

Лекция 2

Химические реакции и минералообразование в коре выветривания как процессы формирования абиотической составляющей почв

На предыдущей лекции мы выяснили, что почвообразование и корообразование по сути единый синхронный процесс. Образование элювия и почвы идет сверху вниз и интенсивность этих процессов затухает с глубиной. Однако отличие элювия и почвы заключается в том, что, во-первых, почва является верхним горизонтом элювия, а во-вторых, если элювий может быть продуктом абиогенным, то почва образуется лишь там, где имеются условия для жизни, говоря иначе – почва есть продукт как абиогенный, так и биогенный. Такие смешанные системы в экологии получили название биокосные. Из этого следует вывод, что если элювий на поверхности земли развивается повсеместно, то почва не везде. Элювий имеется и на других планетах, на Луне, например, в виде реголита, но почвы там не будет, потому что ее поверхность безжизненна.

Далее мы попытаемся разобраться с характером процессов в почве, которые относим по отдельности к абиогенным и биогенным, отдавая себе отчет в том, что реально они не отделимы, но уж такова особенность гносеологии (познания) - все раскладывать по полочкам. Живые организмы активно способствуют и механическому и химическому выветриванию. Лишайники, растущие на поверхности скал, при периодических увлажнениях и высушиваниях то расширяются, то сжимаются и отрывают кусочки породы, к которой они прикреплены; лишайники, так же как и высшие растения, выделяют при жизни различные кислоты, разрушающие минералы

1 Абиотические процессы

Химические реакции

Из химических реакций, которые являются доминантными на земной поверхности, идут те, которые соответствуют термодинамическим условиям, господствующим здесь. Их особенность в том, что по сравнению с глубинными, это условия низких давлений и температур при избытке

свободного кислорода и влаги. Следовательно, в этих условиях типоморфными (определяющими) будут химические реакции, где в качестве активных компонентов будут выступать кислородные окислители, сама вода или составляющие ее ионы - протий и гидроксил H^+ и OH^- . Такими реакциями непосредственно на поверхности будут окислительные, гидратация и гидролиз, хотя не исключены и иные в особых условиях. Характер реакций меняется не только в зависимости от ландшафта, но и по глубине и по стадиям развития. Даже начальные стадии химического выветривания легко заметить невооруженным глазом: цвет породы на поверхности и вдоль трещин изменяется, в одних случаях порода осветляется, в других - поверхность ее становится охристой, ожелезненной или покрывается иссиня-черной блестящей пленкой, так называемым пустынным загаром, представляющим смесь маловодных оксидов железа и марганца.

На характер процессов в коре выветривания влияет рельеф.. Если рельеф расчленен слабо, а осадков выпадает много, просачивающиеся сверху в выветрелую толщу воды периодически застаиваются, аэрация (насыщение воздухом) ухудшается и в нижней переувлажненной части коры выветривания создается восстановительный режим: окисное железо переходит в закисное, красный цвет исчезает, появляется сизовато-голубой; этот процесс и его внешнее проявление называется оглеением. Соединения закисного железа в отличие от окисного хорошо растворимы и поэтому с общим потоком воды выносятся из оглеенного горизонта, на месте остается белый каолинит. Подобные отбеленные горизонты достигают большой мощности и лишь у поверхности, где аэрация улучшается, сменяются пестро окрашенной, а затем кирпично-красной, хорошо окисленной зоной. Поток грунтовых вод, обогащенных закисным железом, в понижениях рельефа, в речных долинах приближается к поверхности и попадает в условия хорошей аэрации. Здесь закисное железо снова переходит в окисное, теряет подвижность и выпадает в осадок. Вблизи поверхности в почвах и рыхлых наносах образуются ожелезненные прослойки, часто состоящие из слипшихся плотных округлых

железистых конкреций. Мощность таких ожелезненных прослоев достигает одного-полутора метров. Эти образования

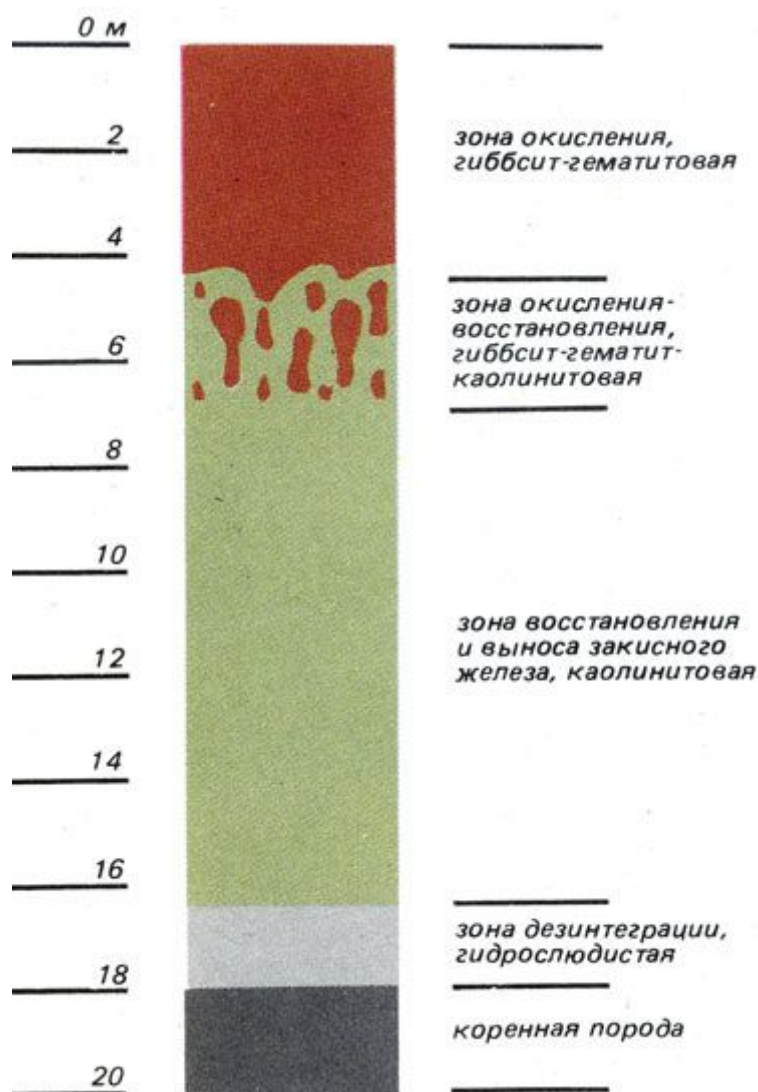


Рис. 6 Разрез ферраллитной коры выветривания

получили название латеритов (от латинского слова "латер" - "кирпич"). Если в результате эрозии (смыва) верхних горизонтов почв подобные латеритные прослой оказываются на поверхности и просыхают, они превращаются в массивный непробиваемый железистый панцирь, предохраняющий поверхность от дальнейшего размыва. Поэтому часто латеритные панцири, бронирующие рельеф, оказываются не в депрессиях (понижениях), где они первоначально образовались, а на плоских вершинах останцов, уцелевших от размывающей деятельности вод. Латеритные панцири, так же как и ферраллитные коры выветривания с отбеленными каолинитовыми

горизонтами, широко распространены на равнинах Тропической Африки, Австралии, Юго-Восточной Азии и Южной Америки.

Схема образования латеритной коры выветривания (по Н.М.Страхову, 1963).

1. свежая порода;
2. зона дресвы, химически мало измененной;
3. гидрослюдисто-монтмориллонитовая зона;
4. каолиновая зона;
5. охры, окислы алюминия;
- 6 латеритный панцирь из окислов железа и алюминия

Так как ландшафтные условия меняются в зависимости от климата, то и характер химических и минеральных преобразований в коре выветривания по площади будет меняться. Поэтому говорят о почвенной и элювиальной зональности, соответствующей климатической. При этом латеральная (площадная, не путать с латеритной) в целом соответствуют вертикальным зонам полного профиля коры выветривания, своего рода его горизонтальная развертка. (снизу вверх):

- 1) гидрослюдистый или насыщенный силитный, в котором широко распространены гидрослюды, гидрохлорит, бейделлит и монтмориллонит, ассоциирующие с остаточными скоплениями кремнезема;
- 2) глинисто-каолиновый или ненасыщенный силитный, в составе которого типичны каолинит, галлуазит, нонтронит, кварц; характерен вынос кремнезема, в ряде случаев вынос алюминия и железа, при котором образуется кремнистая глиноподобная порода — литомарж;
- 3) латеритный или алитный, характеризующийся почти полным выносом кремнезема и концентрацией простых гидроокислов алюминия (гиббсит, гидроаргиллит, бемит, диаспор), железа (лимонит, гидрогетит) и титана (лейкоксен).

Рассмотрим более внимательно кинетику происходящих процессов на земной поверхности.

Минералы в коре выветривания и в почвах делятся на три генетические группы: остаточные (устойчивые), аллотигенные (привнесенные из вне) и новообразованные (инситуные).

Экзогенные процессы образования минералов — это процессы выделения минералов из холодных нисходящих водных растворов поверхностного происхождения. Талые и дождевые воды, фильтруясь через почвы и рыхлые породы, растворяют исходные минеральные соединения. Растворяющая способность воды значительно возрастает при повышении в ней концентрации CO_2 , H_2S , органических и минеральных кислот. При определенных достаточно высоких концентрациях ионов происходит образование и выпадение минералов экзогенной зоны: гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, галита NaCl , кальцита CaCO_3 , кварца SiO_2 , вивианита $\text{Fe}_3(\text{PO}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и др.

Остановимся на примерах наиболее распространенных реакций при химическом выветривании:

1. Растворение: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Кальцит переходит в бикарбонат Ca

2. Окисление (оксидация): $4\text{FeCO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{CO}_2$. Сидерит переходит в лимонит

3. Гидролиз (глинизация): $\text{K}_2[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}] + 2\text{H}^+ + 20\text{H} + 2\text{CO}_2 = \text{H}_2[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}] + 2\text{KOH} = \text{Al}_4(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{O}_{10} + 2\text{K}_2\text{CO}_3 + 8\text{SiO}_2$. Ортоклаз переходит в алюмокремниевая кислота и щелочь, а далее в каолинит, поташ и кремнезем;

4. Гидратация: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$. Гематит переходит в лимонит

5. Карбонатизация:

$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ известь в карбонат

При химическом выветривании первичных минералов из каждого минерала часто образуется несколько вторичных путем прохождения каскадных реакций. Например, из оливина в результате реакции карбонатизации образуются магнезит, опал и сидерит: $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 = \text{MgCO}_3 + \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{FeCO}_3$. Оливин

Магнетит Опал Сидерит. Далее при оксидации из сидерита может образоваться лимонит: $4\text{FeCO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 2\text{O} = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{CO}_2$, а при дегидратации опала халцедон и кварц: Таким образом, при химическом выветривании первичных минералов образуются вторичные минералы в виде простых солей, гидроксидов, оксидов и глинистых минералов.

В процессе химического выветривания изменяется первоначальная окраска минералов. Необходимо отметить, что кварц наиболее стоек к химическому выветриванию, поэтому за исключением латеритной зоны в коре выветривания сохраняется и при ее размыве в дальнейшем попадает в почвы и осадочные отложения в виде песка или песчаных примесей.

Образование простых солей и их более высокая растворимость в воде создают возможность активного вовлечения химических элементов в биологический круговорот веществ, что играет важную роль в почвообразовании. При растворении различных солевых минералов происходит также нисходящая миграция образовавшихся ионов через толщу рыхлых пород до грунтовых вод. В результате химических реакций при замещении катионов или анионов в ранее образовавшихся минералах возникают новые минералы (метасоматический процесс).

Большое значение для плодородия почв имеет наличие в них глинистых минералов, с которыми связано очень важное агрономическое свойство почв — поглощательная способность, а также водные, общие физические и другие свойства.

Минералы в почвах подразделяются на аморфные, кристаллические и скрытокристаллические. Среди кристаллических глинистых минералов выделяют группы **каолинита, монтмориллонита и гидрослюд**. Представителем аморфных глинистых минералов является **аллофан** $m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$ Он образуется при химическом выветривании вулканического стекла, вулканического пепла, а также при взаимодействии сульфатных вод с глинистыми минералами и силикатами алюминия.

Каолинит $[Al_4(OH)SSi_4O_{10}]$ — это двухслойный минерал с отношением Si: Al 1:1. Галлуазит— глиноподобный водный также двухслойный минерал, той же формулы, что и каолинит, но с 4 молекулами воды, образуется при разрушения аллофана и каолинита.

Главным представителем второй группы кристаллических глинистых минералов является **монтмориллонит**. Это трехслойный минерал. Структура монтмориллонита отвечает формуле $[Al_4(OH)_4Si_8O_{20}] nH_2O$. Отношение Si: Al в кристаллической решетке этого минерала равно 2 : 1. Он образуется при химическом выветривании силикатов основных пород (габбро, базальтов) в условиях щелочной среды и является довольно устойчивым к химическим изменениям минералом. В больших количествах монтмориллонит содержится в бентонитовых глинах, образовавшихся при химическом изменении вулканических туфов и пеплов, оседавших главным образом в морских бассейнах. К трехслойным минералам группы монтмориллонита относится **бейделлит**, который отличается от монтмориллонита тем, что часть ионов Si^{4+} заменена на Al^{3+} , а появившиеся при этом избыточные заряды компенсированы заменой кислородных ионов на гидроксилы — $[Al_6(OH)_6 * Si_6O_{18}] nH_2O$. К группе монтмориллонита принадлежит также нонтронит. В его кристаллической решетке в отличие от монтмориллонита ион Al^{3+} значительно замещен на ион Fe^{3+} и никеля

К группе **гидрослюд** относятся минералы, занимающие промежуточное положение между глинистыми и слюдами. Гидрослюды являются продуктами гидратации - начального химического выветривания слюд и полевых шпатов. Их относят к трехслойным минералам глин. Они представлены: иллитом $(K, H_3O)Al_2(OH)_2[(Al, Si)_4O_{10}] nH_2O$ — промежуточным образованием между мусковитом и каолинитом, с кристаллической структурой, переходной к структуре монтмориллонита; вермикулитом $(Mg, Fe^{2+}, Fe^{3+})_3(OH)_2[(Si, Al)_4O_{10}] 4H_2O$ — продуктом химического выветривания слюд биотита и флогопита; глауконитом — водным алюмосиликатом K, Fe и Al морского химического происхождения, имеющего примерный химический состав K

$(\text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2^3(\text{OH})_2[\text{Si}_3(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$. В почвах встречаются и другие глинные минералы. Среди них отметим смешанно-слоистые образования, в кристаллической решетке которых чередуются слои разных минералов, например монтмориллонита с иллитом, каолинита с мусковитом и т. д.

В зависимости от минералогического и петрографического составов почвообразующих пород при химическом выветривании минералов образуются различные глинные минералы, но во многих почвообразующих породах и почвах наших равнинных территорий преобладают минералы группы монтмориллонита.

В породах и почвах содержатся минералы, не относящиеся к глинистым, но обладающие близкими к ним свойствами. Это цеолиты — группа алюмосиликатов кальция и натрия, реже калия и бария, эндогенного и экзогенного образований, кристаллической каркасной структуры с полостями в виде «каналов», обеспечивающих высокую удельную поверхность. Благодаря этому цеолиты содержат слабо связанные с их жесткой основой молекулы воды, обладают высокими адсорбционными свойствами по отношению к катионам, легко обменивают их на катионы почвенного раствора.

Химический состав минералов изменяется под влиянием не только абиотических факторов (химическое выветривание), но и под влиянием биологического выветривания, под которым понимают механическое разрушение и химическое изменение горных пород и минералов под действием живых организмов и продуктов их жизнедеятельности. Корни растений, лишайники, микроорганизмы выделяют диоксид углерода и органические кислоты, разрушающие минералы и высвобождающие минеральные элементы питания. Нитрификаторы образуют азотную кислоту, серобактерии и тионовые бактерии — серную. Под воздействием этих кислот на труднорастворимые минералы образуются легкорастворимые в воде соединения, катионы или анионы которых легко усваиваются растениями и микроорганизмами

Диатомовые водоросли, усваивая кремний, способны разлагать алюмосиликаты, силикатные бактерии — полевые шпаты. Дождевые черви, личинки жуков и другие животные организмы, пропуская через свой пищеварительный тракт минеральную и органическую массу (до 100 т на 1 га), в значительной степени изменяют ее химический состав.