $M_{сс}$ , производящего эту эрозию. Если мутность выразить в граммах на кубический метр, модуль склонового стока в литрах в секунду с  $1 \text{ км}^2$  водосборной площади, а за единицу времени принять 1 год, то

$$M_{вэ} = 0,0315\rho M_{сс} \quad (8.3)$$

Модуль эрозии по влекомым наносам систематически не изучался, однако было установлено, что для большинства равнинных рек он составляет небольшую часть модуля эрозии по взвешенным наносам (обычно 0,2–10 %). Для полугорных и горных рек это доля достигает 20 % без учета селей и 40–185 % с учетом селевых выносов (А.В. Волин, 1946).

Доля химической денудации на равнинных реках достигает приблизительно 50% от весового количества взвешенного материала, а величина донных (влекомых) наносов весьма мала. Поэтому для равнинных территорий можно записать

$$M_э \approx M_{вэ} + M_{хэ} \quad (8.4)$$

Химическая денудация (эрозия) земной поверхности производится склоновыми водами главным образом в весенние и дождевые паводки. Если минерализацию паводковой воды  $C_{п}$  выразить в граммах на кубический метр (миллиграммах на литр), то модуль химической эрозии определится формулой:

$$M_{хэ} = 0,0315C_{п}M_{сс}, \text{ т}/(\text{км}^2 \cdot \text{год}) \quad (8.5)$$

Тогда окончательное выражение модуля эрозии примет вид:

$$M_э = 0,0315M_{сс}(\rho + C_{п}), \text{ т}/(\text{км}^2 \cdot \text{год}) \quad (8.6)$$

где  $M_э$  – модуль эрозии;  $M_{сс}$  – модуль склонового стока, л(с·км<sup>2</sup>);  $\rho$  – мутность воды, г/м<sup>3</sup>;  $C_{п}$  – минерализация воды в паводок, г/м<sup>3</sup> (мг/л).

Подземный сток. Подавляющая масса подземных вод представляет собой бывшие атмосферные осадки, просочившиеся в горные породы и сформировавшие там водоносные горизонты. Подземный сток определяется в основном движением этих вод в речную сеть, в меньшей степени – в озера и моря. Различные формы подземного стока уже обсуждались в этом курсе в главе 6 – «Взаимодействие геосфер» (см. раздел 6.3 «Круговороты природных вод»). Характерной формой разгрузки

подземных вод на поверхность земли являются родники. Общее представление о них дает рис.8.20.

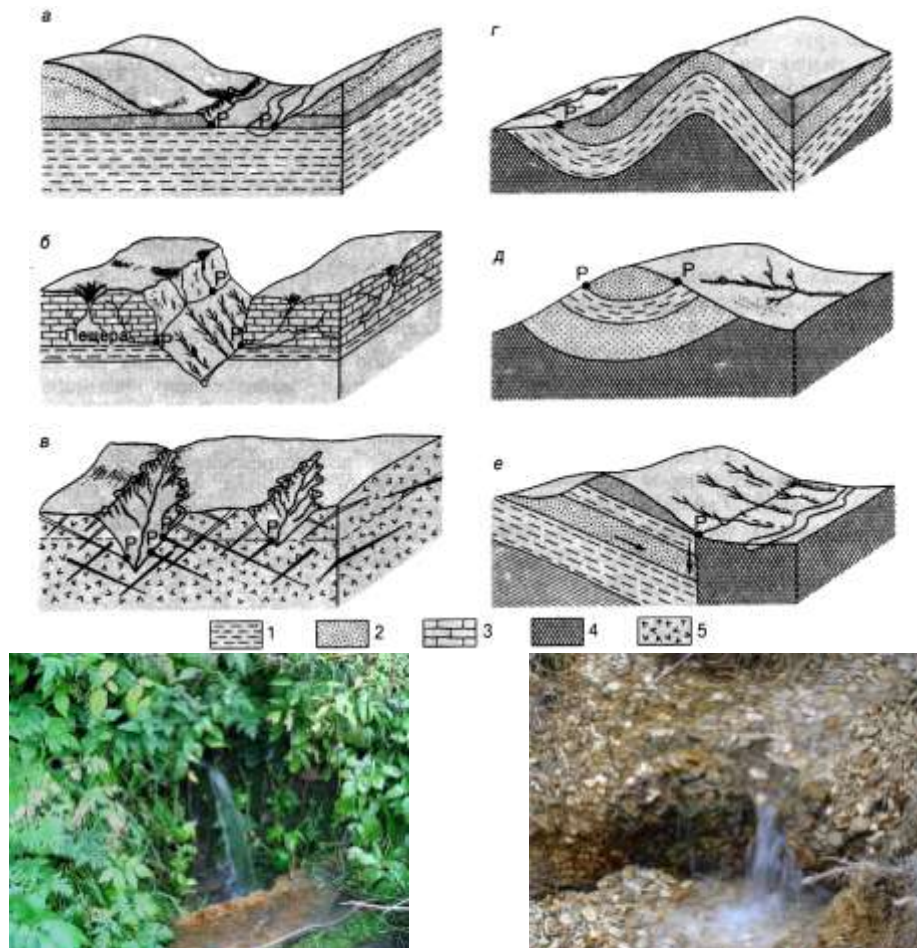


Рис. 8.20. Типы строения коренных пород, благоприятные для образования родников [Аллисон, Палмер, 1984].

Родники обозначены буквой Р. 1 – глинистые породы; 2 – песчаники; 3 – известняки; 4 – алевролиты; 5 – магматические породы. Фотоиллюстрации.

Геологическая деятельность подземного стока связана преимущественно с процессами растворения горных пород и выносом продуктов растворения за пределы водоносных горизонтов.

*Подземная денудация.* Термин «подземная денудация» был предложен известным отечественным гидрогеологом Ф.А. Макаренко, который понимал под ним денудационную деятельность грунтовых вод в толще пород водосборного бассейна. В отличие от поверхностной денудации подземная определяется в основном выносом растворимых соединений. Процессы же механического выноса частиц грунтовыми водами (суффозия) в масштабе речных бассейнов составляет ничтожно малую долю и, как правило, не учитывается.

Количественную оценку подземной денудации обычно дают по

меженному ионному стоку, поскольку основным источником питания большинства рек в межень являются грунтовые воды. По аналогии с формулой (8.5) формула для расчета модуля подземной денудации может быть записана в следующем виде:

$$M_{\text{пд}} = 0,0315M_{\text{Г}}C_{\text{Г}} \quad (8.7)$$

$M_{\text{пд}}$  – модуль подземной денудации, т/(км<sup>2</sup> · год);  $M_{\text{Г}}$  – модуль грунтового стока, л/(с · км<sup>2</sup>);  $C_{\text{Г}}$  – средняя минерализация грунтовых вод, мг/л.

При оценке подземной денудации по меженному стоку растворенных веществ во всех случаях требуется тщательный геологический и гидрогеологический анализ исходных данных и полученных результатов. В частности, следует иметь в виду, что часть солевого состава подземного стока может иметь не только денудационное, но и иное происхождение. Например, в верхние водоносные горизонты часто разгружаются соленые и солоноватые воды артезианских бассейнов, химический состав которых сформировался в течение длительной геологической истории (см. главу 5). Кроме того, часть веществ, содержащихся в подземных водах верхних горизонтов, имеет атмосферное происхождение, и доля таких веществ в ряде районов может быть достаточно большой.

К процессам подземной денудации относится и образование карстовых пустот и полостей в известняках, доломитах, гипсах, галоидных солях. Процессы денудации в этом случае протекают быстрее, чем в силикатных породах, и приводят к появлению пор, каверн, крупных пещер и карстовых ходов. Характерный вид поверхности района карстообразования показан на рис. 8.21.

Современную активность процесса карстообразования принято выражать формулой:

$$A = V/V_1 \cdot 100, \% \quad (8.8)$$

где  $A$  – показатель современной активности карстового процесса;  $V$  – объем породы, растворенной за определенный отрезок времени;  $V_1$  – объем закарстованного массива.

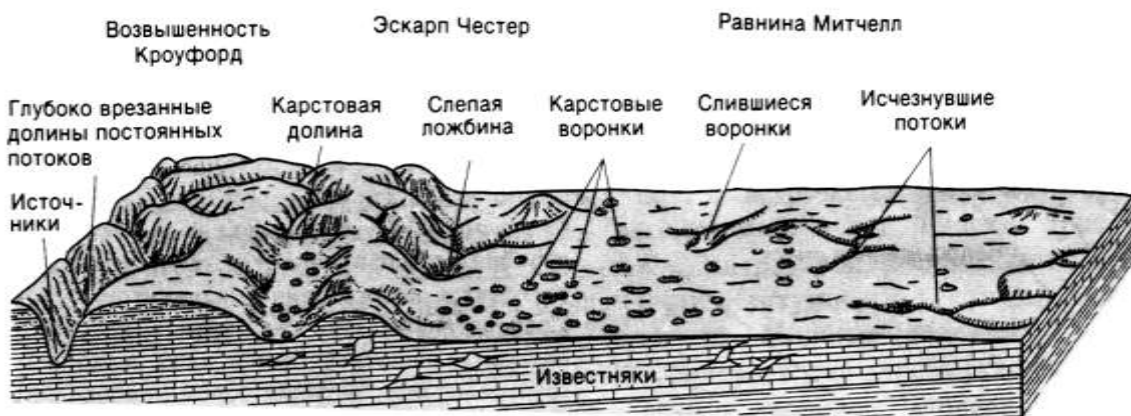


Рис. 8.21. Схематическая блок-диаграмма части карстового района на юге шт. Индиан [Аллисон, Палмер, 1984].

Объём растворенной породы определяется по составу карстовых вод и суммарному дебиту источников. Этот метод наиболее приемлемый для сравнительно медленно развивающегося карбонатного и гипсового карста.

Для карбонатного карста, связанного со слабо растворимыми породами – известняками и доломитами – атмосферные воды, попадающие в массив пород, обычно быстро достигают предела насыщения по  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ . Скорость развития карбонатного карста зависит от насыщенности воды углекислым газом, морфологии карстового массива, глубины залегания грунтовых вод, агрессивности атмосферных осадков (степени насыщенности карбонатами магния и кальция) и ряда других факторов. Поэтому значение показателя активности карстового процесса изменяется в широких пределах.

Использование формулы (8.8) во всех случаях требует тщательного анализа геологической обстановки, химического состава атмосферных осадков, минеральных примесей в карстующихся породах (особенно наличие пирита –  $\text{FeS}_2$ ). Формальное использование этой формулы может привести к грубым ошибкам.

При оценках скорости образования соляного карста существует своя специфика, связанная с очень высокой растворимостью хлоридных солей. При залегании пород ниже уровня грунтовых вод растворение известняков, доломитов и гипсов резко снижается. Воды, как правило, достигают предела насыщения. Соляные же тела часто интенсивно растворяются ниже уровня грунтовых (надсолевых) вод, причём растворение происходит по верхней части соляного тела или пласта. Для такого случая Г.В. Короткевичем была предложена следующая формула карстообразования:

$$H = V/F \cdot 1000, \quad (8.9)$$

где  $H$  – средняя величина понижения погребенной поверхности соляного тела за счет растворения, мм/год;  $F$  – площадь тела,  $\text{м}^2$ ;  $V$  – суммарный объём соли, выносимый за год за пределы площади  $F$  (определяется по химическому составу воды источников); 1000 – коэффициент, учитывающий размерность (перевод из метров в миллиметры).

Все приведенные формулы и интерпретации имеющегося гидрохимического материала по оценке процессов карстообразования основаны на оценке фактического результата природных процессов. Но существуют и другие подходы, основанные на термодинамических расчётах, использующих данные по составу атмосферных осадков и минералогии карстующихся пород.

Любые вычислительные оценки должны опираться на анализ геологических данных по территории исследования. Получение критериальных чисел и отношение к ним не могут быть формальными и оторванными от природы.

**Оползни.** Эти гравитационные смещения горных пород обычно возникают на крутых склонах речных долин, оврагов, берегах озер и морей. Своим происхождением они обычно обязаны поверхностным и подземным водам. Характер и размер оползневых смещений могут быть разными:

- от небольших объемов, охватывающих лишь поверхностные части склонов и возникающие в результате сильного переувлажнения почв и грунтов атмосферными осадками (*оплывины или сплывы*),
- до крупных смещений земляных масс, захватывающих различные горные породы на значительные глубины (собственно оползни), и, наконец,
- *обвалов* – внезапных обрушений огромных масс горных пород, которые сопровождаются дроблением и даже опрокидыванием всего сорвавшегося массива.

В качестве примера одного из крупнейших обвалов часто приводят обрушение массива горных пород, произошедшее на Памире в 1911 г. Масса горных пород в 7-8 млрд. т перекрыла реку, на которой в результате возникло Серезское озеро длиной около 80 км. Новообразованная естественная плотина имела высоту свыше 500 м, длину около 2 км и ширину у основания около 5 км.

Классификационное представление о структуре оползня дают рисунки 8.22 и 8.23.

Образование оползней представляет собой сложный процесс, на который влияет целый ряд факторов. Среди них главную роль могут играть такие, как подмыв берегов, атмосферные осадки, изменение состояния глинистых грунтов, вызываемое воздействием подземных и поверхностных вод, суффозия (см. выше), гидродинамическое давление, создаваемое подземными водами, специфические условия залегания горных пород, тектонические причины, инженерная деятельность людей.

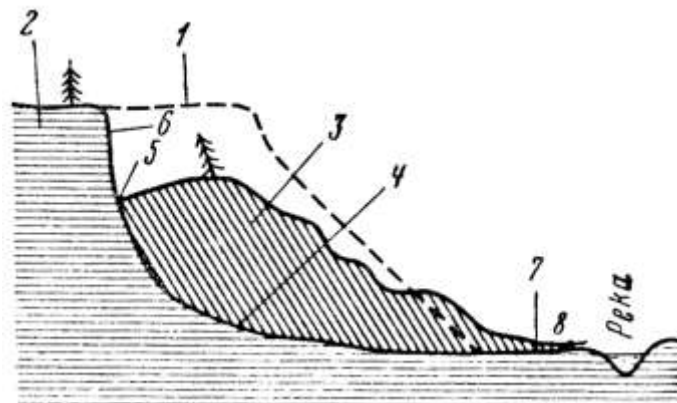


Рис.8.22. Схема оползневого склона [Горшков, Якушова, 1973].

1 – первоначальное положение склона; 2 – ненарушенный склон; 3 – оползневое тело; 4 – поверхность скольжения; 5 – тыловой шов; 6 – надоползневой уступ; 7 – подошва оползня; 8 – источник (родник).

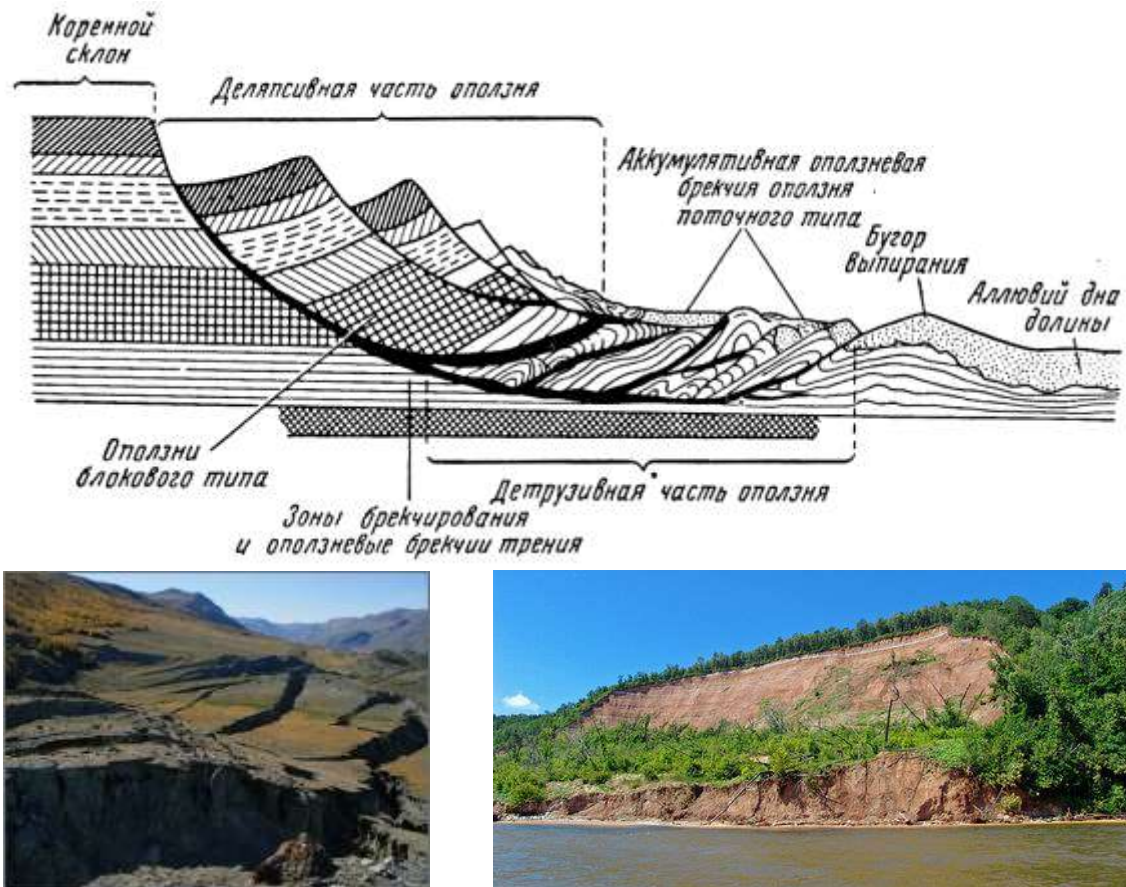


Рис. 8.23. Схема сложного оползня [Горшков, Якушова, 1973]. Фотоиллюстрации.

*Деляпсивная* часть оползня – часть, в которой сохраняется последовательность слоев и только наблюдается их запрокидывание в сторону ненарушенной части склона. *Детрузивная* часть оползня – возникает вследствие толкания оторвавшихся сверху блоков; давление оползневых масс может создавать в основании склона бугры выпирания пород.

### **Региональный эрозионный цикл**

Этот цикл принято определять как время, которое необходимо, чтобы регион прошел развитие от низменного рельефа к высокому и снова к низменному. Очевидно, что середина цикла связывается с тектоническим поднятием региона. Региональные эрозионные циклы делят на три стадии: *юности, зрелости и старости*. Основные характеристики этих стадий удобно свести в таблицу, которая достаточно полно отражает их особенности (см. табл. 8.1).

Приведенная схема эрозионного цикла носит классификационный характер. Реальные же варианты развития речной сети и рельефа могут в значительной мере отличаться от него. Например, тектоническое поднятие территории может начаться значительно раньше наступления стадии старости. И в этом случае градиенты потоков увеличиваются «раньше

времени». Реки опять начинают прорезать каньоны в днищах своих прежних долин, область вновь приобретает черты, характерные для юной стадии развития рельефа. Регион тогда называют омоложенным, а реки – омоложенными. Широкие русла таких рек углубляются, и старые излучины превращаются во *врезанные меандры*.

Если суша опускается или повышается уровень моря, то происходит повышение базиса эрозии, и реки быстро дряхлеют. Их разрушающая и транспортирующая сила быстро сходит на нет.

Таблица 8.1

Основные изменения в развитии реки за эрозионный цикл (по [Алиссон, Палмер, 1984]).

Характеристика реки	Стадия юности	Стадия зрелости	Стадия старости
Характер русла	Прямое	Обычны меандры	Многочисленные меандры
Градиент и скорость	Высокие	Умеренные	Низкие
Пороги и водопады	Много	Мало	Отсутствуют
Характер эрозии	Преобладает врезание	Заметная роль боковой эрозии	Боковая эрозия преобладает
Ширина долин	Узкие V-образные	Широкие, хорошо выделяются в рельефе	Очень широкие с низкими берегами
Глубина долин	Умеренно глубокие	Самые глубокие	Мелкие
Количество притоков	Мало	Максимальное количество	Мало, крупные
Характер водоразделов	Широкие, от низких до высоких	Высокие и узкие	Низкие и узкие
Рельеф	Максимальный для речной системы в целом	Максимальный в верховьях реки	Низкий
Количество озер	Много на возвышенностях	Мало, если вообще есть	Много на низменностях
Структурный контроль	Не контролируются структурами	Контролируются структурами	Слабо контролируются структурами
Транспортируемый материал	Грубый и тонкий	Заметная роль песка и алеврита	Преобладает алеврит и растворенные вещества
Речное осадконакопление	Минимальное	Отложение осадка на внутренних сторонах излучин	Отложение осадков в руслах и на прирусловых валах
<b>Речная сеть</b>	Развита слабо	Хорошо развита, в высшей степени действенна	Вялое дренирование

## **Симметрия и асимметрия речных бассейнов**

### Общие положения

**Симметрия** – одно из коренных свойств мироздания. Это уравновешенность, сбалансированность, связь систем и миров. Симметрию **как идею** можно сформулировать следующим образом:

1. Любой объект обладает различными свойствами, в которых он может быть описан (параметризован).
2. С каждым из параметров или группой параметров может быть совершена какая-то операция: перемещение, отражение, поворот и т.д. и т.п.
3. Если после выбранной операции получают тождественный результат, т.е. объект не отличается от своего первоначального вида, говорят, что в этих параметрах по отношению к данной операции объект симметричен.

Из такого понимания симметрии вытекает два простых следствия:

1. Можно выбрать любые параметры, характеризующие объект, и подбирать для них операции, которые бы дали тождественный результат.
2. Можно задаться операциями и подбирать параметры, в которых также будет получен тождественный результат.

Иными словами, нет вещей не симметричных. Всё симметрично, но в определенных характеристиках при соответствующих преобразованиях.

Однако симметрия реальных объектов лишь похожа на симметрию теоретических образов. Стратегический замысел здесь ясен:

- Принципиальная недостижимость равновесия в природе, равновесия как символа всеобщей смерти, неподвижности и конца.
- Тактических же приёмов для обеспечения недостижимости смерти, по-видимому, бесчисленно много.

Например, в кристаллах геометрический образ заложен генетически в особенностях строения их кристаллической решетки. Так в галите ионы натрия и хлора организуются по вершинам куба и никак иначе. Что же искажает этот природный замысел? Во-первых, наличие примесей. Во-вторых, сложность движения вещества к центрам кристаллизации и различные эффекты на формирующихся поверхностях кристаллов. И третье, — **дисимметрия**.

*У разных авторов этот термин записывается по-разному: дисимметрия и диссимметрия. Первая форма записи подчёркивает двойственную природу явления — взаимодействие симметрии среды и объекта. Вторая – ту дисгармонию, которая этой двойственностью создается.*

Если симметрия – это фундаментальное свойство мира, то дисимметрия может быть квалифицирована как вселенский механизм гарантирующий принципиальную недостижимость симметрии с помощью самой же симметрии. Именно он формирует «почти симметрию».

Базовая интерпретация дисимметрии состоит в следующем:

- Любой объект развивается в определенной среде.



- И объект и среда обладают некоторой первородной симметрией, под которой понимается некий идеальный образец, некий эталон, некое задуманное клише.
- В объекте развиваются только те внешние формы симметрии, которые совпадают с элементами симметрии среды, в конкретном их проявлении — для потока, вихря, покоя и т.д.
- Формы, не совпадающие с элементами симметрии среды, не развиваются и остаются как не востребуемый потенциал.
- При снятии внешних ограничений не востребуемые элементы начинают развиваться. В этом и состоит смысл известного выражения Пьера Кюри — дисимметрия творит явления.

Асимметрия – это отсутствие симметрии. Для поверхности Земли такая неуравновешенность проявляется в известных географических гомологиях (см. главу 3).

Эти гомологии позволили разработать систему теоретических кругов и центров, которые некоторым образом формализовали натурные данные.

Я напомнил эти морфологические особенности устройства поверхности Земли, чтобы обратить внимание на геометрический характер параметров и принципы их сравнения на основе планетарной геодезической сети.

Можно ожидать, что глобальная асимметрия планеты как общая структурная закономерность должна проявляться и в устройстве различных морфометрических деталей, в частности *в геометрии речных бассейнов*.

Симметрия и асимметрия сосуществуют. Их связь отражает фундаментальную двойственность устройства Мира (Беляев, 2007). Без их единства (неразделимости и неслиянности (см. главу 1) Мир не мог бы существовать и развиваться) [Павлов, 2007, 2009].

#### ***Статистический закон Фёдорова-Грота***

- *Веществу с простым химическим составом присуща высокая симметрия его кристаллов.*
- *С усложнением химического состава кристаллического вещества его симметрия, как правило, становится ниже.*

С этим законом согласуются современные взгляды на процессы развития Земли [Павлов, 1985]. Можно ожидать, что такие тенденции проявляются и в развитии речных бассейнов.

*Речной бассейн* – это водосборная площадь реки с её притоками. В соответствии с современными представлениями (Мильков, 1984) русло реки со всеми прилегающими территориями, с которых оно собирает воду (поверхностную и подземную) *образует сложную ландшафтную структуру*. Она получила название – *бассейновая парагенетическая система*. Эти три слова отражают идею целостности речного бассейна, проявляющуюся в генетическом единстве составляющих её элементов

(через их взаимодействие).

Понятие симметрии эту сущность и составляет. Поэтому, естественный путь изучения симметрии и асимметрии является параметрическим. Разумеется, что среди множества параметров главными будут те, которые традиционно характеризуют речной бассейн, могут быть измерены или вычислены по натурным данным.

Среди них я бы выделил следующие:

#### Морфометрическая группа

1. Площади (горизонтальная проекция) –  $F$ , км<sup>2</sup>.
2. Средние уклоны –  $I$ , град.
3. Числа фрактальности (мера самоподобия) –  $D$ .
4. Средние высоты –  $Z$ , м
5. Амплитуда высот –  $A_z$ .

#### Гидрологическая группа

1. Средний многолетний сток –  $Q$ .
2. Средний минимальный сток –  $Q_{\min}$ .
3. Средний максимальный сток –  $Q_{\max}$ .
4. Соответствующие модули стока –  $M, M_{\min}, M_{\max}$ .
5. Соответствующие коэффициенты стока –  $K, K_{\min}, K_{\max}$ .
6. Соответствующие многолетние гидрографы –  $G, G_{\min}, G_{\max}$ .

В качестве операции сравнения (как меры симметрии) можно использовать отношения этих параметров ( $C$ ), условно правых к левым, считая за границу раздела русло основной реки. Например, для площадей  $C_F = F_{\text{пр}}/F_{\text{л}}$ . Очевидно, значения  $C=1$  означает симметричность речного бассейна по данному параметру. В случае, когда  $C \neq 1$ , бассейн по рассматриваемому параметру асимметричен. Мера асимметричности выражается числом. По различным параметрам она будет различной, что позволит обсуждать причины асимметрии.

#### Внешние проявления симметрии и асимметрии речных бассейнов.

У Грегори (1972) сформулирована важная, хотя, на первый взгляд, и очевидная истина:

- *Мы верим в то, что видим, и видим то, во что верим.*

Общие положения, которые были только что приведены, отражают нашу веру в принципы симметрии и асимметрии. Рассматривая с этой верой географические карты речных бассейнов, мы обращаем внимание на их асимметричное или почти симметричное строение относительно главного русла. Такое внешнее впечатление полезно закрепить хотя бы на одном примере.

#### Бассейн реки Кубань.

Бассейн **резко асимметричен**. По площадям водосбора это сразу бросается в глаза уже на рис. 8.24.

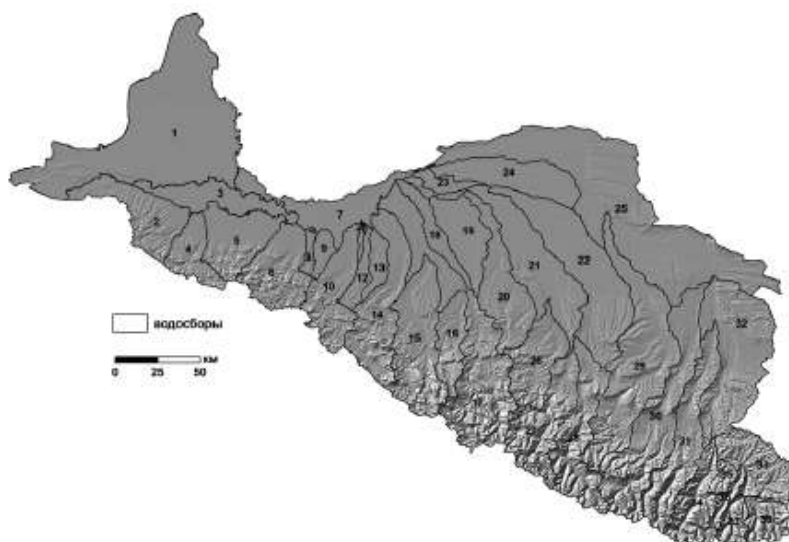


Рис.8.24. Модель поверхности бассейна р. Кубань, представленная аналитической отмывкой рельефа. Линии водоразделов построены по цифровой модели рельефа (Погорелов, Думит, Куркина, 2008).

Оценка симметрии бассейна Кубани, сделанная на основе многочисленных работ [Клименко, 1987, (Погорелов, Думит, Куркина, 2008)], приводит к довольно интересным результатам (табл.8.2).

Таблица 2.

Значения коэффициента симметрии бассейна реки Кубани по различным параметрам

Коэффициент симметрии	Поверхн. сток	Уклоны	Площади водосбора	Фрактальная размерность	Подземн. питание
<i>C</i>	0	≈0,25	0,36	0,95	≈1,0

По различным параметрам, предложенный для оценки симметрии коэффициент *C* меняется от нуля до единицы. Это обстоятельство даёт основание ожидать, что в любых других бассейнах картина может повторяться [Павлов, Голосовская, Соноцкая, 2011]:

- В одних параметрах симметрия есть.
- В других характеристиках наблюдается резкая асимметрия.

При осторожном подходе к такому выводу правильнее было бы обсуждать не симметрию бассейновой парагенетической системы, а **симметрию и асимметрию подобия**. Такой тип симметрии обсуждался в

ранних работах по проблеме симметрии в Природе [Шафрановский, 1968, со ссылкой на статью А.В. Шубникова, 1960]. Позже появилась книга А.В. Шубникова и В.А. Копчик [2004].

Применительно к речным бассейнам мысль о симметрии подобия высказывалась Б.Н. Лузгиным [статья в Интернете, без указания года]. Правда, он говорит о сечении речных долин как подобных симметричных образам. Но, возвращаясь к этому вопросу, уже пишет *о речных бассейнах, рассматривая их симметрию как отражение внутренней структуры, определяемой элементарными водно-эрозионными площадями.*

#### **Общий вывод:**

- *текущие воды производят механическое и химическое разрушение горных пород, переносят продукты этого разрушения и перераспределяют их по поверхности Земли в соответствии с законами гидродинамики и гидрохимии.*
- *симметрия и асимметрия речного бассейна сосуществуют. Их взаимосвязь, скорей всего, определяет генетическое единство этой системы и её неустойчивость, создающую потенциал развития.*

## **8.4. Озера и болота**

### **Основные понятия**

1. **Озёра** – водоёмы с замедленным водообменом, занимающие впадины рельефа и не имеющие непосредственной связи с морями и океанами [Догановский, Малинин, 2004].
2. **Озёрная система** – озеро и территория его водосбора.
3. **Озёрно-речная система** – часть озёрной системы, состоящей из нескольких озёр и соединяющих их рек и протоков.
4. **Котловина озера** – углубление в поверхности суши (пониженные участки рельефа замкнутой формы), заполненные водой до некоторого уровня.

Как и в морях, в озерных котловинах различают мелководную часть – литораль, ее продолжение при резко увеличивающихся уклонах – сублитораль и глубинную область – *пелагиль*. Кроме того, в плане в озёрах различают *заливы* и *бухты*, *плёсы* и *острова*.

5. **Озёрность** – отношение суммарной площади всех озёр к общей площади рассматриваемой территории.
6. **Сейши** – стоячие волны. Возникают благодаря быстрому изменению атмосферного давления в одной части озера. Создаётся колебательное движение уровня воды, вследствие чего появляются стоячие волны.
7. **Сапропели** – органно-минеральные отложения озёрных водоемов.
8. **Сапропелиты** – одна из групп ископаемых углей, образовавшихся преимущественно за счёт скопления остатков простейших животных и растительных организмов.
9. **Оолиты** – шаровидные или эллипсоидные образования из углекислой извести, окислов железа и марганца и др. Образуют концентрически-слоистые, иногда радиально-лучистые тела, формирующиеся вокруг центрального ядра.

- 10. **Болото** – природное образование, представляющее собой переувлажнённый участок земной поверхности со слоем торфа и специфическими формами растительности, приспособившимися к условиям избытка влаги, слабой проточности и недостатку кислорода [Догановский, Малинин, 2004].
- 11. **Заболоченные земли** – территории, на которых слой торфа не превышает 30 см. Растительность этих территорий в отличие от растений болот имеет корневую систему, проникающую в подстилающий минеральный грунт.
- 12. **Болотный массив** – практически то же, что торфяная залежь. Граница проводится по контуру развития торфа.

**Общая характеристика.** Озера занимают свыше 2 % территории суши, но распределены по поверхности Земли неравномерно. В северном полушарии выделяют два озерных пояса: *северный и южный*.

**Генетическая классификация озерных котловин** [Якушова, Хаин, Славин, 1988]

Категория	Группа	Тип
I.Эндогенная	вулканогенная	кратерный, кальдерный, фумарольно-гейзерный, лавово-плотинный, лахаро-плотинный
	сейсмогенная	провальный, обвально-плотинный
	тектоногенная	грабенный (рифтовый), синклинальный
II.Экзогенная	гравитационная	провально-гравитационный, провально-карстовый, провально-суффозионный, обвально-плотинный
	эрозионная (речная)	руслевой, пойменный (старичный), дельтовый
	эоловогенная	дефляционный
	гляциогенная*	экзарационный, каровый, термокарстовый, гляциально-плотинный
	талассогенная (морская)	приморский, реликтивно-морской
	биогенная	атолловый, биогенно-плотинный
	метеоритная (астроблемная)	ударный, взрывной

См. следующий раздел 8.5. Геологическая деятельность льда.



Оз. Байкал – вид из Космоса



Небольшое озеро

Рис. 8.25. Примеры озёр.

*Северный озёрный пояс* связан с зоной высокого увлажнения и своим происхождением обязан в основном последним покровным оледенениям. Большая часть озёрных котловин появилась здесь 8-25 тыс. лет назад при отступлении ледников: Валдайского (Восточная Европа), Вюрмского (Западная Европа), Висконсинского (Северная Америка). В этом же поясе сосредоточены и наиболее крупные озёра и озёрные системы – Великие Американские озера, Великие Европейские озера. Их котловины имеют преимущественно тектоническое заложение. В отдельных регионах этого пояса озёрность достигает 10-20 %.

*Южный озёрный пояс* расположен в зоне недостаточного увлажнения. К наиболее крупным озерам этого пояса относятся такие бессточные озёра, как Каспий, Арал, Алаколь, Большие Чаны и множество озер меньших размеров. Эти озёра формируются в основном за счёт притока воды со стороны более увлажнённых территорий. Малые озера часто пересыхают.

В южном полушарии северный и южный озерные пояса выражены менее четко.

### **Процессы**

Озерная абразия (лимноабразия). Озёрные береговые процессы во многом схожи с процессами на морских побережьях, особенно когда речь идет о крупных озерах. Это естественно, потому что движущие силы, определяющие их, принципиально одинаковы. Это – и волновые течения, и волноприбойный фактор, и работа ветра. Однако в небольших озерах эти процессы существенно сглажены и ослаблены, особенно в случаях, когда абразионный профиль уже выработан и абразионные уступы отодвинуты на недостижимые для волн расстояния. Тогда абразионная деятельность озера в основном сводится к перетиранию и размельчению обломочного материала пляжей. Кроме того, разрушение озёрных берегов в значительной мере ослабляется прибрежной растительностью.

Осадконакопление. В озерах образуются все известные сегодня генетические типы осадков:

- обломочные или терригенные,
- органогенные и
- хемогенные.

Озёрные обломочные отложения имеют свою специфику, связанную с относительно спокойным гидродинамическим режимом водных масс. Терригенные отложения озёр отличаются тонкой и прямой слоистостью и даже могут иметь микрослоистость. Слойки часто отражают сезонные колебания в гидродинамическом режиме озера. В периоды многоводности формируются осадки крупно- и даже грубообломочные, в меженные периоды малой воды (обычно зимой и летом) откладывается мелко- и

тонкозернистый материал, а сами слойки имеют небольшую мощность. Для озёрных отложений межленного периода характерно прекрасное сохранение отпечатков растений, следов водных животных. В периоды сейш могут сохраняться следы наземных животных, приходящих на водопой, а иногда и ямки от дождевых капель.

В крупных озёрах, а также озёрах проточного и дельтового типов обломочный материал может быть достаточно крупным (песок, галька) и хорошо сортирован. Обычно такие отложения связаны с участками, прилегающими к устьям рек, а также у берегов с активной абразией. Принципиальная схема распределения озерных осадков показана на рис. 8.26.

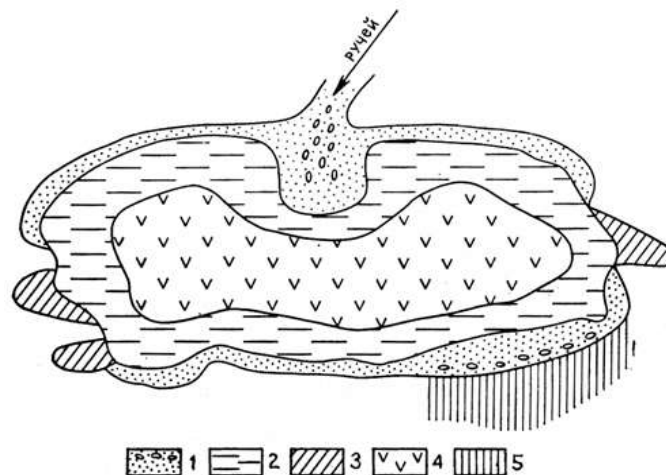


Рис. 8.26. Схема распределения осадков в озере [Якушова, Хаин, Славин, 1988]. Обломочные осадки: 1 – галька, пески; 2 – глинистые, известковистые и другие илы; 3 – органогенно-детритовые (растительные) илы. Хемогенные осадки: 4 – тонкие органогенные (диатомовые, см. тему 7) илы; 5 – крутой берег.

В озёрах благодаря спокойной гидродинамической обстановке хорошо представлены органогенные отложения. (См. рис. 8.27). Хемогенные отложения озер чаще всего представлены пресноводными известняками и мергелями. Встречаются известковые конкреции, железистые и марганцевые илы. Из них могут формироваться озерные оолиты. В условиях тропиков возможно появление алюминия. Солёные озёра в аридном климате продуцируют отложения соды, мирабилита, поваренной и калийной соли, боратов.

Среди органогенных отложений в озерах могут встречаться известняки-ракушечники, диатомовый ил и его продукт – диатомит.

### **Типизация болот**

Верховые болота. Характерны для низких слабоогнутых водоразделов. Также могут развиваться на речных террасах и пологих склонах возвышенностей. Их питание осуществляется за счёт атмосферных

осадков. Их воды бедны солями, комплекс растительности довольно беден и приспособлен к маломинерализованной воде. Они быстро зарастают от центральных частей к периферии. Это обстоятельство определяет их выпуклую форму. Для них характерно развитие древесной растительности представленной главным образом сосной и лиственницей. Отличительной чертой является также развитие вереска, багульника и клюквы.

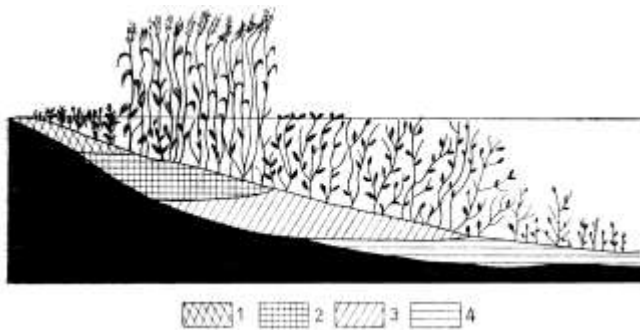


Рис. 8.27. Схема зарастания озера и образования торфа:  
1 – осоковый торф; 2 – тростниковый и камышовый торф; 3 – сфагновый торф;  
4 – сапропелит. Фото болота.

**Низинные болота.** Обычно развиваются в котловинах и в процессе заболачивания озёр. Питание их происходит в основном за счет подземных и поверхностных вод. В связи с этим низинные болота более богаты минеральными солями и комплекс характерной для них растительности более разнообразен, чем на верховых болотах: зеленые мхи, осоки, тростники, кустарники, из деревьев преобладают ольха и береза (рис. 8.27).

**Приморские болота.** Распространены на морских побережьях с влажным климатом. Питаются в основном атмосферными осадками. Во время приливов могут покрываться водой. Такая смешанная форма питания определяет довольно богатую и необычную растительность. В основном это древесные формы, приспособленные к долгому пребыванию под водой. В области тропиков это широко известные мангровые заросли.

### **Процессы**

Основным процессом жизнедеятельности болот является образование торфяников. Торф рассматривается как органогенная горная порода, состоящая преимущественно из растительных остатков, подвергшихся частичному разложению при затруднённом доступе кислорода воздуха. В нормальном состоянии торф насыщен водой (до 85-95 %). Помимо растительных веществ в нем содержатся и минеральные частицы, обычно до 2-20% (к сухой массе). Этот процент называется *зольностью торфа* и связан с типом болот, на котором торф формируется. Торфяники в мире



распространены довольно широко – 1,75 млн. км<sup>2</sup> (общая площадь суши на Земле составляет 148,8 км<sup>2</sup>). Основные их площади приходятся на территорию бывшего СССР.

В болотах образуются и хемогенные осадки, хотя и в небольших количествах. Они представлены в основном болотной известью и болотными железными рудами, обычно это сидерит FeCO<sub>3</sub>, как правило, горохообразной текстуры. В процессе выветривания сидерит переходит в скопления лимонита Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O. В закисной среде вместе с сидеритом в торфе и подстилающих глинах часто образуется вивианит (Fe<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O, создавая небольшие линзы синего цвета.

### **Общий вывод:**

*озера и болота на поверхности суши производят в основном нивелирующую геологическую работу, заполняя впадины и котловины осадками различного типа.*

## **8.5. Геологическая деятельность льда**

### **Основные понятия**

- 1. Ледники** – естественные массы кристаллического льда и в меньшей степени – фирна. Имеют значительные размеры. Образованы из атмосферных, преимущественно твёрдых осадков. Расположены, главным образом, на суше и находятся в движении. Существуют длительное время. Зарождаются выше снеговой границы, где располагается их область питания.
- 2. Сублимация** – возгон, улетучивание твердого вещества в газообразной форме, без предварительного перехода в жидкое состояние.
- 3. Фирн** – масса, состоящая из крупнозернистого снега и зернистого льда. Часто внутри находятся ледяные пласты. Формируется выше снеговой границы. Фирн постепенно переходит в фирновый лед (неподвижный), который формирует кристаллический лед ледника.
- 4. Снеговая линия (граница)** – уровень, ниже которого снег летом стаивает, а выше сохраняется. Это линия, на которой формируется равновесие между притоком снега и его убылью. Самое низкое положение снеговой линии по отношению к уровню океана наблюдается в Антарктиде. Различают нижнюю и верхнюю снеговую границу. Над верхней снеговой границей, несмотря на достаточно низкие температуры, снег не образуется в силу того, что в воздухе существует дефицит влаги.
- 5. Хионосфера** – сфера, заключенная между верхней и нижней снеговыми границами. В полярных областях хионосфера опускается к поверхности суши, в экваториальных – лежит на значительной высоте, достигающей 6500 м.
- 6. Оледенение** – широкое развитие ледников как горного, так и материкового типа, проявлявшееся в истории Земли несколько раз. Наиболее изученными являются оледенения четвертичного периода, хотя по ледниковым отложениям (*тиллиты – древние морены*) выделяют и очень древние оледенения (в верхнем палеозое и на границе протерозоя и палеозоя).

7. **Абляция** – 1) снос продуктов разрушения горных пород ледником, водами, стекающими по склонам, или ветром; 2) уменьшение массы ледника путем таяния, испарения и механического разрушения.
8. **Экзарация (выпахивание ледниковое)** – разрушение ледником горных пород, слагающих ложе ледников, и вынос продуктов разрушения к краю или концу ледника.
9. **Нунатаки** (эскимосское слово) – одиночные скалы или скалистые горные породы, возвышающиеся над поверхностью ледника.
10. **Бараньи лбы** – возвышенности в виде холмов или отдельных скал, сложенные плотными породами, сглаженные и отполированные ледником.
11. **Курчавые скалы** – округлённые и отполированные ледником скалы, состоящие из крепких пород. Представляют собой группу бараньих лбов.
12. **Ледниковые борозды (ледниковые шрамы)** – борозды, обычно параллельные, образованные при движении ледника по отшлифованной поверхности твёрдых коренных пород вмещающим в лед моренным материалом, а также на поверхности валунов.
13. **Ледниковая полировка** – сглаживание скал, вызываемое трением моренного материала и льда о твёрдые породы. От водной полировки (речной и морской) отличаются блеском и наличием борозд.
14. **Ледниковая долина** – эрозионная долина, разработанная ледником, имеющая в поперечном сечении форму корыта с крутыми склонами и вогнутым дном.
15. **Ледниковые цирки** – котловины в виде амфитеатра, замыкающие на верхнем конце ледниковую долину и вмещающие большое количество фирна и льда, за счёт которых питаются долинские ледники.
16. **Кары** – нишеобразные углубления, врезанные в верхние части склонов, располагающиеся выше ледникового цирка.
17. **Морена** – обломочный материал, переносимый или отлагаемый ледником. Среди перемещаемых морен выделяют поверхностные, внутренние и донные (нижние). Среди отложенных морен выделяют основные, конечные и продольные.
18. **Друмлины** – холмы продолговато-овального очертания длиной до 2,5 км, шириной до 200-150 м и высотой 5-25 м. Сложены моренным материалом. Встречаются группами в краевой части области оледенения позади гряд конечных морен. Ядро драмлины часто бывает представлено коренными породами, реже флювиогляциальными песками.
19. **Флювиогляциальные отложения (водно-ледниковые)** – отложения талых ледниковых вод, образующиеся непосредственно перед ледниковыми отложениями. Представлены галечным и галечно-песчаным материалом, постепенно переходящим в пески.
20. **Зандр, зандровая равнина (поле)** – пологоволнистая равнина, расположенная перед внешним краем конечных морен. Принадлежит к внешней зоне ледникового комплекса. Сложена слоистыми осадками ледниковых вод: галечниками, гравием, песками. Представляет собой слившиеся пологие плоские конуса выноса большого радиуса.
21. **Озы** – гряды в виде узких извилистых валов с волнистой линией гребня длиной 30-40 км, с небольшими перерывами – до сотен километров. У основания 5-150 м, высота от 15 до 50 м, редко до 100 м. Крутизна достигает 30-45°.
22. **Камы** – ледниковые аккумулятивные холмистые формы рельефа, беспорядочно разбросанные в виде округлых конусовидных куполов часто с плоскими вершинами, никогда не превышающими определенного уровня. Разделены

понижениями, иногда в виде бессточных котловин, занятых озёрами или заболоченных. Крутизна склонов достигает 45°. Сложены отсортированным гравием, песками и супесями с горизонтальной и диагональной слоистостью озерного типа.

23. **Мерзлота** – физическое состояние мерзлой горной породы, как сезонно-мерзлой, так и многолетнемерзлой, являющейся функцией отрицательной температуры.
24. **Зона многолетнемерзлых пород (криолитозона)** – близповерхностная мерзлая зона с отрицательной температурой горных пород, сохраняющаяся веками даже тысячелетиями. Основные признаки: отрицательная температура и наличие льда (замерзшая свободная вода).
25. **Криогенез** – криогенные процессы (мерзлотные). Совокупность теплофизических, физико-механических и физико-химических процессов, происходящих в промерзающих, мерзлых и протаивающих грунтах и горных породах.
26. **Альтипланация** – выравнивание рельефа, происходящее в гольцовой зоне, а также в полярных и субполярных областях в результате совокупного действия процессов физического выветривания, солифлюкции, нивации и гравитационных перемещений.  
*Гольцовая зона* – зона, располагающаяся выше границ лесной растительности.
27. **Нивация** – снеговая эрозия.
28. **Морозное пучение** – местная деформация поверхности увлажнённых горных пород в результате их промерзания.
29. **Термокарст** – явление неравномерного проседания или провала почвы и подстилающих её дисперсных горных пород в результате вытаивания подземного льда.
30. **Солифлюкция** – медленное передвижение протаивающих переувлажнённых почв и дисперсных пород на пологих склонах рельефа. Возникает в результате попеременного промерзания и оттаивания почв и пород и действия силы тяжести.
31. **Наледь** – слой замерзающей или замерзшей воды на поверхности речного льда или земной поверхности. В Якутии площади наледей достигают десятков и сотен квадратных километров.

### ***Происхождение и структура ледников***

Ледники образуются из снега. Процесс этот длительный и сложный. Он определяется воздействием солнечного тепла, сублимацией и давлением.

Под действием солнечного тепла снежинки оплавливаются. Часть талой воды проникает на глубину и под её влиянием там тоже происходит оплавление снежинок. В ночное время оплавленные снежинки замерзают и принимают форму зерен. Так повторяется много раз и с каждой порцией выпавшего снега. Постепенно рыхлый снег превращается в фирн. Образованию фирна способствует и сублимация, которая при суточных понижениях температуры сменяется новой кристаллизацией. Таким образом, зерна фирновой массы растут и сливаются между собой. По мере нарастания толщины снежного покрова нижние слои фирнового материала испытывают всё возрастающее давление, под влиянием которого фирн уплотняется, из него выдавливается межзерновой воздух, образуются

кристаллические сrostки, которые постепенно формируют вначале белый *фирновый* лед, а затем прозрачный и голубой лед – *глетчерный*. В результате из 10-11 м<sup>3</sup> снега образуется примерно 1 м<sup>3</sup> льда.

Одним из важнейших свойств ледников является их движение. В горных районах перемещение происходит по долинам, а при материковых оледенениях – от центральных областей с большой мощностью льда к окраинам, где мощность льда существенно меньше. По оценкам второй половины XX века общая площадь ледников охватывает около 11 % суши, составляя примерно 16 199 тыс. км<sup>2</sup>. Основная масса льда сосредоточена в Антарктиде (площадь 13 900 тыс. км<sup>2</sup>, мощность льда достигает 4335 м) и в Гренландии (площадь 1803 тыс. км<sup>2</sup>).

Представление о структуре ледников дают рисунки 8.28 и 8.29.

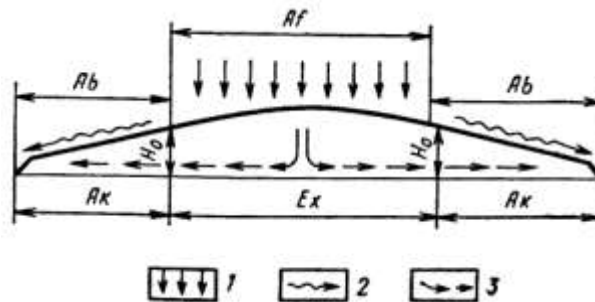


Рис. 8.28. Схема динамики ледникового щита [Горшков. Якушова, 1973].

Af – область питания ледника; Ab – область абляции; Ex – зона экзарации; Ak – зона ледниковой аккумуляции; H<sub>0</sub> – максимальная мощность льда, при которой возможно подледниковое наклонение основной морены; 1 – приход снежных осадков; 2 – поверхностное стайвание; 3 – направление движения льда.



Рис. 8.29. Горные ледники.

### **Типизация и общая характеристика ледников**

Все известные ледники принято разделять на два типа:

- горные и
- покровные.

По площади, занимаемой современными ледниками, лидирующее значение

занимают ледники покровные – 98,5 %.

*Основными характеристиками горных ледников являются следующие признаки:*

- небольшие площади распространения;
- достаточно четкая граница между областью питания и стока (движения льда);
- принципиальное совпадение направления движения ледника с уклонами рельефа подстилающей поверхности.

*Покровные ледники* обычно разделяют на три подтипа:

- шпицбергенский (по названию архипелага Шпицберген);
- ледниковые купола;
- ледниковые (материковые) щиты.

*Шпицбергенский подтип* характеризуется относительно небольшой мощностью льда. Обычно она составляет не более нескольких сотен метров. Поверхность ледника повсеместно повторяет рельеф подстилающей поверхности. Важной особенностью этого подтипа являются *нунатаки*.



*Ледник Норденшельда*



*Нунатаки*

Рис 8.30. Ледники на Шпицбергене.

*Ледниковые купола.* Их отличает возрастание мощности льда от периферии ледника к центру (часто мощность льда в центральных районах достигает нескольких сотен метров). Благодаря возникающей при этом разнице давлений, движение льда может не совпадать с уклонами рельефа подстилающих порода. Лед в таких ледниках способен двигаться и вверх по уклону коренного ложа.

Этот подтип ледников характерен для архипелагов Северная Земля, Земля Франца-Иосифа, для Исландии и островов Антарктиды.

*Ледниковые (материковые) щиты.* Это огромные по площади ледяные толщи с мощностями льда до 3000 м и более. В них действуют те же законы движения, что и в ледниковых куполах. По существу это тоже купола, только гипертрофированных размеров. Для них характерно радиальное «растекание». Обычно они выходят за пределы материковой

суши и оказываются на плаву. При этом огромные куски ледника могут отрываться от материнского тела. Они превращаются в автономные дрейфующие в океане льдины, называемые *айсбергами* (*ледяные горы* – *англ.* Представление о них дает рис. 8.30). В наши дни ледниковые щиты известны только в Гренландии и Антарктиде.

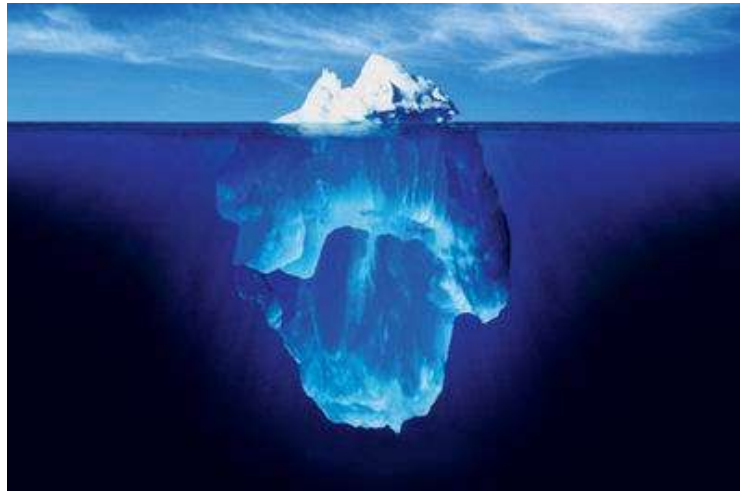


Рис. 8.30. Айсберг.

### ***Воздействие на поверхность суши***

При своем движении ледники разрушают горные породы, по которым они перемещаются, переносят и откладывают продукты этого разрушения. Талые ледниковые воды продолжают эту работу. В результате возникают характерные водно-ледниковые образования (породы и формы рельефа).

*Работа при перемещении ледника.* В основе разрушительной деятельности ледников лежит экзарация. Ледники, особенно материкового подтипа, оказывают на подстилающие породы огромное давление и уже тем самым могут разрывать подстилающие их горные породы на отдельные крупные блоки. Вмерзшие в лед обломки горных пород усиливают их экзарационную деятельность. Возникают так называемые ледниковые шрамы, бараньи лбы, курчавые скалы и другие эрозионные формы.

Обломочный материал, вмерзший в лед, дробится, истирается, оглаживается, покрывается штрихами и царапинами. Это – ледниковые валуны. Они могут достигать огромных размеров. Ледники способны формировать также *гляциодепрессии* – *пологосклонные понижения в рельефе подстилающих пород, которые иногда называют ваннами ледникового выпаживания или ложбинами ледникового выпаживания и размыва (в случае, когда в их формировании принимают участие ледниковые воды)*. Движение ледников может вызывать и смятие пород в складки (*гляциодислокации*). При этом может происходить срыв огромных

глыб пород и даже перенос их на значительные расстояния (до нескольких сотен километров). Такие перенесенные массивы называют *отторженцами*.

Горные ледники создают специфические формы рельефа: *кары*, *ледниковые цирки* и *ледниковые долины*, называемые *трогами* (нем. *корыто*). Эти долины представляют собой переработанные ледниками V-образные речные долины. Продольные разрезы таких долин обычно осложнены скалистыми уступами (ригелями) и расположенными между ними ваннами выпахивания (см. рис. 8.31).

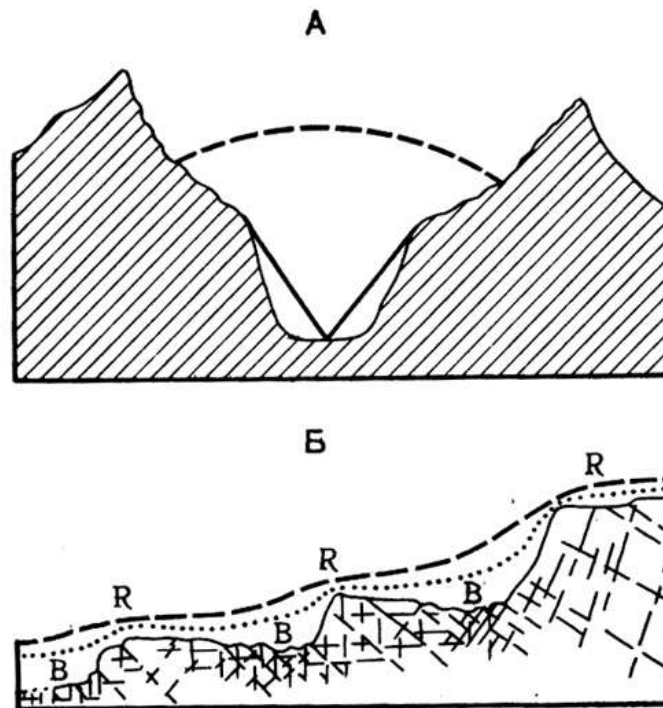


Рис. 8.31. Морфологические элементы ледниковой долины [Якушова, Хаин, Славин, 1988].

А – трог (пунктиром показана поверхность исчезнувшего льда, жирной линией – первичная V-образная долина). Б – продольный профиль части ледниковой долины (R – ригели; B – котловины (ванны ледникового выпахивания)).

Работа перемещения. Ледники переносят разнообразный обломочный материал. В его состав входят крупные глыбы и валуны, щебень, пески, пылеватые и глинистые частицы. Этот материал является продуктом не только экзарационной деятельности ледника, но и результатом надледного и подледного выветривания горных пород и называется мореной (см. рис. 8.32).

Ледниковые и водно-ледниковые отложения. Характеристика этих отложений дана в разделе «Основные понятия», а общая схема пространственного размещения представлена на рис. 8.33.

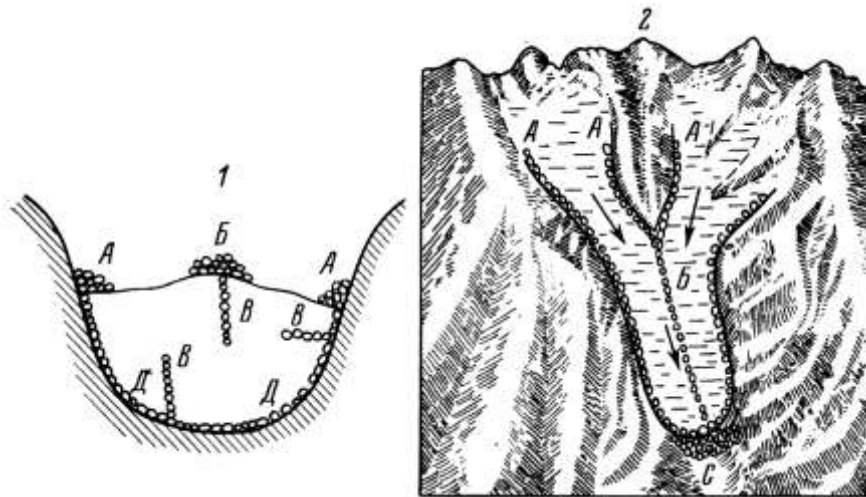


Рис. 8.32. Схема расположения морен в поперечном разрезе (1) и плане (2) [Якушова, Хаин, Славин, 1988].

А – боковая, Б – срединная, В – внутренняя, Д – донная, С – конечная.

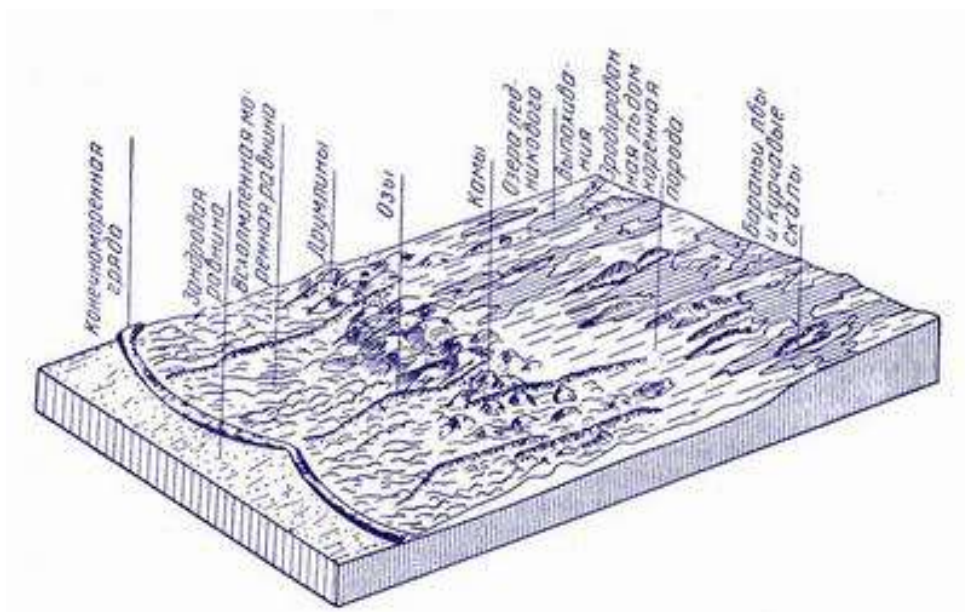


Рис. 8.33. Схема соотношения ледниковых и водно-ледниковых форм [Якушова, Хаин, Славин, 1988].

### Периоды оледенения

В истории Земли сегодня удается выделить четыре крупных периода оледенений.

1. Наиболее древнее оледенение относится к криптозою (докембрию). См. тему 5. Его следы обнаружены в виде тиллитов во многих местах земного шара (на западе Северной Америки, в Европе, Северо-Западной Африке. Наиболее полно они исследованы в Шотландии, где их выделяют в отдельную формацию мощностью до 870 м.

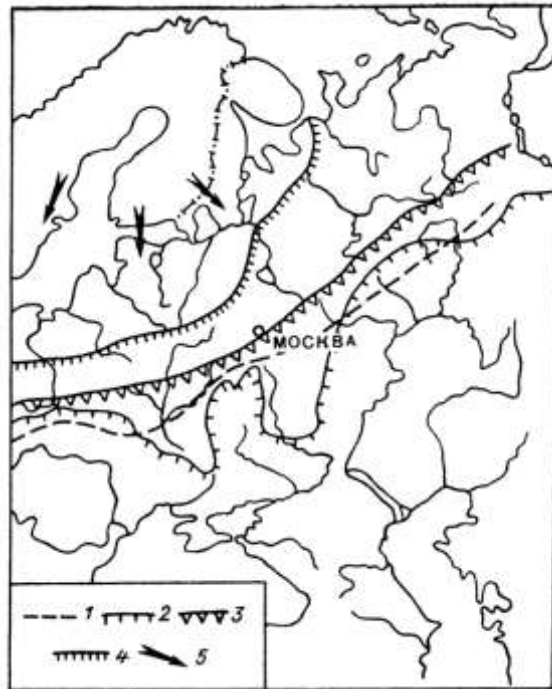


Абсолютный возраст этих тиллитов довольно разнообразен, что дало повод предполагать формирование нескольких оледенений с различными центрами похолодания.

2. Второе фактурно обоснованное оледенение связывают с ордовикским периодом палеозойской эры. Началось оно около 480 млн. лет назад и продолжалось в течение 40 млн. лет. Его центр находился *вблизи западного побережья Центральной Африки и представлял собой Южный полюс нашей планеты*. Считается, что площадь ордовикского оледенения в 1,5 раза превышала площадь современной Антарктиды.
3. Третье, пермско-каменноугольное, оледенение охватывало огромные территории, и потому его часто называют Великим. Оно продолжалось в целом около 100 млн. лет, но наибольшей активности достигало во временном интервале 310-270 млн. лет назад при максимальном развитии на границе каменноугольного и пермского периодов (около 280 млн. лет назад) [см. тему 5, табл. 5.2.1]. Тиллиты этого оледенения обнаружены на территории Африки, Южной Америки, Австралии, Индии и Антарктиды. Считается, что центр этого оледенения располагался в Южной Африке (современная Намибия). Наибольшая мощность тиллитов (1000 м), относящихся к этому оледенению, зафиксирована в Южной Бразилии.
4. Последние крупные оледенения на нашей планете датируются кайнозойской эрой. Они изучены наиболее детально. В северном полушарии самые ранние датировки ледниковых отложений составляют 5 млн. лет назад (Исландия). В соответствии с геологическими интерпретациями в конце этой эры, в четвертичном периоде, происходила многократная смена оледенений и межледниковий. Представление о границах распространения оледенений в четвертичный период дают рисунки 8.34 и 8.35.



Рис. 8.34. Распространение максимального оледенения в четвертичный период.



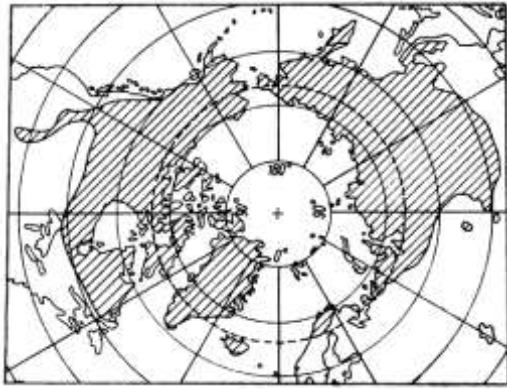
8.35. Распространение материковых оледенений в четвертичном периоде на территории Европейской части бывшего СССР [Общая...,1991].  
 1-4 – границы оледенений: 1 – окского, 2 – днепровского, 3 – московского, 4 – валдайского; 5 – направление движения ледников.

Геологические материалы по четвертичным оледенениям явились основой для создания ледниковой теории формирования специфического и сложного комплекса отложений на всей нашей планете.

### ***Процессы в криолитозоне (криогенез)***

Криолитозона является продуктом устойчивого охлаждения литосферы до температуры ниже 0 °С и распространена преимущественно в северном полушарии нашей планеты (см. рис. 8.36). На этой огромной территории выделяются регионы развития сплошной и не сплошной мерзлоты. При не сплошной мерзлоте отсутствие многолетнемерзлых пород приурочено обычно к долинам рек и к депрессиям, занятым крупными озерами. У южной границы криолитозоны многолетняя мерзлота представлена в виде «островов», обычно приуроченных к гористым и возвышенным местам рельефа, а также к склонам северной экспозиции, где среднегодовая температура ниже, чем на равнинах и южных склонах.

Пояс криогенной эрозии. Формируется в основном в результате расклинивающего действия замерзающей воды в порах и трещинах горных пород, а также под действием дробления пород на отдельные частицы размером от крупных глыб до мелких песчинок. Дезинтегрированный материал переносится при помощи талой воды в периоды таяния льда.



а



б

Рис. 8.36. а – Развитие криогенных образований в северном полушарии (показано штриховкой), по В. Путнаму, 1971 [Общая...,1991].  
б – Натурная иллюстрация.

В таёжной лесотундровой полосе криогенная эрозия охватывает верхние экспонированные части склонов, вершины и водоразделы, а в тундровой зоне пояс криогенной эрозии опускается до нижних частей склонов, захватывая тундровые равнины.

В нагорных районах широко развивается высотное выравнивание – *альтипланация*. При альтипланации на поверхности склонов, образованных скальными породами, обычно возникает нагорное террасирование. При этом уступы террас представляют собой «морозные забои», где происходит криогенное разрушение пород, а горизонтальные площадки формируются из скоплений обломков, вынесенных из «морозных забоев» в результате выравнивающего действия солифлюкции.

Ландшафт областей морозной альтипланации представляет собой сочетание плоских, горизонтальных вершин, водоразделов и террасированных склонов. Повторяющиеся процессы промерзания, пучения, оттаивания и просадки способствуют выталкиванию (вымораживанию) каменного грубообломочного материала и концентрации его на поверхности в форме своеобразных каменных полей.

К широко развитым формам криогенной эрозии относятся так называемые *полигональные образования*, представляющие собой плоские или слегка вогнутые многоугольные формы, окаймленные валиками травянистой дернины, либо щебенистых обломков, перемешанных с глинистым материалом. Диаметр полигональных образований обычно составляет несколько метров, но может достигать и десятков метров (от 25 до 40) (см. рис. 8.37).

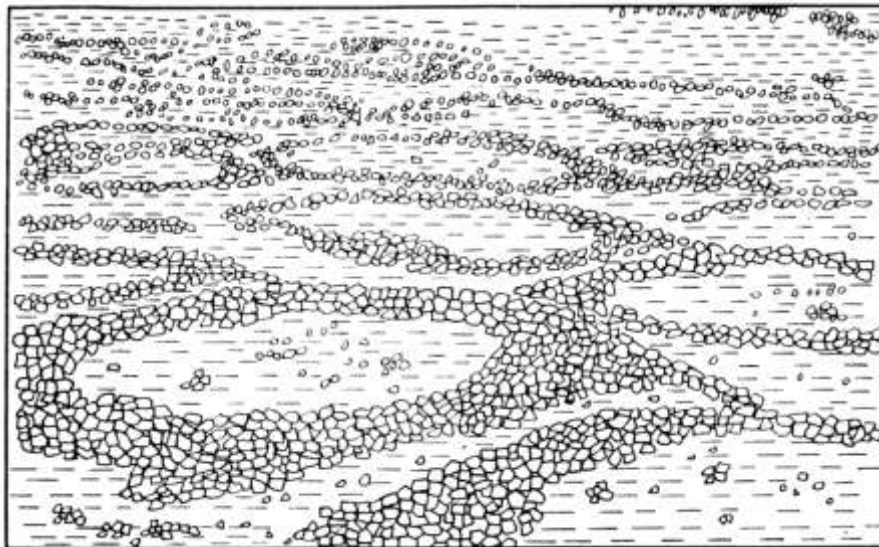


Рис. 8.37. Каменные полигоны [Якушова, Хаин, Славин, 1988].

Для криогенной эрозии характерны также *тундровые медальоны* (*своеобразные блюда*). По размеру они меньше полигональных образований, имеют форму круга, их поверхность слагается мелкообломочным дресвяным и песчано-глинистым материалом. Образование медальонов связывают с выбросами воды в периоды образования льда в слоях сезонного промерзания (рис. 8.38).

Криогенная аккумуляция. Области криогенной аккумуляции располагаются преимущественно в пониженных частях рельефа. Для них характерны специфические формы рельефа, формируемые такими процессами, как *морозное пучение*, *солифлюкция*, *термокарст* и *наледы*.

*Морозное пучение* происходит за счет разницы объемов воды и льда, почвенных перемещений рыхлого водонасыщенного грунта и гидравлического давления. В первом случае образование вздутий происходит как при замерзании воды с возникновением рассеянных кристаллов льда, так и в результате образования цементирующего льда, способного *сегрегировать* (*отделяться*) в согласные или секущие по форме самостоятельные льдистые тела. Во втором случае пучение возникает при появлении льда-цемента. При этом происходит сжатие воды фронтом льдообразования.

При большом сопротивлении мерзлой кровли изгибу и слабом ее сцеплении с подстилающей породой возникает плоский «интрузивный пласт» (в полоске отрыва, как межграницное образование). При меньшем сопротивлении кровля изгибается и возникает выпуклое линзовидное тело, называемое ледяным лакколитом. Если основание этого лакколита достаточно податливо, возникает ледяная линза.

Многолетние крупные ледяные лакколиты называют булгуньяхами [якутское слово]. Их высота может достигать 40 м, а диаметр 200-250 м при перекрывающем чехле от 2 до 8 м. Подошва булгуньяха может продавливать подстилающий слой пород на 5-10 м. При высоком давлении воды или грунтово-водной жидкой массы снизу кровля ледяного лакколита растрескивается и происходит излияние воды или грязи на поверхность. В результате появляется наземная наледь и даже «ледяные горы» различных размеров и формы. Это процесс может быть многократным.



Рис. 8.38. Пятна-медальоны (фото Н.Н. Романовского) [Якушова, Хаин, Славин, 1988].

*Солифлюкция.* Развитие солифлюкции связывается со следующими условиями:

- наличием супесчано-суглинистых и пылеватых грунтов, обычно с включениями обломочного материала;
- высокой влажностью грунтов, приближающейся или даже превосходящей предел текучести [*предел текучести – состояние влажности грунта, при которой он не в состоянии сохранять приданную ему форму, т.е. расплывается*];
- существованием уклонов, достаточных для возникновения течения увлажненных масс (обычно они составляют 3-15°).

При сезонном протаивании тонкодисперсные породы достигают вязко-пластичного состояния и начинают медленно сползать по склону со скоростью несколько сантиметров в год. При этом возникают разнообразные натечные формы (см. рис. 8.39).

К криогенным аккумулятивным формам могут быть отнесены ещё и скопления грубообломочного каменного материала на склонах рельефа с крутизной от 2-5 до 40-45°. Они довольно разнообразны и потому в литературе их обозначают разными терминами: «каменные россыпи», «каменные поля», «каменные реки» и «курумы» (каменный поток, с тюрского).

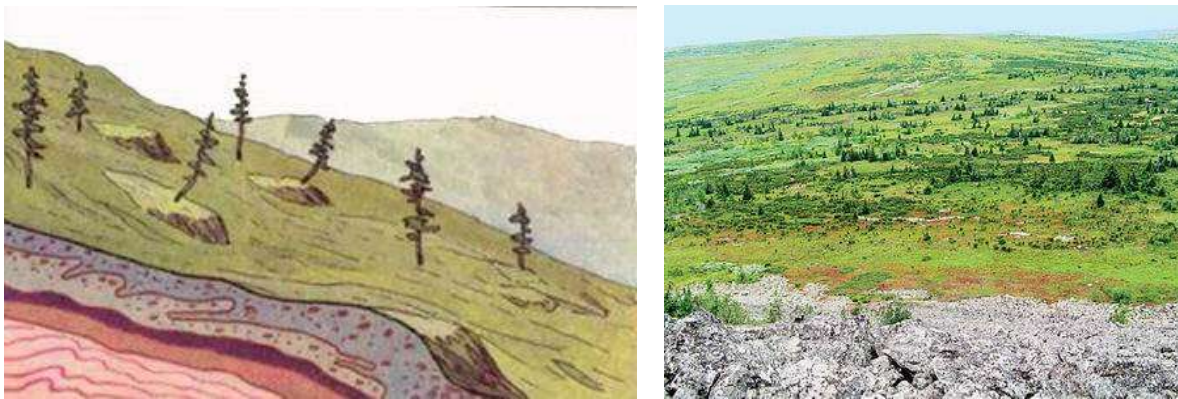


Рис. 8.39. Явление солифлюкции.

*Термокарст.* Возникает при таянии льда. В результате мерзлый грунт теряет несущие способности и опускается под влиянием своей собственной массы. Термокарст может формироваться с образованием свободных полостей и без них. При этом формируются отрицательные формы рельефа значительных размеров. Так, котловинообразные депрессии (*якутское название аласы*), возникающие при вытаивании крупных линз, слоев льда и льда-цемента, могут достигать размеров до нескольких километров по ширине и глубине до 15 м. Иногда они заполнены водой и тогда возникают так называемые *аласные озера*.

**Общий вывод:**

*воздействие атмосферы на земную кору в областях с отрицательными среднегодовыми температурами связано с воздействием на горные породы льда; при этом, как и в других случаях, происходит эрозия поверхности литосферы и сопровождающие её процессы аккумуляции – разрушение старых форм и возникновение новых.*

### ***Контрольные вопросы***

1. Понятие выветривания горных пород (обзор).
2. Основные процессы выветривания.
3. Понятие кор выветривания.
4. Основные эоловые процессы.
5. Общие представления о речном стоке.
6. Эрозионно-аккумулятивная деятельность рек.
7. Морфологическая характеристика речных долин.
8. Поверхностная и подземная денудация.
9. Региональный эрозионный цикл.
10. Общая характеристика озер.
11. Типизация болот.
12. Происхождение и структура ледников.
13. Эрозионно-аккумулятивная деятельность ледников.
14. Периоды оледенений.
15. Основные процессы в криолитозоне (криогенез).

### ***Литература***

#### *Основная*

1. Аллисон А., Палмер Д. Геология. – М.: Мир, 1984. – 565 с.
2. Догановский А.М., Малинин В.М. Гидросфера Земли. – СПб.: Гидрометеоздат, 2004. – 630 с.
3. Горшков Г.П., Якушова А.Ф. Общая геология. Учебник для вузов.– М.:МГУ, 1973. – 592 с.
4. Общая и полевая геология. Учебник для вузов. Под ред. А.Павлова. – Л.: ЛО Недра, 1991. – 456с.
5. Павлов А.Н. Справочное руководство к практическим занятиям по геологии. – СПб.: РГГМУ, 2004. – 54 с.
6. Павлов А.Н. Основы экологической культуры. – СПб.: Политехника, 2004. – 334 с.
7. Якушова А.Ф., Хаин В.Е., Славин В.И.. Общая геология. Учебник. – М.: МГУ, 1988. – 445 с.

#### *Дополнительная*

1. Геологический словарь. Т.1-2. – М.: Недра, 1973. – 486 с., 456 с.
2. Кинг Л. Морфология Земли. – М.: Прогресс, 1967. – 559 с.
3. Клименко В.И. Оценка ресурсов подземных вод в сложных гидрогеологических условиях. – М.: Наука, 1987. – 149 с.
4. Павлов А.Н. Системная модель подземной гидросферы. – В кн. Подземные воды и эволюция литосферы. Том I. – М.: Наука, 1985 – С. 139-150.
5. Павлов А.Н. Неразделимость и неслиянность. //Уч. Записки РГГМУ, №7. –Спб., 2007. С.172-180.
6. Павлов А.Н., Голосовская В.А., Соноцкая Н.А. Симметрия и асимметрия речных бассейнов. Обсуждение задачи. // //Уч. Записки РГГМУ, №17. – Спб., 2011. С..
7. Шафрановский И.И. Симметрия в Природе. – Ленинград. Недра. Л.О.,1968. –184 с.
8. Шубников А.В, Копчик В.А. Симметрия в науке и искусстве.2-ое изд. М. 1972; Из-во ИКИ, 2004. – 560 с.