

# Выветривание

**Выветриванием**, или гипергенезом, называется совокупность физических, физико-химических и биохимических процессов, происходящих в приповерхностной части литосферы при взаимодействии горных пород с атмосферой, гидросферой и биосферой (агентами выветривания) и приводящих к изменению состава, строения, состояния и свойств горных пород.

Суть процесса сводится к физическому разрушению и химическому и биохимическому разложению материнских пород под действием многих факторов, таких как колебания температуры, расклинивающее действие замерзающей воды, воздействие кислорода, углекислоты, органических кислот и т.д.

Комплекс отложений, измененных в ходе выветривания, называют элювием, или корой выветривания.

# Учение о формировании кор выветривания

- Основные положения учения о формировании коры выветривания были впервые разработаны Б.Б.Полыновым (Полынов, 1934):
- 1. Элементы, слагающие горные породы, обладают различной миграционной подвижностью: энергично выносимые – Cl, S; легко выносимые – Ca, Na, K, Mg; подвижные – кремнезем, входящий в состав силикатов; слабо подвижные – Fe, Al, Ti и практически неподвижные – кремнезем, входящий в состав кварца, окись алюминия.

# Стадии выветривания

- 2. Выветривание является единым протекающим во времени процессом, т.е. все процессы, как физические, так и химические, протекают одновременно, но с разными скоростями, а степень преобразования коры выветривания является функцией времени. В соответствии с этим выделяются следующие стадии образования коры выветривания:
  - а) стадия обломочной коры выветривания. Происходит вынос хлора и сульфидной серы. Так как эти элементы присутствуют в небольшом количестве, то их удаление не вызывает глубокого минералогического преобразования породы, которая лишь дезинтегрируется, образуя грубый обломочный элювий;
  - б) стадия обызвесткованной коры выветривания. В эту стадию выносятся Na, K, Ca и другие подвижные элементы. Но из-за большого количества газообразной и растворенной в воде углекислоты часть мигрирующего кальция осаждается в виде карбонатов;
  - в) стадия сиааллитной коры выветривания. В процесс миграции вовлекается кремнезем силикатов, при этом разрушаются первичные и образуются новые (глинистые) силикаты;
  - г) стадия аллитной коры выветривания. Полный вынос силикатного кремнезема и накопление гидроокислов алюминия и железа и кварца.

# Выветривание

- 3. В зависимости от исходных пород выделяются следующие типы кор выветривания: ортоэлювий – на магматических и метаморфических горных породах, параэлювий – на морских осадочных породах и неоэлювий – на континентальных отложениях.
- 4. Скорость процесса выветривания зависит от климатических условий.

# Инженерно-геологическое значение изучения кор выветривания

- Процессами изменения пород в приповерхностной зоне занимаются различные естественные науки в соответствии со стоящими перед ними задачами.
- Интерес геологов, геохимиков, минералогов связан с формированием гипергенных месторождений полезных ископаемых;
- Почвоведов интересуют вопросы деградации почв;
- Для инженерной геологии важным является то, что выветривание приводит к ряду негативных изменений свойств пород (снижению прочности, разуплотнению, повышению деформируемости), что влечет за собой активизацию многих экзогенных процессов (обвалов, осыпей, размыв и т.д.).
- Изучение и прогноз развития процессов выветривания необходим при планировании, проектировании и строительстве сооружений, оценке устойчивости склонов, прогнозе развития геологических процессов.
- Определяет мощность съёма пород.

# Основные виды процесса выветривания

- В зависимости от преобладающих факторов различают «физическое» и «химическое» выветривание. Выделяемое иногда «биогенное» выветривание сводится либо к физическим, либо к химическим процессам.
- **Физическое выветривание** – это исключительно механическое разрушение материала, и причины его многообразны. Одни разрушающие силы возникают в самой породе, другие прилагаются извне.

# *Термическое разрушение*

- ***Термическое разрушение*** – происходит под воздействием суточных и сезонных колебаний температуры. При этом мощность слоя, в котором происходят наиболее значительные колебания температуры и изменение объема может достигать первых десятков метров (Матвеев, 1972). При этом минеральные зерна, слагающие горные породы испытывают попеременно то расширение при нагреве, то сжатие при охлаждении, в породе при этом возникают соответственно то сжимающие, то растягивающие напряжения, что ведет в конечном итоге к ее растрескиванию. Кроме того, верхние слои сжимаются-растягиваются более интенсивно, чем нижние, и это приводит к возникновению сдвиговых напряжений и как результат – к возникновению трещин отдельности, параллельных поверхности. Этот процесс называется шелушением или десквамацией. Наибольшему разрушению в результате температурного выветривания подвержены полиминеральные породы, такие как граниты, гнейсы..., так как составляющие их минералы имеют различные коэффициенты объемного расширения. Гораздо быстрее разрушаются темноокрашенные или пестрые и крупнозернистые породы. Наиболее благоприятными условиями для развития температурного выветривания являются резкие перепады температур, низкая влажность, отсутствие защитного растительного покрова, из чего следует, что эти процессы более всего характерны для пустынь, высокогорья и северных областей.

# ***Разуплотнение пород***

- ***Разуплотнение пород в результате снятия нагрузки*** происходит в результате уменьшения природной или искусственной нагрузки или вследствие релаксации тектонических напряжений. Причиной снятия напряжений могут являться эрозионный врез, отступление ледника, инженерно-хозяйственная деятельность человека. Процесс разуплотнения в зоне разгрузки напряжений находит свое выражение в развитии трещиноватости и уменьшении плотности пород. Трещины разуплотнения располагаются вблизи дневной поверхности и простираются параллельно ей, они открытые или заполнены элювием, раскрытие их уменьшается с глубиной. Мощность зоны разуплотнения составляет десятки метров.



# ***Промерзание – протаивание***

- ***Процессы промерзания – протаивания.*** Замерзание воды в порах и трещинах при полном их заполнении вызывает колоссальные (до 250МПа) напряжения в результате того, что объем льда на 9.08% больше объема, который занимает вода. Необходимым условием развития морозного выветривания является частые переходы температур через точку замерзания воды, т.е. процесс характерен для пород с сильным увлажнением и районов с суровыми климатическими условиями. Интенсивность разрушения пород под воздействием процессов промерзания зависит от степени их литификации и влажности.
- Наиболее сильное перераспределение влаги и нарушение естественного сложения происходит в рыхлых глинистых и пылеватых грунтах. В этих породах возникновение температурного градиента приводит к интенсивной миграции пленочной воды к фронту промерзания и происходит формирование ледяных линз, параллельных ему. Многократное промерзание-протаивание приводит к дроблению песчаных частиц и агрегированию глинистых до размера пыли. Глубины сезонного промерзания-протаивания колеблются от первых десятков сантиметров до нескольких метров.
- Мощность зоны механического дробления пород 1-10 м.

# Химическое выветривание

- ***Растворение и кристаллизация солей*** способствуют выветриванию горных пород. Растворение особенно интенсивно проявляется в осадочных породах – хлоридных, сульфатных и карбонатных. В результате растворяющей деятельности воды на поверхности растворимых пород появляются характерные формы – борозды, воронки, а в глубине различные полости, которые затем заполняются рыхлым материалом. При изменениях, уменьшающих растворяющую способность воды (колебаниях температуры, испарении, изменении скорости потока), часть растворенных солей может выпадать в осадок.

# Гидратация

- К процессам **«химического выветривания»**, приводящим к изменению минерального состава пород относятся: гидратация – дегидратация, гидролиз, окисление-восстановление, катионный обмен.
- - Процесс присоединения воды (**гидратация**) может происходить с образованием новых минералов (гипс, лимонит), либо без него (гидратация глинистых частиц). И в том, и в другом случае в породе возникают напряжения, которые могут приводить к ее разрушению. При кристаллизации гипса возникают давления до 110 МПа. Глинистые частицы окружены пленками связанной воды. Уменьшение влажности глинистых пород ведет к неравномерному изменению их объема (усадке) и возникновению сжимающих и сдвиговых напряжений. При этом в породе возникают трещины усадки. При увлажнении вода оказывает расклинивающее действие.

# ***Гидролиз и катионный обмен***

- - ***Гидролиз и катионный обмен*** – это замещение ионами воды и растворенных в ней веществ ионов, входящих в состав минералов. При этом вытесняемые ионы либо выносятся (выщелачивание), либо осаждаются в виде труднорастворимых соединений. Скорость гидролиза зависит от температуры, рН среды, гидродинамического режима, увеличиваясь в кислой среде, с повышением температуры и увеличением водообмена. Реакции гидролиза, выщелачивания и катионного обмена наиболее интенсивно протекают в зоне аэрации и приводят к глубокому изменению минерального состава горных пород

# ***Окисление***

- - ***Окисление*** получает наибольшее развитие в железосодержащих минералах. Содержащееся в силикатах, сульфидах, карбонатах двухвалентное железо легко окисляется до трехвалентного. Конечным продуктом является лимонит. Наиболее интенсивно процессы окисления протекают выше уровня грунтовых вод, куда в больших количествах поступает кислород из атмосферы. Процессам окисления весьма способствует большое содержание органического вещества в почвах, процесс разложения которых сопровождается выделением большого количества углекислоты, а также сложных органических соединений, агрессивных ко многим компонентам горных пород.

# Виды процесса выветривания

- Самым разнообразным воздействиям подвергаются породы со стороны **живых существ**. Корни растений, проникая в трещины и разрастаясь, вызывают раскалывание пород; роющие животные – грызуны, термиты, земляные черви разрушают и перемешивают породы и т.д.
- Огромную роль в изменении горных пород играют **микроорганизмы**. Бактерии, водоросли, лишайники способны разлагать многие минералы, в частности силикаты. Некоторые зеленые и сине-зеленые водоросли аккумулируют в своих телах железо и способствуют появлению железистых корок «загара» на поверхности пород. Окисление сульфидов и сульфатов железа ускоряется при участии тиобактерий. Грибы проникают по трещинам спайности слюд, полевых шпатов и других минералов и разрушают их.

## Условия и факторы развития процессов выветривания

- Интенсивность выветривания зависит от пород, их состава, состояния и условий залегания, рельефа, экспозиции, обводненности, растительности, климатических факторов и др.
- Для выветривания характерны определенные закономерности, которые определяют гидрогеохимическую и климатическую зональность процесса.
- В результате формируется профиль коры выветривания, имеющий зональное строение. Зоной коры выветривания называется часть коры выветривания, обладающая более или менее определенным минеральным составом, физическими свойствами и структурно-текстурными особенностями и характеризующаяся определенным комплексом происходящих и происходивших в ней геохимических процессов.
- Гидрогеохимическая зональность проявляется по вертикали и связана с различными условиями протекания химических реакций выше и ниже уровня грунтовых вод. Ниже уровня грунтовых вод там, где вода полностью заполняет поры и пустоты в горных породах, преобладают процессы гидратации и восстановления, выше - развиваются процессы окисления, гидролиза и катионного обмена.

# Зональность процесса выветривания

- Климат сильно влияет на скорость и характер химических изменений в горных породах. Одни климатические условия обеспечивают быстрое физическое выветривание, другие способствуют развитию химических и биохимических процессов.
- В сухих районах, будь то жаркие или холодные, химическое выветривание проявляется в меньшей степени. Вода необходима для большинства химических реакций, и, следовательно, от общего количества осадков и гидродинамического режима зависит интенсивность химического выветривания.
- **Температура** влияет на скорость химических процессов - повышение температуры на  $10^{\circ}\text{C}$  увеличивает скорость химических реакций в 2-4 раза. В условиях, где осадки преобладают над испарением, продукты выветривания удаляются растворами.
- В сухом и жарком климате быстрое испарение способствует кристаллизации солей и образованию «корок» - карбонатных, сульфатных, солевых.
- В холодных полярных зонах химические реакции практически не протекают, а происходит процесс дезинтеграции пород.



# Факторы развития процессов выветривания

- Атмосферные осадки, их химический состав
- Инсоляция, увеличивающая скорость химических реакций
- Воздух (кислород, углекислый газ)
- Почвы, увеличивающие рН инфильтрующихся вод
- Растительность, усиливающая агрессивность атмосферных осадков при их прохождении через крону
- Микроорганизмы, продуцирующие органические кислоты, которые поступают в подземные воды
- Животный мир
- Техногенные факторы (вскрытие пород, загрязнение атмосферы и подземных вод, промышленные отходы и пр.)

# Строение кор выветривания

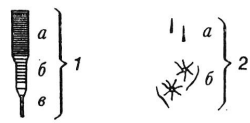
- Основой для всех существующих схем расчленения коры выветривания в инженерной геологии стала схема Н.В.Коломенского (1952), разработанная для апшеронских глин района Мингечаурского гидроузла.
- На схеме расчленения коры выветривания Г.С. Золотарева для глинистых и изверженных пород выделяется зона линейного или трещинного выветривания, в которой процесс развивается лишь вдоль трещин, не затрагивая основной массив грунта.

# Зоны выветривания (Н.В. Коломенский, 1964)

- **Зона IV.** Тонкого дробления (дисперсная). Пыль с небольшой примесью мелких обломков. Состоит в основном из вторичных минералов с примесью тонкораздробленных первичных. Коэффициент фильтрации практически равен 0. Сжимаемость резко возрастает, прочностные свойства уменьшаются по сравнению с зоной III. порода приобретает новые свойства: сцепление, пластичность, набухаемость.
- **Зона III.** Зернистая или мелкообломочная. Обломки различной величины (до 10 см, редко больше) сопровождаются значительным количеством пылеобразных продуктов. Большое содержание вторичных минералов. Тектурные признаки материнской породы не прослеживаются. Физико-механические свойства продолжают снижаться. Резко снижаются фильтрационные свойства.
- **Зона II.** Глыбовая. Наличие трещин выветривания, разбивающих породу на отдельные глыбы, химико-минеральный состав которых отвечает составу материнских пород. В трещинах наблюдаются вторичные изменения (кристаллы гипса, ожелезнение). Физико-механические свойства резко меняются по сравнению с неизмененными. Породы обладают наибольшей фильтрационной способностью, прочностные свойства резко снижаются.
- **Зона I.** Монолитная. Порода не имеет видимых глазом трещин выветривания, но уже претерпела расшатывание связей. Раскалывается по определенным плоскостям, иногда на плоскостях скола встречаются слабые железистые налеты. Физико-механические свойства практически не отличаются от неизмененных пород.

# Схема расчленения коры выветривания (Г.С. Золотарев, 1983)

Названия и индексы зон выветривания	Характерные особенности	Принципиальный разрез	Климатические области	Процессы выветривания					
				Колебания температуры	Обождение и высыхание	Разрушение биогенными факторами	Гидролиз	Окисление	Выщелачивание
<p><b>I</b> „Дисперсная“ полного химического преобразования исходных пород</p>	<p>Глины, суглинки и супеси в основании с редкой щебенкой, выщелоченные и ожелезненные, карбонатизированные и т.п. Возможно разделение на 2-3 горизонта. Слабо изучена в инженерном отношении.</p>		гумидная	■	■	■	■	■	■
			умеренная	■	■	■	■	■	■
			резко континентальная	Не характерно образование зоны I					
<p><b>II</b> „Обломочная“ Преобладание физической дезинтеграции и частичное химическое разложение пород</p>	<p>По степени раздробления и химического разложения, количеству минеральных новообразований и физико-механическим свойствам подразделяются, обычно, на 4 горизонта, обозначаемые: „А“, „Б“, „В“ и „Г“</p>		гумидная	■	■	■	■	■	■
			умеренная	■	■	■	■	■	■
			резко континентальная	■	■	■	■	■	■
<p><b>III</b> „Трещинная“ Раздробление массива и начало разложения пород по крупным трещинам и тектоническим зонам</p>	<p>Проявление на значительных глубинах. Возможно образование зон выветривания малой толщины вдоль основной трещины.</p>		гумидная	■	■	■	■	■	■
			умеренная	■	■	■	■	■	■
			резко континентальная	■	■	■	■	■	■



## Показатели степени выветрелости

- Показатель выветрелости (К.Терцаги, 1934)

где  $h$  – действительная твердость породы (берется из таблицы);  $H$  – теоретическая твердость

$$V = \frac{H - h}{h}$$

$100H = P_1 h_1 + P_2 h_2 + P_3 h_3 + \dots$ ,  $P_1, P_2, P_3$  – геометрически определенные части объема в процентах, приходящиеся на отдельные минералы;  $h_1, h_2, h_3$  – их средние твердости.

- Степень выветрелости (З.К.Баранова, Е.М.Сергеев, 1959)

Определяется по разности коэффициентов пористости выветрелых и невыветрелых пород

- Показатель степени выветрелости  $i$  (А.Хэмрол, 1961)

где  $P_1$  – вес образца, высушенного при  $105^\circ$ ,  $P_2$  – вес того же образца, после водонасыщения в течение 1.5 – 2 часов.

$$i = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \cdot 100\%$$

Показатель стойкости (П.Н. Панюков, 1962)

где  $\sigma_{сж1}$ ,  $\sigma_{сж2}$  – временное сопротивление пород сжатию в невыветрелом состоянии и после годового цикла воздействия агентов выветривания

$$K_8 = \frac{\sigma_{сж1} - \sigma_{сж2}}{\sigma_{сж1}}$$

**Показатель сохранности породы  $B_c$  (С.Д. Воронкевич, 1963)**

$$B_c = \frac{\varepsilon_f^A - \varepsilon_c}{\varepsilon_f^A - \varepsilon_0}$$

$\varepsilon_f^A$  - коэффициент пористости породы в состоянии предела текучести, характеризует состояние максимального с инженерно-геологической точки зрения разрушения данной породы в зоне выветривания

$\varepsilon_c$  - коэффициент пористости оцениваемой породы

$\varepsilon_0$  - коэффициент пористости породы в неветрелом состоянии.

**Показатель выветрелости  $K_v$  (В.Б.Швец, 1964).**

$$K_v = \frac{K_t - K_o}{K_t}$$

где

$K_t$  — отношение массы частиц меньше 2 мм к массе частиц больше 2 мм после истирания в специальном барабане,

$K_o$  — то же в природном состоянии.

**Коэффициент выветрелости (Г.С. Золотарев, 1969)**

$$B_c = \frac{F_n - F_o}{F_n - F_a}$$

где  $F$  – показатель какого-либо свойства породы (плотность, пористость, временное сопротивление сжатию...), а индексы  $n, o, a$  – относятся к невыветрелой, оцениваемой и предельно выветрелой породе соответственно.

По этому показателю выделяются четыре категории пород:

сильновыветрелые –  $B_c > 0.9$ , выветрелые –  $B_c = 0.7-0.9$ , средневыветрелые  $B_c = 0.3-0.9$  и слабыветрелые  $B_c < 0.3$ .

**Показатель интенсивности выветривания (Л.А.Ярг, 1974)**

$$K_R = \frac{\bar{R}_{i,n} - \bar{R}_{i,n-1}}{\frac{h_n}{2} + \frac{h_{n-1}}{2}} = 2\Delta R$$

где  $\bar{R}_i$  – среднее значение какого-либо  $i$ -того показателя свойств пород для соответствующей зоны выветривания,  $h$  – мощность зоны выветривания до  $\infty$ .

# Скорость выветривания

- Скорость выветривания – отношение мощности возникшей коры выветривания ко времени, за которое она образовалась. Определяется мощность коры выветривания по изменению свойств горных пород.
- Скорость выветривания в условиях постоянного сноса постоянная, в глинах – 0,5м/год; в условиях ограниченного сноса уменьшается.
- Три стадии скорости развития процессов выветривания (Ю.Д. Матвеев, 1970):
- 1 – интенсивная; 2 – замедленная; 3 – затухающая; равномерно затухающий процесс.
- Скорость выветривания возрастает по мере того, как увеличиваются различия между термодинамическими условиями образования горной породы и теми условиями, в которых протекает процесс выветривания. Поэтому осадочные породы выветриваются медленнее, чем изверженные



# Задачи и методы изучения процессов выветривания

- Установление закономерностей распространения кор выветривания, их мощностей, типов, строения, возраста – картирование, горные выработки
- Определение свойств пород коры выветривания, их изменение - опробование в шурфах и скважинах.
- Расчленение профиля коры выветривания – шурфы.
- Оценка интенсивности выветривания, определение скорости – стационарные наблюдения на площадках.
- Лабораторные экспериментальные и расчетные методы.

# Меры стабилизации процессов выветривания

- Искусственная нейтрализация некоторых агентов выветривания:
  - - путем введения в породу солей, уменьшающих растворимость пород,
  - - планировка и отвод вод.
- Лесомелиорация.
- Укрепление - пропитывание пород жидкими смолами, гудроном.
- Устройство защитных покрытий из песка, суглинка, иногда бетона и цемента.
-