

**Выветривание**

- Под **выветриванием** понимается **совокупность физических, химических и биохимических процессов преобразования горных пород и слагающих их минералов в приповерхностной части земной коры.**
- Факторы:
  - - колебание температуры;
  - - химическое воздействие воды и газов – углекислоты и кислорода (находящихся в атмосфере и в растворенном состоянии в воде);
  - - воздействие органических веществ, образующихся при жизни растений и

- Таким образом, процессы выветривания тесно связаны с взаимодействием приповерхностной части земной коры с атмосферой, гидросферой и биосферой.
- Процесс выветривания зависит от
  - климата,
  - рельефа,
  - органического мира,
  - времени.
- Разнообразные сочетания перечисленных факторов обуславливают сложность и многообразие хода выветривания.

- Часть земной коры, в которой происходит преобразование минерального вещества, называется *зоной выветривания* или *зоной гипергенеза* (от греч. "гипер" - над, сверху).

- Особенно **велика роль климата.**
- Причем наибольшее значение имеют
- температура и
- степень увлажнения (водный режим).
  
- В зависимости от преобладания тех или иных факторов в едином и сложном процессе выветривания условно выделяются два взаимосвязанных типа:
- **физическое выветривание**
- **химическое выветривание**

- В процессе **физического выветривания** наибольшее значение имеет *температурное выветривание*, которое связано с суточными и сезонными колебаниями температуры,
- что вызывает то нагревание, то охлаждение поверхностной части горных пород.

Вследствие резкого различия у разных минералов

- *теплопроводности,*
- *коэффициентов теплового расширения и сжатия,*
- *анизотропии тепловых свойств,*

возникают определенные напряжения.

- Особенно ярко это выражено в многоминеральных магматических и метаморфических породах (гранитах, сиенитах, габбро, гнейсах, кристаллических сланцах и др.), образовавшихся в глубинах Земли в специфической термодинамической обстановке, в условиях высоких температур и давлений.
- При выходе на поверхность такие породы оказываются малоустойчивыми, так как коэффициент расширения разных породообразующих минералов неодинаков.

- Например, гранит (ортоклаз, альбит и кварц).
- Коэффициент объемного расширения ортоклаза, например, в три раза меньше, чем у альбита, и в два раза меньше, чем у кварца.
- Кроме того, коэффициент расширения даже у одного и того же пороодообразующего минерала неодинаков по разным кристаллооптическим осям, как, например, у кристаллов кварца и кальцита,
- что приводит при колебаниях температуры к возникновению местных напряжений и разрушению одноминеральных горных пород, таких, как мраморы, известняки, кварцевые песчаники и др.



- Большие различия коэффициента "расширение – сжатие" породообразующих минералов при длительном воздействии колебаний температуры приводят к тому, что взаимное сцепление отдельных минеральных зерен нарушается,
- образуются трещины и в конце концов происходит дезинтеграция горных пород, их распад на отдельные обломки различной размерности (глыбы, щебень, песок и др.).
- Дезинтеграции горных пород, возможно, способствуют также конденсация и адсорбция (от лат. "ад" - при, "сорбере" - глотать) водяных паров и пленок на стенках возникающих **трещин**.

- Процесс температурного выветривания особенно характерен для аридных и нивальных ландшафтов с континентальным климатом и непромывным типом режима увлажнения.
- Особенно наглядно это проявляется в областях пустынь, где количество выпадающих атмосферных осадков находится в пределах 100-250 мм/год и наблюдается резкая амплитуда суточных температур на незащищенной растительностью поверхности горных пород.
- В этих условиях минералы, особенно темноцветные, нагреваются до температур, превышающих температуру воздуха.



В пустынях наблюдается шелушение, или *десквамация* (лат. "десквамаре" - снимать чешую), когда от гладкой поверхности горных пород при значительных колебаниях температур отслаиваются чешуи или толстые пластины, параллельные поверхности.

- В жарких пустынных областях механическая дезинтеграция горных пород осуществляются также ростом кристаллов солей, образующихся из вод, которые попадают в капиллярные трещины в виде растворов.
- При сильном нагревании вода испаряется, а соли, содержащиеся в ней, кристаллизуются, в результате увеличивается давление, капиллярные трещины расширяются, что способствует нарушению монолитности горной породы.

- Температурное выветривание весьма активно протекает также на вершинах и склонах гор не покрытых снегом и льдом, где воздух прозрачный.
- Более или менее выровненные поверхности гор нередко бывают покрыты глыбово-щебнистыми продуктами выветривания.
- В то же время на горных склонах наряду с выветриванием развиваются различные гравитационные процессы: обвалы, камнепад, осыпи, оползни (*коллювий*).

- Интенсивное физическое выветривание происходит в районах с суровыми климатическими условиями (в полярных и субполярных странах).
- В этих условиях выветривание связано главным образом с расклинивающим действием замерзающей воды в трещинах.
- Температурные колебания поверхностных горизонтов горных пород, особенно сильное переохлаждение, зимой, приводят к объемно-градиентному напряжению и образованию морозобойных трещин, которые в дальнейшем разрабатываются замерзающей в них водой.



Скала Труба дьявола в Великобритании – сочетание морозного и ветрового воздействия.

- Известно, что вода при замерзании увеличивается в объеме более чем на 9%.
- В результате развивается давление на стенки крупных трещин, вызывающее большое расклинивающее напряжение, раздробление горных пород и образование преимущественно глыбового материала.
- Такое выветривание иногда называют *морозным*.
-



- Расклинивающее воздействие на горные породы оказывает также корневая система растущих деревьев.
- Механическую работу производят и разнообразные роющие животные.
- Чисто физическое выветривание приводит к раздроблению горных пород, к механическому разрушению без изменения их минералогического и химического состава.

# ХИМИЧЕСКОЕ ВЫВЕТРИВАНИЕ

- Одновременно с физическим выветриванием в областях с промывным типом режима увлажнения происходят и процессы химического изменения с образованием новых минералов.
- Макротрещины способствует проникновению воды и газа и, кроме того, увеличивает реакционную поверхность выветривающихся пород.
- Это создает условия для активизации *химических и биогеохимических реакций*.

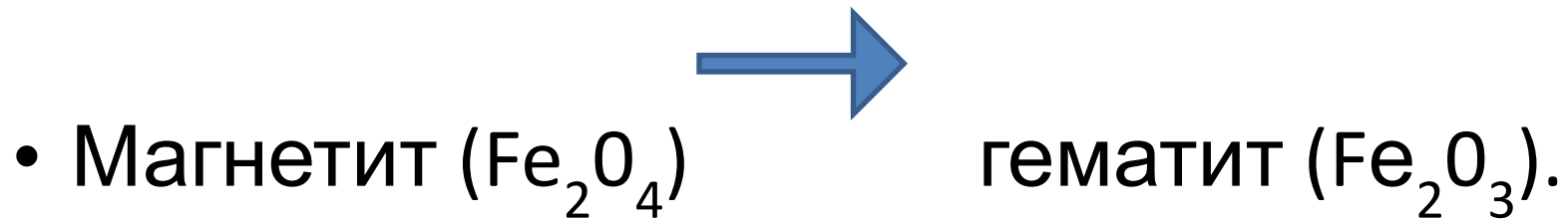
- степень увлажненности обуславливают миграцию наиболее подвижных химических компонентов.
- Тропические зоны – сочетаются высокая увлажненность, высокая температура и богатая лесная растительность.
- Масса отмирающего органического вещества преобразуется, перерабатывается микроорганизмами, возникают агрессивные органические кислоты (растворы).
- Кислые растворы способствуют химическому преобразованию горных пород, извлечению из кристаллических решеток минералов катионов и вовлечению их в миграцию.

- В. И. Вернадский о роли *биосферы* в геологических процессах.
- В. И. Вернадский ввел понятие о "живом веществе» как аккумуляторе и перераспределителе Солнечной энергии.
- Он писал: "Захватывая энергию Солнца, живое вещество создает химические соединения, при распадении которых эта энергия освобождается в форме, могущей производить химическую работу";

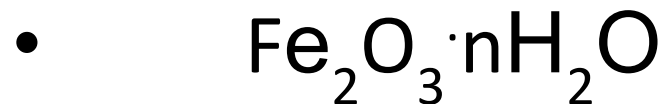
- Разрушительную работу начинают бактерии. Они подготавливают почву для появления грибов, лишайников, мхов и других растений.
- Организмы поглощают химические элементы как питательные вещества, а органические кислоты и  $\text{CO}_2$  образующиеся при разложении органического вещества, способствуют процессам растворения и гидролиза.
- Корни древесных растений, животные

- окисление,
- гидратация,
- Растворение
- гидролиз.

- **Окисление** особенно интенсивно протекает в минералах, содержащих железо.



- Интенсивному окислению (часто совместно с гидратацией) подвергаются сульфиды железа:



- На некоторых месторождениях сульфидных и других железных руд наблюдаются "бурожелезняковые шляпы", состоящие из окисленных и гидратированных продуктов выветривания.
- Воздух и вода разрушают железистые силикаты и превращают двухвалентное железо в трехвалентное.



# Гидратация.

- происходит закрепление молекул воды на поверхности отдельных участков кристаллической структуры минерала.
- Например, переход ангидрита в гипс:
- $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- $\text{FeO}(\text{OH}) + n\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{FeO}(\text{H}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .
- 
- Процесс гидратации наблюдается и в более сложных минералах – силикатах.

# Растворение.

- происходит под действием воды, стекающей по поверхности горных пород и просачивающейся через трещины и поры в глубину.
- Ускорению процессов растворения способствуют высокая концентрация водородных ионов и содержание в воде  $O_2$ ,  $CO_2$  и органических кислот.

- Наилучшей растворимостью обладают хлориды – галит, сильвин и др.
- На втором месте – сульфаты – ангидрит и гипс.
- На третьем месте карбонаты – известняки и доломиты.
- Образование различных карстовых *форм* на поверхности и в глубине.

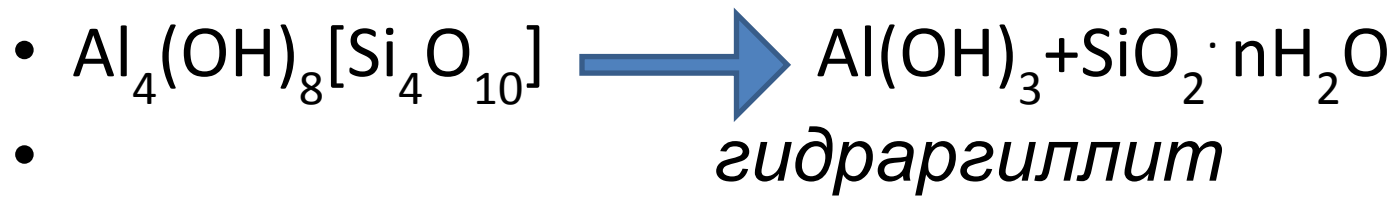
# Гидролиз.

- Кристаллическая структура минералов разрушается благодаря действию воды и растворенных в ней ионов и заменяется новой (существенно отличной от первоначальной) структурой, присущей вновь образованным гипергенным минералам.

- 1) каркасная структура полевых шпатов превращается в слоистую, свойственную глинистым минералам;
- 2) вынос из кристаллической решетки полевых шпатов растворимых соединений сильных оснований (K, Na, Ca)
- взаимодействуя с  $\text{CO}_2$  они образуют истинные растворы бикарбонатов и карбонатов ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ).
- В условиях промывного режима карбонаты и бикарбонаты выносятся за пределы места их образования.
- В условиях сухого климата карбонаты и бикарбонаты остаются на месте, образуя местами

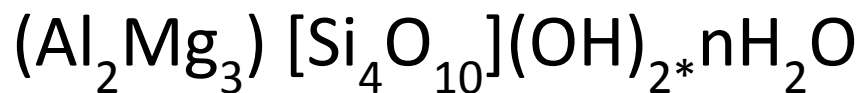


- В умеренных климатических зонах каолинит устойчив и в результате накопления его в процессах выветривания образуются месторождения каолина.
- В условиях влажного тропического климата может происходить дальнейшее разложение каолинита до свободных окислов и гидроокислов:



- формируются окислы и гидроокислы алюминия, являющиеся составной частью алюминиевой руды – *бокситов*

- При выветривании основных пород и особенно вулканических туфов, наряду с гидрослюдами широко развиты *монтмориллониты*



- и его высокоглиноземистый аналог *бейделлит*  
 $Al_2(OH)_2[AlSi_3O_{10}]nH_2O$ .

- При выветривании ультраосновных пород образуются железистые монтмориллониты (*нонtronиты*)  $(FeAl_2)[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ .

- В условиях значительного атмосферного увлажнения происходит разрушение нонtronита, при этом образуются окислы и гидроокислы железа (явление обохривания нонtronитов) и алюминия



# КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ

- В результате единого взаимосвязанного процесса физического, химического и хемобиогенного разрушения горных пород образуются и накапливаются различные продукты выветривания.
- **Элювий** - продукты выветривания, остающиеся на месте разрушения коренных горных пород. Элювий представляет собой один из важных генетических типов континентальных образований.
- **Кора выветривания** объединяет всю совокупность различных элювиальных

- Остаточная кора выветривания называется *первичной* или *автоморфной* (греч. "аутос" - сам).
- Обычно выделяют также *вторичную*, или *гидроморфную*, кору выветривания, образующуюся в результате выноса почвенными и грунтовыми водами химических элементов в виде истинных и коллоидных растворов из первичной автоморфной коры.
- Элементы, выносимые растворами, выпадают в виде минералов в пониженных участках рельефа.

- Взаимосвязь автоморфной и гидроморфной кор выветривания называют *геохимической сопряженностью*.
- Например, с автоморфными латеритными корами выветривания содержащими гидроокислы алюминия, сочетаются местами, расположенные по соседству и орографически ниже, залежи бокситов осадочного происхождения.

- В геологической истории Земли неоднократно возникали благоприятные условия для образования мощных автоморфных кор выветривания, к числу которых относятся:
  - - сочетания высоких температур и влажности,
  - - относительно выровненный рельеф,
  - - обилие растительности и
  - - продолжительность периода выветривания.

- В общем виде выделены четыре стадии:
- 1) *обломочная* – дробление, механическое разрушение породы до обломочного материала (обломочный элювий);
- 2) *сиаллитная* – происходит извлечение щелочных и щелочноземельных элементов, главным образом Са и Na, которые образуют пленки и конкреции кальцита.
- 3) *кислая сиаллитная* – глубокие изменения структуры силикатов с образованием глинистых минералов (монтмориллонита, нонтронита, каолинита);
- 4) *аллитная* – кора выветривания обогащается окислами железа, а при наличии определенного состава исходных пород – окислами алюминия.

- **Зоны коры выветривания** имеют свои текстурно-структурные особенности и сложены минералами, отражающими последовательные стадии развития.
- Значительная мощность и наиболее **полный профиль** автоморфной коры выветривания формируется в тропической лесной области, где выделяются следующие зоны:

- гиббсит-гематит-гётитовая зона



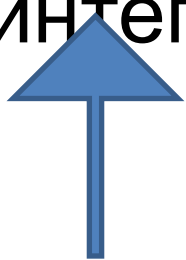
- каолинитовая зона



- гидрослюдисто-монтмориллонит-бейделлитовая зона



- Зона дезинтеграции



- Неизменная порода

- Конкретные климатические условия и состав горных пород могли задерживать или, наоборот, ускорять этот процесс, в результате чего формировались сокращенные и неполные профили вплоть до образования однозонального профиля коры выветривания.
- В пустынях и полупустынях элювий состоит преимущественно из продуктов физического выветривания, местами с карбонатными пленками.
- Аналогичный обломочный профиль характерен для тундры.



- Встречаются сокращенные и неполные профили, образующиеся в условиях высоких температур и интенсивного водообмена.
- В ряде случаев при этом выпадают промежуточные зоны, местами вплоть до образования однозонального профиля, состоящего из свободных окислов и гидроокислов железа и алюминия, располагающихся на неизменных породах.

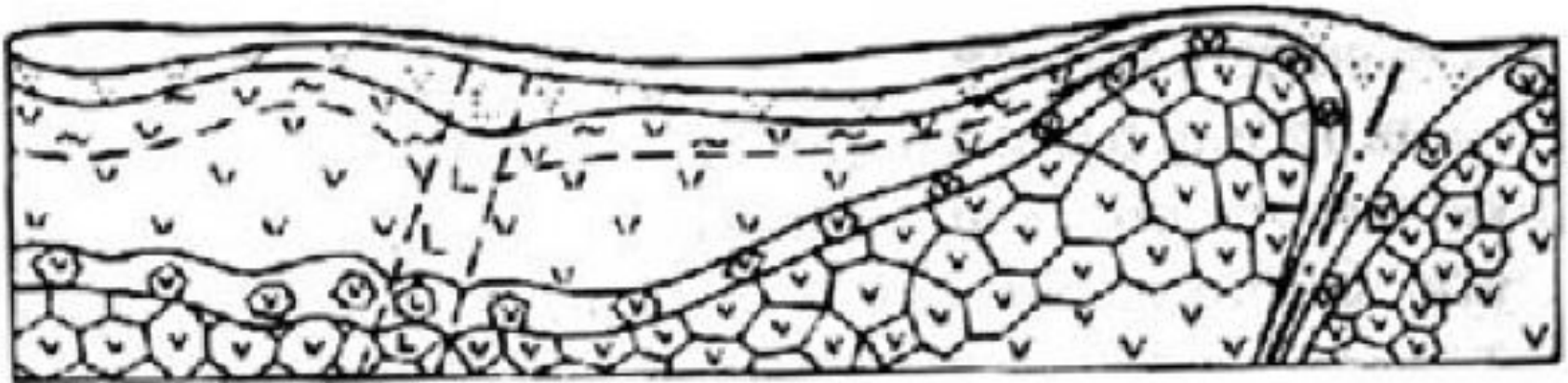
- Не все породы и не все части одной породы выветриваются равномерно.
- В трещиноватых участках пород выветривание происходит значительно легче, вдоль трещин образуются карманы продуктов выветривания.



В слоистых, различных по составу породах наблюдается избирательное выветривание. В результате местами возникают останцы более устойчивых слоев на фоне продуктов выветривания разрушенных слоев.

- два основных морфогенетических типа:
- **Площадные коры выветривания** развиваются в виде покрова или плаща, занимают местами обширные площади до десятков и сотен квадратных километров.
- **Линейные коры выветривания** имеют линейное распространение в плане и приурочены к зонам повышенной трещиноватости, к разломам и контактам различных по составу и генезису горных пород.
- В этих условиях происходит более свободное проникновение воды и связанных с ней химически активных компонентов, что вызывает интенсивный процесс химического выветривания.

- **Древние коры выветривания** формировались в различные этапы геологической истории, совпадающие с крупными перерывами в осадконакоплении.
- Они изучены и изучаются в отложениях разного возраста, начиная с докембрия. Самые древние протерозойские коры выветривания отмечены в Карелии и на Украинском кристаллическом щите Русской платформы.
- Богатые железные руды Курской магнитной аномалии представляют собой древнюю кору выветривания (дораннекаменноугольную), развивавшуюся на метаморфических протерозойских магнетитсодержащих кварцитах



Полный профиль коры выветривания на серпентинитах Урала

1 – неизменные породы

2 – дезинтегрированные

3 – выщелоченные

4 – монтмориллитизированные

5 - Нонтронитизированные

6 – охры

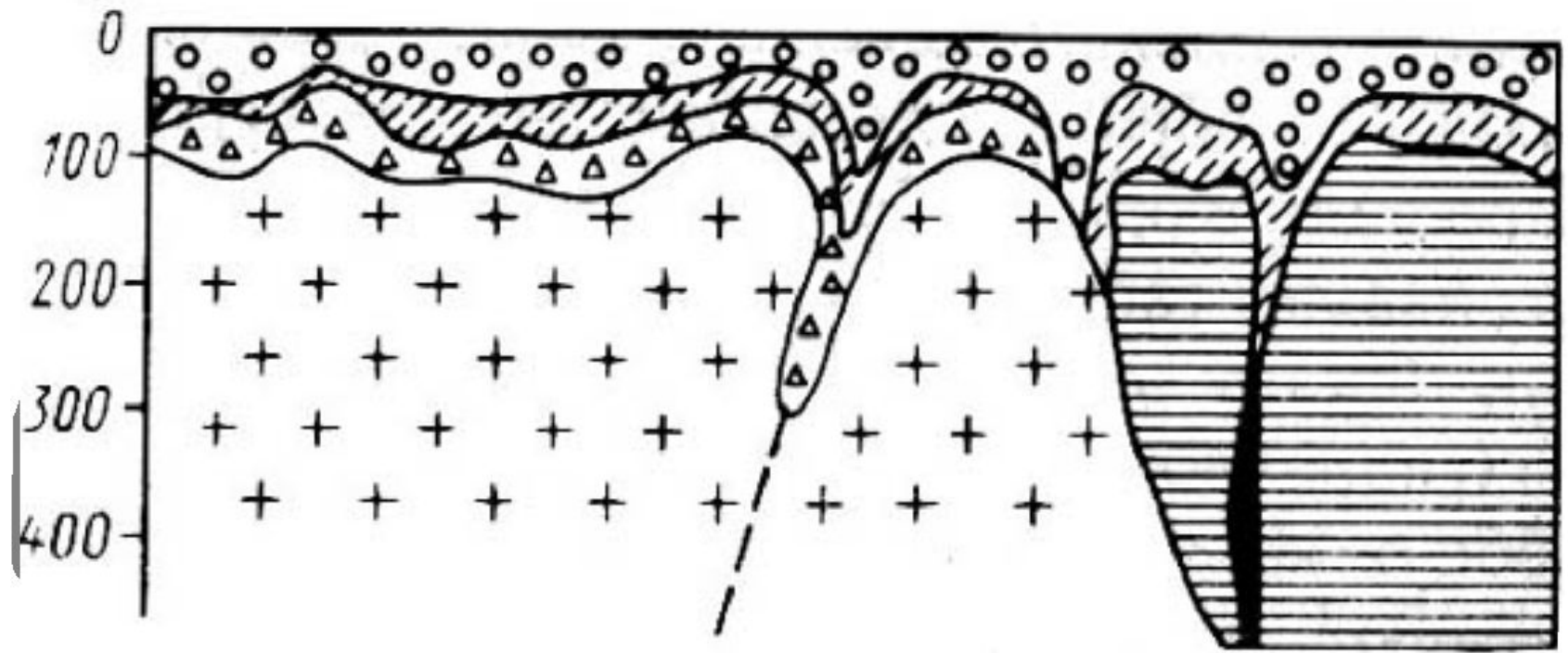


Схема строения древней коры выветривания на гранитах Урала

1 - граниты, 2- жилы пегматита, 3- сланцы, 4- тектонические разрывы, 5- зона дресвы,

6- гидрослюдистая зона, 7- каолинитовая зона

Линейная кора выветривания (мощностью около 200 м ), по контакту гранита со сланцами и характеризующаяся и

- С корами выветривания связаны многие полезные ископаемые – бокситы, железные руды, руды марганца, никеля, кобальта и др.
- В отдельных случаях в корах выветривания металлы накапливаются в значительно большем количестве, чем в исходной породе, и приобретают промышленное значение.
- Различные виды глинистых образований, многие из которых являются керамическим и огнеупорным сырьем, обладают отбеливающими и другими свойствами.
- В элювиальных образованиях нередко заключены некоторые россыпные месторождения, такие, как золото, платина, алмазы, касситерит и др., находящиеся в исходных (материнских) породах в рассеянном состоянии.



- **Почвы** образуют тонкую, но энергетически и геохимически очень активную оболочку.
- Почвоведение – на стыке геологических и биологических наук
- Основатель В.В.Докучаев (1846-1903).
- Почва возникла и развивается в результате совокупного воздействия на горные породы воды, воздуха, солнечной энергии, растительных и животных организмов.

- В формировании почв особенно велика роль органического мира, развитие которого тесным образом связано с климатом.
- В условиях неполного разложения органических остатков образуется относительно устойчивый комплекс органических соединений, называемый *перегноем* или *гумусом* (лат. "гумус" - земля). Именно **гумус** является главным элементом плодородия почв.

- В нормальном **почвенном профиле** выделяется несколько горизонтов сверху вниз:
- 1) *перегнойно-аккумулятивный* ( $A_1$ ), в котором ведущим процессом является накопление гумуса.
- 2) *элювиальный*, или горизонт внутрипочвенного выветривания ( $A_2$ ), который характеризуется преимущественно выносом веществ;
- 3) *иллювиальный* (B), в котором имеет место вымывание и накопление вынесенных веществ из других горизонтов почвы;
- 4) материнские породы (C).

- В зависимости от климата и растительности выделяются следующие типы почв:
- 1) аркто-тундровые почвы (арктические тундры);
- 2) тундровые почвы (кустарниковые тундры);
- 3) подзолистые почвы (хвойные леса);
- 4) серые лесные почвы (широколиственные леса);
- 5) черноземные почвы (луговые степи);
- 6) каштановые и бурые почвы (сухие степи);
- 7) сероземные почвы (пустыни);
- 8) саванны, коричневые и красные ферритные почвы (влажные субтропические леса);
- 9) красно-желтые ферралитовые почвы (влажные тропические леса)