

Лекция 8

ЭКЗОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

План лекции:

Классификация процессов.

Выветривание физическое, химическое, органическое.

Осадочные процессы.

К числу **экзогенных геологических процессов** относится, в первую очередь, цикл процессов, начинающийся с разрушения горных пород и завершающийся формированием новых горных пород из продуктов разрушения. Эти процессы происходят на земной поверхности и обусловлены действием солнечной энергии и силы тяжести. Приходя в контакт в поверхностной части Земли с атмосферой, гидросферой и биосферой горные породы, ранее находившиеся на глубине, подвергаются изменению своего состояния, нарушению сплошности и, наконец, разрушению на мелкие частицы (дезинтеграции).

1. Классификация процессов

Естественную последовательность в цикле экзогенных процессов составляют:

Выветривание – разрушение горных пород под воздействием разнообразных экзогенных факторов.

Денудация – снос, удаление продуктов разрушения с места их образования.

Транспортировка – перенос продуктов разрушения на другое место. Одновременно с транспортировкой, как правило, происходит переработка и сортировка переносимого материала.

Седиментация – осаждение, накопление перемещённого вещества.

Литификация – преобразование рыхлого осадка в прочную горную породу.

В дальнейшем новообразованная горная порода снова может подвергнуться процессам выветривания, и цикл начинается снова. Изложенная выше стадийность, конечно, несколько идеализирована. В конкретных случаях она может нарушаться. Например, накопленный осадок, не испытав литификации, может вновь испытать выветривание или подвергнуться переносу. В некоторых случаях продукты выветривания вообще могут никуда не перемещаться, оставаясь на месте – а потом снова подвергнуться литификации и превратиться в новую горную породу.

2. Выветривание

Выветривание – это процесс разрушения и изменения горных пород и минералов на земной поверхности и вблизи от неё под влиянием солнечной радиации, воды, воздуха и жизнедеятельности организмов.

Термин «выветривание», с лингвистической точки зрения, не вполне удачен, так как нередко оказывается источником заблуждения: может показаться, что процессы выветривания связаны с деятельностью ветра. На самом деле ветер к ним никакого отношения не имеет, и разрушение горных пород происходит под действием совершенно других причин.

Агенты и типы выветривания. Агентами выветривания называют определённые вещества, объекты и явления, воздействие которых на горные породы приводит к разрушению последних. К их числу относятся:

солнечная радиация; вода; атмосферные газы (в первую очередь свободный кислород); иные химические реагенты (кислоты, щелочи и т.д.); живые организмы; деятельность человека.

Разнообразие агентов выветривания дополняется тем, что многие из них могут воздействовать на горные породы различными способами. Так, вода может непосредственно растворять вещество горных пород, может вступать в реакции с различными минералами, может выступать как носитель растворённых в ней химических реагентов, может, замерзая в трещинах, оказывать на горные породы механическое воздействие. Растения также могут и воздействовать на горные породы механически (за счёт проникновения корней в трещины), и химически (выделяя в процессе своей жизнедеятельности различные химически агрессивные вещества).

Сочетание влияния различных агентов и способов их воздействия, в зависимости от местных условий, может быть очень разнообразным. В зависимости от набора агентов и характера воздействия, можно выделить три типа выветривания: физическое, химическое и органическое (биогенное). В реальных условиях географической оболочки Земли все три указанных типа почти всегда проявляются совместно, и на практике можно обычно говорить лишь о преобладании того или иного типа выветривания.

2.1. Физическое выветривание. Ведущий агент, вызывающий физическое выветривание – **солнечная радиация**. Основной фактор – температурные колебания, возникающие в результате её воздействия. При нагревании любая горная порода расширяется, при охлаждении – сжимается. Результатом является образование всё большего и большего числа трещин. В конце концов, изначально монолитная горная порода дезинтегрируется – распадается на обломки. С развитием процесса обломки становятся всё более мелкими. И лишь тогда, когда частицы становятся совсем мелкими (примерно песчаного размера) процесс затухает, так как перепады объёма при колебаниях температур становятся незначительными.

Дополнительное воздействие оказывает появление на скалах растений. Их корни проникают в образовавшиеся трещины и расширяют их, что ускоряет отрыв образующихся обломков друг от друга. В районах с холодным климатом действует ещё один фактор – проникновение в образующиеся трещины воды. При похолодании она замерзает. А так как образующийся в результате лёд имеет больший объём, это тоже способствует раскрытию трещин. В тех случаях, когда именно этот фактор становится ведущим, может быть выделен особый подтип – морозное выветривание.

Процессы физического выветривания горных пород распространяются на относительно небольшую глубину – до 20-30 метров. Это тот предел, до которого сказывается влияние температурных колебаний, как суточных, так и сезонных.

Процессы физического выветривания проявляются с различной интенсивностью в зависимости как от сочетания внешних условий, так и от особенностей состава и строения выветриваемых горных пород.

К числу внешних условий относятся:

Климат. Наиболее благоприятен для развития физического выветривания климат с резкими температурными контрастами, в особенности с большим суточными перепадами температур. Морозное выветривание вообще может проявляться лишь в соответствующих климатических зонах.

Растительный покров. Наличие растительного покрова предохраняет горные породы от воздействия прямых солнечных лучей и сглаживает температурные колебания. Поэтому наиболее интенсивно физическое выветривание будет идти в пустынях, слабее – в степных условиях, и в наименьшей мере – там, где развита густая древесная растительность.

Рельеф. При наличии склонов достаточной крутизны все продукты дезинтеграции практически сразу удаляются, и процессы выветривания быстрее развиваются вглубь.

Свойства горных пород, влияющих на темпы физического выветривания:

Особенности структуры. Во-первых, влияет размер минеральных зёрен в породе. Чем они крупнее, тем значительнее колебания объёма каждого зерна. И тем быстрее будет идти дезинтеграция. Следовательно, более мелкозернистая порода будет при прочих равных условиях устойчивее к физическому выветриванию. Во-вторых, различным может быть характер соединения минеральных зёрен в породе – и, соответственно, более или менее прочной связь между ними.

Минеральный состав. Различные минералы имеют разный коэффициент температурного расширения. Чем он больше, тем менее устойчива горная порода к перепадам температуры. Существенное влияние оказывает и число видов породообразующих минералов в составе породы. Когда их несколько, величины изменения объёма у минерала каждого вида свои, что также ослабляет устойчивость. Поэтому мономинеральные горные породы в целом будут устойчивее полиминеральных.

Окраска. Более тёмная горная порода под воздействием солнечных лучей нагревается сильнее и подвержена большим колебаниям температуры и объёма. Так что при прочих равных условиях светлая горная порода будет более устойчива к физическому выветриванию, чем тёмная.

В целом, чем мельче и однороднее по составу обломки горной породы, тем выше их устойчивость к физическому выветриванию.

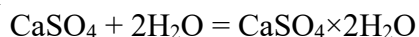
2.2. Химическое выветривание является результатом химических взаимодействий горных пород с атмосферными газами, водой и растворёнными в ней веществами. Ведущим фактором является воздействие на горные породы поверхностных и подземных вод, содержащих растворённые кислород и другие химически активные вещества.

При химическом выветривании осуществляются разнообразные типы химических реакций. Наиболее важную роль играют:

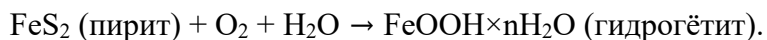
Окисление – образование кислородных соединений, переход **низковалентных закисных соединений в высоковалентные окисные.**

Гидратация – реакция присоединения молекулярной воды.

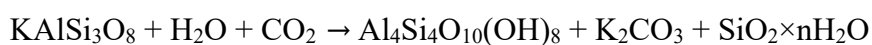
Примером может служить образование гипса за счёт его безводного аналога – ангидрита:



Примером сочетания обоих названных реакций может служить процесс окисления сульфидных соединений, неустойчивых в воднокислородной среде:



Гидролиз – обменное разложение вещества под влиянием гидролитической диссоциации воды, с образованием гидроксилсодержащих минералов. Этот процесс очень широко проявлен в условиях влажного умеренного климата и имеет важнейшее значение при химическом выветривании силикатных минералов, в том числе наиболее широко распространённых из них – полевых шпатов, в результате чего образуются глинистые минералы (например, каолинит). Одновременно, благодаря участию в процессе растворённого углекислого газа, образуются карбонатные соединения:



(ортоклаз)

(каолинит)

(опал)

В условиях более высоких температур процесс идёт дальше, до полного разложения алюмосиликатов на более простые гидроксидные соединения кремния и алюминия:



К числу более редких типов реакций, протекающих при химическом выветривании, относятся реакции дегидратации (потери молекулярной воды) и восстановления (перехода высоковалентных соединений в низковалентные). Первые могут осуществляться, когда выветривание протекает в крайне сухом климате, вторые – в условиях глеевой или сероводородной среды.

Составной частью процессов химического выветривания может являться растворение. Это происходит в тех случаях, когда в состав горных пород входят растворимые минералы – **хлоридные, сульфатные, карбонатные**.

Карбонатизация представляет собой реакцию ионов карбоната и бикарбоната с минералами, которая ведет к образованию карбонатов кальция, железа, магния и других. Большая часть известных нам карбонатов хорошо растворяется в воде и выносятся из зоны выветривания. Именно поэтому грунтовые воды в таких местах обладают высокой жесткостью.

На ход процессов химического выветривания существенное влияние оказывают условия среды, причём от них зависит не только интенсивность, но и направленность процессов (окисление или восстановление, гидратация или дегидратация и т.д.), а также степень изменения. Это позволяет по минеральному составу продуктов выветривания судить об условиях, в которых протекал процесс.

Параметры климата (температура и влажность) определяют интенсивность химического выветривания и степень разложения первичных минералов. Чем выше температура, тем выше и скорость большинства химических реакций, и растворимость большинства минеральных веществ. В результате процессы химического выветривания ускоряются. Некоторые химические реакции (например, упомянутое выше разложение глинистых минералов на гидроксидные соединения) возможны только в условиях наиболее жаркого (экваториального и субэкваториального) климата. Более высокая влажность также

благоприятствует химическому выветриванию, потому что именно вода является средой для подавляющего большинства реакций при этих процессах.

Химические параметры среды (кислотность-щёлочность, окислительно-восстановительный потенциал) также очень важны. Именно от них зависит, какие из химических реакций могут осуществиться.

Из свойств самих горных пород важны их минеральный состав и проницаемость для водных растворов. Минералы значительно отличаются друг от друга степенью устойчивости к химическому выветриванию. К числу наиболее неустойчивых минералов относятся сульфиды и магнетит, более устойчивы минералы класса силикатов (каждый – в своей степени), а наиболее распространённым из самых химически устойчивых минералов является кварц.

Проницаемость горной породы для водных растворов зависит от степени её трещиноватости, а также возможного наличия пор. Чем выше проницаемость, тем активнее проникают водные растворы, тем интенсивнее идут процессы выветривания.

Стадии химического выветривания:

Химическое выветривание носит стадийный характер. В разных условиях ход процесса может различаться, но наиболее характерная последовательность такова:

Обломочная стадия – образование тонкообломочных продуктов физического выветривания при незначительных химических изменениях.

Стадия обызвесткованного элювия – начальная стадия разложения силикатов и обогащения пород карбонатными соединениями.

Глинистая стадия – полное разложение первичных силикатов и образование глинистых минералов (максимальная в условиях умеренного климата).

Латеритная стадия – разложение глинистых минералов (достигается лишь в жарком и влажном климате).

2.3. Органическое выветривание. Горные породы на своих поверхностях содержат огромное количество микроорганизмов, играющих важную роль в процессах выветривания. На 1 г. выветрелой породы может приходиться до 1 млн. бактерий. Как только порода начинает выветриваться, на ней сразу же поселяются бактерии и синезеленые водоросли, затем лишайники и мхи, которые растворяют и разрушают поверхностный слой породы и после их отмирания на ней образуются углубления, ямки, борозды, заполненные сухой биомассой отмерших организмов.

Биота, поселившаяся на поверхности горных пород, извлекает из нее необходимые для жизни химические элементы - P, S, K, Ca, Mg, Na, B, Sr, Fe, Si, Al и др., что подтверждается их большим содержанием в золе растений, выросших на горных породах. Даже Si извлекаются из кристаллических решеток алюмосиликатов. Следовательно, организмы участвуют в разложении минералов. Однако, они и возвращают новые химические элементы в геологическую среду. Тем самым происходит круговорот веществ, обусловленный активностью биоты.

Следует отметить, что в процессах химического выветривания организмы участвуют и косвенным путем, выделяя, например, кислород при фотосинтезе, CO₂ при отмирании растений, провоцируя образование весьма агрессивных органических кислот, которые резко усиливают растворение и гидролиз минералов. Такое воздействие наиболее интенсивно происходит во влажном, тропическом климате, в густых болотистых лесах. Вода в подобных

джунглях обладает кислой реакцией и активно растворяет горные породы, нарушая связи в кристаллической решетке минералов.

Земляные черви способны переработать до 5 т почвы на 1 га за 1 год. При этом поверхностные слои почвы обогащаются гумусом. Улитки высверливают глубокие ходы в карбонатных породах, а муравьи роют неглубокие, но многочисленные ходы, разрыхляя почву и способствуя проникновению в нее воздуха.

Т.о. механизм влияния живых организмов на процессы выветривания чрезвычайно многообразен. **Наиболее значимы следующие процессы:**

воздействие на горные породы выделяемых растениями органических кислот;
влияние выделительной деятельности животных;

поглощение минеральных соединений непосредственно из горной породы и формирование за их счёт новых минеральных веществ (например, лишайники поселяются непосредственно на скалах, извлекают из них минеральные вещества и используют их для своего питания; после разложения их остатков формируются скопления мельчайших частиц глинистых минералов).

Процессы выветривания и почвообразование.

Значимость выветривания для формирования почв трудно переоценить. Если бы на Земле не было процессов выветривания – не было бы и такого важнейшего компонента биосферы, как почва.

Почва представляет собой самостоятельное, очень тонкое природное тело, созданное из почвообразующих пород при участии растительности, животного мира, климата и рельефа. Формирование почвы непосредственно за счёт неизменённой скальной породы невозможно. Сначала горная порода должна подвергнуться дезинтеграции, вплоть до формирования мелкозёма, и только этот материал уже может служить основой для возникновения хотя бы самых примитивных почв.

Ход формирования почв в современных скалистых пустынях описан А.И. Перельманом:

Начинается он с того, что поверхность скал покрывается лишайниками. Это приводит к углублению процессов выветривания.

Далее минерализация отмирающих лишайников создаёт первичный мелкозём, который сдувается ветром в трещины и постепенно накапливается в них.

Дальнейшее изменение этого мелкозёма при участии биогенных процессов создаёт первичную пустынную почву, на которой уже могут селиться высшие растения.

Продукты разрушения этих примитивных почв сносятся в понижения рельефа, в которых формируется уже более полный почвенный профиль аналогичного типа.

Там, где процессы выветривания идут более интенсивно и накапливаются в больших количествах, большее развитие получают и процессы почвообразования. Субстратом для почвообразования могут служить только рыхлые отложения (природные или техногенные), сформированные, в свою очередь, в результате перемещения продуктов выветривания. Таким образом, разрушение горных пород в процессах выветривания - обязательное предварительное условие для формирования почв любого типа.

3. Осадочные процессы

Три очередных звена из цикла экзогенных процессов – денудацию, транспортировку и седиментацию (осадконакопление) – будет целесообразно рассмотреть совместно, так как в природных обстановках все они наиболее тесно связаны между собой. Денудация (снос

продуктов выветривания) одновременно является началом транспортировки этого же материала. А по ходу транспортировки некоторая часть переносимого материала всегда выпадает в осадок – и это уже процесс седиментации. Протекают перечисленные процессы благодаря действию различных агентов – поверхностных и подземных вод, движущегося льда, ветра, силы тяжести, и в разнообразных природных обстановках. Поэтому как сами рассматриваемые процессы, так и их результаты тоже весьма разнообразны.

А. Одним из ведущих агентов, обеспечивающих денудацию, транспортировку и седиментацию рыхлых продуктов выветривания, является ветер. Это, в частности, ведущий агент, удаляющий мелкообломочные продукты выветривания в местах отсутствия растительного покрова (пустыни, полупустыни, открытые берега крупных водоёмов). Ветер способен переносить большие массы этих продуктов на значительные расстояния и отлагать вдали от мест их образования.

Геологические процессы, связанные с деятельностью ветра, называются **эоловыми** (по имени греческого бога Эола – бога ветра).

Разрушительные процессы при эоловой деятельности усиливает часто сопровождается коррозия – разрушение скальных выходов переносимыми ветром песчинками. Коррозия может проявляться на высоте до 2 м от поверхности земли (поднять песок на большую высоту ветер, как правило, не способен). В результате коррозии формируются своеобразные формы микрорельефа – так называемые «эоловые грибы» и котлы выдувания. Первые образуются в результате обтачивания перемещаемыми песчинками оснований скал, имеющих высоту более 2 м. Нижняя часть такой скалы подвергается коррозии и становится со временем всё уже, а верхняя этого воздействия избегает, и её размеры существенно не изменяются. Котлы выдувания образуются там, где из-за сложной формы скал во время ветров возникают вихревые движения воздуха. Захваченные такими вихрями песчинки вытаскивают в скалах округлые углубления. Иногда этот процесс может приводить к формированию сквозных отверстий.

В результате переноса и аккумуляции переносимого ветром материала формируются **барханы** – изогнутые в плане (подковообразные) **песчаные холмы**

Б. Поверхностные воды. Любые постоянные поверхностные воды (реки, озера, болота, моря) производят работу по разрушению горных пород и продуктов их выветривания.

Деятельность постоянных водных потоков называется эрозией.

Эрозия – разрыв рыхлого материала и скальных горных пород текучими водами. Эрозионную работу производит любой водоток. Но наиболее значимую эрозионную работу осуществляют постоянно действующие водные потоки – реки.

Донная эрозия развивается вглубь. В результате этого вида эрозии река врежется в подстилающие её отложения и горные породы, русло её углубляется.

Боковая эрозия развивается из-за того, что распределение скоростей течения в водном потоке никогда не бывает равномерным. Поэтому любая река подмывает поочерёдно то правый, то левый берег. Формируются поперечные изгибы русла – **меандры**.

Развитие меандра может привести к тому, что излучина становится очень протяжённой, а между её началом и окончанием остаётся узкая перемычка. В таких случаях во время паводка перемычка может разрушиться, и река на этом участке вновь спрямляется.

русло. «Потерянная» излучина обособляется от русла реки, и на её месте формируется удлинённое в плане озеро – старица.

Отложения, накапливающиеся в речных долинах в результате деятельности речных потоков, называются **аллювием**.

Деятельность озёр заключается в разрушении берегов, транспортировке и обработке поступающего с берегов и приносимого реками обломочного материала и в накоплении осадочного материала на дне озёрных котловин.

Деятельность болот заключается, главным образом, в накоплении специфических болотных отложений – торфа, который представляет собой продукт неполного разложения остатков болотных растений в условиях избыточной влажности и ограниченного доступа кислорода.. Важной спецификой такого способа разложения является то, что при нём неуклонно повышается доля химических соединений с высоким содержанием углерода сравнительно с другими компонентами. Благодаря этому торф пригоден для использования в качестве топлива.

Деятельность моря чрезвычайно велика, так как подавляющее большинство отложений осадочного слоя земной коры образовались на его дне.

В береговой зоне активно проявляется разрушительная работа моря (**абразия**), производимая ветровыми волнами, цунами, приливно-отливными движениями воды. При достаточной крутизне берега и примыкающего подводного склона происходит интенсивное разрушение берега с образованием абразионного уступа, в основании которого располагается волноприбойная ниша. Этот уступ постепенно отступает от берега, оставляя за собой пляж и подводную террасу. По мере расширения пляжа и террасы интенсивность абразии снижается, и берег становится устойчивым.

Обломочный материал, образующийся при абразии и доставляемый в море реками, перераспределяется в прибрежной зоне моря, при этом он сортируется по крупности частиц, образуя гравийно-галечные, песчаные, алеврито-глинистые отложения. Этими отложениями характерны насыпные формы рельефа морских побережий - косы, стрелки, пересыпи, береговые и подводные валы.

В. Геологическая деятельность подземных вод заключается главным образом в процессах растворения ими вещества минералов и горных пород, его переноса в растворённой форме и переотложения. Кроме того, подземными водами могут переноситься и мелкие взвешенные частицы (глинистые, алевритовые).

Наиболее масштабные проявления геологической деятельности подземных вод связаны с карстовыми процессами. **Карстом** называется процесс растворения подземными водами горных пород, приводящий к формированию крупных пустот в их толще. Карстовые формы рельефа могут быть поверхностными, это **карстовые воронки** и подземные – **пещеры**.

Подвергаться практически полному растворению подземными водами способны горные породы трёх классов: **карбонатные, гипсовые и соляные**. Чаще всего карст проявляется в карбонатных породах, по причине их значительно более широкого распространения.

Г. Временные потоки отличаются от рек непостоянством, эпизодичностью своего функционирования. Такие потоки формируются после сильных дождей или во время таяния снега, и быстро прекращают своё существование. Различают два типа временных потоков:

собственно водные потоки и грязевые потоки (сели). Отличие селей в том, что в составе такого потока существенная часть приходится на долю обломочных частиц (до 75% объёма потока). Соответственно, такой поток обладает многократно большей разрушительной силой. Условия для возникновения селей возникают обычно в горных районах после обильных дождей, особенно если склоны гор сложены рыхлыми, неустойчивыми грунтами.

В результате деятельности временных водных потоков формируется **пролювий**.

В результате деятельности временных потоков образуются такие формы рельефа как **промоина, овраг, конус выноса**.

Д. Основным содержанием склоновых геологических процессов является транспортировка материала вниз по склону под действием силы тяжести. В результате деятельности склоновых процессов формируются:

делювий – возникает за счет смывания частиц выветрелой породы струйками дождевой воды, **коллювий** – возникает за счет обвально-осыпных явлений на склонах.

Е. Геологическая деятельность ледников сводится к ледниковой денудации, транспортировке и отложению перемещённого материала. Её основными результатами являются формирование характерных ледниковых отложений и форм рельефа (**кары, трог, ригели и т.д.**).

Транспортировка обломочного материала при ледниковом переносе может осуществляться как в толще, так и на поверхности движущейся ледяной массы. Переносится этот материал в составе **морен**.

Морены – скопления обломочного материала, переносимого и отлагаемого ледником.

В результате рассмотренных экзогенных процессов (выветривания, переноса, отложения, перекристаллизации осадка, его обезвоживания, уплотнения, образования новых минералов и цементации) происходит образование осадочных пород.

- 1 Абдулин А.А. Геология и минеральные ресурсы Казахстана. Алматы: Гылым, 2004.
- 2 Геологическое строение Казахстана / Бекжанов Г.Р., Кошкин В.Я., Никитченко И.И. и др. - Алматы: Академия минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2005.
- 3 Полезные ископаемые Казахстана: Объяснительная записка к Карте полезных ископаемых Казахстана масштаба 1:1 000 000 / Никитченко И.И. – Кокшетау, 2006.
- 4 Геология и минерагения Казахстана. Алматы: «Казгео», 2008.
- 5 Геонауки в Казахстане. Алматы: «Казгео», 2008.
- 6 Бекжанов Г.Р., Фишман И.Л. Прогнозные ресурсы и управление недропользованием в Казахстане. Алматы, 2012.
- 7 Бакенов М.М. Оновы рудно-формационного анализа. Алматы, 2011.
- 8 Бакенов М.М., Отарбаев К. Геология полезных ископаемых Казахстана, Алматы, 2012.
- 9 Бакенов М.М. Нетрадиционные и новые виды полезных ископаемых Казахстана, Алматы, 2008.
- 10 Рельеф Казахстана (пояснительная записка к Геоморфологической карте Казахстана масштаба 1: 1 500 000). В 2 – х частях. – Алма – Ата: Гылым, 2011.
- 11 Бакенов М.М. Нерудные полезные ископаемые Казахстана, Алматы, 2009.
- 12 Бакенов М.М. Месторождения золота Казахстана, Алматы, 2008.
- 13 Сырьевая база алюминиевой промышленности Казахстана. Алматы: Академия минеральных ресурсов РК, 2006.

Ассоциированный профессор
кафедры ГРМПИ: доктор PhD, к.т.н.
Маусымбаева Алия Думановна
Образовательная программа 7М07202 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

14 Сырьевая база черной металлургии Казахстана (железо, марганец, хром). Караганда

Ассоциированный профессор кафедры ГРМПИ: доктор PhD, к.т.н.

Маусымбаева Алия Думановна

Образовательная программа 7M07202 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»