

Лекция 9.

Геохимия горных пород и коры выветривания

1. Геохимия элювия

Выветривание горных пород это наиболее важный процесс в биосфере, потому что он переводит необходимые химические элементы для живых организмов из недоступных форм в доступные, которые затем из коры выветривания попадают в почву, в подземные и поверхностные воды. Кора выветривания с точки зрения экологии это связующее звено между между биотой и косным веществом горных пород. Почвенный покров с точки зрения геохимии представляет собой особую биокосную геохимическую систему, которая, по сути, является верхним горизонтом элювия (коры выветривания). Поэтому нам нелишне кое-что вспомнить относительно геохимической сути выветривания.

Кора выветривания имеет двойное понятие и как процесс преобразования горных пород на суше и как продукт этого преобразования. Если говорить о продукте, то лучше использовать термин **элювий**.

В чем суть преобразований горных пород на дневной поверхности суши? Они в изменении химического состава как приспособление к новым условиям, иным, чем те в которых ранее сформировалась порода. Чем более различаются эти условия, тем больше различий в химизме исходной породы и ее элювия. Следовательно, разные генетические типы пород испытывают и разную **глубину разложения в коре выветривания**.

Основной мотив химического преобразования в коре выветривания с точки зрения экологии – это диспергация вещества с высвобождением энергии связи и необходимых для биоты химических элементов из кристаллической решетки минералов. Попутно это приводит к предельному упрощению состава остаточного материала, который затем становится строительным материалом для осадочных формаций. Чем обеспечивается этот мотив? Естественный отбор в минеральном царстве! Прямо как по Дарвину – выживает сильнейший.

Наиболее сложные и многокомпонентные породы это породы глубинного происхождения, при этом, чем более глубинные – тем они сложнее по химизму. Предельно сложные это породы нижней недеплетированной (неистощенной) мантии. Они ближе всего по химизму к первичному веществу нашей планеты, и составу углистых хондритов.

Верхняя мантия уже проще, так как она деплетированная (истощенная) в силу того, что наиболее легкоплавкая эвтектическая ее составляющая в виде базальтов ушла на формирование земной коры, а тугоплавкая и тяжелая – ушло в ядро. В этом и состояла суть глобальной дифференциации исходного материала планеты, который произошел где-то на рубеже раннего

и позднего архея. Но эта дифференциация не завершена, продолжается и ныне, в том числе и в поверхностных условиях, но здесь работает иной ее механизм – отбор по степени разной механической и химической устойчивости минералов. Как он работает? Вспомним главные отличительные особенности зоны гипергенеза. Это низкое давление, много свободного кислорода, много свободной (гравитационной) воды и много всяких живых организмов, каждый из которых это целая химическая лаборатория, одной из задач которой и является разрушение горной породы. Т.е. биота работает в унисон с абиотическими химическими процессами.

Какие химические реакции являются доминирующими в коре выветривания? Это гидратация, гидролиз, и окисление, которые и расщепляют исходную породу на составляющие химические компоненты, превращая ее в рыхлый глинистый продукт. В этом направлении работают и агенты физического (механического) выветривания, обеспечивающие подготовительную функцию обработки породного субстрата для последующей химической трансформации, что увеличивает активную поверхность и соответственно скорость реакций.

Наиболее глубокое разложение исходной многокомпонентной породы в условиях Земли имеет место в экваториальной зоне, где много света, тепла и влаги. Здесь порода, в конечном счете, при отсутствии дефицита времени, превращается в **латерит** – смесь оксидов железа, алюминия и титана, лишь с небольшой примесью кремнезема (первые проценты). Они являются остаточными продуктами, потому что не растворимы. Остальное все выносится за пределы коры выветривания. Разновидностью латерита являются элювиальные бокситы. Таковые имеются в разрезах древней коры Белгородского района КМА.



Рис. 1. Латеритная кора выветривания

По мере удаления от экватора, процесс химического разложения замедляется по мере снижением среднегодовой температуры или при дефиците влаги. Выветривание уже не достигает своего предела в отпущенное ему тектоническим циклом время и заканчивается на некой промежуточной стадии. Появляется широтная зональность типов коры выветривания. Латеритный профиль сменяется каолинитовым, далее монтмориллонитовым, а в самой холодной зоне – гидрослюдистым. Эти стадии получили свое название по индикаторным аутигенным минералам, то есть образованным на месте в коре выветривания. Изменения химизма элювия по мере удаления от экватора выражаются в том, что набор химических элементов в остаточной минеральной массе последовательно возрастает. Например, каолинит, как индикатор последующей стадии после латеритной, имеет следующее соотношение оксидов:

$\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$; содержит 39,5% Al_2O_3 , 46,5% SiO_2 и 14% H_2O . Здесь мы видим уже более высокую долю кремнезема, чем в латерите.



Рис. 2. Каолиновая пестроцветная кора выветривания

Химически состав монтмориллонита еще более разнообразный, хотя и при заметных вариациях:

SiO_2 — 33,40%, Al_2O_3 — 0,14—29,90%, CaO — 0,16—3,52%, Na_2O — 0,11 — 3,04%, MgO — 0,23—31,61%, Fe_2O_3 — 0,03—29,46%, FeO — 0,19—0,95%, H_2O — 11,96—26,0%.

Здесь уже устойчиво доминируют кремний. Алюминий, железо (в основном трехвалентное) магний, кальций, натрий и вода в переменном количестве, в зависимости от местных условий.

На стадии начального химического выветривания полевые шпаты и мусковит начинают превращаться в гидрослюду (гидромусковит), которая от

мусковита отличается лишь большим количеством воды. Биотит и амфиболы – в смесь вермикулита, хлоритов, цоизита. Содержание K_2O в гидрослюдах по сравнению с исходным мусковитом падает до 6 и даже до 2-3%; H_2O , наоборот, возрастает до 8-9%. Содержание SiO_2 в гидромусковите часто достигает 50-55%, Al_2O_3 – ниже (25-33%). Примеси Fe_2O_3 , MgO (до нескольких процентов),

Изменения химического и минерального состава в разрезе элювия, (профиле выветривания) т.е. по глубине подобны изменению в широтном ряду, что обусловлено теми же причинами – затуханием силы воздействия внешних факторов с глубиной. Поэтому в разрезе элювия наблюдается несколько горизонтов разного минерального и химического состава, граница между которыми вызывается появлением физико-химических барьеров – резкими изменениями параметров (pH, Eh, содержание кислорода и т.д.). Наиболее полный ряд (набор) горизонтов наблюдается в латеритной зоне. По мере удаления от экватора из разреза элювия последовательно выпадают верхние горизонты. Так в нивальной (холодной) зоне и в аридных пустынях химическое выветривание резко подавлено и здесь формируется лишь один щебнистый горизонт.



Рис. 3. Дезинтеграция исходных пород, формирование щебнистого горизонта в условиях нивального климата и горной страны.

Кроме климата на корообразование влияют такие факторы как тектонический режим, интенсивность и длительность процессов выветривания.

2. Тектонический режим

Выветривание процесс длительный, поэтому коры выветривания успевают формироваться лишь при длительно вялом тектоническом режиме,

характерном для платформенных условий, это же касается и условий сохранности разрезов коры выветривания. Активный тектонический режим способствует формированию расчлененного рельефа и эрозионному уничтожению элювия.

3. Химический состав исходных пород

Строение и вариации химического состава коры выветривания и почв обусловлено не только климатическими и тектоническими факторами но и особенностями состава исходного породного субстрата. Например, садочные породы слагаются преимущественно легкими и наиболее распространенными химическими элементами, в соединениях дающих наиболее устойчивые в зоне гипергенеза реликтовые и аутигенные минералы. Их химический состав наиболее прост и изменения его в коре выветривания мало заметные, особенно для песков.

Иное дело магматические породы, список элементов здесь обширен как и минеральный состав, но эта группа пород достаточно разнообразна по химизму.

Напомню, что главные химические элементы магматических пород: кислород, кремний, алюминий, железо, кальций, магний, натрий, калий, титан, водород,

Самый распространенный из них — кислород составляет в среднем половину их веса. Химический состав магматических пород не совсем соответствует химическому составу магмы, из которой они образовались, так как многие составные части магмы (вода, углекислота, соединения Cl, F и другие летучие соединения) при застывании выделяются из неё. Химический состав горных пород выражают окислами соответствующих химических элементов: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO, MgO, CaO, Na₂O и K₂O..Сумма всех оксидов в породе приводят к 100 %.

Содержание SiO₂ является диагностическим критерием для классификации породы и ее происхождения. Если расположить все магматические породы по мере возрастания содержания в них кремнезёма, то получится практически непрерывный ряд. На одном конце его окажутся породы очень бедные кремнеземом (< 45%) и в то же время богатые магнием и железом, на другом наоборот, богатые (> 65 %) кремнезёмом, но с малым содержанием магния и железа.

Процентное содержание окиси кремния в породе служит критерием её кислотности, в связи с чем, термином «кислая порода» стали обозначать породы, богатые SiO₂, а «основная порода» — бедные кремнеземом, но обогащенные основаниями — CaO, MgO, FeO. В таблице 1 приведено подразделение магматических пород по их кислотности.

Название групп пород	Содержание SiO ₂	Породы
Ультраосновные	30-45%	<u>дунит, перидотит, пироксенит, горнблендит, кимберлит, оливинит</u>
Основные	45-53%	<u>габбро, лабрадорит, базальт, диабаз</u>
Средние	53-64%	<u>сиенит, диорит, трахит, андезит, полевошпатовый порфир, порфирит</u>
Кислые)	64-78%	<u>гранит, липарит</u> , кварцевый порфир
Ультракислые	> 78 %	<u>пегматит, аляскит</u> и др.

Содержание щелочей и щелочноземельных элементов в горных породах является не только классификационным признаком, но и индикатором их происхождения. По этому признаку выделяют несколько глобальных петрохимических серий магматических горных пород; толеитовой, известково-щелочной, и щелочной. Для первой характерно пересыщение кремнеземом и железом, поэтому здесь вместе могут присутствовать и кварц и гиперстен с оливином. Для второй серии, промежуточной между толеитовой и щелочной характерно несколько более высокое содержание суммы щелочей, чем в толеитовой серии.

Щелочная серия отличается от первых двух дефицитом кремнезема, но избытком натрия и калия, поэтому в них нет кварца, место которого занимают фельдшпатоиды: нефелин, лейцит, щелочной пироксен – авгит. При общей недонасыщенности SiO₂ породы этой серии заметно варьируют по содержанию кремнезема, калия и натрия.

Все разнообразие магматических горных пород на Земле обусловлено с одной стороны разными геодинамическими режимами, а с другой стороны кристаллизационной дифференциацией в пределах единого магматического очага, при застывании которого образуются разные фазы магматитов. Это характерно, например, для зональных кольцевых интрузий.

4. Осадочные породы и их химический состав

Осадочные породы это переотложенный материал элювия разной стадии выветривания.

Терригенные или обломочные породы. По своему химическому составу они весьма разнообразны, так как это продукты преимущественно механического разрушения горных пород, претерпевших разные стадии коробования или вовсе не претерпевших этих изменений. Но и они по своему минеральному составу могут указывать на степень зрелости (по степени выветривания) областей сноса. Так обломочные породы активных

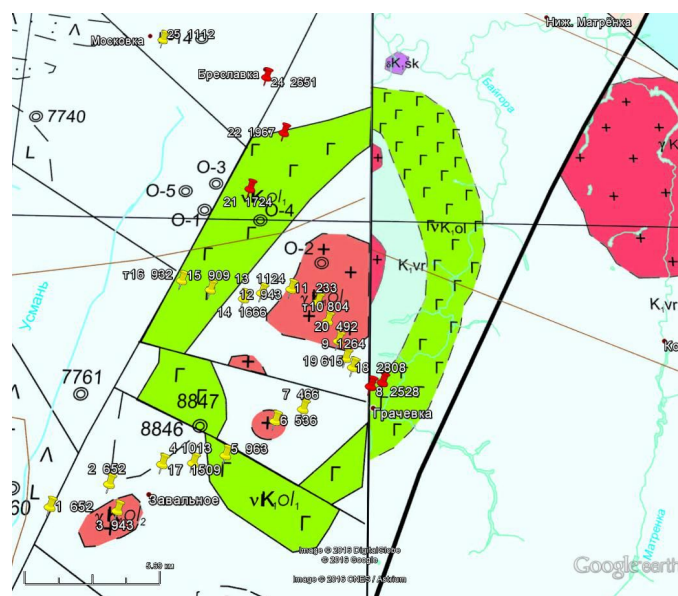


Рис. 4. Контрастные породы в ядре и апиальной части Ольховской кольцевой интрузия. Липецкая область

тектонических зон характеризуются полимиктовым минеральным составом, где много неустойчивых минералов, таких как пироксен, оливин, амфиболы, происходящих из магматических пород. Платформенные провинции сноса щитов, где доминируют гранитоиды дают аркозовые (кварц-полевошпатовые) пески. Платформенные провинции плит дают кварцевые или мусковит-кварцевые пески, образованные за счет неоднократного выветривания и перемыва одного и того материала. Химический состав рыхлых механических осадков полностью зависит от минерального состава обломочного материала, а сцементированных еще и от состава цемента. Чаще всего он бывает либо глинистым, либо железистым, либо карбонатным, реже – кремнеземным.

Хемотропные породы

Это осадочные породы, образованные за счет растворимой части пород в коре выветривания, из которой они выносятся в форме истинных или коллоидных растворов. Так образуются железные, марганцевые руды, железисто-кремнистые осадки с полосчатым сложением (характерны лишь для докембрия). Но в большей степени это галогенные (солевые) осадки, которые образуют в отдельных стратиграфических подразделениях мощные ритмично сложенные толщи эвапоритов. Это осадки солей (карбонатов, сульфатов и хлоридов), которые выпадают при достижении предела растворимости каждого иона или их соединения. Минералы солей это комбинации анионов и катионов, которые выпадают в осадок из водного раствора при достижении определенного значения произведения растворимости. По мере того как меняется концентрация раствора за счет изменения условий (температура, приток воды и др.) меняется и минеральный состав осадка.

Химический состав и последовательность кристаллизации некоторых минералов морских эвапоритов

Гипс $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Каинит $\text{KMg}(\text{SO}_4)\text{Cl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Ангидрит CaSO_4

Гексагидрит $\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Галит NaCl

Кизерит $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Полигалит $\text{K}_2\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Карналит $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Бледит $\text{Na}_2\text{Mg}(\text{SO}_4) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Бишофит $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Эпсомит $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Эта последовательность зависит также от исходного наличия химических компонентов в воде и ее температуры

Гипс выделяется раньше галита, так как его произведение растворимости намного меньше, чем у галита. Другие минералы, например полигалит, образуются позже галита, потому что слагающие их ионы имеют в морской воде сравнительно низкую концентрацию.

Лабораторные исследования и термодинамические расчеты показывают, что равновесная последовательность выпадения минералов из испаряющейся морской воды при 250С должна быть следующей: гипс (начинает кристаллизоваться после того, как от первоначального объема воды остается 30%), ангидрит (соответственно при 14%), галит (10%), и разнообразные соли калия и магния (при 5%). С изменением температуры эта последовательность претерпевает изменения, так как между гипсом и ангидритом существуют равновесные отношения (рис.4) Но это не полный ряд галогенных формаций. В основании их разреза сначала залегают красноцветные терригенные породы (цвет их является индикатором аридных условий), затем появляются доломиты, известняки (трудно растворимые карбонатные соли), а уж затем идут сульфаты кальция. Далее – галит и полигалит, затем сульфаты калия и магния. Разрез замыкается хлоридами калия и магния, имеющие максимальные значения произведения растворимости.

5. Микроэлементы в горных породах

Выше мы рассмотрели петрохимические особенности горных пород, обусловленные соотношением макроэлементов, т.е. элементов, содержание которых достаточно для того чтобы образовывать породообразующие элементы. Но в породах могут в различных формах присутствовать и микроэлементы, общего содержания которых недостаточно для образования породообразующих минералов. В лучшем случае это акцессорные минералы

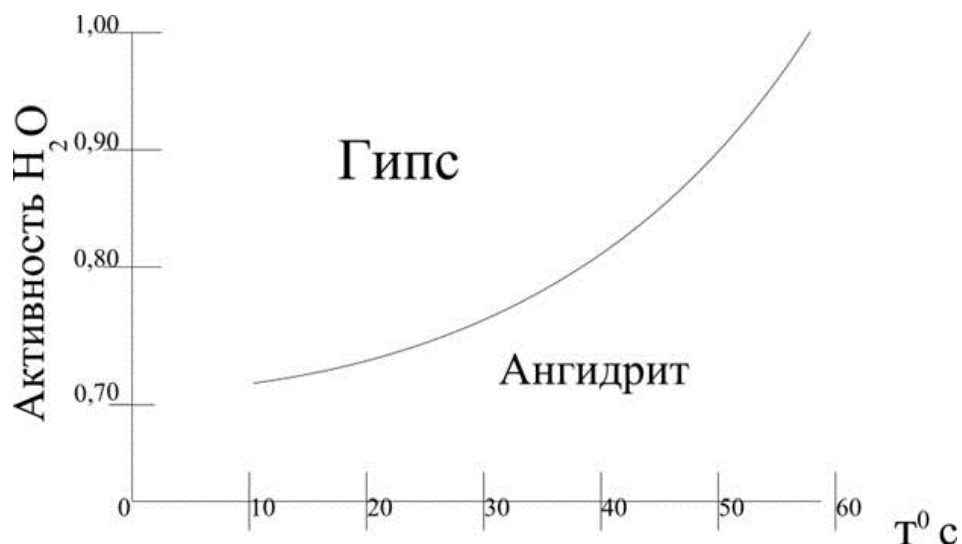


Рис. 4. Поля устойчивости гипса и ангидрита при атмосферном давлении

, чаще в виде изоморфных замещений в породообразующих и акцессорных минералах геохимически близких, но более распространенных элементов. Например, кадмий, индий обычно замещают цинк в сфалерите. При этом имеется своя геохимическая специализация для разных петрохимических групп пород. Кислые породы в большей степени содержат легкие редкие щелочные и щелочноземельные элементы: литий, рубидий, бериллий, Базиты и ультрабазиты – хром, никель, титан. Щелочные породы концентрируют в себе редкоземельные элементы, цирконий, гафний, торий, тантал, ниобий.

Для осадочных пород характерны сорбционные формы присутствия разнообразных микроэлементов. Хорошими сорбционными свойствами отличаются глины, особенно монтмориллонитовые, коллоиды железа и марганца, органика.