

## **Конспект лекций по дисциплине «НАУКА О ЗЕМЛЕ»**

### **Процессы минералообразования в природе**

Возникновение минералов связано с различными природными процессами, протекавшими не только в земной коре или мантии Земли, но также и на поверхности.

Первое минеральное вещество во Вселенной возникло задолго до начала образования нашей Солнечной системы и с тех самых пор процессы минералообразования не прекращались. Они и сейчас протекают на различных планетах и в некоторых других космических объектах.

Однако в большинстве случаев минерологам приходится иметь дело с разнообразными земными процессами минералообразования, которые для удобства поделены на две главные генетические группы:

- 1) эндогенные, протекающие за счет внутренней тепловой энергии Земли;
- 2) экзогенные, совершающиеся за счет внешней (солнечной или космической) энергии, получаемой поверхностью Земли. Источником вещества для протекания экзогенных процессов являются обнажившиеся на поверхности Земли различные горные породы и руды.

При попадании продуктов эндогенных и экзогенных процессов минералообразования в более глубокие зоны земной коры, первые могут претерпевать существенные превращения (метаморфизм). Продукты глубинного метаморфизма (регионального метаморфизма) широко проявлены в составе земной коры.

### **Эндогенные процессы минералообразования**

Среди эндогенных процессов минералообразования главными являются магматические, пегматитовые и пневматолитово-гидротермальные.

**Магматические процессы.** Прежде, чем рассматривать собственно магматические процессы, дадим определения, что такое магма и лава.

*Магмой* называется сложный по составу расплав, содержащий многие химические элементы и их соединения, образующийся в глубинных частях Земли или других планет. Особую роль в магме играют кремнекислородные соединения и поэтому магму часто называют силикатным расплавом, главными составляющими которого являются оксиды кремния, алюминия, железа, магния, кальция, натрия и калия. Остальные элементы присутствуют в магме в существенно меньших количествах. Кроме того, в магме растворены газообразные и летучие вещества (вода, углекислота, углеводороды, сернистые соединения и др.), принимающие активное участие в процессах образования минералов. Минералы, образующиеся при застывании магмы, представляют собой соединения, состоящие из тех химических элементов, которые в ней содержались. При застывании магмы в глубинных частях планет возникают интрузивные или плутонические породы. При движении отдельных блоков земной коры магма выжимается по трещинам или ослабленным зонам на поверхность. При этом магма оказывается в областях меньшего давления, где происходит потеря магмой большей части летучих соединений, растворенных в ней. Магма превращается в лаву. При застывании последней возникают эффузивные или вулканические породы. Обе группы магматических пород получили название изверженных, т.е. образовавшихся из расплавов.

Эффузивные породы при быстром остывании на поверхности планеты раскристаллизовывались не полностью и поэтому в своем составе содержат вулканическое стекло и округлые пустоты, свидетельствующие об обильном выделении растворенных в магме (лаве) газообразных продуктов.

Главным признаком всех интрузивных пород является их относительно крупная зернистость и отсутствие аморфного стекла, что свидетельствует о медленной кристаллизации магмы на больших глубинах.

Возникновение магм обычно связывается с внутренней тепловой энергией планеты - радиоактивным распадом некоторых химических элементов и движением отдельных блоков коры планеты относительно друг

друга. Эти явления приводят к локальному нагреву и плавлению окружающих пород. При движении к поверхности планет магмы различного состава могут смешиваться между собой и растворять захваченные по пути следования обломки других горных пород. Таким образом, возникают магмы различного типа, кристаллизация которых объясняет наблюдаемое разнообразие изверженных горных пород.

В зависимости от содержания  $\text{SiO}_2$  магмы и, соответственно, магматические или изверженные горные породы подразделяются на ультраосновные, основные, средние и кислые. Первые содержат менее 45% кремнезема, последние - более 65%. Подобные вариации наблюдаются и для других химических элементов. Наиболее распространенными типами пород на Земле являются граниты и базальты.

Последовательность кристаллизации минералов из магмы при охлаждении последней зависит как от ее исходного состава, так и от условий кристаллизации. При движении магмы от области ее генерации к поверхности сульфидные комплексы могут отщепляться от нее и кристаллизоваться независимо от других составляющих силикатных расплавов. Таким путем формировались руды медно-никелевых ликвационных месторождений. От магмы могут отщепляться также некоторые минералы, принадлежащие классу оксидов, образуя, например, хромитовые залежи, часто содержащие элементы платиновой группы. Помимо образования сульфидных и окисных минералов, на ранних стадиях кристаллизации магмы выделяется также островной силикат оливин -  $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ , являющийся одним из главных породообразующих минералов в ультраосновных и основных изверженных породах.

Общая схема процесса кристаллизации магмы может быть описана так называемым реакционным рядом Боуэна, суть которого сводится к последовательному образованию при падении температуры все более кислых (т.е., обогащенных кремнеземом) темноцветных и светлоокрашенных минералов:

<b>темноцветные</b>	<b>светлоокрашенные</b>
Оливин $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	Анортит $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Пироксен $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$	Ортоклаз $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
Амфибол $\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe})_5[\text{Si}_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$	Альбит $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
Биотит $\text{K}(\text{Mg,Fe})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	Кварц $\text{SiO}_2$
Мусковит $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$	

Таким образом, в процессе кристаллизации магмы увеличение ее кремнекислотности при одновременном возрастании роли летучих приводит к образованию на поздних стадиях все более кислых пород.

Некоторые типы магматических пород залегают в форме жил или прожилков. Они образуются в результате заполнения трещин различными минеральными веществами. В трещины из глубинных частей земной коры могли проникать остаточные расплавы, разнообразные пары и газы (флюиды) или горячие водные растворы. В соответствии с этим жилы по типу источника вещества их слагающих подразделяются на пегматитовые, образовавшиеся в результате собственно магматического процесса на одной из заключительных стадий его протекания, пневматолитовые, в образовании которых приняли участие флюиды, входившие в состав магмы, и гидротермальные, сформированные из горячих водных растворов, поступавших из глубинных частей земной коры.

*Пегматитовые процессы.* В конце основной стадии магматической кристаллизации остаточный расплав заметно обогащается кремнеземом, глиноземом, щелочами и летучими компонентами. Наряду с этим он также концентрирует в себе значительные количества редких и рассеянных элементов (Li, Be, B, F, Rb, Cs, р.з.э., Mo, Zr, Hf, Ta, Nb, Th, U и др.), размеры ионных радиусов которых не позволили им войти в структуры обычных породообразующих минералов. Обилие легколетучих компонентов (главным образом  $\text{H}_2\text{O}$ ) обуславливает низкую вязкость остаточного расплава, из-за чего последний может легко проникать в трещины и полости вмещающих его пород. Дальнейшая кристаллизация такого расплава приводит к образованию

пегматитовых жил. Пегматиты обычно образуются в ассоциации с кислыми (граниты) или щелочными (нефелиновые сиениты) породами. По своему минеральному составу пегматиты близки к материнским породам - главная их масса состоит из тех же породообразующих минералов, однако число и распространенность второстепенных минералов в пегматитах в некоторых случаях существенно больше, чем в материнских породах. Большинство пегматитов обладает крупнозернистой структурой; отдельные минералы в них иногда достигают гигантских размеров.

В некоторых случаях пегматитовый расплав-раствор может проникать по трещинам в контрастные по составу вмещающие интрузив породы. При этом в результате взаимодействия вмещающих пород с остаточным расплав-раствором состав последнего может измениться и стать существенно отличным от состава пегматитов, залегающих в материнских породах. Такие пегматиты по классификации академика А.Е. Ферсмана относятся к пегматитам линии скрещения, в отличие от рассмотренных выше пегматитов чистой линии. Важно подчеркнуть, что все пегматиты образуются в конце собственно магматического процесса и занимают как бы промежуточное положение между глубинными магматическими породами и постмагматическими пневматолито-гидротермальными образованиями.

*Пневматолито-гидротермальные процессы.* Явление пневматолита (от греческого "пневма" - газ) протекает в тех случаях, когда вследствие перепада давлений происходит вскипание остаточного расплав-раствора и вся жидкость переходит в газообразную фазу, вступая при этом в реакцию с ранее выделившимися твердыми минералами. Если отщепление летучих, в том числе и паров воды, на заключительной стадии кристаллизации магмы или образования пегматитов происходило на больших или средних глубинах, то высвободившиеся при этом летучие соединения в газообразной форме могли вступать в химические реакции с вмещающими породами, производя так называемый контактовый метаморфизм. Степень метаморфизма и состав получающихся продуктов определялись главным образом химической

активностью флюида и составом реагирующей с ним породы. Наиболее интенсивные изменения установлены для зон контактов гранитных массивов с известковистыми породами. В результате разнообразных реакций замещения (метасоматических реакций) в этом случае возникают породы, получившие название скарны. Источниками вещества для их формирования послужили как вмещающие породы, так и некоторые составляющие части магмы. С образованием скарнов нередко связаны крупные месторождения железа, вольфрама, молибдена и некоторых других металлов.

Если отщепление летучих в магматическом очаге или пегматитовых телах происходило на относительно малых глубинах, то дальнейшая миграция (удаление от магматического очага) такого флюида могла привести, в конечном итоге, к образованию другого типа жильных тел. В тех случаях, когда формирование минерального вещества в этих жилах происходило выше критической точки воды ( $374,5^{\circ}\text{C}$ ), т.е. активную роль в этом процессе играли пар и флюиды, принято говорить о собственно пневматолитовом генезисе. Если формирование минерального вещества происходило ниже критической точки воды, т.е. вода в качестве самостоятельной жидкой фазы играла существенную роль в процессе образования минеральных ассоциаций, говорят о гидротермальном генезисе. Минеральный состав пневматолитовых и гидротермальных жил крайне разнообразен. Жилы в большинстве случаев сложены кварцем, карбонатами, которые заключают в себя скопления самородных элементов (Au, Ag, Bi), сульфидов, селенидов и теллуридов таких элементов как Mo, Bi, Cu, Zn, Ag, Pb, Sb, Hg и др., оксисоединений вольфрама, Mo, Sn, U и некоторые другие минералы. Именно с пневматолитово-гидротермальными процессами связано образование крупных месторождений редких (W, Mo, Sn, Bi, Sb, As, Hg), цветных (Cu, Pb, Zn), благородных (Au, Ag) и радиоактивных (U, Th) металлов.

В соответствии с температурой образования гидротермальные месторождения подразделяются на высокотемпературные (гипотермальные),

возникшие при температурах 400-300°C, среднетемпературные (мезотермальные) с температурами образования минеральных ассоциаций от 300 до 150°C и низкотемпературные (эпитермальные), формирующиеся при температурах 150-50°C. Гидротермальные месторождения, расположенные вблизи магматического очага - обычно высокотемпературные, а расположенные на удалении от магматического очага - низкотемпературные.

### **Экзогенные процессы минералообразования**

Большая часть экзогенных процессов минералообразования, протекающих на поверхности планет более доступна нашему наблюдению, чем эндогенные процессы. Главными среди них являются разнообразные процессы *выветривания, осадконакопления и импактный процесс*. Последний связан с ударным преобразованием горных пород за счет высокоскоростного падения крупных метеоритов и астероидов.

В континентальных условиях выветривание горных пород, руд и минералов является, вероятно, доминирующим среди других процессов минералообразования. Выветривание (химическое или биологическое) заключается в постепенном разложении нестабильных минеральных фаз и их превращении в другие, более устойчивые в поверхностных условиях минералы.

Среди продуктов собственно осадочного процесса минералообразования, протекающего в водной среде, выделяют механические осадки (и связанные с ними россыпные месторождения золота, платины, алмазов и др.), химические осадки и биогенные или органогенные осадки.

### **Вулканизм**

Если жидкий магматический расплав достигает земной поверхности, происходит его извержение, характер которого определяется составом расплава, его температурой, давлением, концентрацией летучих компонентов и другими параметрами. Одной из самых важных причин извержений магмы

является ее *дегазация*. Именно газы, заключенные в расплаве, служат тем "двигателем", который вызывает извержение. В зависимости от количества газов, их состава и температуры они могут выделяться из магмы относительно спокойно, тогда происходит излияние - *эффузия* лавовых потоков. Когда газы отделяются быстро, происходит мгновенное вскипание расплава и магма разрывается расширяющимися газовыми пузырьками, вызывающими мощное взрывное извержение - *эксплозию*. Если магма вязкая и температура ее невысока, то расплав медленно выжимается, выдавливается на поверхность, происходит *экструзия* магмы. Таким образом, способ и скорость отделения летучих определяют три главные формы извержений: эффузивное, эксплозивное и экструзивное. Вулканические продукты при извержениях бывают жидкими, твердыми и газообразными.

### ***Продукты извержения вулканов***

Газообразные продукты или летучие, как было показано выше, играют решающую роль при вулканических извержениях и состав их весьма сложен и изучен далеко не полностью из-за трудностей с определением состава газовой фазы в магме, находящейся глубоко под поверхностью Земли. По данным прямых измерений, в различных действующих вулканах среди летучих содержатся водяной пар, диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), оксид углерода ( $\text{CO}$ ), азот ( $\text{N}_2$ ), диоксид серы ( $\text{SO}_2$ ), оксид серы (III) ( $\text{SO}_3$ ), газообразная сера ( $\text{S}$ ), водород ( $\text{H}_2$ ), аммиак ( $\text{NH}_3$ ), хлористый водород ( $\text{HCl}$ ), фтористый водород ( $\text{HF}$ ), сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), борная кислота ( $\text{H}_3\text{BO}_2$ ), хлор ( $\text{Cl}$ ), аргон и другие, хотя преобладают  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$ . Присутствуют хлориды щелочных металлов, а также железа. Состав газов и их концентрация очень сильно меняются в пределах одного вулкана от места к месту и во времени, зависят они и от температуры и в самом общем виде от степени дегазации мантии, т.е. от типа земной коры. По данным японских ученых, зависимость состава вулканических газов от температуры выглядит следующим образом:



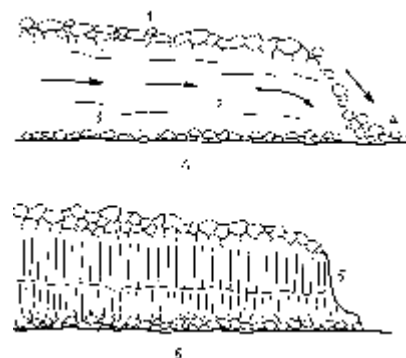
Температура, °C	Состав газов без воды
1200-800	O <sub>2</sub> , HCl, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub>
800-100	HCl, SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>
100-60	H <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S
60	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>

Данные таблицы показывают, что наиболее высокотемпературные газы являются, скорее всего, ювенильными, т.е. первичными магматическими эманациями, тогда как при более низких температурах они явно смешиваются с атмосферным воздухом и водой. Ниже +100°C пары воды превращаются в жидкость, которая реагирует с растворимыми соединениями типа HCl, образуя агрессивные кислоты.

Жидкие вулканические продукты представлены *лавой* - магмой, вышедшей на поверхность и уже сильно дегазированной. Термин "лава" произошел от латинского слова "лавер" (мыть, стирать) и раньше лавой называли грязевые потоки. Главные свойства лавы - химический состав, вязкость, температура, содержание летучих - определяют характер эффузивных извержений, форму и протяженность лавовых потоков. Шире всего распространены основные - базальтовые лавы и в настоящее время наиболее крупные объемы единовременно излившихся лав также принадлежат базальтам. Базальтовые лавы при выходе на поверхность имеют высокую до 1100-1200° C температуру и малую  $1 \cdot 10^4$  Па·с вязкость, что связано с деполимеризацией алюмосиликатного расплава. Такие жидкие, подвижные лавы текут со скоростью до 60 км/ч при небольших уклонах, образуя лавовые "реки". Если рельеф слабо расчлененный, то жидкие базальты образуют обширные

покровы. Остывающие базальтовые лавы, первоначально нагретые до  $+1100^{\circ}\text{C}$ , еще могут течь даже при температуре  $+700^{\circ}\text{C}$ . На таких подвижных базальтовых лавах быстро образуется корка мощностью в десятки сантиметров, под которой еще долгое время лава остается раскаленной. Поверхность базальтовых лавовых потоков нередко имеет вид толстых канатов, причудливо изгибающихся. Такие лавы называются *канатными* или *пахозхоз*. Ниже сморщенной в "канаты" поверхности потока часто возникают полости, трубы и туннели, с потолков которых свисают лавовые "сосульки". Для более вязких лав характерна глыбовая поверхность, называемая *"аа"-лавой*, которая состоит из остроугольных, часто с шипами и отростками обломков, являющихся раздробленной остывшей коркой. Базальты, изливающиеся в подводных условиях, образуют *подушечные*, или *пиллоу-лавы*. В разрезе "подушек" отчетливо видны внешняя быстро застывшая стекловатая корка и более раскристаллизованное внутреннее ядро, нередко имеющее радиальную отдельность. Промежутки между лавовыми "подушками" заполнены либо осадочным материалом, либо продуктами разрушения лав - мелкими стекловатыми обломками.

Нередко поверхность лавового потока, изливающегося в океане, море, озере или во льдах, очень быстро охлаждается, превращаясь в вулканическое стекло, которое, растрескиваясь в воде, образует массу пластинчатых осколков стекла. Подобные потоки называются *гиалокластитам*. В Исландии лавы, проходя подо льдом, формировали потоки *гиалокластитов* в десятки километров длиной.



Более кислые, вязкие и низкотемпературные лавы - Рис.1.Строение лавового андезита, дацита, риолита - образуют потоки сравнительно короткие и мощные потоки, обладающие вполне закономерным строением. Лавовый поток, быстро остывая с поверхности, покрывается коркой с глыбами. Эта корка, достигая фронтальной части потока, обрушивается вниз, формируя раскаленную осыпь, на которую лавовый поток накатывается, как гусеница танка. Так образуется лавобрекчия в подошве и в кровле потока (рис.1.). Средняя часть лавового потока остывает гораздо медленнее, и в ней, благодаря сокращению объема, возникают трещины растяжения, растущие как от подошвы вверх, так и от кровли вниз. Ведущей силой здесь является термонапряжение. Как только температура упадет настолько, что возникающие термонапряжения превысят прочность породы, она разорвется на некотором расстоянии, так как далее температура еще будет слишком высока. Так трещины продвигаются прерывисто снизу вверх и сверху вниз, встречаясь ниже середины потока, потому что остывание сверху идет быстрее. Образуется столбчатая отдельность, всегда располагающаяся перпендикулярно поверхности охлаждения, т.е. рельефу подошвы потока или стенкам дайки. Расположение столбов позволяет реконструировать древний рельеф, на который изливались лавы.

Твердые и частично первоначально жидкие вулканические продукты, имеющие различную форму и размеры, образуются во время взрывных - извержений. В зависимости от силы газовых взрывов и состояния вулканического материала - жидкого или твердого - происходит либо разбрызгивание расплава, либо его разрыв и распыление на значительном пространстве.

При слабых взрывах расплескиваемая лава образует по краям кратера скопления спекшихся "лепешек" и "капель" лавы и такие конусы называются *капельными*, а породы - *агглютинатами*. При сильных взрывах раскаленные,

еще жидкие лавы выбрасываются в воздух по параболическим траекториям на десятки и сотни метров. Закручиваясь в воздухе и остывая, они падают на склоны вулкана, обладая грушевидной или крученой формой, и при размерах в первые сантиметры и больше называются *вулканическими бомбами*. Часто куски лавы, застывая в воздухе, превращаются в стекловатые шлаки, которые, падая на землю, также спекаются в плотную массу. Во время взрывов газовой струей захватываются уже ранее затвердевшие вулканические породы, образуя бомбы, несущие на поверхности следы растрескивания и оплавления. Иногда жидкая центральная часть бомбы раздувается, и тогда на ее поверхности появляются трещины, напоминающие "хлебную корку". Крупные угловатые бомбы такого материала достигают нескольких десятков сантиметров в диаметре. Скопление вулканических бомб обычно называют *агломератом*.

Если выброшенный вулканический материал имеет размерность 5,0-1,0 см, то он называется *лапиллями* (от итал. "лапилли"- шарик), а более мелкий - *вулканическим песком, пеплом и пылью*. Последняя обладает микронной размерностью и разносится на тысячи километров. Так, при грандиозном взрыве вулкана Кракатау в 1883 г. тончайшая пыль обошла в верхних слоях атмосферы весь земной шар, вызвав образование серебристых облаков. Мощные взрывы, дробящие уже отвердевшие вулканические породы и распыляющие жидкую лаву, выбрасывают в воздух не только бомбы, и обломочки стекла, но и кристаллы минералов, их обломки. Такие мелкообломочные вулканические породы, состоящие из *ювенильного* (т.е. принадлежащего магме данного извержения) и *резургентного* (раздробленные породы вулкана) материала, называются *туфами*, размер обломков, в которых колеблется от 1 - 2 до долей мм. В настоящее время для всех рыхлых продуктов вулканических извержений используется термин *тефра*.

## **Типы вулканических построек и извержений**

В общем виде вулканы подразделяются на *линейные* и *центральные*, однако это деление в известной мере условно, так как большинство вулканов так или иначе приурочены к линейным тектоническим нарушениям в земной коре (рис.2).

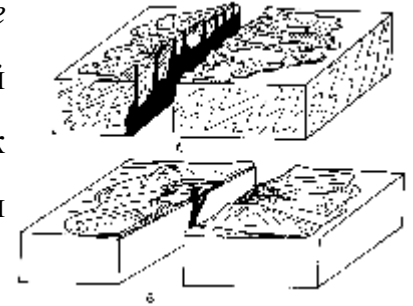


Рис.2. Вулканы

Линейные вулканы, или вулканы трещинного типа, трещинного (А) и обладают протяженными подводщими каналами, щитового центрального (Б) типов связанными с глубоким расколом. Как правило, из таких трещин изливается базальтовая жидкая магма, которая, растекаясь в стороны, образует крупные *лавовые покровы*. Вдоль трещин возникают пологие *валы разбрызгивания*, широкие плоские *конусы*, *лавовые поля*. Часто трещины возникают параллельно друг другу.

В случае магмы более кислого состава образуются линейные *экструзивные валы* и массивы, сложенные выжатой лавой. Когда происходят взрывные извержения, то могут возникать эксплозивные рвы протяженностью в десятки километров. Вулканы центрального типа имеют центральный подводщий трубообразный канал, или *жерло*, ведущее к поверхности от магматического очага. Жерло оканчивается расширением, называемым кратером, который по мере роста вулканической постройки перемещается вверх. Кратеры меняют свою форму и размеры после каждого извержения. У вулкана центрального типа кроме главного кратера могут быть и побочные, или паразитические, кратеры, расположенные эксцентрично на его склонах и приуроченные к кольцевым или радиальным трещинам. Нередко в кратерах существуют озера жидкой лавы. В других случаях, когда лава обладает высокой вязкостью, в кратерах растут купола выжимания, закупоривающие жерла, подобно "пробке", что приводит к сильнейшим взрывным извержениям, давление газов эту "пробку" вышибает из жерла.



Форма вулканов центрального типа зависит от состава и вязкости магмы. Горячие и

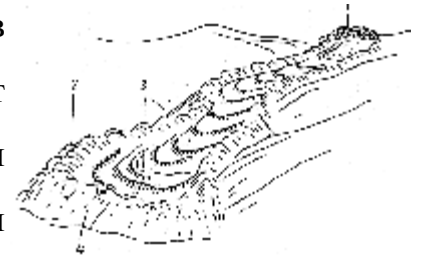


Рис.3 Схема строения стратовулкана

легкоподвижные

Рис.4. Андезитовый

базальтовые

магмы

голоценовый лавовый

создают обширные и плоские *щитовые вулканы*, как, например, Мауна-Лоа на Гавайских островах.

поток на Кельском

плато

Если вулкан периодически извергает то лаву, то

пирокластические продукты, возникает конусовидная слоистая постройка, называемая *стратовулканом* (рис.3). Идеальный конус стратовулкана имеет у кратера углы наклона в  $40^\circ$ , а у подножья -  $30^\circ$ , профиль его получается слегка вогнутым. Склоны стратовулканов часто бывают покрыты глубокими радиальными оврагами, называемыми *барранкосами*. Вулканы центрального типа могут быть либо чисто лавовыми, либо образованными только рыхлыми вулканическими продуктами - шлаками, туфами и т. д., либо смешанными, т.е. стратовулканами. Различают *моногенные* и *полигенные* вулканы (рис.4). Первые возникли в результате одноактного извержения, вторые - многократных извержений. Вязкая кислая, низкотемпературная магма, медленно выдавливаясь из жерла, образует экструзивные купола. В случае очень высокой вязкости могут сформироваться выжатые "обелиски" или "иглы", подобно игле вулкана Мон-Пеле, возникшей в 1902г.

В случае чисто газовых взрывов, пробивающих себе дорогу через осадочные или какие-нибудь другие породы, формируются воронки - *маары* (озера), заполняющиеся впоследствии водой. Брекчия взрыва в таких жерлах может вообще не содержать вулканического материала и состоять только из обломков вмещающих жерло пород.

Отрицательные формы рельефа, связанные с вулканами центрального типа, представлены *кальдерами* - крупными провалами округлой формы, диаметром в несколько километров.

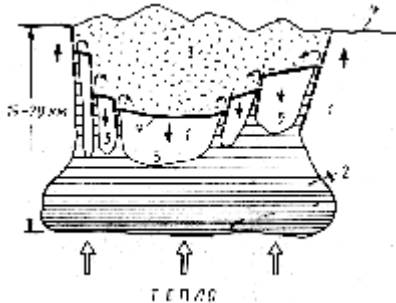


Рис.5. Образование вулканотектонической впадины (вне масштаба)

Различают кальдеры, обусловленные мощными взрывными извержениями и кальдеры, возникновение которых связано с излиянием больших объемов базальтовой магмы. В первом случае обрушение вершинной части вулкана происходит за счет разрушения ее взрывом или дренажа подводящего канала. Такая кальдера может возникнуть и без вулканического конуса, например, при извержениях пемзы, туфов и пеплов по трещинам. Во втором случае кальдера возникает за счет оттока базальтовой магмы из периферических близповерхностных очагов и подводящих каналов.

Кроме кальдер существуют и крупные отрицательные формы рельефа, связанные с прогибанием под действием веса извергнувшегося вулканического материала и дефицитом давления на глубине, возникшим при разгрузке магматического очага. Такие структуры называются *вулканотектоническими впадинами, депрессиями, грабенами* (рис.5). Они могут иметь различную форму, диаметр в десятки километров и глубину в 1-3 км. Вулканотектонические впадины распространены очень широко и часто сопровождают образование мощных толщ *игнимбритов* (лат. "игнис" - огонь, "имбер" - ливень) - своеобразных кислых вулканических пород, имеющих различный генезис, бывают как лавовыми, так и образованными спекшимися или сваренными туфами. Для них характерны линзовидные обособления стекла, пемзы, лавы, называемые *фьямме* (от итал. "фиамме" - пламя свечи), и туфовая или туфовидная структура основной массы. Как правило, крупные объемы игнимбритов связаны с неглубоко залегающими магматическими очагами, сформировавшимися за счет плавления и магматического

замещения вмещающих пород. Быстрая разгрузка таких очагов, вызывающая бурные извержения, приводит к просадке обширных территорий.

### ***Типы вулканических извержений***

Рассмотренные жидкие, твердые и газообразные вулканические продукты, а также формы вулканических построек образуются в результате извержений различного типа, обусловленных химическим составом магмы, ее газонасыщенностью, температурой и вязкостью. Существуют различные классификации вулканических извержений, среди которых выделяются общие для всех типы.

*Гавайский тип* извержений характеризуется выбросами очень жидкой, высокоподвижной базальтовой лавы, формирующей огромные плоские *щитовые вулканы*. Пирокластический материал практически отсутствует, часто образуются лавовые озера, которые, фонтанируя на высоту в сотни метров, выбрасывают жидкие куски лавы типа "лепешек", создающие валы и конусы разбрызгивания. Лавовые потоки небольшой мощности растекаются на десятки километров.

*Стромболианский тип* (от вулкана Стромболи на Липарских островах к северу от Сицилии) извержений связан с более вязкой основной лавой, которая выбрасывается разными по силе взрывами из жерла, образуя сравнительно короткие и более мощные потоки. При взрывах формируются *шлаковые конусы* и шлейфы крученых вулканических бомб. Вулкан Стромболи регулярно выбрасывает в воздух "заряд" бомб и кусков раскаленного шлака.

*Плинианский тип* (вулканический, везувианский) извержений получил свое название по имени римского ученого Плиния Старшего, погибшего при извержении Везувия в 79 г. н. э., уничтожившего три больших города - Геркуланум, Стабию и Помпеи. Характерной особенностью извержений



этого типа являются мощные, нередко внезапные взрывы, сопровождающиеся выбросами огромного количества тефры, образующей пепловые и пемзовые потоки. Именно под высокотемпературной тефрой были погребены Помпеи и Стабия, а Геркуланум завален грязекаменными потоками - *лахарами*. В результате мощных взрывов близоповерхностная магматическая камера опустела, вершинная часть Везувия обрушилась и образовалась кальдера, в которой через сто лет вырос новый вулканический конус - современный Везувий. Плинианские извержения весьма опасны и происходят внезапно, часто без всякой предварительной подготовки. К этому же типу относится грандиозный взрыв в 1883 г. вулкана Кракатау в Зондском проливе между о-вами Суматра и Ява, звук, от которого был слышен на расстоянии до 5000 км, а вулканический пепел достиг почти стокилометровой высоты. Извержение сопровождалось возникновением огромных (25-40 м) волн в океане - *цунами*, в которых в прибрежных районах погибло около 40 000 человек. На месте группы островов Кракатау образовалась гигантская кальдера.

*Пелейский тип* извержений характеризуется образованием грандиозных раскаленных лавин или палящих туч, а также ростом экструзивных куполов чрезвычайно вязкой лавы. Свое название этот тип получил от вулкана Мон-Пеле на острове Мартиника в группе Малых Антильских островов, где 8 мая 1902 г. взрывом была уничтожена вершина дремавшего до этого вулкана и вырвавшаяся из жерла тяжелая раскаленная туча гигантских размеров в мгновение ока уничтожила город Сен-Пьер с 40 000 жителей. Палящая туча состояла из взвеси в горячем воздухе раскаленных обломков пепла, пемзы, кристаллов, вулканических пород. Обладая высокой плотностью, эта масса, как лавина, с огромной скоростью устремилась вниз по склону вулкана. После извержения из жерла начала выдвигаться экструзивная "игла" вязкой магмы, которая, достигнув высоты в 300 м, скоро разрушилась.

Извержение такого же типа произошло 30 марта 1956 г. на Камчатке, где грандиозным взрывом была уничтожена вершина вулкана Безымянного. Пепловая туча поднялась на высоту 40 км, а по склонам вулкана сошли раскаленные лавины, оставив после себя плащи пепла и пемзовые лапилли, которые, растопив обильные снега, дали начало мощным грязевым потокам. Высокая

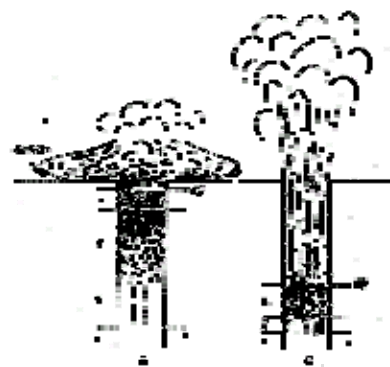


Рис. 6

подвижность палящих туч достигается за счет выделения газов из раскаленных частиц, которые поддерживаются давлением газа, подобно кораблю на воздушной подушке.

*Газовый тип* извержений, при котором выбрасываются в воздух лишь обломки уже твердых, более древних пород, обусловлен либо магматическими газами, либо связан с перегретыми грунтовыми водами. В последнем случае извержения называются *фреатическими*.

*Извержения пепловых потоков* были широко распространены в недавнем геологическом прошлом, но в классическом виде не наблюдались человеком. В какой-то мере такие извержения должны напоминать палящие тучи или раскаленные лавины (рис.6). В любом случае на поверхность поступает магматический расплав, который, вскипая, подобно молоку, разрывается и раскаленные лапилли пемзы, обломочки стекла, минералов, окруженные раскаленной газовой оболочкой, с огромной скоростью движутся по минимальным уклонам. По существу, это своеобразный высокотемпературный "аэрозоль". Важно подчеркнуть, что объем пепловых потоков, может достигать десятков и сотен км<sup>3</sup>, что говорит о быстром опорожнении очагов с кислым расплавом.

Нередко извержения разного типа происходят в мелководных условиях - в океанах и морях. Тогда их отличает образование огромного количества пара,

возникающего от соприкосновения горячей магмы с водой. Такие извержения называются *гидроэксплозивными*.

### **Поствулканические явления**

После извержений, когда активность вулкана либо прекращается навсегда, либо он только "дремлет" в течение тысяч лет, на самом вулкане и в его окрестностях сохраняются процессы, связанные с остыванием магматического очага и называемые *поствулканическими*.

Выходы вулканических газов на поверхность называются *фумаролами* (от лат. "фумо" - дым). Очень часто фумаролы приурочены к радиальным и кольцевым трещинам на вулканах. Фумарольные газы связаны как с первичными эманациями из магматического расплава, так и с нагреванием грунтовых вод и превращением их в пар. Фумаролы подразделяются на сухие высокотемпературные, кислые, щелочно-нашатырные, сернистые, или сероводородные (*сольфатары*, итал. "сульфур" - сера), углекислые (*мофеты*, от итал. "мофетта" - место зловонных испарений). Знаменитые фумаролы вулкана Сольфатара около Неаполя действуют уже тысячи лет без изменения. Мофеты, располагающиеся в котловинах, опасны для жизни, так как, будучи тяжелее воздуха,  $\text{CO}_2$  скапливается в их придонной части, что служит причиной гибели людей и животных.

Горячие источники, или *термы*, широко распространены в областях современного и новейшего (плиоцен-четвертичного) вулканизма. Однако не все термы связаны с вулканами, так как с глубиной температура увеличивается и в районах с повышенным геотермическим градиентом циркулирующая атмосферная вода нагревается до высоких температур. Горячие источники вулканических областей, например в Йеллоустонском парке США, в Италии, Новой Зеландии, на Камчатке, на Кавказе, обладают изменчивым составом воды и разной температурой, поскольку грунтовые воды смешиваются в разной пропорции с вулканическими газами и по-

разному реагируют с вмещающими породами, через которые они просачиваются на глубину. Воды бывают натриево-хлоридными, кислыми сульфатно-хлоридными, кислыми сульфатными, натриево- и кальциево-бикарбонатными и др. Нередко в термальных водах содержится много радиоактивных веществ, в частности радона. Горячие воды изменяют окружающие породы, откладывая в них окислы и сульфиды железа и изменяя их до глины, превращающейся в кипящую грязь, как, например, в районе Паужетки на Камчатке, где известны многочисленные булькающие "котлы" с красноватой грязью температурой около  $+100^{\circ}\text{C}$ . Часто вокруг источников накапливаются отложения кремниевой накипи или туфа, а если воды содержат карбонат кальция, то откладывается известковый туф.

*Гейзеры* - это горячие источники, вода которых периодически фонтанирует и выбрасывается вверх на десятки метров. Свое название такие источники получили от Великого Гейзера в Исландии, струя которого 200 лет назад била вверх на 60 м каждые полчаса. Ряд гейзеров, несомненно, связан с вулканическими районами, например, в Исландии, на Камчатке, в Индонезии, Кордильерах Северной Америки, Японии и других местах. Высота фонтана у гейзеров, так же как и температура воды на выходе, сильно различается, но последняя обычно колеблется в пределах от  $+75$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ . Характерной чертой гейзеров является их короткая жизнь, часто они "умирают" за счет обвалов стенок канала, понижения уровня грунтовых вод и т. д. Наиболее грандиозным гейзером был Уаймангу (что значит "Крылатая вода") в Новой Зеландии, существовавший всего 5 лет и выбрасывавший мощный фонтан почти на полкилометра вверх. Интервалы между извержениями у гейзеров варьируют от первых минут до многих часов и дней. Большое количество растворенных веществ в горячей воде гейзеров откладывается вокруг их устья, образуя скопления *гейзеритов*.

Каким образом действует гейзер? Наиболее удовлетворительный механизм его функционирования, предложенный еще в прошлом веке, заключается в

том, что в трубообразном канале, заполненном водой, нижняя часть ее столба нагревается выше точки кипения. Однако вес столба воды предотвращает вскипание. Наконец, кипение все же начнется в каком-то месте и ряд расширяющихся пузырей вытолкнет часть воды из столба, что сразу же вызовет падение давления внизу столба воды, и мгновенно начнется бурное кипение. Процесс идет лавинообразно, пока вся вода не превратится в пар и он не вытолкнет вверх всю горячую воду. Затем канал вновь наполнится водой, она нагреется и процесс начнется сначала.

Геотермальная энергия - это важная сторона использования вулканического тепла. Электростанции, работающие на естественном перегретом паре, действуют в Италии (Лардерелло в Тоскане), Исландии (около Рейкьявика), Калифорнии, на Северном острове Новой Зеландии, в районе Паужетки на Южной Камчатке и в ряде других мест. Сочетание благоприятных для выработки электроэнергии условий - высокое давление пара, температура выше точки кипения воды, большой ее приток - встречается не так уж часто. Проблемы возникают и из-за очень быстрой коррозии металлических труб агрессивными горячими водами, которые к тому же откладывают на стенках труб карбонат кальция и кремнезем, закупоривая их. Горячие воды используются для обогрева жилищ, парников и теплиц.

### **Гипергенез и кора выветривания**

Горные породы, сформировавшиеся в недрах Земли, могут достигать ее поверхности. В этом случае они попадают в условия, которые отличаются от тех, в которых они сформировались. В новых условиях массивные горные породы теряют первоначальную физическую и химическую устойчивость-

начинается процесс их разрушения. Весь комплекс физико-химических явлений, происходящих на поверхности Земли, А.Е.Ферсман назвал гипергенезом. В геологической литературе часто встречается старое название этого процесса - выветривание. Но выветривание это лишь часть комплекса явлений, связанная с деятельностью ветра, и его употребление правомерно только в этом узком понимании. Понятие же гипергенеза охватывает все многообразие процессов, которое можно разделить на физическое и химическое разрушение. Оба эти типа проявляются совместно, хотя в разных условиях один из них может преобладать над другим. Рассмотрим каждый из этих процессов.

Физическое разрушение или дезинтеграция - происходит в силу ряда причин.

1. Дилатация - означает расширение, растяжение - под этим термином понимают разрушение горных пород, связанное с их расширением. Это происходит, когда горные породы сформировавшиеся в условиях высоких давлений, попадают на поверхность Земли. Здесь величина давления резко падает до нормального атмосферного. Сжатые и уплотненные под высоким давлением горные породы, не испытывая внешнего давления, начинают расширяться и при этом образуются трещины.

2. Температурное разрушение - вызвано суточными и сезонными колебаниями температуры. Предполагают:

- что разные породообразующие минералы обладают разными скоростями нагревания и охлаждения. Эта разница приводит к ослаблению сил сцепления между зернами минералов и растрескиванию горных пород;
- в горных породах в различном количестве всегда есть микротрещины и поры. В условиях низких температур, попавшая в них вода, замерзая, увеличивается в объеме и тем самым оказывает давление, за счет которого микротрещины увеличиваются и это влечет растрескивание пород. В условиях сухого и жаркого климата, вода по трещинам устремляется к поверхности и испаряется. При этом могут кристаллизоваться соли,

содержащиеся в воде, которые также оказывают давление на трещины и приводят к разрушению.

3. Механическое разрушение пород растениями - корневая система проникает по трещинам, расширяя и увеличивая их, что и приводит к разрушению пород.

4. Химическое разрушение - в поверхностных условиях происходят химические реакции, которые приводят к образованию новых минералов, устойчивых в этих условиях. Химическими реагентами являются поверхностные и подземные воды, часто минерализованные и содержащие  $O_2$ ,  $CO_2$  и т.п. Основные типы химического разрушения - растворение, окисление, гидратация и гидролиз. Рассмотрим их.

Растворение происходит под действием воды минералов и горных пород. Наиболее растворимы - карбонаты, галоиды, сульфаты. Образующиеся при этом пустоты в массиве горных пород приводят к обвалам и разрушению. Установлено, что химические элементы, входящие в состав горных пород, обладают разной способностью растворяться и выноситься, т.е. подвижностью. По этому признаку они группируются на:

Элементы, которые:

-энергично выносятся  $Cl$ ,  $Br$ ,  $J$ ,  $S$

-легко выносятся  $Ca$ ,  $Na$ ,  $K$

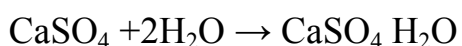
-подвижные  $SiO_2$ ,  $Mn$ ,  $P$ ,  $Cu$ ,  $Ni$ ,  $Co$

инертные  $Al$ ,  $Fe$ ,  $Ti$

Окисление происходит под действием кислорода и воды на минералы, в формулу которых входят  $Fe$ ,  $Cu$ ,  $Mn$ ,  $Al$ . Наиболее интенсивно окисление наблюдается в сульфидах. Так для минерала пирита реакция проходит:

$FeS_2 + mO_2 + nH_2O \rightarrow Fe_2O_3 \cdot nH_2O$  (лимонит), большое количество которого над сульфидными месторождениями называют "железная шляпа".

Гидратация - процесс вхождения в кристаллическую решетку минералов молекулы воды. Типичный пример- превращение ангидрита в гипс:



ангидрит

гипс

Гидролиз - процесс разрушения кристаллической решетки под действием воды и ионов в силикатах и алюмосиликатах. Например, у полевых шпатов: каркасная структура превращается в слоистую, из кристаллической решетки выносятся растворимые соединения K, Na, Ca.

Процесс гидролиза проходит в несколько стадий, количество которых как и конечный продукт зависят от климатических условий. Так при умеренном климате ортоклаз превращается в каолинит, и на этом процесс завершается. Но если эта реакция происходит при жарком и влажном климате, то процесс гидролиза продолжается и каолинит переходит в боксит.

В последние десятилетия геологи большое значение стали придавать процессам гипергенеза, происходящих под водой, с общим названием гальмиролиз. В результате образуются Fe-Mn-Si руды, глауконит и глины.

Рассмотренные различные процессы гипергенеза, как правило, протекают совместно. Но интенсивность каждого из них не одинакова и, зависит, прежде всего от климата, т.е. от количества осадков и температуры.

Продукты гипергенеза - минералы и горные породы. Они могут оставаться на месте или перемещаться в условиях расчлененного рельефа.

Элювий - это продукты физического разрушения, оставшиеся на месте после своего образования. Они представляют собой обломочный материал разного размера - от глыб (курумы) до элювиальных песков и глин.

Коллювий - те же продукты физического разрушения, но смещенные к подножию склона горы (осыпи, обвалы). Причем их перемещения быстрые.

### **Формирование коры выветривания**

Кора выветривания - это специфический продукт физического и химического процессов гипергенеза. Её формирование проходит в несколько стадий:

1. Обломочная - преобладает физическое разрушение горных пород (дезинтеграция).



2. Сиаллитная - преобладает гидролиз с образованием глинистых минералов (каолинит, нонтронит).

3. Аллитная - преобладает окисление глинистых минералов до оксидов и гидрооксидов Fe, Al, Mn, Si. Образуются минералы - лимонит, гематит, боксит, пиролюзит, опал, халцедон. Продукты этой стадии окрашены в красно-бурый цвет и похожи на обожженный кирпич, поэтому их еще называют латеритами (later-высушенный кирпич).

Развитие всех стадий зависит от климата, рельефа, состава материнских пород и т.д. В свою очередь минеральный состав коры выветривания зависит от того, сколько стадий гипергенеза протекало в массиве горных пород и каким был первичный химический состав этих исходных (или материнских) пород

Коры выветривания по времени своего образования делятся на современные и древние.

К современным относится почва- представляет собой продукт биохимического процесса, в котором ведущую роль играют продукты биохимических реакций остатков растительности.

Древние коры выветривания формировались на разных геологических этапах развития земной коры и их возраст достигает млн. и млрд. лет.

По форме и условиям залегания коры выветривания делятся на площадные и линейные.

### **Метаморфизм и метаморфические горные породы**

Метаморфизм - это процесс преобразования горных пород под воздействием эндогенных факторов при сохранении твердого состояния.

Процессу метаморфизма подвергаются все группы пород - магматические, осадочные и метаморфические, если они попадают в новые условия.

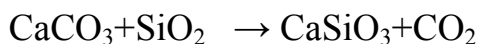
Главными факторами метаморфизма являются: температура, давление и химически активные вещества - растворы и газы. Рассмотрим их роль.

Температура - влияет на: процессы минералообразования, скорость химических реакций, степень перекристаллизации пород. В условиях повышения температуры происходят такие эндотермические реакции как дегидратация и декарбонатизация. Например:



каолинит

андалузит



кальцит

волластонит

Повышение температуры ведет к образованию более высокотемпературных минеральных видов лишенных воды. Принимая во внимание, что метаморфизм протекает при сохранении породами твердого состояния, можно считать, что температурный диапазон определяется нижним температурным пределом в 300-400°, а верхний - в 900-1000°, т.е. температурой плавления наиболее распространенных горных пород.

Давление в эндогенных условиях может быть всесторонним и направленным. Всестороннее давление определяется воздействием нагрузки вышележащих толщ, бокового давления соседних блоков и нижележащих слоев Земли. Поскольку величина двух последних (бокового и нижележащего) практически постоянна, то при рассмотрении процесса метаморфизма, учитывают воздействие давления вышележащих толщ или литостатического. Оно зависит от плотности вышележащих пород и от глубины. Так давление на глубине 10 км ~2700 атм, а на глубине 20 км - 5400 атм. Экспериментальные исследования показали, что давление при метаморфизме может достигать 25000 атм. Это объясняют тем, что кроме литостатического давления в процессе участвует и другой тип давления. Этот тип давления называют парциальным и связывают его возникновение с действием воды и газов, возникающих при дегидратации и декарбонатизации.

Увеличение давления способствует:

образованию минералов с более плотной структурой и тем самым к уменьшению общего молекулярного объема и увеличению плотности,

повышению температуры плавления минералов.

Следствием этого является образование пород с однородной массивной текстурой.

Направленное давление (или стресс) возникает в глубинах и причиной его возникновения, как правило, является перемещение крупных блоков пород в земной коре. Это может быть движение магмы или застывающего интрузивного тела. В толщах пород могут возникнуть трещины различной мощности и длины; и вдоль этих трещин блоки пород могут перемещаться друг относительно друга, что также приводит к возникновению однонаправленного давления. Результатом такого одностороннего воздействия является изменение и упорядоченность ориентировки минералов в породе - своей длинной осью или плоскостью спайности они располагаются перпендикулярно направлению давления.

Кроме того, при перемещении блоков пород происходит их локальное дробление и перетирание до глинистого состояния в пределах плоскости их перемещения. Возникают новые породы, которые состоят из обломков исходных пород, глинистого материала (или глина) трения) сцементированных минералами и минеральными агрегатами образовавшихся из растворов, циркулирующих в это время по трещинам и зонам дробления.

Химически активные вещества - это вода и углекислый газ. Они содержатся в порах и межзерновом пространстве практически всех горных пород. В меньшем количестве, по сравнению с ними, в породах присутствуют: сероводород, фтороводородная и соляная кислота, азот.

Источники химически активных веществ - процессы дегазации в мантии, охлаждение магмы, процессы дегидратации осадочных пород.

В газовой-жидком состоянии химически активные вещества двигаются из областей с высокими температурами и давлением (и сами являясь носителями высоких  $t_0$  и  $P$ ) в зоны с низким давлением и при этом: активно участвуют в преобразовании минералов и горных пород;

повышают поровое давление газов, которое снижает растворимость минералов.

Геологами было отмечено, что при наличии высоких температур и давления метаморфические процессы происходят слабо, если отсутствует движение химически активных веществ.

Рассмотренные факторы метаморфизма, как правило, проявляются совместно. В тоже время, в разных геологических условиях каждый из факторов может быть главным, а другие играть подчиненную роль. По этим признакам, а также по масштабу проявления процесса выделяют типы метаморфизма.

#### Типы метаморфизма

По масштабу проявления выделяют региональный и локальный типы. По проявлению отдельных факторов выделяют:

1. Изохимический (когда в результате образования новых минералов не изменяется валовый химический состав пород) и аллохимический или метасоматический (когда происходит привнос одних элементов и вынос других, т.е. изменяется валовый химический состав вновь образованных пород).
2. Динамометаморфизм - (синоним катакластический или дислокационный) происходит в условиях преобладания фактора направленного давления (стресса).
3. Термальный - (или контактово-термальный) происходит как правило за счет тепла остывающего магматического расплава на контакте интрузивных тел с вмещающими их породами. При этом наблюдается температурная зональность- вблизи контакта с интрузивным телом образуются высокотемпературные минеральные ассоциации, а по мере удаления от контакта они сменяются низкотемпературными минералами. Такой тип метаморфизма наблюдается вблизи интрузий ультраосновного и основного составов, температура которых достигает 1200о. Такие магмы практически

не сопровождаются выделением химически активных веществ, поэтому метаморфизм пород - изохимический.

Магмы среднего и кислого составов при остывании выделяют флюиды или газово-жидкие химически активные вещества в нагретом состоянии. При таком воздействии на горные породы происходит метасоматоз - это процесс метаморфизма горных пород, при котором решающим фактором является привнос и вынос химических компонентов. Следствием этого является изменение химического и минерального состава конечных продуктов процесса. Рассмотрим эти процессы на примере внедрения гранитной магмы в осадочную толщу, которая представлена слоями песчаников, алевролитов и известняков (плакат). Из приведенного примера видно, что кроме основных факторов метасоматоза, важное значение имеет состав исходной породы, который влияет на состав вновь образованной породы.

Рассмотренные нами типы метаморфизма, как правило, охватывают небольшие участки линейной или линзовидной формы. Поэтому их рассматривают как результат локального метаморфизма.

4.Региональный метаморфизм - происходит в крупных блоках земной коры с участием всех основных факторов (т.е. температуры, давления и химически активных веществ). Температурный диапазон от 300° до 1000° , диапазон изменения давления от 2-5тыс.атм. до 25000 атм.

Если процесс метаморфизма идет с нарастанием значений температуры и давления, то минералообразование идет от низкотемпературных к высокотемпературным минеральным ассоциациям. Такой метаморфизм называют прогрессивным. Если же процесс идет при понижении значений давления и температуры и образовании низкотемпературных минералов, то такой метаморфизм называют регрессивным.

В разных термодинамических условиях образуются соответствующие им минеральные ассоциации, которые в этих условиях находятся в физико-химическом равновесии, т.е. стабильны. Опираясь на это явление, геологи

ввели понятие метаморфическая фация. Это такие физико-химические условия, в которых образуются породы, минеральный состав которых находится в физико-химическом равновесии. Отсюда следует, что минеральный состав пород есть функция химического состава и физических условий метаморфизма.

В пограничной зоне высоких температур и давлений породы могут частично плавиться - этот процесс называется - ультраметаморфизм. При этом наблюдается в сохранившихся метаморфических породах жиллоподобные и пятнистые участки кварц-полевошпатового агрегата. Такие породы называются мигматиты.

Минеральный состав метаморфических горных пород весьма разнообразен. Следует однако, иметь в виду, что он зависит: а) от химического состава исходной породы; б) типа метаморфизма и в) от метаморфической фации. Среди наиболее распространенных минералов - это слюды, пироксены, амфиболы, карбонаты, кварц, полевые шпаты и гранат. Кроме того, есть минералы, которые образуются только при метаморфических процессах и являются его индикаторами. Это - тальк, серпентин, актинолит и др.

Условия образования отражаются в структурах и текстурах метаморфических пород. Как правило, метаморфические породы полностью раскристаллизованы. Среди структур типичными являются: кристаллобластические (перекристаллизация с одновременным ростом кристаллов), реликтовая (наряду с новообразованными минералами присутствуют остатки минералов первичной породы) и катакластические.

Текстуры отражают условия, при которых осуществлялось заполнение объема - это сланцеватые, гнейсовые, массивные и пятнистые.

Классификация метаморфических пород проводится по таким признакам как масштаб проявления и тип метаморфизма.

Наиболее распространенными породами локального метаморфизма являются: тектонические брекчии и милониты; мраморы и роговики; скарны, грейзены, березиты и листвениты (при метасоматозе).

Полезные ископаемые, сформированные в процессе метаморфизма разнообразны по составу и подразделяются на: метаморфизованные и метаморфические.

К метаморфизованным относят такие, которые в результате метаморфических процессов из рассеянных в породе минералов образуют промышленные скопления с тем же минеральным составом. Например, в докембрийских железистых кварцитах в результате метаморфизма образуются месторождения железных руд, состоящих из магнетита и гематита.

К метаморфическим относят такие, которые состоят из новообразованных минералов. Например - месторождения талька, хризотил-асбеста, флогопита, корунда, графита и др.

### **Внутреннее строение Земли**

До сих пор мы рассматривали и изучали минералы и горные породы и процессы, влияющие на их образование и преобразование. Они доступны для изучения лишь в верхней части Земли. А что же представляет собой Земля в целом, каково ее строение и состав? Все эти и другие вопросы рассмотрим в этой лекции.

Итак - Земля является планетой Солнечной системы. По форме это эллипсоид, у которого экваториальный радиус = 6378,2 км; а полярный радиус = 6356,86 км. Средний радиус ~6371 км. Площадь поверхности Земли составляет ~510 млн. км<sup>2</sup>, из них 70,8% занимает Мировой океан.

*Внутреннее строение Земли.*

Чтобы понять каким образом геологи создали модель строения Земли, надо знать основные свойства и их параметры, характеризующие все части Земли.

К таким свойствам (или характеристикам) относятся:

1. Физические - плотность, упругие магнитные свойства, давление и температура.
2. Химические - химический состав и химические соединения, распределение химических элементов в Земле.

Исходя из этого, определяется выбор методов исследования состава и строения Земли. Кратко рассмотрим их.

Прежде всего, отметим, что все методы разделяются на:

- прямые - опираются на непосредственное изучение минералов и горных пород и их размещении в толщах Земли;
- косвенные - основаны на изучении физических и химических параметров минералов, пород и толщ с помощью приборов.

Прямыми методами мы можем изучить лишь верхнюю часть Земли, т.к. самая глубокая скважина (Кольская) достигл  $a \sim 12$  км. О более глубоких частях можно судить по вулканическим извержениям.

Глубинное внутреннее строение Земли изучается косвенными методами, в основном комплексом геофизических методов.

Рассмотрим основные из них.

1. Сейсмический метод (греч. сеймос - трясение) - опирается на явление возникновения и распространения упругих колебаний (или сейсмических волн) в различных средах. Упругие колебания возникают в Земле при землетрясениях, падениях метеоритов или взрывах и начинают распространяться с разной скоростью от очага их возникновения (очага землетрясения) до поверхности Земли. Выделяют два типа сейсмических волн:

1-продольные Р-волны (самые быстрые), проходят через все среды - твердые и жидкие;



2-поперечные S-волны, более медленные и проходят только через твердые среды.

Сейсмические волны при землетрясениях возникают на глубинах от 10 км до 700 км. Скорость сейсмических волн зависит от упругих свойств и плотности горных пород, которые они пересекают. Достигая поверхности Земли, они как бы просвечивают ее и дают представление о той среде, которую пересекли. Изменение скоростей дает представление о неоднородности и расслоенности Земли. Кроме изменения скоростей, сейсмические волны испытывают преломление, проходя через неоднородные слои или отражение от поверхности, разделяющей слои.

2.Гравиметрический метод основан на изучении ускорения силы тяжести  $Dg$ , которое зависит не только от географической широты, но и от плотности вещества Земли. На основании изучения этого параметра установлена неоднородность в распределении плотности в разных частях Земли.

3.Магнитометрический метод - основан на изучении магнитных свойств вещества Земли. Многочисленные измерения показали, что различные горные породы отличаются друг от друга по магнитным свойствам. Это приводит к образованию участков с неоднородными магнитными свойствами, которые позволяют судить о строении Земли.

Сопоставляя все характеристики, ученые создали модель строения Земли, в которой выделяют три главные области (или геосферы):

- 1-Земная кора,
- 2-Мантия Земли,
- 3-Ядро Земли.

Каждая из них в свою очередь разделяется на зоны или слои.

1. Земная кора (слой А)- это верхняя оболочка Земли, ее мощность колеблется от 6-7км до 75км.

2. Мантия Земли подразделяется на верхнюю (со слоями: В и С) и нижнюю (слой D).

3. Ядро подразделяется на внешнее, переходное и внутреннее.

Границей между земной корой и мантией является раздел Мохоровичича, между мантией и ядром также резкая граница- раздел Гуттенберга.

Особенностью верхней мантии является наличие зоны, в которой резко падает скорость поперечных волн до 0.2-0.3 км/сек. Это объясняется тем, что наряду с твердым состоянием, мантия частично представлена расплавом. Этот слой пониженных скоростей называют астеносферой. Его мощность 200-300 км, глубина 100-200 км.

На границе мантии и ядра происходит резкое снижение скорости продольных волн и затухание скорости поперечных волн. На основании этого сделано предположение, что внешнее ядро находится в состоянии расплава.

Средние значения плотности по геосферам показывают ее возрастание к ядру.

О химическом составе Земли и ее геосфер дают представление:

1- химический состав земной коры,

2 - химический состав метеоритов.

Химический состав земной коры изучен достаточно детально - известен ее валовый химический состав и роль химических элементов в минерало- и породообразовании. Труднее обстоит дело с изучением химического состава мантии и ядра. Прямыми методами мы этого пока сделать не можем. Поэтому применяют сравнительный подход. Исходным положением является предположение о протопланетном сходстве между составом метеоритов, упавших на землю, и внутренних геосфер Земли.

Все метеориты, попавшие на Землю, по составу делятся на типы:

1-железные, состоят из Ni и 90% Fe;

2-железокаменные (сидеролиты) состоят из Fe и силикатов,

3-каменные, состоящие из Fe-Mg силикатов и включений никелистого железа.

На основании анализа метеоритов, экспериментальных исследований и теоретических расчетов ученые предполагают (по таблице), что химический состав ядра - это никелистое железо. Правда, в последние годы высказывается точка зрения, что кроме Fe-Ni в ядре могут быть примеси S, Si или O. Для мантии химический спектр определяется Fe-Mg силикатами, т.е. своеобразный оливино-пироксеновый пиrolит составляет нижнюю мантию, а верхнюю - породы ультраосновного состава.

Химический состав земной коры включает максимальный спектр химических элементов, который выявляется в многообразии минеральных видов, известных к настоящему времени. Количественное соотношение между химическими элементами достаточно велико. Сравнение наиболее распространенных элементов в земной коре и мантии показывает, что ведущую роль играют Si, Al и O<sub>2</sub>.

Таким образом, рассмотрев основные физические и химические характеристики Земли, мы видим, что их значения неодинаковы, распределяются зонально. Тем самым, давая представление о неоднородном строении Земли.

### **Строение Земной коры**

Рассмотренные нами ранее типы горных пород - магматические, осадочные и метаморфические участвуют в строении земной коры. По своим физико-химическим параметрам все породы земной коры группируются в три крупных слоя. Снизу вверх это: 1-базальтовый, 2-гранито-гнейсовый, 3-осадочный. Эти слои в земной коре размещены неравномерно. Прежде всего, это выражается в колебаниях мощности каждого слоя. Кроме того, не во всех частях наблюдается полный набор слоев. Поэтому более детальное изучение позволило по составу, строению и мощности выделить четыре типа земной

коры: 1-континентальный, 2-океанский, 3-субконтинентальный, 4-субокеанский.

1. Континентальный тип- имеет мощность 35-40 км до 55-75 км в горных сооружениях, содержит в своем составе все три слоя. Базальтовый слой состоит из пород типа габбро и метаморфических пород амфиболитовой и гранулитовой фаций. Называется он так потому, что по физическим параметрам он близок базальтам. Гранитный слой по составу - это гнейсы и гранито-гнейсы.

2.Океанский тип - резко отличается от континентального мощностью (5-20 км, средняя 6-7 км) и отсутствием гранито-гнейсового слоя. В его строении участвуют два слоя: первый слой осадочный, маломощный (до 1 км), второй слой - базальтовый. Некоторые ученые выделяют третий слой, который является продолжением второго, т.е. имеет базальтовый состав, но сложен ультраосновными породами мантии, подвергшихся серпентинизации.

3.Субконтинентальный тип - включает все три слоя и этим близок к континентальному. Но отличается меньшей мощностью и составом гранитного слоя (меньше гнейсов и больше вулканических пород кислого состава). Этот тип встречается на границе континентов и океанов с интенсивным проявлением вулканизма.

4. Субокеанский тип - располагается в глубоких прогибах земной коры (внутриконтинентальные моря типа Черного и Средиземного). От океанского типа отличается большей мощностью осадочного слоя до 20-25 км.

Проблема формирования земной коры.

По Виноградову- процесс формирования земной коры происходил по принципу зонной плавки. Суть процесса: вещество Протоземли, близкое к метеоритному, в результате радиоактивного прогрева расплавлялось и более легкая силикатная часть поднималась к поверхности, а Fe-Ni

концентрировалась в ядре. Таким образом, происходило формирование геосфер.

Следует отметить, что земная кора и твердая часть верхней мантии объединяются в литосферу, ниже которой располагается астеносфера.

Тектоносфера - это литосфера и часть верхней мантии до глубин 700км (т.е. до глубины самых глубоких очагов землетрясений). Названа так потому, что здесь происходят основные тектонические процессы, определяющие перестройку этой геосферы.

### **Происхождение и формирование гидросферы. Мировой океан и его подразделения. Физические свойства вод океана**

Вода имеет огромное распространение на земном шаре - на его поверхности, в почве толще горных пород, в атмосфере. Вода - необходимое условие жизни человека, а также подавляющего большинства животных и растений она является важнейшим фактором экономического развития территорий.

Скопление природных вод на земной поверхности и в верхних слоях земной коры образуют водные объекты. Выделяют три группы водных объектов:

- 1) водотоки - водные объекты на земной поверхности с поступательным движением воды в руслах (естественных или искусственных) в направлении уклона; к ним относятся реки и каналы;
- 2) водоемы - водные объекты в понижениях земной поверхности с замедленным водообменом — океаны, моря, озера, водохранилища, болота;
- 3) особые водные объекты — ледники и подземные воды.

Совокупность водных объектов образует гидросферу, представляющую собой прерывистую водную оболочку земного шара.

Для описания водных объектов и их режима используются гидрологические характеристики:

- 1) морфометрические, т.е. связанные с размером и формой объектов (площадь, длина, ширина, глубина и т.п.);

- 2) собственно гидрологические, характеризующие количество воды и ее движение (уровень и расход воды, скорость течения);
- 3) гидрофизические, характеризующиеся физическими свойствами воды (температура, толщина льда, плотность и т.д.);
- 4) гидрохимические (минерализация, концентрация отдельных ионов);
- 5) гидробиологические (состав и численность живых организмов, биомасса и т.д.)
- 6) хронологические (даты наступления и продолжительность, гидрологических явлений).

Гидрологическое состояние водного объекта - совокупность его гидрологических характеристик в данный момент времени. Гидрологический режим — закономерное изменение состояния водного объекта во времени. Гидрологические процессы - совокупность физических, химических и биологических процессов, определяющих гидрологическое состояние и режим водных объектов.

Гидрология - это наука, изучающая круговорот воды (вместе с содержащимися в ней веществами), ее распределение на земном шаре, процессы, происходящие в водных объектах, пространственно-временные изменения характеристик водных объектов.

По задачам и методам исследования гидрология делится на ряд разделов. Это - общая гидрология, изучающая наиболее общие закономерности гидрологических процессов и явлений, региональная гидрология (или гидрография) занимающаяся изучением и описанием конкретных водных объектов, прикладная (инженерная) гидрология, разрабатывающая методы расчетов и прогнозов различных гидрологических характеристик, гидрометрия, разрабатывающая методы измерений и наблюдений при изучении природных вод.

Гидрология является отраслью географии. На стыке с другими фундаментальными науками возникли специальные разделы гидрологии: гидрофизика, изучающая физические процессы в водных объектах

(динамические, термические) и формирование физических характеристик воды (льда, снега); гидрохимия, изучающая химические процессы в водных объектах, формирование химического состава природных вод и его изменение во времени и пространстве; гидробиология, изучающая живые организмы в водных объектах, их взаимоотношения друг с другом и с условиями обитания.

По объектам исследований гидрология подразделяется на три основные части: океанологию (или гидрологию морей); гидрологию суши, или точнее гидрологию поверхностных вод суши (реки, озера, водохранилища, болота, ледники); гидрологию подземных вод, которая одновременно является составной частью геологической науки — гидрогеологии.

### **Строение молекулы воды и химические свойства природных вод**

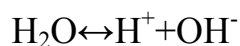
Молекула воды представляет собой равнобедренный треугольник с двумя атомами водорода в основании и атомом кислорода в вершине. Атом кислорода в молекуле воды присоединяет к себе два электрона, отнятых от атомов водорода, и тем самым приобретает отрицательный заряд. Атомы водорода, лишенные электронов, становятся положительно заряженными протонами. Таким образом, возникает полярность молекулы воды, т.е. отрицательный заряд со стороны атома кислорода и положительный заряд со стороны атомов водорода.

Положительно заряженное ядро водорода одной молекулы может соединяться с отрицательно заряженным атомом кислорода другой молекулы. В результате возникают так называемые водородные связи, которые у воды (в отличие от других жидкостей) гораздо прочнее, чем связи, обусловленные межмолекулярными взаимодействиями. Преодоление этих связей при плавлении, испарении, нагревании воды требует гораздо большей энергии по сравнению с другими жидкостями. Это определяет ряд "аномалий" тепловых свойств воды.

Водяной пар состоит преимущественно из одиночных молекул воды без упорядоченного строения. Водородные связи не реализуются. В твердом

состоянии (лед) строение воды в высокой степени упорядоченно. Молекулы составляют гексагональную 'структуру с прочными водородными связями. Эта структура "ажурная", т.е. относительно большое пространство занимают пустоты. Вода в жидком состоянии сохраняет элементы "льдоподобного" каркаса, пустоты которого частично заполняются одиночными молекулами, что обуславливает большую, чем у льда, плотность воды.

Вода — слабый электролит, т.е. ее молекулы способны делиться на ионы (диссоциировать) по уравнению



При температуре от 0 до 50  $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$ . При наличии примесей это равенство может нарушиться. В случае преобладания ионов  $\text{OH}^-$  имеет место щелочная реакция воды, при избытке ионов  $\text{H}^+$  — кислая. Для характеристики реакции используется водородный показатель pH, равный логарифму концентрации водородных ионов, взятый с обратным знаком:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+].$$

В природной воде всегда содержатся растворенные вещества. Их количество в единице объема — минерализация (мг/л), в единице массы - соленость (г/кг, или ‰).

Основную массу растворенных веществ составляют макрокомпоненты, к которым относятся анионы  $\text{HCO}_3^-$ , катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ . Суммарное содержание  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  определяет жесткость воды.

Многие вещества, содержащиеся в природной воде в значительно меньшем количестве, тем не менее играют важную роль в существовании водных экосистем, определяют потребительские свойства воды. Среди них выделяют следующие группы.

Биогенные вещества — соединения натрия, фосфора, кремния, железа, наиболее активно участвующие в жизнедеятельности растительных и животных организмов.



Органические вещества — сложные соединения, образующиеся в результате разложения растительных и животных организмов. Углерод составляет примерно половину их массы, а вместе с кислородом и водородом 95%.

Микроэлементы — вещества, находящиеся в воде в очень малых количествах (менее 0,01 мг/л). К ним, в частности, относятся тяжелые металлы, радиоактивные вещества.

### **Физические свойства воды**

Вода находится в природе в жидком, твердом и парообразном состоянии. Переходы воды из одного агрегатного состояния в другое - фазовые переходы:

- переход из жидкого состояния в твердое (лед, снег, град) - замерзание воды (кристаллизация ледообразование), в пар — испарение;
- из парообразного состояния в жидкое — конденсация (образование капель дождя, дождь, росы), в твердое - сублимация (образование инея, гололеда, изморози);

При нормальном давлении пресная вода замерзает при температуре 0°C; при увеличении минерализации (солености) и давления (атмосферы, слоя воды) она понижается. Испарение существенно повышается с увеличением температуры и уменьшением атмосферного давления.

Тепловые "аномалии" воды:

#### **1) Очень большие значения**

- удельной теплоемкости (1 кал для нагревания 1г воды на 1°C); это обуславливает замедленное, по сравнению с воздухом, нагревание и охлаждение воды, отсюда отепляющее влияние океана зимой и охлаждающее - летом;
- удельной теплоты плавления и ледообразования (соответственно поглощение и выделение 80 кал на 1г воды); последнее замедляет нарастание ледяного покрова на реках и водоемах;
- удельной теплоты парообразования, или испарения (требуется 597 кал на превращение 1г воды в пар), это ведет к охлаждению поверхности воды при

испарении и замедлению процесса высыхания водоемов в засушливых местностях.

2) Низкая теплопроводность воды и льда, что замедляет охлаждение воды на реках и водоемах зимой.

Особенности изменения плотности воды ( $\rho$ ):

1) Наибольшая плотность пресной воды наблюдается при  $4^{\circ}\text{C}$ ; при возрастании температуры выше этого значения плотность воды (как и других жидкостей) уменьшается, при уменьшении температуры ниже  $4^{\circ}\text{C}$  плотность воды также уменьшается; это главная особенность воды, препятствующая промерзанию рек и водоемов до дна.

2) Плотность воды, в отличие от других жидкостей, в твердом состоянии (лед) меньше, чем в жидком (плотность дистиллированной воды при  $4^{\circ}\text{C}$   $1000\text{кг/м}^3$  или  $1\text{кг/л}$ , при  $0^{\circ}\text{C}$   $999,9\text{кг/м}^3$ , плотность кристаллического льда при  $0^{\circ}\text{C}$   $917\text{кг/м}^3$ ); это предотвращает опускание льда, образующегося на поверхности воды, на дно. Плотность пористого льда и тем более снега намного меньше, чем кристаллического льда. С понижением температуры льда плотность его немного увеличивается.

С увеличением солёности ( $S$ ) плотность воды возрастает, а температура наибольшей плотности ( $T_{\text{н.пл.}}$ ) и температура замерзания ( $T_{\text{зmrз}}$ ) воды понижаются,  $T_{\text{н.пл.}}$  от  $4^{\circ}\text{C}$ ,  $T_{\text{зmrз}}$  от  $0^{\circ}\text{C}$  при  $S = 0\%$ .  $T_{\text{н.пл.}}$  \_ понижается более интенсивно, чем  $T_{\text{зmrз}}$ . При  $S = 24,7\%$ ,  $T_{\text{н.пл}}$  сравниваются:  $T_{\text{н.пл.}} = T_{\text{зmrз.}} = -1,2^{\circ}\text{C}$ .

К важным особенностям воды относится очень высокое поверхностное натяжение (уступающее по величине только ртути). Оно вызвано силами притяжения между молекулами воды на поверхности раздела вода - воздух или вода - твердое тело. Это свойство обуславливает подъем воды в капиллярах почвы и растений.

Относительно высокая текучесть воды вызвана сравнительно небольшой вязкостью, т.е. силой трения между смежными слоями движущейся жидкости. Количественный показатель этого свойства - динамический

коэффициент вязкости ( $\mu$ ). Деля этот коэффициент на плотность воды, получают кинематический коэффициент вязкости  $\nu = \mu/\rho$ . Вязкость существенно уменьшается с увеличением температуры воды.

Если выделить в водном потоке объем в виде куба, верхняя и нижняя грани которого параллельны водной поверхности, то на него будут действовать силы, относящиеся а) ко всей массе объема - это объемные, или массовые силы и б) к граням выделенного объема - поверхностные силы. Последние делятся на нормальные, направленные перпендикулярно граням, и касательные, действующие вдоль граней.

К объемным (массовым) относятся следующие силы:

1. Сила тяжести ( $F_g$ ), направленная вертикально вниз (к центру Земли)  $F_g = mg$ , где  $m$  - масса,  $g$  - ускорение силы тяжести. Продольная составляющая силы тяжести, вызывающая движение воды,  $F_{gnp} = mg \sin \alpha = mgI$ , где  $\alpha$  - угол между водной и горизонтальной поверхностями,  $I = \sin \alpha$  - уклон водной поверхности.
2. Центробежная сила ( $F_{ц}$ ) проявляется на поворотах потока. Если представить участок реки на повороте в виде дуги окружности, то расстояние от нее до центра окружности называется радиусом кривизны ( $r$ ). Тогда  $F_{ц} = mv^2/r$ , где  $v$  - скорость течения.  $F_{ц}$  направлена перпендикулярно дуге окружности в сторону от центра.
3. Сила Кориолиса ( $F_k$ ), возникающая в результате вращения Земли и направленная перпендикулярно движению потока в северном полушарии вправо, в южном влево.  $F_k = 2mv \sin \varphi$ , где  $\varphi$  - географическая широта.  $F_k$  увеличивается от экватора, где она равна нулю, к полюсам.

Центробежная сила и сила Кориолиса заметно проявляется только для крупных потоков (с большой величиной массы воды).

К нормальным поверхностным силам относится гидростатическое давление, т.е. воздействие на грани выделенного объема вышележащего столба покоящейся жидкости, и гидродинамическое давление, т.е. воздействие движущейся жидкости на эти грани и обтекаемые ею твердые тела.

Среди касательных поверхностных сил наибольшее значение для потоков имеет сила трения на дне. Для турбулентного потока ее величина, отнесенная к единице площади дна (удельное трение, или касательное напряжение), зависит от характера дна (его шероховатости), пропорциональна плотности воды и скорости течения для ламинарного течения и квадрату скорости для турбулентного.

Виды движения воды:

Указанные виды движения воды различаются тем, что при ламинарном течении частицы воды движутся по параллельным траекториям без перемешивания, а при турбулентном течении в потоке возникают вихри, приводящие к перемещению частиц воды по глубине и ширине потока.

В качестве показателя гидродинамического характера потока используется число Рейнольдса:  $Re = vh/\nu$ , где  $v$  - скорость течения (в м/с),  $h$  — глубина потока (в м),  $\nu$  - кинематический коэффициент вязкости (в м<sup>2</sup>/с). При значениях  $Re < 300$  движение ламинарное, при  $Re > 3000$  - турбулентное, между этими значениями  $Re$  характер потока переходный.

В водных объектах различают также поступательное движение, при котором происходит перемещение воды в определенном направлении, и колебательное движение, при котором такое перемещение отсутствует.

### **Геологическая деятельность подземных вод. Образование и типы подземных вод. Химический состав подземных вод**

К подземным водам как объекту изучения гидрологией относятся воды, содержащиеся в земной коре и активно участвующие в круговороте воды на земном шаре, т.е. взаимодействующие с атмосферой и поверхностными водами.

Основной источник формирования подземных вод - атмосферные осадки (тающий снег и дожди), которые поступают в верхний слой грунта в результате инфильтрации (впитывания). При обильном поступлении воды она заполняет все пустоты в грунте. По трещинам, ходам животных, отверстиям от сгнивших корней растений, относительно крупным порам (т.е.

промежуткам между частицами грунта) вода перемещается вниз под влиянием силы тяжести - это гравитационная вода. Она достигает водоупорного слоя (чаще всего глинистые отложения), накапливаясь здесь, образует водоносный горизонт, т.е. слой водопроницаемого пласта, насыщенного водой, которая движется по поверхности водоупора в сторону его уклона под влиянием силы тяжести. Там, где отрицательные формы рельефа (речные долины, овраги, озерные котловины) вскрывают водоносный горизонт, подземные воды выходят на поверхность в виде родников или рассредоточенного высачивания на участке склона.

При определенном геологическом строении грунтовые воды до выхода на поверхность перекрываются другим водоупором, затем вторым и т.д. Воды, перекрытые сверху водоупорными слоями, называются межпластовыми подземными водами. Питание этих вод осуществляется на участках, где соответствующий водоносный горизонт не перекрыт сверху водоупором. Для межпластовых вод характерно возникновение напора, вследствие которого вода при вскрытии водоносного горизонта буровой скважиной или по естественным трещинам поднимается вверх. Уровень, до которого поднимается вода, называется пьезометрическим уровнем. Превышение этого уровня над уровнем воды в водоносном горизонте называется высотой напора. Подъем воды под действием напора может достигать земной поверхности. Особенно это свойственно артезианским водам, приуроченным к геологическим структурам синклинального типа - артезианским бассейнам. Между водоносными горизонтами обычно существует связь вследствие циркуляции воды по трещинам в водоупорах или путем медленного просачивания через них по порам.

Подземные воды, приуроченные к водоносным горизонтам, называются пластовыми водами. В горных породах подземные воды чаще перемещаются по системе трещин в породах (трещинные воды), по изолированным трещинам или жилам с повышенной трещиноватостью (жилые воды), по карстовым пустотам (карстовые воды).

В зоне распространения многолетнемерзлых пород различают подмерзлотные воды, залегающие под толщей мерзлых пород, межмерзлотные воды внутри мерзлой толщи и надмерзлотные воды, для которых мерзлые породы служат водоупором.

Грунтовые и тем более межпластовые воды существуют, как правило, в течение всего года и обеспечивают постоянное питание рек. В зоне распространения многолетнемерзлых пород это относится только к подмерзлотным водам.

Отношение объема всех пустот к объему образца грунта называется скважинностью, а объема пор ( $V_{\text{пор}}$ ) к объему грунта ( $V_{\text{гр}}$ ) называется пористостью ( $p$ ):  $p = V_{\text{пор}}/V_{\text{гр}}$ . Обычно они выражаются в %. Пористость песка в среднем 40%, глины - около 50%.

Верхний слой грунта после прекращения таяния снега или дождя постепенно освобождается от гравитационной воды. По возникшим пустотам циркулирует воздух. Слой грунта (верхняя часть которого является почвой) до уровня грунтовых вод называют зоной аэрации. В этой зоне остаются следующие типы вод:

- капиллярная вода, заполняющая поры и находящаяся под влиянием капиллярных сил; в нижней части зоны аэрации вода, поднимаясь по порам над слоем грунтовых вод, образует зону капиллярного поднятия (капиллярную кайму) толщиной от 0 (гравий, галька) до 6-12 м. (глина);
- пленочная вода, образующая тонкую пленку вокруг частиц грунта и сравнительно слабо связанная с ними молекулярными силами; перемещается от мест с большей толщиной пленки к местам с меньшей ее толщиной;
- гигроскопическая вода, прочно связанная с частицами грунта молекулярными силами.

Способность грунта вмещать и удерживать определенное количество воды называется влагоемкостью грунта. Полная влагоемкость - суммарное содержание в грунте всех видов воды при полном заполнении всех пор, выраженная в процентах от массы образца грунта. Наименьшая (или полевая)

влагоемкость - вода, остающаяся в грунте после отекания гравитационной воды (для песков 3-5%, суглинков и глин 12-22%). Влажность грунта — фактическое содержание воды в грунте, выраженное в виде толщины слоя (в мм) или в процентах от массы сухого грунта.

Воды зоны аэрации, оставшиеся в порах грунта, постепенно расходуются на испарение, в основном путем транспирации растений.

Временные скопления гравитационных вод, в зоне аэрации могут возникать над отдельными линзами водоупорных пород (верховодка) и над относительным водоупором, например, над иллювиальным горизонтом подзолистых почв, водопроницаемость которого значительно меньше вышележащих слоев. Перемещение воды по относительному водоупору в сторону его уклона образует почвенный, или внутрипочвенный сток.

Подземные воды могут формироваться в результате инфильтрации в грунт не только атмосферных осадков, но и воды из поверхностных водных объектов. Оба эти вида вод называются инфильтрационными подземными водами. Подземные воды могут формироваться также в следствие конденсации водяного пара в порах грунта. Это конденсационные воды, играющие заметную роль в пустынях. Все перечисленные виды подземных вод являются экзогенными. К эндогенным относятся воды, образующиеся из паров магмы — дегидрационные воды.

Глубина распространения межпластовых подземных вод, участвующих в круговороте воды на земле, достигает, как правило, нескольких сотен метров. Глубина залегания грунтовых вод, сильно изменяясь по территории в зависимости от локальных условий в целом, подчинена закону географической зональности, увеличиваясь от долей метра в зоне тундр до десятков метров в степной зоне.

Движение подземных вод по порам в зоне насыщения, называемое фильтрацией, как правило, ламинарное. Скорость фильтрации ( $v_{\phi}$ ) выражается законом Дарси:

$$v_{\phi} = K_{\phi} \cdot I$$

Здесь  $I$  - гидравлический уклон, равный либо уклону поверхности уровня безнапорных вод, либо уклону пьезометрического уровня для напорных вод;  $K_{\phi}$  - коэффициент фильтрации, равный скорости фильтрации через данный грунт при  $I = 1$  (т.е. вертикально вниз); его размерность м/с или м/сут.  $K_{\phi}$  для галечника равен 100-200 м/сут., для песка 1-50, для супеси 0,1-0,5, для глины 0,001-0,0001 м/сут.

Движение трещинных, жильных и особенно карстовых подземных вод может быть турбулентным.

Уравнение водного баланса зоны аэрации в пределах речного бассейна:

$$x_{\text{инф}} + z_{\text{гр}} = y_{\text{почв}} + \Pi_{\text{гр}} + z_{\text{з.а.}} \pm \Delta_{\text{из.а.}}$$

где  $x_{\text{инф}}$  — поступление воды с поверхности земли (инфильтрация атмосферных осадков),  $z_{\text{гр}}$  - испарение грунтовых вод,  $z_{\text{з.а.}}$  - испарение из зоны аэрации,  $\Pi_{\text{гр}}$  - питание грунтовых вод из зоны аэрации,  $\Delta_{\text{игр}}$  — изменение влагозапасов вод зоны аэрации.

Уравнение водного баланса грунтовых вод (при отсутствии притока из-за пределов речного бассейна и фильтрации через водоупор):

$$\Pi_{\text{гр}} = y_{\text{гр}} + z_{\text{гр}} \pm \Delta u_{\text{гр}}$$

где  $y_{\text{гр}}$  — сток грунтовых вод (т.е. разгрузка грунтовых вод на земную поверхность или непосредственно в реки и водоемы),  $\Delta u$  - изменение запаса (объема) грунтовых вод. Типы водного режима зоны аэрации:

- 1) промывной —  $x_{\text{инф}} \gg z_{\text{з.а.}}$ , избыток воды расходуется на  $\Pi_{\text{гр}}$  и  $y_{\text{почв}}$ ;
- 2) компенсированный -  $x_{\text{инф}} \approx z_{\text{з.а.}}$ ;
- 3) испарительный (выпотной) -  $x_{\text{инф}} \ll z_{\text{з.а.}}$ , недостаток воды частично возмещается за счет  $z_{\text{гр}}$ .

Типы водного режима грунтовых вод:

- 1) сезонного (преимущественно весеннего и осеннего) питания; максимальный уровень грунтовых вод весной, меньшее повышение осенью, низкий уровень в конце лета и особенно в конце зимы; наблюдается на большей части территории стран СНГ;



2) кратковременного летнего питания; максимальный уровень в июне — июле (иногда августе-сентябре); наблюдается в зоне многолетней мерзлоты;

3) круглогодичного, преимущественно зимне-весеннего питания; максимальный уровень в феврале-апреле, минимальный - в летне-осеннее время. Типы взаимодействия подземных и поверхностных вод:

1) Двухсторонняя гидравлическая связь. При низком уровне воды в реке уровень грунтовых вод находится выше, река получает грунтовое питание. При высоком уровне воды в реке уровень грунтовых вод оказывается ниже. Происходит инфильтрация речной воды в грунт. Этот тип характерен для средних и крупных равнинных рек.

2) Односторонняя гидравлическая связь. Уровень воды в реке постоянно выше уровня грунтовых вод. В течение всего года речная вода питает грунтовые воды. Характерно для некоторых засушливых, а также карстовых районов.

3) Отсутствие гидравлической связи. Водоупор расположен выше максимального уровня воды в реке. Происходит постоянное питание реки грунтовыми водами, разгружающимися на склонах долины в виде ключей. Наиболее характерно для горных районов.

### **Геологическая деятельность рек и аллювиальные отложения**

Река - это водоток, имеющий течение в продолжении большей части года, получающий питание со своего водосбора и имеющий четко выраженное русло, сформированное самим водотоком. Родник, дающий начало реки, или выход речного потока из озера, болота, ледника — исток реки; место (створ) впадения реки в другую реку или приемный водоем (море, озеро) — устье реки.

Характеристики реки и ее бассейна. Речная долина.

Основные морфометрические характеристики реки в целом — ее длина и площадь водосбора (бассейна).

Водосбор реки - часть земной поверхности и толщи почв и грунтов, откуда данная река получает свое питание. Бассейн реки - это часть суши, по

которой протекает данная река со всеми ее притоками, включая временные водотоки, и ограниченная водоразделом. Бесточные территории внутри бассейна в водосбор не входят. В районах достаточного увлажнения водосбор и бассейн, как правило, совпадают.

Поверхностный и подземный водоразделы могут не совпадать. Для крупных и средних по размеру, а также большинства малых рек этим несовпадением можно пренебречь, за исключением рек карстовых районов.

Основные морфометрические характеристики речного бассейна (водосбора): площадь, длина, наибольшая и средняя ширина, средняя высота, средний уклон поверхности, коэффициент асимметрии.

Количественные физико-географические характеристики: густота речной сети, озерность, заболоченность, оледенение, лесистость, распространение почвогрунтов с той или иной степенью водопроницаемости.

Классификация рек по площади бассейна (F):

большие —  $F > 50000 \text{ км}^2$ ,

средние —  $F = 2000-50000 \text{ км}^2$ ,

малые —  $F < 2000 \text{ км}^2$ .

Большая река обычно пересекает две и более природных зон, гидрологический режим средней реки отражает условия одной зоны или подзоны, режим малых рек в значительной мере определяется местными условиями.

По длине (L) к малым рекам относят обычно реки с L от 10 до 100 км (иногда до 200), реки с  $L < 10 \text{ км}$  часто называют ручьями. Крупнейшие реки мира по площади бассейна (млн.  $\text{км}^2$ ): Амазонка(6,92), Конго (3,82), Миссисипи (3,22), Ла-Плата (3,1), Обь (2,99). Реки с наибольшей длиной: Нил (с Кагерой  $L = 6670 \text{ км}$ ), Амазонка (с Укаяли 6280), Миссисипи (с Миссури 5985), Янцзы (5520). Самая большая река Европы - Волга ( $F = 1,36 \text{ млн. км}^2$ ,  $L = 3350 \text{ км}$ ).

Речные долины - продольные углубления на земной поверхности, сформированные в результате эрозионно-аккумулятивной деятельности реки.

Элементы речной долины: русло, пойма, надпойменные террасы, коренные берега. Русло - наиболее низкая часть долины, занятая рекой в маловодные периоды года. Пойма - часть долины, заливаемая при самом высоком уровне воды. Надпойменные террасы - относительно плоские участки долины, представляющие собой остатки пойм на предшествующих этапах развития долины. Коренные берега - склоны долины выше самой высокой террасы. Русло и пойма образуют дно долины, террасы и коренные берега - склоны долины. Высота поймы, террас, коренных берегов - превышения их бровок над уровнем воды в маловодный период года. Типы долин по генезису: тектонические, ледниковые, эрозионные; по форме поперечного профиля: каньоны, ущелья, V-образные, корытообразные (троги), трапециевидные, ящикообразные.

Продольный профиль реки - график изменения отметок водной поверхности и дна по длине реки. Падение реки - разность отметок водной поверхности или дна ( $\Delta H$ ) на каком либо участке реки. Полное падение —  $\Delta H$  между истоком и устьем реки. Уклон реки ( $I$ ) - отношение падения реки на участке к его длине, выражается в долях единицы или промиллях (‰). Для средних по размеру равнинных рек, как правило,  $I < 1\text{‰}$ , для горных до нескольких десятков ‰.

Типы продольного профиля: вогнутый, прямолинейный, выпуклый, ступенчатый. Главный базис эрозии реки - уровень приемного водоема или водотока.

Основные гидрологические характеристики реки - уровень и расход воды.

Расход воды ( $Q \text{ м}^3/\text{с}$ ) - количество воды, проходящее через поперечные сечения реки за 1 секунду. Расход воды равен произведению площади водного сечения реки на среднюю для этого сечения скорость течения.

Количество воды, проносимое рекой через ее поперечное сечение за больший промежуток времени (сутки, месяц, сезон, год) — это объем стока ( $V \text{ м}^3$  или  $\text{км}^3$ ).  $V = Q \cdot t$ , где  $Q$  - средний расход воды за рассматриваемый

промежуток времени,  $t$  - количество секунд в этом промежутке (для года  $t = 31,54 \cdot 10^6$  с).

Для сравнения величины речного стока с атмосферными осадками или испарением сток характеризуют высотой слоя воды. Слой стока (мм) — это такой слой, который получается, если объем стока распределить равномерно по всей площади речного бассейна ( $F$ ):  $y = 10^6 \cdot V / F$ .

Для сравнения условий формирования стока в различных бассейнах часто используют величину расхода воды, отнесенную к площади бассейна, т.е. количество воды, стекающее с каждого квадратного километра - это модуль стока  $M = 10^3 \cdot Q / F$  л/с·км<sup>2</sup>.

Отношение слоя стока к слою выпавших на площадь бассейна осадков ( $x$ ), обуславливающих возникновение данной величины стока, называется коэффициентом стока ( $\eta$ ). Он показывает, какая часть осадков расходуется на образование стока:  $\eta = y/x$ .

Регулярные измерения уровня и расхода воды, а также температуры воды и толщины льда, фиксирование дат наступления различных ледовых явлений ведутся на гидрологических постах. Наиболее распространенное устройство для измерения уровня воды - свайный водомерный пост.

При определении расхода воды скорости течения на гидрологических постах измеряются гидрометрической вертушкой, в экспедиционных условиях — часто поверхностными поплавками. Измерение глубины (для вычисления площади водного сечения) осуществляют с помощью наметки — размеченного на дециметры шеста, лота — груза, опускаемого на размеченном тросе, эхолота, определяющего глубину по времени возвращения отраженного от дна звукового сигнала, поданного на поверхности воды.

Питание, водный режим рек, водный баланс речного бассейна

Источники питания рек - дождевые, снеговые, ледниковые и подземные воды.

Дождевое питание преобладает в теплом поясе и в районах умеренного пояса с муссонным климатом. Доля стекающих дождевых осадков увеличивается при выпадении на увлажненную почву.

Снеговое питание преобладает в холодном и умеренном поясах. Стеканию снеговых вод способствуют повышенная интенсивность снеготаяния, зимнее промерзание грунта и особенно наличие ледяной корки на почве.

Ледниковое питание происходит в результате таяния ледников. Основные факторы - площадь водосбора, занятая ледниками, и температура воздуха.

Подземное питание — поступление в реку грунтовых и межпластовых вод (сток в реки почвенных вод и верховодки условно относится к поверхностному питанию). Зависит от геологического строения и распространения в бассейне водопроницаемых почв, трещиноватых пород, от лесистости.

Основной отрицательный фактор формирования стока — испарение с поверхности бассейна, включающее транспирацию, физическое испарение с поверхности почвы и пустот внутри почвы, с поверхности водных объектов. Испарение зависит от температуры воздуха и испаряющей поверхности (воды, льда, снега), влажности воздуха, скорости ветра, глубины залегания подземных вод. Для транспирации кроме указанных факторов важен вид растительности, для испарения с ледников — их высотное положение и, следовательно, атмосферное давление. Перечисленные факторы определяют потенциальную возможность испарения, называемую испаряемость. Фактическое испарение лимитируется наличием испаряющейся влаги. Для водной поверхности рек, озер и ледников испарение практически равно испаряемости. В пустынях тропического пояса испаряемость наибольшая, а испарение наименьшее. В полярных странах испаряемость наиболее низкая; испарение практически равно испаряемости.

Естественный водный баланс речного бассейна:

$$x + w_1 = z + y + w_2 \pm \Delta U,$$

где  $x$  — осадки на поверхность бассейна,  $z$  — суммарное испарение с его поверхности,  $y$  — речной сток,  $w_1$  - приток подземных вод, получающих питание за пределами данного бассейна,  $w_2$  - отток подземных вод, сформировавшихся в данном бассейне, за его пределы не в составе речного стока,  $\pm \Delta U$  - изменение запасов воды в бассейне, содержащейся в подземных водоносных горизонтах, в почве, в водоемах и русловой сети, в снежном покрове и ледниках.

При наличии антропогенного влияния в уравнение водного баланса вводятся соответствующие составляющие.

В среднем за многолетний период в целом за год  $\Delta U = 0$ , величины  $w_1$  и  $w_2$  имеют значение, как правило, лишь для части малых рек, поэтому уравнение водного баланса можно записать в простом виде:

$$x = z + y.$$

Фазы водного режима рек: половодье, паводки, межень.

Половодье - это фаза, ежегодно повторяющаяся в данных климатических условиях в один и тот же сезон и характеризующаяся наибольшей водностью, высоким и продолжительным подъемом уровня воды.

Паводок - это фаза водного режима, которая может многократно повторяться в различные сезоны года и характеризуется интенсивным, обычно кратковременным увеличением расходов и уровней воды и вызывается дождями или снеготаянием во время оттепелей. Иногда паводок накладывается на волну половодья.

Межень - это фаза водного режима, ежегодно повторяющаяся в один и тот же сезон, характеризующаяся малой водностью, длительным стоянием низкого уровня и возникающая вследствие уменьшения питания реки. Основной источник питания, как правило, подземные воды.

### **Геологическая роль озер и болот и их осадки**

Озеро — естественный водоем на поверхности суши, не имеющий непосредственного водообмена с Мировым океаном.

Морфометрические характеристики и морфология озер

Объем озера ( $V_{оз}$ ) - объем воды, содержащейся в озере.

Площадь озера ( $S_{оз}$ ) - площадь его поверхности вместе с островами.

Площадь водного зеркала - площадь водной поверхности озера (акватории).

Длина озера ( $L_{оз}$ ) - кратчайшее расстояние по водной поверхности между наиболее удаленными точками береговой линии.

Максимальная ширина озера - наибольшее расстояние между противоположными берегами по перпендикуляру к линии измерения длины озера. Средняя ширина озера  $V_{ср} = S_{оз}/L_{оз}$ .

Максимальная глубина озера - наибольшая из измеренных глубин. Средняя глубина  $h_{ср} = V_{оз}/S_{оз}$ .

График нарастания площадей изобат (линий, соединяющих точки с одинаковой глубиной) от наибольшей глубины называется кривой площадей, или батиграфической кривой. График нарастания объема озера от наибольшей глубины до каждой изобаты (включая ее нулевое значение) - кривая объемов.

Водосбор озера ( $F_{03}$ ) - часть земной поверхности и толщи грунта, откуда озеро получает питание. Бассейн озера включает также бессточные территории внутри водораздела. Бассейны всех водотоков, впадающих в озеро, входят в его бассейн. Удельный водосбор  $\phi = F_{03}/S_{03}$

По размеру площади озера подразделяют на очень большие ( $S_{оз} > 1000 \text{ км}^2$ ), большие ( $S_{оз}$  от 100 до 1000 км<sup>2</sup>), средние ( $S_{оз}$  от 10 до 100 км<sup>2</sup>), малые ( $S_{оз} < 10 \text{ км}^2$ ). Суммарный объем озер на земном шаре 176 тыс. км<sup>3</sup>, площадь 2,1 млн. км<sup>2</sup>.

Крупнейшие озера мира:

Озеро	$V_{оз}$ , тыс.	$S_{оз}$ тыс. км <sup>2</sup>	$h_{max}$ , М
Каспийское	78 2	374	1025
Байкал	23 0	31 5	1740
Таптангика	18 9	32 9	1435
Верхнее	11 6	82 7	406
Ньяса	7 7	30 9	706

Большое количество озер приурочено к увлажненным районам древнего оледенения (Канада, Скандинавия, Карелия и Кольский п-ов), а также к заболоченным территориям (Зап. Сибирь). Многочисленные бесточные озера

расположены в некоторых засушливых областях с плоским рельефом (юг Зап. Сибири, Северный Казахстан).

Озерная котловина — естественное понижение земной поверхности, в котором расположено озеро. Часть озерной котловины, заполненная водой до высоты максимального подъема уровня называется озерным ложем, или озерной чашей.

Береговая область озера включает следующие элементы.

Береговой (абразионный) уступ - крутой или обрывистый склон, сформировавшийся в результате разрушительного воздействия волн (абразии).

Береговая отмель (литораль) - мелководная часть озера, сложенная в основном продуктами разрушения берега.

Подводный откос - относительно крутой склон дна от края литорали к глубоководной части озера. Распространение высшей водной растительности, как правило, ограничено литоралью.

Типы озер по происхождению котловин:

1. Тектонические, приуроченные к крупным тектоническим прогибам и впадинам (Каспийское море, озера Верхнее, Ладжское, Онежское, Иссык-Куль, Балхашское) или к грабенам (Байкал, Танганьика, Ньяса).
2. Ледниковые: а) троговые (Женевское, многие озера Скандинавии, Карелии), б) моренные, образовавшиеся среди древних моренных отложений (Имандра, Селигер), в) каровые, г) приледниковые и надледниковые, связанные с современным оледенением.
3. Карстовые, приуроченные к карстовым просядкам, а также подземным пустотам. Термокарстовые (вечная мерзлота); суффозионные (в результате размыва и выноса частиц).
4. Вулканические, расположенные в кратерах вулканов (Титикака в Андах, Кроноцкое на Камчатке).
5. Речного происхождения - старицы, дельтовые, завальные.



6. Морского происхождения - отчлененные от моря песчаными или галечниковыми косами расширения в устьевых участках рек (лиманские озера) или небольшие акватории моря (лагунные озера).
7. Болотные (органогенные), расположенные в болотных массивах.
8. Плотинные – образуются в результате перекрытия долин.
9. Смешанные.

### **Гидрология водохранилищ**

Водохранилище - искусственный водоем, созданный для накопления и последующего использования воды и регулирования стока. Небольшие водохранилища площадью  $< 1 \text{ км}^2$  называют прудами.

Комплекс гидротехнических сооружений при водохранилище - плотина, ГЭС, шлюзы, водосбросы - образуют гидроузел.

Виды использования водохранилищ:

- 1) водоснабжение - регулирование стока;
- 2) энергетика - регулирование стока и создание перепада уровня воды;
- 3) орошение - регулирование стока и повышение уровня воды для ее отведения по самотечным каналам;
- 4) судоходство - обеспечение необходимых глубин в пределах водохранилища путем создания подпора на реке, а ниже водохранилища путем попусков из него накопленной воды;
- 5) рыбное хозяйство — создание водоемов с благоприятными условиями для развития рыб;
- 6) рекреация - создание водоемов для купания, отдыха, водных видов спорта.

Классификация водохранилищ. Их морфометрические характеристики.

Типы водохранилищ.

- 1) по морфологии ложа: долинные, ложем которых служит часть речной долины (русло, пойма, участки надпойменных террас); котловинные, занимающие части озерных котловин (вместе с озером), изолированные понижения рельефа, искусственные выемки,

- 2) по способу наполнения водой: запрудные, которые создаются путем перегораживания русла (части долины) реки и заполняются ее водами; наливные, которые создаются путем обвалования участка земли или выкапывания углублений с наполнением водой из рядом расположенного водотока или водоема;
- 3) по высоте напора (разнице уровней воды непосредственно выше и ниже плотины) Нпл- высоконапорное ( $\text{Нпл} > 100 \text{ м}$ ), средние - ( $\text{Нпл}$  от 10 до 100 м), низконапорные ( $\text{Нпл} < 10 \text{ м}$ );
- 4) по степени регулирования речного стока - многолетнего, сезонного, недельного и суточного регулирования.

Основные морфометрические характеристики водохранилища такие же, как у озер - объем, площадь, длина, максимальная и средняя глубина и ширина, площадь водосбора (бассейна). Специфическим является выделение технических уровней водохранилища и соответствующих объемов:

Нормальный подпорный уровень (НПУ) - наибольший уровень водохранилища, безопасный при длительном его стоянии для существования гидроузла.

Форсированный подпорный уровень (ФПУ) - уровень допустимого превышения НПУ (обычно на 0,5-1 м) в течение короткого времени.

Уровень мертвого объема (УМО) - наинизший уровень, предусмотренный проектом.

Объем воды между НПО и УМО - полезный объем водохранилища ( $V_{\text{плз}}$ ), а ниже УМО - мертвый объем ( $V_{\text{мерт}}$ ). Полный объем водохранилища  $V_{\text{вдхр}} = V_{\text{плз}} + V_{\text{мерт}}$ .

Верхней (по течению реки) границей водохранилища является место, где на естественное течение реки начинает сказываться влияние подпора от плотины при НПУ. При сработке (снижении) уровня водохранилища до УМО граница влияния подпора смещается вниз по течению реки. Участок между этими границами называется зоной переменного подпора.

Всю акваторию водохранилища называют верхним бьефом плотины, а участок реки ниже плотины, где заметно сказывается его влияние на

температурный режим и русловые процессы в реке, называют нижним бьефом плотины.

Особенности водного баланса и режима водохранилищ.

Уравнение водного баланса водохранилища имеет такой же вид, как для озера. Сток воды из водохранилища, или сброс воды, в отличие от озера, управляемый. Он осуществляется через турбины ГЭС и через специальные водосбросные сооружения ("холостой сброс").

Особенность водного баланса водохранилищ - значительное преобладание над остальными составляющими притока в приходной части и стока - в расходной. Коэффициенты водообмена ( $K_e$ ) и проточности ( $K_{pr}$ ) обычно больше, чем для озер.

Выделяют периоды наполнения водохранилищ (повышения уровня воды) и сработки его (понижение уровня). Наполнение водохранилища сезонного регулирования происходит в многоводные фазы водного режима реки (в средней полосе обычно во время половодья), сработка - в периоды межени. Периоды наполнения в большинстве случаев намного короче, чем периоды сработки. Амплитуда колебаний уровня в водохранилищах, как правило, больше, чем в озерах, а по сравнению с рекой она может быть как больше (при большой разнице между НПУ и УМО для водохранилищ с высокими плотинами), так и меньше.

На водохранилищах с большим коэффициентом проточности хорошо выражены сточные течения в периоды интенсивного сброса воды из них.

Заиление водохранилищ и переформирования их берегов

Заиление водохранилищ - отложение в них наносов. Время (количество лет) полного заиления водохранилища  $t_{заил} = V_{вдхр} / V_n(1-\delta)$ . Здесь  $V_{вдхр}$  - объем водохранилища в  $m^3$ ,  $V_n$  - годовой объем речных наносов (взвешенных и влекомых) в  $m^3$ ,  $\delta$  - доля стока речных наносов, проходящая транзитом через водохранилище;  $V_n = W_n / \rho_{отл}$ , где  $W_n$  - масса наносов в кг,  $\rho_{отл}$  - плотность донных отложений (кг /  $m^3$ ). Величина 5 увеличивается по мере заполнения водохранилища. При полном его заилении  $\delta = 1$ . Малые

водохранилища на реках с большей мутностью (например, в Дагестане) могут быть заполнены наносами в течение нескольких лет. tзаил крупных водохранилищ, созданных на реках с небольшим количеством наносов, измеряется столетиями.

На некоторых водохранилищах важной проблемой становится разрушение их берегов (абразия), происходящее наиболее интенсивно в первые годы после заполнения водохранилищ. За первые десять лет отступление берегов может достигать сотен метров. Факторы способствующие этому процессу - крутой берег, сложенный легкоразмываемыми породами (например, лессами) и сильное волнение (зависящее от скорости ветра и длины разгона). По мере формирования аккумулятивной частцотмели процесс обра-зии затухает.

Влияние водохранилищ на реки и окружающую природу

Влияние водохранилищ на речной сток: 1) уменьшение расходов воды в многоводные фазы и увеличение их в маловодные; 2) уменьшение годового водного стока, особенно существенное в засушливых районах, вследствие увеличения испарения с поверхности водохранилищ по сравнению с испарением с суши; 3) уменьшение мутности реки и увеличение в связи с этим русловой эрозии в нижнем бьефе водохранилища; 4) ослабление перемешивания воды в водохранилище по сравнению с рекой и возникновение стратификации в водной толще по температуре, содержанию газов и другим характеристикам; 5) понижение температуры воды в теплую часть года и ее повышение в позднесенний и зимний периоды; 6) возникновение полыньи в нижнем бьефе, способствующее образованию шуги; 7) более сильное разбавление сточных вод в водохранилище по сравнению с рекой в межень период, в тоже время уменьшение самоочищающей способности вследствие ослабления перемешивания вод и уменьшения их контакта с дном и берегами; 8) "цветение воды", т.е. интенсивное развитие планктона в водохранилищах с последующим его разложением после отмирания и возникновением дефицита кислорода; 9) неблагоприятный газовый режим в водохранилище в первые годы его существования при плохой подготовке

затопляемой территории; 10) затруднение или полная невозможность естественной миграции рыб по речной системе из-за сооружения плотин.

#### Лекция 14

### **Геологическая деятельность ледников. Образование и движение ледников. Типы ледников**

**Ледники** - движущиеся скопления фирна и льда на поверхности суши, образовавшиеся в результате преобразования твердых атмосферных осадков. Способность ледника перемещаться (течь) под влиянием силы тяжести обусловлено **пластичностью** льда.

**Условие образования ледников** — превышение накопления снега над его таянием и испарением.

Граница между территорией, покрытой снегом и свободной от него, называется **снеговой линией**. Ее среднее положение — **климатическая снеговая линия** — определяется температурными условиями и количеством твердых осадков. Высота климатической снеговой линии над уровнем моря: в Антарктиде 0 м, на Земле Франца-Иосифа - 50-100 м, на Кавказе - 2700-3800 м, в экваториальной области - 4500-5200 м, в тропиках - > 6000 м.

Выделяют два основных типа ледников - покровные и горные. **Покровные ледники** занимают сплошным покровом обширные площади на материках и крупных островах. Их продолжение в море - **шельфовые ледники**. Отрывающиеся от них ледяные поля или отдельные глыбы образуют **айсберги**. На долю покровных ледников приходится подавляющая часть земного оледенения. 97% площади покровного оледенения приходится на Антарктиду и Гренландию.

Образование **горных ледников** связано с горными поднятиями. Среди них выделяют **ледники вершин**; **ледники склонов**, занимающие отдельные впадины, кары; **долинные ледники**, располагающиеся в горных долинах, часто имеющие сложную форму. К последней группе относятся самый крупный горный ледник Беринга на Аляске (длина 170 км), а также ледники Федченко на Памире (77км), Южный Иньльчек на Тянь-Шане (60км).

Отдельные горные ледники, соединяясь, образуют **ледниковые системы**. Горные поднятия с наибольшей площадью оледенения (в тыс. км<sup>2</sup>): Гималаи (33), Тянь-Шань (17,9), Каракорум (16,3), Береговые хребты Кордильер Сев. Америки (15,4).

Виды льда в леднике:

**Фирн** - конгломерат бесформенных зерен льда размером 0,5-5 мм. Образуется в результате уплотнения и изменения кристаллической структуры (рекристаллизация) снега. Плотность  $\rho = 450-800 \text{ кг/м}^3$ .

**Глетчерный лед** — результат рекристаллизации фирна при высоком давлении от вышележащих слоев фирна и снега; плотность 800-925 кг/м<sup>3</sup>.

Лед, образующийся путем замерзания талых и дождевых вод, просочившихся в толщу фирна, называется **инфильтрационным**, а на поверхности ледника - **конжеляционным**, или наложенным.

В процессе формирования льда играет роль явление **режеляции** — плавление льда под влиянием большого давления при температуре, близкой к 0°, и заполнение водой пор и трещин. При последующем замерзании происходит спаивание отдельных ледяных кристаллов, кусков льда и замерзших внутриледниковых водных потоков.

Площадь ледника, где происходит накопление массы ледника, называется **областью питания**. Избыток льда под влиянием силы тяжести и градиентов давления смещается в область, где расход льда на таяние и испарение превышает его накопление. Это **область абляции**; у горных ледников ее часто называют **языком** ледника.

На перегибах ложа ледника образуются трещины, иногда ледопады. В теле крупных ледников обычно имеется система взаимосвязанных полостей, частично или целиком заполненных водой.

На поверхности и в толще ледника или вблизи его краев часто встречаются скопления обломочного материала - **морена**. Она подразделяется на влекомую, которая находится в процессе перемещения ее ледником, и **отложенную**, т.е. ранее принесенную ледником. Среди

влекомых морен выделяют **поверхностную** (боковую и срединную), **внутреннюю и придонную**, а среди отложенной морены - **береговую и конечную**.

Уравнение баланса для твердой фазы горного ледника:

$$X_{тв} + Y_{зmrз} + Y_{мет} + Y_{лав} = Y_{тал} + Z_l \pm \Delta U_l,$$

где  $X_{тв}$  - твердые осадки,  $Y_{зmrз}$  - замерзание талых (повторное) и дождевых вод (образование инфильтрационного и конжеляционного льда),  $Y_{мет}$  и  $Y_{лав}$  - поступление на площадь ледника снега в результате его переноса ветром (метелевый перенос) и в виде лавин,  $Y_{тал}$  - таяние льда,  $Z_l$  - испарение льда (возгонка),  $\Delta U_l$  - изменение массы льда. Основным элемент в приходной части баланса -  $X_{тв}$ , в расходной  $F_{м<м}$ . Для малых ледников главным элементом прихода может оказаться  $Y_{мет}$ .

Уравнение баланса для жидкой фазы ледника:

$$X_{ж} + Y_{тал} + Z_{конд} = Y_{ст} + Z_l + Z_v \pm \Delta U_v,$$

где  $X_{ж}$  - жидкие осадки на площадь ледника,  $Y_{ст}$  - сток воды за пределы ледника,  $Z_v$  и  $Z_{конд}$  - соответственно испарение воды и конденсация,  $\Delta U_v$  - изменение запаса жидкой воды в теле ледника.

Суммируя оба вышеприведенных уравнения, получим общее уравнение массы ледника:

$$X + Y_{мет} + Y_{лав} + Z_{субл} + Z_{конд} = Y_{ст} + Z_l + Z_v \pm \Delta U,$$

где  $X = X_{тв} + X_{ж}$ ,  $\pm \Delta U$  - изменение общей массы ледника.

Для покровных ледников, омываемых морями, основной вид расхода льда (до 80%) - образование айсбергов.

**Под режимом ледника** понимают характер изменения его объема (массы) и формы, проявляющийся в наступании и отступании ледника. Эти колебания имеют различную продолжительность геологического, векового, многолетнего, внутригодового масштабов. Наступание ледников наблюдается обычно в холодные и влажные климатические периоды, отступление - в теплые и сухие. Во внутригодовом разрезе это соответственно зима и лето.

**Движение ледника** - перемещение (всегда в одном направлении) самих масс льда. Движение ламинарное. Скорость его ( $v_l$ ) определяется формулой:  $v_l = k \cdot h_l^2 \cdot I_l$ , где  $h_l$  - мощность (толщина) ледника,  $I_l$  - уклон поверхности ледника. Для большинства горных ледников и центральной части покровных ледников  $v_l = 100-200$ м/год, в краевых частях покровных ледников  $v_l$  может достигать 10-20км/год и более.

Доля ледникового питания в речном стоке тем больше, чем больше оледенение бассейна:

оледенение бассейна (%)	15	30	50	70
доля ледникового питания реки	30	45	55	60

#### **Влияние ледников на водный режим рек:**

- многолетнее регулирование стока — в жаркие засушливые годы снижение осадков компенсируется повышенным ледниковым питанием и наоборот;
- сезонное перераспределение стока - перемещение половодья с весеннего сезона на летний;
- возникновение внутрисуточных колебаний стока (на участках рек вблизи ледников).

#### **Понятие климата. Климатообразующие факторы. Погода в циклоне и антициклоне**

Воздушные массы - большие по объему массы воздуха, занимающие пространства, соизмеримые с частями материков и океанов и имеющие одинаковые свойства.

Перемещаясь с течениями общей циркуляции атмосферы, воздушные массы под влиянием подстилающей поверхности постепенно теряют свои свойства, приобретая новые качества, этот процесс называется трансформацией воздушных масс.



Существует две основные классификации воздушных масс: географическая и термодинамическая.

По географической классификации в зависимости от очага формирования воздушные массы делятся на арктические, умеренные, тропические и экваториальные. Кроме того, с учетом подстилающей поверхности они подразделяются на морские и континентальные.

Согласно термодинамической классификации воздушные массы делятся на устойчивые и неустойчивые. Устойчивая воздушная масса всегда бывает теплее подстилающей поверхности. Если теплая воздушная масса сухая, в ней наблюдается малооблачная погода. Совершенно противоположная картина наблюдается во влажной воздушной массе, натекающей на холодную поверхность: дымки, туманы, низкие слоистые облака, морсящие осадки.

Неустойчивая воздушная масса является более холодной, чем подстилающая поверхность. При движении над теплой земной поверхностью или вследствие дневного прогрева солнцем холодная масса прогревается снизу и становится неустойчивой. Происходит увеличение вертикальных градиентов температуры, способствующее развитию конвекции, образуются мощно-кучевые и кучево-дождевые облака, возникают грозы. Грозовая деятельность может сопровождаться выпадением ливневых осадков, усилением ветра. Максимальное развитие кучёво-дождевой облачности и резкое ухудшение видимости при выпадении осадков наблюдаются в послеполуденные часы. К вечеру и ночью погода проясняется, и при достаточной влажности и слабом ветре могут возникать радиационные туманы. В случае сухой и неустойчиво стратифицированной воздушной массы отмечается ясная погода, при местном усилении ветра над поверхностью с незакрепленной почвой появляются пыльные вихри.

Атмосферные фронты – промежуточные, переходные зоны между разнородными воздушными массами в тропосфере.

Зона атмосферных фронтов очень узка по сравнению с разделяемыми ею воздушными массами, поэтому её приближённо рассматривают как поверхность раздела двух воздушных масс разной температуры и называют фронтальной поверхностью. По той же причине на синоптических картах атмосферные фронты изображают в виде линии (линия фронта). Если бы воздушные массы были неподвижны, поверхность атмосферного фронта была бы горизонтальной, с холодным воздухом внизу и тёплым над ним, но поскольку обе массы движутся, она располагается наклонно к земной поверхности, причём холодный воздух лежит в виде очень пологого клина под тёплым. Тангенс угла наклона фронтальной поверхности (наклон фронта) – порядка  $0,01^\circ$ . Размеры атмосферного фронта по горизонтали - от 500 км до 5000 км и более, по вертикали - до высот 5000 – 7000 м.

У земной поверхности атмосферный фронт характеризуется увеличенными горизонтальными градиентами температуры воздуха – в узкой зоне фронта температура резко переходит от значений, свойственных одной воздушной массе, к значениям, свойственным другой, причём изменение иногда превышает  $10^\circ \text{C}$ , меняются во фронтальной зоне также влажность воздуха и его прозрачность.

В передней части циклона главный атмосферный фронт принимает характер тёплого фронта (рис. 1): при его продвижении тёплый воздух занимает место отступающего холодного воздуха. При этом восходящее скольжение тёплого воздуха над очень полой фронтальной поверхностью приводит к образованию перед линией атмосферного фронта облачной системы в несколько сот километров шириной, в которой облачность меняется от тонких и высоких перистых (Ci, Cs, As) в передней части до мощных слоисто-дождевых облаков (Ns) с обложными осадками.

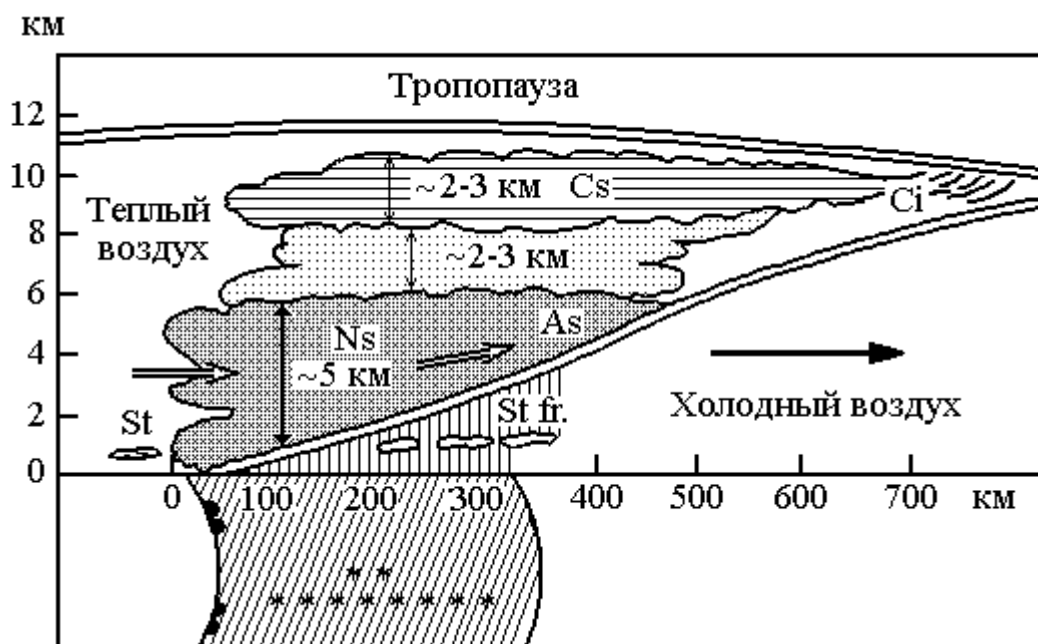


Рис. 1. Схема теплого фронта (вертикальный разрез).

В тыловой части циклона атмосферный фронт принимает характер холодного фронта (рис. 2) с продвижением холодного клина вперёд и с вытеснением тёплого воздуха перед ним в высокие слои тропосферы.

Облачная система холодного фронта не так широка, как тёплого атмосферного фронта, и для неё характерно преобладание или, во всяком случае, наличие кучево-дождевых облаков (Cb), дающих ливневые осадки; перед атмосферным фронтом нередко возникают шквалы и грозы.

Перед линией фронта ветер усиливается и несколько поворачивает влево. За фронтом ветер ослабевает и поворачивает вправо. В барическом поле атмосферные фронты связаны с ложбинами пониженного давления в циклонах; поэтому при прохождении атмосферного фронта происходят соответствующие изменения атмосферного давления и ветра. Над фронтальными поверхностями образуются обширные облачные системы, включающие слоисто-дождевые (Ns), кучево-дождевые (Cb) облака, дающие осадки. Атмосферные фронты перемещаются со скоростью, равной нормальной составляющей к фронту скорости ветра, поэтому

прохождение атмосферного фронта через место наблюдения приводит к быстрому (в течение часов) и подчас резкому изменению важных метеорологических элементов и к изменению всего режима погоды.

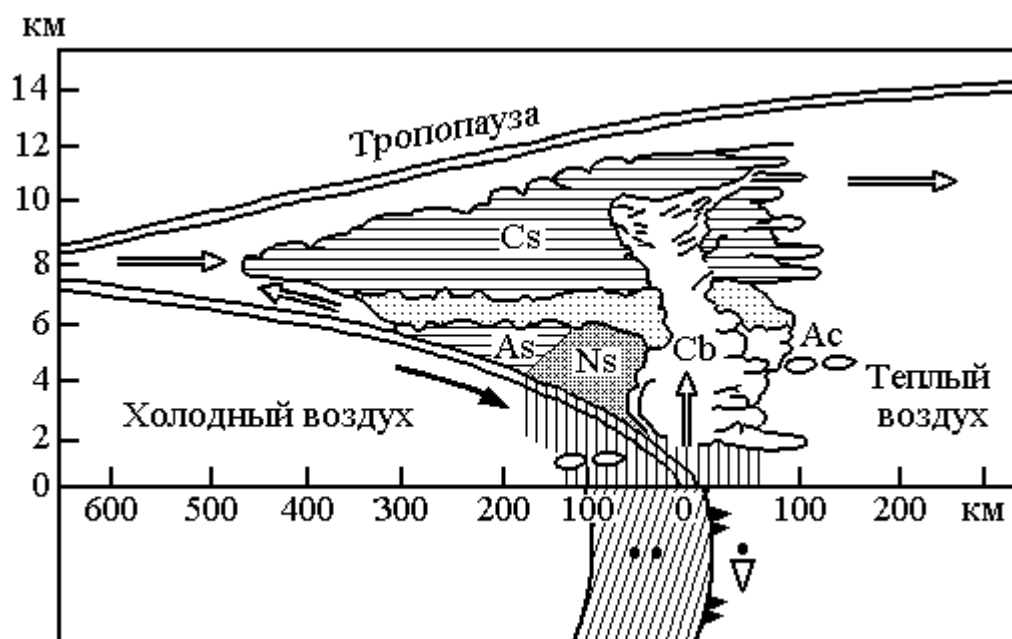


Рис. 2. Схема холодного фронта (вертикальный разрез).

Атмосферные фронты характерны для внетропических широт Земли, в особенности для умеренных широт, где между собой граничат основные воздушные массы тропосферы. Основная причина возникновения атмосферных фронтов - фронтогенез – наличие таких систем движения в тропосфере, которые приводят к сближению (сходимости) масс воздуха, обладающих разной температурой. Первоначально широкая переходная зона между воздушными массами становится при этом резким фронтом. В процессе общей циркуляции атмосферы между воздушными массами разных широтных зон с достаточно большими контрастами температуры возникают длинные (тыс. км), вытянутые преимущественно по широте главные фронты – арктические, антарктические, полярные, на которых происходит образование циклонов и антициклонов.

### **Аэрозоли и их общие свойства**

Исторически, термин "Аэрозоль" был впервые использован английским химиком Ф. Дж. Доннаном в конце 1-й мировой войны для обозначения облаков, состоящих из частиц мышьяковистых соединений, применяющихся как отравляющие вещества немецкими войсками.

В современном понимании аэрозоли представляют собой дисперсные системы с газовой дисперсионной средой и твёрдой или жидкой дисперсионной фазой.

По агрегатному состоянию и размерам частиц дисперсионной фазы, аэрозоли делят на туманы - системы с жидкой дисперсионной фазой (размер частиц 0,1-10 мкм), пыли – системы с твёрдыми частицами размером больше 10 мкм и дымы, размеры твёрдых частиц которых находятся в пределах 0,001-10 мкм. Туманы имеют частицы правильной сферической формы (результат самопроизвольного уменьшения поверхности жидкости), тогда как пыли и дымы содержат твёрдые частицы самой разнообразной формы. К типичным аэрозолям можно отнести туман, состоящий из капелек водяного пара, размер частиц которых в среднем составляет 0,5 мкм, топочный дым (сажа) - 0,1-100 мкм, дождевые облака - 10-100 мкм и др.

Часто возникают смешанные аэрозоли, состоящие из частиц различного происхождения. Таким примером могут служить некоторые виды облаков или туманов. При взрывном разрушении твёрдых тел или при извержении вулкана происходит, как правило, диспергирование вещества и его испарение с последующей конденсацией паров и образованием аэрозолей.

Из источников поставки аэрозолей в атмосферу можно выделить аэрозоли природного происхождения и аэрозоли антропогенного происхождения. К аэрозолям природного происхождения можно отнести аэрозоли вулканического происхождения, облака, туманы, лесные и степные пожары, аэрозоли, образующиеся вследствие эрозии почв, пыльные бури, морские

брызги, космическую пыль, биогенные аэрозоли (пыльца, споры, микроорганизмы и др.). К аэрозолям антропогенного происхождения обычно относят аэрозоли, образующиеся в результате сжигания разнообразных видов топлива, выхлопные газы разных видов транспорта, выбросы промышленных предприятий, распыление инсектицидов и пестицидов, т.е. всё то, что связано с хозяйственной деятельностью человека.

Однако аэрозоли могут образоваться и в самой атмосфере. Так, конденсационные аэрозоли возникают в результате присоединения друг к другу молекул вещества в пересыщенном паре (так называемая гомолитическая нуклеация) или конденсации пара на присутствующих в нём ионах или мельчайших частицах другого вещества - ядрах конденсации (гетеролитическая нуклеация). Аэрозоли могут образоваться в результате фотохимических реакций, при этом образуются жидкие и твёрдые частицы, которые могут служить ядрами конденсации

По размеру частиц аэрозоли можно разделить на 3 группы ( $r$  - радиус частицы): неустойчивые, гигантские частицы ( $r > 10$  мкм), относительно устойчивые, большие частицы ( $r$  от 1 до 10 мкм) и устойчивые, подчиняющиеся законам броунова движения ( $r < 1$  мкм), так называемые ядра Айткена.

Важнейшее свойство аэрозолей – способность частиц сохраняться во взвешенном состоянии, перемещаться преимущественно как единое целое и при столкновении коагулировать друг с другом. В покоящейся среде частицы аэрозоля поддерживаются во взвешенном состоянии в поле гравитации благодаря их собственному тепловому движению. Однако в атмосфере на аэрозоли помимо радиационного температурного прогрева, поля силы тяжести действуют и другие силы. Прежде всего это горизонтальные и вертикальные движения воздуха, называемые ветром. Горизонтальные движения связаны с циркуляцией атмосферы, перемещением барических

образований (циклонов и антициклонов), и есть следствие неодинакового прогрева земной поверхности. Вертикальные смещения связаны с турбулентностью в атмосфере.

Под действием силы тяжести в аэрозольном облаке происходит направленное перемешивание менее плотной фазы вверх (всплывание), а более плотной - вниз (оседание или седиментация). Капли тумана или частицы аэрозоля стремятся под действием силы тяжести осесть. В случае облаков это проявляется в виде дождя или снега.

Очень важное значение в атмосфере имеют особенности электрических свойств аэрозолей. Несмотря на то, что электролитическая диссоциация в газовой среде практически отсутствует, частицы в аэрозолях, тем не менее, имеют электрические заряды. Они их приобретают при столкновении друг с другом или с какой-либо заряженной поверхностью, а также при адсорбции газовых ионов, образующихся при ионизации газа, например, космическими, ультрафиолетовыми, радиоактивными лучами. Так как электрическое равновесие в аэрозолях устанавливается очень медленно, распределение зарядов между частицами является чисто случайным. Частицы одной природы и одинакового размера могут иметь разные заряды, отличающиеся даже по знаку. При столкновении нейтральная частица может получить заряд, а у заряженной частицы он может увеличиться, уменьшиться или нейтрализоваться. Таким образом, заряд частицы постоянно изменяется.

В облаках постоянно наблюдается изменение дисперсности капель воды, вследствие чего происходит оседание частиц по размеру и соответственно по электрическому заряду. В результате нижняя часть облака приобретает отрицательный заряд, а верхняя остаётся заряженной положительно.

Для изучения оптических характеристик аэрозолей (в частности дымов) таких как видимость, прозрачность, поглощение, ослабление и рассеяние

света, аэрозоли можно разделить на 3 основные группы: - слабопоглощающие, грубо- (первая) и мелкодисперсные (вторая), а также сильнопоглощающие (третья). Так, к примеру, к первой группе можно отнести почти все дымы пиролиза (тления), ко второй группе - в основном дымы горения древесины, торфа и т. д., к третьей - нефтяные, резиновые дымы горения ("чёрные" или "коптящие").

### **Загрязняющие вещества и смоги**

Под загрязнением атмосферы понимают неблагоприятное изменение окружающей среды, которое целиком или частично является результатом деятельности человека, прямо или косвенно меняет распределение приходящих уровней радиации, физико-химические свойства среды и условия существования живых организмов. Эти изменения могут влиять на человека непосредственно или через воду и продукты питания. Они также могут воздействовать на человека, влияя на его здоровье, ухудшая свойства используемых им вещей, условия отдыха и работы.

Загрязняющие атмосферу вещества по их воздействию на организм человека подразделяются на *физические* и *химические*. К *физическим* относятся: а) радиоактивные элементы, являющиеся источником ионизирующей радиации; б) тепловое загрязнение (повышение температуры); в) шумы и низкочастотные вибрации (инфразвук). К *химическим* относятся: а) газообразные производные углеводорода и жидкие углеводороды; б) моющие средства; в) пластмассы; г) пестициды и другие синтетические вещества; д) производные серы; е) производные азота; ж) тяжелые металлы; з) соединения фтора; и) твердые примеси; к) органические вещества.

По условиям образования все вещества, загрязняющие атмосферу, делятся на примеси *естественного* и *искусственного (антропогенного)* происхождения.



По составу примеси, поступающие в атмосферу, подразделяются на газообразные, твердые и жидкие. На долю газообразных веществ (оксид углерода, диоксид и другие производные серы, углеводороды, оксиды азота, органические соединения) приходится около 90%, а на долю твердых (пыль, тяжелые металлы, минеральные и органические соединения, радиоактивные вещества) – около 10%; масса жидких примесей (серная кислота) мала по сравнению с массой газообразных и твердых примесей.

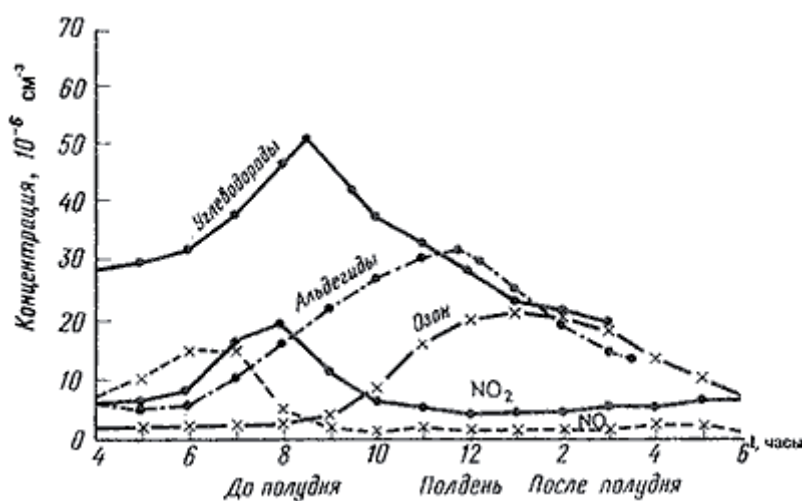


Рис. 4. Средние концентрации загрязняющих веществ в деловой части Лос-Анджелеса в дни, когда наблюдалось сильное раздражение глаз. Данные за 1953 – 1958 гг.

Из графика суточного хода загрязняющих веществ, представленного на рис. 4, видно, что максимум концентрации альдегидов и озона приходится сразу же после максимума концентрации углеводородов и  $\text{NO}_2$  (через 4 - 5 часов). Отсюда можно сделать вывод, что увеличение выбросов в атмосферу несгоревшего топлива ведет к ухудшению экологической ситуации и тем самым является причиной дополнительного накопления тропосферного озона.

### Гидрология болот

Болото - избыточно увлажненный с застойным режимом участок земли, на котором происходит накопление органического вещества в виде неразложившихся остатков растительности. В более узком смысле понятие болота связывают с наличием слоя торфа толщиной  $>30$  см и специфической растительностью.

Болота возникают большей частью путем заболачивания суши, а также путем зарастания озер.

Виды заболачивания суши: затопление и подтопление территории. Затопление может быть вызвано: 1) преобладанием осадков над испарением при отсутствии достаточного дренажа, 2) поступлением поверхностных вод в понижения рельефа. Подтопление связано с повышением уровня грунтовых вод искусственными мероприятиями.

Болота на земном шаре занимают около 2 % суши, а в некоторых районах, например в северной половине Западной Сибири - до 50-60 % территории. Значительное распространение болот на северо-западе РФ, в Полесье (Украина, Белоруссия) и в ряде других районов.

Торфяные болота делятся на три типа.

Низинные болота - образуются в понижения рельефа, обычно приурочены к речным долинам и озерным котловинам, имеют плоскую или вогнутую поверхность, питаются поверхностными и грунтовыми водами с достаточным содержанием биогенных веществ. Слой торфа небольшой. Характерная растительность — ольха, береза, иногда ель, осоки, тростник, рогоз, зеленые мхи.

Верховые болота - образуются на водораздельных пространствах, а также в результате эволюции низинных болот, имеют выпуклую поверхность, питаются атмосферными осадками с малым содержанием биогенных веществ. Отличаются мощным слоем торфа. Растительность - сфагновые мхи, пушица, вереск, сосна.

Переходные болота занимают промежуточное положение между низинными и верховыми.

Вся толща торфа называется торфяной залежью. Ее мощность до 20 см. В залежи выделяют инертный и деятельный слой.

Инертный слой составляет основную часть залежи, водонепроницаем, насыщен водой, доступа кислорода практически нет, водообмен с вышележащими слоями очень слабый.

Деятельный слой толщиной 0,4-1 м находится над инертным, имеет некоторый водообмен с атмосферой и прилегающей к болоту территорией, более высокую водопроницаемость и водоотдачу; в течение некоторого времени оказывается выше уровня грунтовых вод и тогда в поры торфа поступает кислород, который вместе с аэробными бактериями обуславливает частичное разложение отмирающих растений; в верхней части слоя развивается живой растительный покров.

Элементы рельефа болота: гряды - вытянутые в длину повышенные участки болота, мочажины — сильно обводненные понижения между грядами, бугры — повышения до нескольких метров, связанные с морозным выпучиванием, кочки — небольшие повышения, вызванные неравномерным распределением растительного покрова.

Гидрографическая сеть в пределах болот включает озера до 10 км<sup>2</sup> и глубиной до 10м, мелкие озёрки, речки и ручьи с торфяными берегами, топи, т.е. сильно переувлажненные участки с разжиженной торфяной залежью.

Вследствие повышенного испарения болота уменьшают среднюю величину стока и тем больше, чем засушливее климат. С другой стороны снижение уровня грунтовых вод при осушении болот может привести к пересыханию малых рек. На более крупных реках с большей глубиной вреза уменьшения меженного стока обычно не происходит.

Отличие водного баланса болота от озера:

- 1) для верховых болот поверхностный и подземный сток равен нулю;
- 2) в расходной части роль испарения в большинстве случаев больше, чем для озёр.

**Изучение морфологических признаков и описание профиля почв:  
Строение почвы. Мощность почвы и отдельных ее горизонтов.  
Структура. Сложение. Новообразования и включения. Описание  
монолита**

Почвы очень важный природный ресурс.

Причины сокращения площадей пахотных угодий

- Эрозии;
- Засоление почв (в жарких странах солёные почвы);
- Затопление (превращение территорий в болото);
- Карьеры;
- Опустынивание;
- Радиоактивное загрязнение;
- Химическое загрязнение.

Функции почвы.

- Без почв невозможна жизнь на земле (продуцентам негде расти);
- Почва — центр образования биомассы и видообразования живых организмов;
- С появлением почвы и на ней живых организмов возникает жизнь в атмосфере;
- Осуществляется связь между биогенными и абиогенными компонентами живой и неживой природы, чем достигается целостность биосферы;
- Почва — регулятор окислительно-восстановительного потенциала;
- Без почвы невозможна минерализация органического мёртвого вещества, образующегося в результате отмирания растений и животных;
- Почва – жилищное пространство для расселения человека и животных ;
- Опорная функция (растения и животные сохраняют вертикальное положение);
- Почва – источник пищи для растений и человека через них;
- Почва обладает поглощающей способностью. Благодаря этому в ней удерживаются элементы пищи растений;

- Информационная функция (сама почва информирует человека о своём происхождении);
- Почва обладает буферностью и защитным экраном. Она регулирует силу ветра, температуру, водный режим и другие климатические показатели. Регулирует потоки химических элементов в различных условиях;
- Регулятор стока воды. выпадающие осадки не полностью стекают в связи с особенностями рельефа, а частично впитываются почвой;
- Почва — источник вещества для образования минералов (первичных, вторичных, осадочных);
- Почва способна накапливать различные полезные ископаемые (руды, торф, уголь);
- Почва — регулятор газового состояния атмосферы (приземный слой почвы). Дыхание почвы;
- В почву возвращается часть азота и углекислого газа путём усвоения этих веществ почвенными микроорганизмами;
- Почва поглощает и отражает солнечную радиацию. Благодаря этому формируется энергетика нижних слоёв атмосферы, что способствует возникновению природных зон;
- Почва — источник твёрдого вещества;
- Влияет на круговорот воды на земном шаре:
  - А) Трансформирует атмосферные осадки в почвенные грунтовые воды;
  - Б) Воды имеют определённый химизм (от различного содержания химических веществ
  - В) Влияет на формирование речного стока;
  - Г) Почва — фактор биопродуктивности водоёмов и водотоков;
- Средство сельскохозяйственного производства, объект труда и условие существования человека.

#### Особенности почвы

Почва — живое тело, напоминающее по своему сложению губку.

Почва населена живыми организмами, чего нет в геологической породе.

Почва очень неоднородна по составу.

Почва однотипна в пределах одинаковых форм рельефа.

Почва всегда связана с факторами почвообразования и с географической средой.

Почва характеризуется специфическими свойствами (физ/хим).

Почва изменяется во времени.

Почва обладает плодородием.

Происхождение почвы

Почва образуется из горной породы в результате выветривания и почвообразования. Все горные породы, прежде чем стать почвой, подвергаются выветриванию, при этом горная порода превращается в мелко раздробленную массу, обладающую способностью впитывать и удерживать питательные вещества, воду, воздух. Таким образом, горная порода становилась благоприятной средой для поселения микроорганизмов, низших растений.

Простые разрушительные процессы+выветривание+биохимическое разрушение=почвообразование.

Появление растений резко меняет направление процесса миграции различных продуктов. Микроорганизмы захватывали нужные им соли, тем самым фиксируя их и не давая вымыться им из «почвы». В конце жизненного цикла растения отмирают и минерализуются, служа пищей микроорганизмам (малый круговорот), а те переводят его органику в минералы, которыми могут питаться следующие поколения растений. Каждое новое поколение какой-либо формы жизни приводит к накоплению элементов почвенного плодородия

### **Виды выветривания**

Выветривание — механическое разрушение и химическое изменение горных пород и минералов, протекает в верхних горизонтах горных пород (в коре выветривания).

Механическое выветривание — механическое разрушение пород без изменения химического состава.

Химическое выветривание — химическое изменение пород и минералов. Химическое выветривание более полезно, потому что образуются вторичные минералы, а также химические соединения, которые придают породе следующие свойства: связность, влагоёмкость, поглонительную способность. Всё это создаёт благоприятные условия для жизни микроорганизмов.

Биологическое выветривание — перераспределение химических элементов по типу биогенной аккумуляции. В результате физико-химического взаимодействия элементы питания переходят в раствор и становятся доступными для растений. Схема большого геологического круговорота: осадки—растворение—вынос в море—выход на поверхность осадочных отложений. Отсутствие биологического выветривания не допускает существования живых организмов. Химическое и физическое выветривание готовит почву для биологического выветривания. С момента действия биологического выветривания начинается малый биологический круговорот веществ: поступление из горной породы и атмосферы питательных элементов в живые организмы, малый биокруговорот синтезирует органику, возвращение химических элементов в почву с ежегодным опадом органического вещества. Биокруговорот связан с минерализацией мёртвого органического вещества в почве, в результате происходит накопление гумуса и минеральных макро- и микроэлементов, которые служат для формирования живых организмов. Биокруговорот веществ связан с развитием специфического почвообразовательного процесса, который носит название дёрнового процесса. Растительность, как лесная так и травянистая, ежегодно частично или полностью отмирает к концу вегетации. Мёртвая органика частично или полностью минерализуется, высвобождая гумус и минеральные элементы. Они служат питанием для других растений, которые, закончив свой цикл, тоже станут кормом. За счёт дёрнового процесса существует жизнь на Земле.

## Почвообразовательный процесс

— Совокупность явлений превращения и передвижения вещества и энергии, протекающих в почвенной толще под воздействием живых организмов.

Наиболее важные слагаемые:

- Создание органического вещества и его разрушение;
- Аккумуляция органического и неорганического вещества в верхних горизонтах почвы и их вынос;
- Синтез и распад минералов;
- Поступление воды в почву и возврат её в атмосферу;
- Поглощение почвой лучистой энергии солнца и её излучение.

Три стадии почвообразования: Первичный процесс почвообразования совпадает с началом функционирования первых биогеоценозов на различных породах. На этой стадии круговорот характеризуется небольшим объёмом, вызванным низкой продуктивностью биогеоценозов. Помимо синтеза органики на начальных стадиях почвообразовательного процесса протекают процессы и небиологической природы (растворение, испарение) в результате осуществляется перенос различных веществ. Такие процессы называют микропроцессами. Постепенно они начинают преобразовываться и согласовываться во времени и пространстве. В результате начинают формироваться верхние горизонты почв, что является началом второй стадии (мезопроцесс). К ним относят оподзаливание, торфообразование, аструктурирование. В результате этих процессов в почве появляются новые соединения, которых не было в материнской породе (горной). Далее идёт макропроцесс. Он ведёт к формированию почвенных типов, а не отдельных горизонтов. Типы почв: краснозём, чернозём, подзолистая, солончак, дёрн, болото. Макропроцесс протекает при обязательном участии зелени. На основе этих процессов происходит эволюция почв. Эволюция почв — изменения почвы от начала до наших дней. В естественных условиях идёт очень медленно, но под воздействием антропогенного фактора быстрее.

### Факторы почвообразования



Факторы, при которых формируется почва — факторы почвообразования.

К факторам почвообразования относят: рельеф, климат, растительный и животный мир почв, почвообразовательная порода, возраст почвы, вода, антропогенез.

Материнская порода является минеральным субстратом для почвы, от которого зависит механический, минералогический и химический состав почвы, её физические свойства, которые в процессе формирования почвы претерпевают существенные изменения. По генезису породы делятся на категории: элювиальные (продукты выветривания осадочных пород), делювиальные, пролювиальные, аллювиальные (откладываются рекой в период разлива), озёрные, ледниковые, водно-ледниковые, озёрно-ледниковые, золовые. Породы могут быть разного механического состава. По химическому составу почвы делят на карбонатные и безкарбонатные, известково-меловые и засоленные. Они по-разному влияют на ход окислительно-восстановительных процессов, также имеют разный pH: кислые, нейтральные, щелочные. По механическому составу делятся на пески, супесчаные, суглинистые, глинистые, лесовидные. Могут быть меловые и торфяные.

Факторы почвообразования:

**КЛИМАТ.** Участие климата проявляется в воздействии на почву и заселяющих её организмов, выпадением осадков, газов атмосферы (воздействие), солнечной радиации. Климат оказывает прямое воздействие на увлажнение почвы, её температурный режим. Он может оказать косвенное влияние на скорость процессов почвообразования. От климата зависит разнообразие растений и живности. Различные климаты характеризуются различными почвами.

**БИОЛОГИЯ.** Этот фактор включает воздействие микроорганизмов, растений, животных. Особенно велика роль растений, от них зависит скорость почвообразовательных процессов и формирование типов почв. При прочих

равных условиях но разной растительности почвы будут разные: хвоя подзолистая, смешанный-дёрново-подз, луг-дёрн.

**РЕЛЬЕФ.** Влияет на распределение влаги, вещества и энергии в почве, на разные элементы рельефа поступает неодинаковое количество тепла, минеральных веществ, воды. Всё это влияет на особенности формирующихся почв. Влияние рельефа связано с количеством поступающего на поверхность почвы света, тепла и влаги. При неровном рельефе разные участки поверхности земли получают на единицу площади неодинаковое количество влаги, тепла, света. На степень освещения и нагрева почв влияет угол уклона рельефа, экспозиция уклона, крутизна (на южном склоне местности больше тепла, чем на северном). Рельеф перераспределяет полученную из атмосферы воду. Больше всего воды поступает в низинную часть рельефа. Все поднятия на земле – положительные элементы рельефа, на них меньше всего влаги. Это связано со стоком вод к подножью. Рельеф влияет на почвообразовательные породы. Как правило сверху находится грубая механическая порода (валуны, камень, гравий), снизу более мелкий и тонкий механический состав (суглинки, лёсы). Положительные элементы рельефа не участвуют в процессах почвообразования путём грунтовых вод, а отрицательные участвуют. Кроме + и – следует отметить: макро-, мезо- и микрорельефы (высоты территорий по отношению к уровню моря). Макро – десятки метров, мезо – метр и ниже, микро – сантиметры. Если поверхность изрезана рельефом, то почва пёстрая (Беларусь).

**ВОЗРАСТ** — время, прошедшее с момента зарождения почвообразовательного процесса до наших дней. Поверхность суши юга освободилась ото льдов раньше, чем севера (возраст южных больше). Есть молодые (скалистые породы, тундра), средние и старые почвы.

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА:** обработка почв, возделывание, осушение, обводнение, удобрение, облесение. Вся деятельность человека связана с социальным развитием общества. Важный фактор, влияющий на почвообразовательные процессы.



Строение почвенных горизонтов зависит от географического положения и совокупности факторов почвообразования в данном конкретном месте. Мощность зависит от местоположения самой почвенной зоны: в тундре — 20-30см, в дёр-подз до 2.5, чернозём более 3м. Окраска зависит от направления почвообразовательных процессов и в ряде случаев служит основанием для отнесения почвы к тому или иному типу. Цвет зависит от веществ, которые накапливаются в процессе почвообразования. Наиболее важными для окраски почв являются 3 группы соединений: гумус — чёрный, железо — красный и голубой,  $\text{Si} + \text{CaCO}_3 + \text{H}_4\text{SiO}_3$  — белый цвет. Наиболее характерен чёрный цвет. Гумус образуется в результате дернового процесса (смешанный лес, трава (дёрн)). Чистый дёрн может формироваться под дубом, грабом, ясенем (дёрново-бурозёмный процесс). Гумус имеет консистенцию дёгтя, всё, что контактирует с ним, окрашивается в чёрный цвет. Все верхние горизонты наших почв окрашены в чёрный (6-8%) цвет. Выделяют также и производные этого цвета: тёмно серый (5%), светло-серый (1-3%), серый (4%). Окрашивание зависит от количественного содержания гумуса. Белый цвет обусловлен подзолистым процессом.

Ход процесса:

- а) Хвойный тенистый лес;
- б) Кислый хвойный опад, лесная подстилка;
- в) Промывной водный режим, преобладание осадков над испарением;
- г) Минерализация кислого хвойного опада;
- д) Высвобождение из мёртвого неорганического вещества минеральных элементов, а из мёртвой органики органических кислот (яблочная, щавелевая, муравьиная);
- е) Разрушение органическими кислотами минеральной части почвы или её твёрдой фазы;
- ж) Вынос минеральных элементов, образовавшихся в результате разрушения твёрдой фазы почвы в ниже лежащих горизонтах. В связи с выносом в нижние горизонты верха осветляются до приближения к белому цвету;

производные: жёлтый, светло-жёлтый, палевый цвет. Осветление происходит в горизонте А2. Интенсивность окраски зависит от протекания подзолистых процессов: чем они сильнее, тем ближе окраска к белёсому цвету. Выделяют: сильный (белёдые), средний (жёлтые), слабый (палевый) подзолистые процессы. Также белый цвет почв может обуславливаться карбонатным процессом. Где много кальция, там и карбонатный процесс. (это круто)

Красный цвет даёт много оттенков: бурый, светло-, тёмнооранжевые, каштановый и др.

Голубой цвет — болотный процесс. Производные: синий, светло-, тёмно-, просто голубой, фиолетовый. Оттенок связан с интенсивностью процесса.

Параметры, отвечающие за процесс:

1. Постоянный избыток влаги;
2. Как следствие первого анаэробные условия;
3. Деятельность анаэробных микроорганизмов, под их воздействие железо (красное) окисляется в железо синее. Горизонты, имеющие синий оттенок — глеевые. Почва эта фигня, а торф, как следствие, хорошо. Быстрая минерализация торфа приводит к истощению и смерти плодородной почвы.

## СТРУКТУРА ПОЧВ

Способность почв распадаться на отдельные агрегаты различной формы и размеров при механическом воздействии — структура почв. Для изучения почвы раскрывают почвенный разрез. Ступенчатая яма 40...120см. На одну из сторон поочерёдно складывают почвенные слои. Ступеньки для определения мощности почвы. Также для изучения применяют аэрофотосъёмку (основной показатель растительность). Структура почв делится на типы и подтипы. Кубовидная, призмовидная и кубовидная почва. От структуры зависит режим почвы (водный, воздушный, тепловой, питательный). Самая оптимальная структура — кубовидная. Очень хорошо проницаема. Главное — это правильная обработка. Для улучшения надо сеять траву (почва становится более плодородной в результате дернового процесса), удобрять почву, соблюдать севообороты.

## СЛОЖЕНИЕ

Это плотность почвы. Она бывает: рыхлая, уплотнённая, очень плотная, сцементированная. Этот параметр изучается для улучшения развития растительности. Самое оптимальное это уплотнённое сложение, при этом растения без труда проникают в почву и удерживаются в ней. Самое оптимальное сложение у почв лёгкого суглинистого состава.

## НОВООБРАЗОВАНИЯ И ВКЛЮЧЕНИЯ

Включения — механически внесённые в почву предметы, не принимавшие участия в почвообразовании. Новообразования — скопление химических соединений в какой-либо части почвы. Они принимают непосредственное участие в процессе почвообразования. Часто по новообразованиям устанавливают почвообразовательный процесс. По составу новообразования делятся на органические и минеральные соединения.

## ВЛАЖНОСТЬ

Измеряется в процентах, делится на абсолютную (вся влага почвы) и относительную (процент от общей влажности почвы). Регуляция почвенного режима: либо осушение либо орошение.

## ПРОНИЗАННОСТЬ КОРНЯМИ

Показывает, до какой глубины развиваются корни, каких растений.

## МЕХАНИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Самый важный морфологический показатель — это содержание в почве частичек разного размера. Твёрдые частички различного состава называются элементами механического состава. Совокупность элементов одиночного разреза составляет фракцию. Частички делятся на крупнозём (более одного мм) и мелкозём (менее одного мм), физический глина  $<0,01$  мм, а больше — физический песок. Если в почве содержится менее 5% глины и 95% физического песка — рыхлый песок, 5-10% глины — связный песок, 10-15% — супесь рыхлая, 15-20% — супесь связная, 20-30% — суглинок лёгкий, 30-40% — средний, 40-50% — тяжёлый, 50-65% — глина лёгкая, 65-80% — глина средняя, более 80% — глина тяжёлая. От механического состава почвы

зависят её физические, физико-механические, водные свойства; пористость, влагоёмкость, проницаемость, способность к образованию структур, тепловой, воздушный, питательный режимы. На разных почвах применяются разные мероприятия. Глинистые почвы впитывают много влаги и плохо испаряют её. Они очень плотные, тяжёлые и холодные. Они позже поспевают для обработки. На них применяется специальная система земледелия. Песчаные почвы испаряют, хорошо пропускают, легко вспахиваются, посевы производят раньше. Они бедны питательными элементами. Переход одного горизонта в другой: плавный, резкий, ровный, с затёками.

### ФАЗЫ ПОЧВ

Состав и свойства твёрдой фазы. Твёрдая фаза занимает 60% от общего объёма почвы в нормальных условиях. В состав твёрдой фазы входят минеральные и органические вещества. Минеральная часть почвы складывается минералами. По происхождению они бывают первичные и вторичные. По химическому составу большинство минералов первичных представлено кислородными соединениями: оксиды железа и кремния, шпат, слюда, фосфат, сульфид. Органика делится на первичную (отмершие растения и почвенную фауну) и вторичную. В тундре образуется 1-2т/га 1-ой органики, в тропиках 35-40т/га, под пропашными 2-3т/га, под многолетними травами 7-10т/га. В органической части твёрдой фазы выделяют слаборазложившиеся остатки и грубый гумус (видно под микроскопом), остатки растений, пыль – совсем ничего не видно – вещество аморфного состояния. Органическая часть поступает в почву с надземными частями растений, также при отмирании микроорганизмов и животных, обитающих в почве. Особенно большое количество поступает с корнями растений. В разных широтах по-разному: в холодных зонах 10 цга, во влажных субтропиках до 250цга. В состав органики входят жиры, воск, целлюлоза, смолы, гемицеллюлоза, растворённые углеводороды, лигнин и органические кислоты (янтарная, щавелевая, бензойная). В органических остатках присутствуют зольные элементы пищи растений (CaKMgPFeSAlMn). Органические вещества в

почве претерпевают ряд превращений, что связано с их минерализацией и формированием новых высокомолекулярных органических соединений – гумусовых веществ, наличие гумуса и его качественный состав зависит от факторов почвообразования самих почв. Почвенный гумус постоянно обновляется за счёт минерализации органического вещества. К твёрдой фазе почвы относят твёрдые частички, коллоиды, диаметр которых в пределах  $0,0001\text{мм}$ . Они видны под микроскопом. В почве накапливаются минеральные и органические коллоиды. Коллоидные р-ры обеспечивают химические и физические явления. Коллоиды обладают рядом особенностей: способность к поглощению веществ из почвенных р-ров, причём поглощение может осуществляться в молекулярном и ионном виде. Вещества, находящиеся в коллоиде, способны замещаться на находящиеся в растворе. Присутствие коллоидов обуславливает обменную и поглотительную способность почвы. Различают физическое поглощение (целые молекулы) и физико-химическое (обменные реакции катионов и анионов). Между твёрдой и жидкой фазой идёт постоянный обмен. Коллоиды могут быть разнообразными: + (базоиды), - (ацидоиды), нейтр. (амфолитоиды). Вследствие малых размеров коллоиды образуют огромную суммарную поверхность:  $1\text{см}^3 = 1\text{га}$ . Коллоид имеет сложное строение: в центре ядро – потенциалопределяющий ион, компенсирующие ионы, диффузный слой. Поглотительной способностью почв занимался Гедройц.

Поглотительная способность почвы

— способность поглощать или задерживать в себе газы, жидкости, солевые растворы, а так же твёрдые частички удерживать. Гедройц разработал учение о поглотительной способности почвы, он объединил фракции (менее  $0,0001\text{мм}$ ) и назвал их поглотительным комплексом почвы. Он выделил 5 видов поглотительной способности почв: механическое поглощение (обусловлено пористостью почвенных масс, величина зависит от гранулометрического состояния почвы, а также от её сложения; сам процесс – это изменение концентрации растворённого в почве вещества,



поглощаемые вещества должны носить электрозаряд, также способность анионов давать с катионами нерастворимые соли, выпадающие в осадок), физическое, химическое, физико-химическое, биологическое (закрепление отдельных веществ в животных, растениях, микроорганизмах, они способны накапливать органику и минеральные вещества, способствуя плодородию почвы. Коллоиды определяют режимы питания, водный, воздушный, тепловой. От коллоидов зависит деятельность микроорганизмов и развитие с/х растений.).