

Радиогеохимия экзогенных процессов

**Уран и торий при формировании коры
выветривания**

Основные сведения о процессах выветривания:

Выветривание

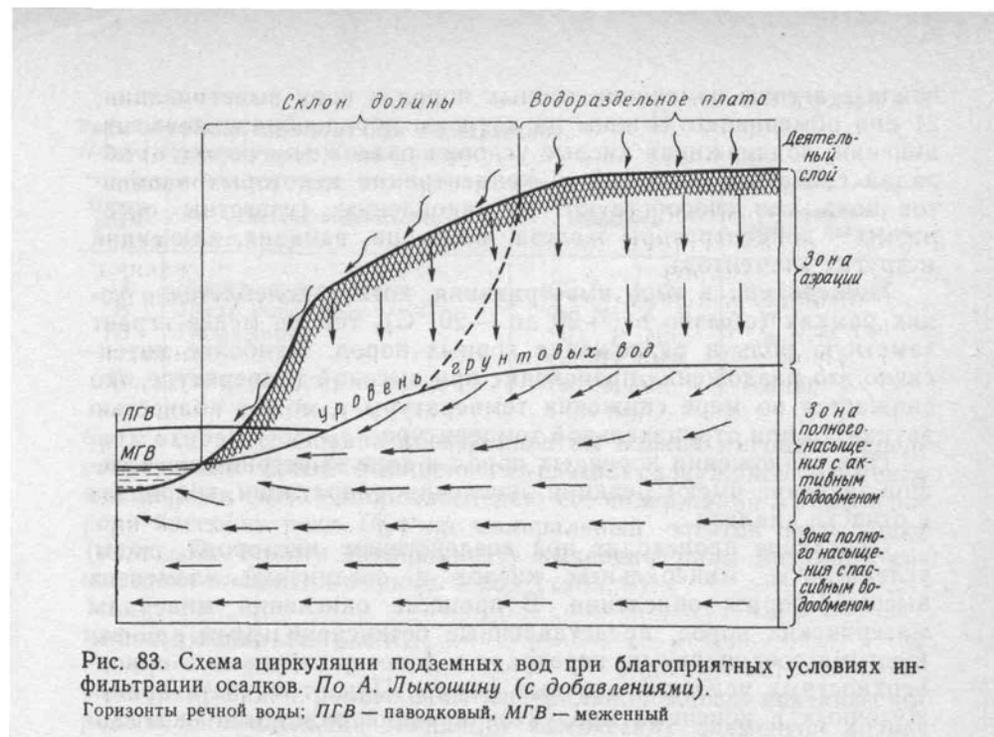
Выветривание – неравновесный процесс изменения и разрушения минералов и горных пород на поверхности Земли под воздействием физических, химических и биологических факторов. Учение о выветривании получило начальное развитие в трудах почвоведов (В.В. Докучаев, Б.Б. Польшин и др.). Процессы выветривания происходили и происходят непрерывно на всех континентах. Интенсивность выветривания зависит от многих факторов и неодинакова для разных периодов развития земной коры. Интенсивное континентальное выветривание приводит к формированию специфических геологических формаций – формаций кор выветривания. В истории земной коры выделяют эпохи наиболее активного корообразования, когда совокупное действие благоприятных факторов приводило к формированию мощных кор выветривания.

Основные факторы, обуславливающие формирование коры выветривания – климат, геологическое строение территории, геоморфологические особенности, тектоническая активность.

Основными агентами преобразования горных пород в коре выветривания являются вода, кислород, углекислота, различные кислоты, микроорганизмы, температура.

Вода – один из наиболее важных агентов выветривания. Она осуществляет растворение, перенос и отложение природных химических соединений в коре выветривания, растворение активных агентов и доставку их на участки преобразования горных пород, разложение минералов материнской породы при гидратации и гидролизе, регулирование физико-химической обстановки процессов преобразования горных пород в корах выветривания путем изменения кислотности-щелочности (рН), окислительного потенциала (Eh) и химического состава растворенных в ней веществ. Главным источником воды в корах выветривания являются атмосферные осадки (метеорные воды). При подземной циркуляции метеорные воды проходят через три зоны: 1 – аэрации, или просачивания; 2 – полного насыщения с активным водообменом; 3 – полного насыщения с замедленным водообменом (рис.).

Наиболее активные реакции разложения горных пород при участии подземных вод происходят в зоне аэрации выше уровня грунтовых вод. Воды зоны аэрации имеют кислую реакцию, близ уровня грунтовых вод они нейтрализуются, а ниже приобретают щелочные свойства. Роль воды в выветривания отчетливо видна на схеме взаимосвязи количества осадков и мощности коры выветривания в различных климатических поясах планеты (рис. 4.2).



Кислород, как и вода, играет важную роль в процессах окисления, имеющих большое значение при образовании коры выветривания. В этих процессах участвует кислород атмосферы, растворенный в воде кислород, а также кислород минеральных соединений окислительно-восстановительных реакций.

Углекислота и другие кислоты органического и неорганического происхождения активно участвуют в процессах окисления, интенсифицируют процесс разложения горных пород в коре выветривания, придавая ему определенную направленность.

Как показывают современные исследования, особая роль в разрушении горных пород принадлежит микроорганизмам. Микроорганизмы, главным образом бактерии, регенерируют кислород, углекислоту и ряд органических кислот, поставляя эти важнейшие агенты выветривания в кору выветривания. Они обменивают ионы водорода на катионы породообразующих соединений, поддерживая кислые условия разложения пород, способствуют избирательному накоплению отдельных химических элементов в коре выветривания.

Температура в коре выветривания, хотя и колеблется в узких пределах (обычно от +20 до -20°С), но играет важную роль в разложении горных пород. Наиболее интенсивно разложение происходит при высокой температуре. По мере снижения температуры оно снижается и при минусовых значениях может почти полностью затихать (рис.4.2).

Региональная зональность коры выветривания

а также оксидов.

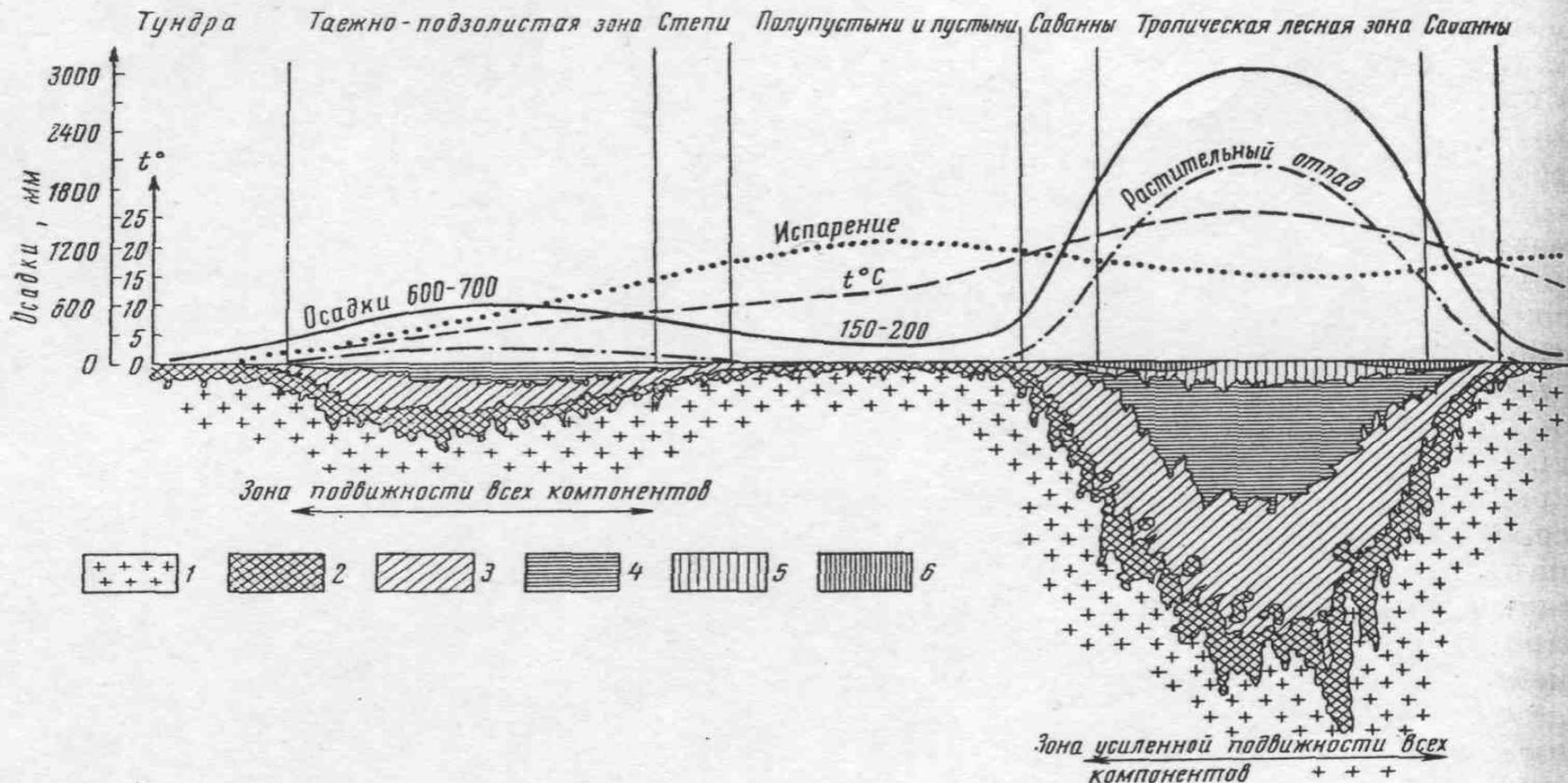


Рис. 184. Региональная зональность коры выветривания в меридиональном сечении.
По Н.М.Страхову

1 — свежая порода; 2 — зона дресвы, химически мало измененной; 3 — гидрослюдисто-монтморилло-нито-бейделлитовая зона; 4 — каолининовая зона; 5 — охры (Al_2O_3); 6 — панцирь ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$)

К и с л е н н а я п о р о д а , с о с т а в к о т о р о й о п р е д е л я е т с я п р е о б л а д а н и е м

профили выветривания

В результате разложения минеральной массы коренных пород и избирательной миграции химических элементов возникают различные профили выветривания:

- гидрослюдистый или насыщенный сиалитный;
- глинистый или ненасыщенный сиалитный;
- латеритный или алитный.

Гидрослюдистый профиль коры выветривания характеризуется изменением силикатов при участии гидратного и гидролизного преобразования без существенной миграции кремнезема. Типоморфными минералами этого профиля являются гидрослюды и гидрохлориты, монтмориллонит и бейделлит.

Глинистый профиль отличается дефицитом кремнезема, частично удаленным из коры выветривания. Типоморфные минералы представлены каолинитом, галлуазитом, нонтронитом.

Латеритный профиль при полном или почти полном разрушении связей между глиноземом и кремнеземом и интенсивным выносом последнего из коры выветривания. Типоморфные минералы представлены гидроксидами алюминия, оксидами и гидроксидами железа.

Радиогеохимия коры выветривания

Процессы выветривания приводят к изменению содержания урана и тория в горных породах. При формировании коры выветривания имеет место **перераспределение радиоактивных элементов, приводящее как к их выносу, так и к накоплению**. Установлено также разделение урана и тория в процессах выветривания, обусловленное особенностями их геохимии.

Уран

Поведение урана в процессах выветривания горных пород определяется его высокой миграционной способностью в окислительной обстановке. Вследствие этого **отмечается заметный дефицит урана в корях выветривания** относительно материнских пород, который в целом составляет около 50-60% от исходного содержания. Случаи повышенного содержания урана в корях выветривания связаны либо с ореолами рассеяния месторождений, либо со вторичными процессами (инфильтрация, инсоляция) глубокое химическое изменение горных пород, ведущее к образованию глинистой коры выветривания, не является необходимым фактором выщелачивания урана. Факты показывают, что **вынос урана из пород значительно опережает их глубокое химическое изменение**. Так, при изучении гранитного массива центрального Вайоминга были установлены низкие отношения изотопов $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$ в верхних частях гранитных тел, связанные с его выносом метеорными водами. Авторы исследования пришли к выводу, что в течение кайнозоя из гранитов до глубины примерно 9 м было вынесено более 106 т урана, что достаточно для образования всех осадочных месторождений центрального Вайоминга. Характерно, что торий при этом остается на месте и, таким образом, о выносе урана в известной мере можно судить по торий-урановому отношению.

- Одним из главных факторов, определяющих уровень концентраций урана и тория в корах выветривания, является их содержание в материнских породах (рис.). Наблюдается линейная зависимость между содержанием урана и тория в корах выветривания и в субстрате. Большая часть точек для урана расположена ниже линии прямой пропорциональной зависимости, что указывает на уменьшение концентраций элемента в процессе выветривания исходных пород. Из этих данных видно, что вероятность образования высоких концентраций урана и тория в корах выветривания по породам с низким содержанием этих элементов мала.

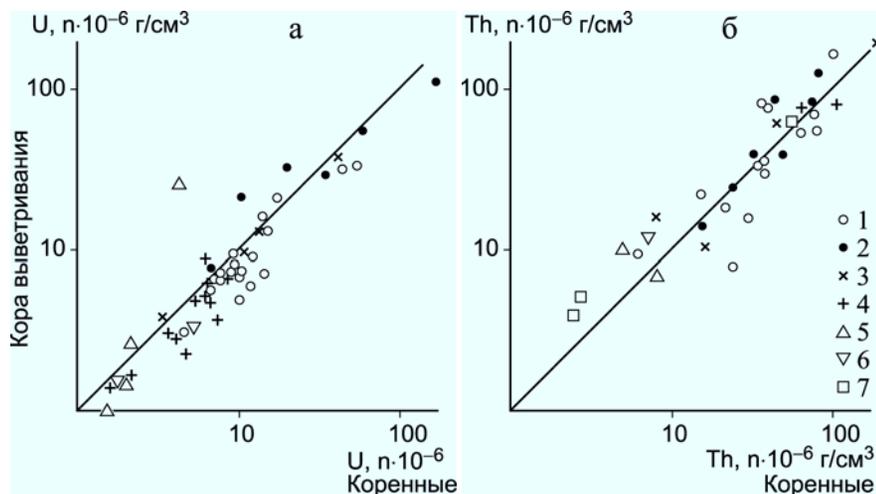


График зависимости между содержанием урана (а) и тория (б) в коренных породах и корах выветривания (по С.М. Жмодику, 1984).

Продукты выветривания: 1 – кислых, 2 – щелочных и 3 – карбонатных пород, 4 – сланцев, 5 – диабазов, долеритов, 6 – туфов, 7 – амфиболитов, пироксенитов.

Согласно обобщениям А.А. Смыслова (1974), при выветривании разнотипных по составу и радиоактивности пород отмечается некоторое (в целом незначительное) **уменьшение** (по отношению к материнским породам) **содержания урана, радия и тория в нижнем горизонте коры выветривания (зоне дезинтеграции)**. Это связано, вероятно, с изменением формы нахождения элементов, увеличением пористости дезинтегрированных пород и некоторым выносом вследствие этого урана и радия в процессе механического и частично химического преобразования. **Наиболее характерной особенностью этого горизонта является значительное изменение формы нахождения урана, проявляющееся в резком увеличении содержания его легкорастворимой (подвижной) разности.**

По сравнению с зоной дезинтеграции в **среднем гидрослюдисто-каолинитовом горизонте фиксируется повышенное содержание урана, радия и значительно реже тория**. Обычно радиоактивных элементов (особенно урана) в среднем горизонте больше по отношению не только к другим горизонтам, но и к материнским породам. Относительное обогащение этого горизонта ураном и радием, а также многими другими элементами (Mo, Si, Rb, Zn, V) обусловлено их сорбцией гидрослюдистым, гидрохлоритовым и монтмориллонитовым материалом. Обогащение гидрослюдистого горизонта ураном иллюстрирует разрез коры выветривания по гранитам новосибирского массива

**Распределение урана в профиле выветривания Колыванского участка
(по Рослякову и др., 2004)**

| Глубина, м | Содержание урана, г/т |
|-------------------|------------------------------|
| 1,4 | 45 |
| 20 | 50 |
| 37 | 85 |
| 45 | 75 |
| 46 | 110 |
| 60,5 | 110 |
| 95 | 84 |

В верхнем (каолинитовом) горизонте кор выветривания, как правило, фиксируется значительное уменьшение содержания урана и радия, в то время как количество тория несколько увеличивается. В латеритной коре, резко обогащенной гидроокислами алюминия и железа (бокситы Тихвинского района, Енисейского кряжа и др.), часто отмечается повышенное содержание тория, до $(50\div 70)\times 10^{-4}\%$, что связано с **накоплением в горизонтах выноса устойчивых к разрушению акцессорных минералов и сорбцией тория глинистыми частицами**. По данным Л. М. Гофмана, количество тория в глинистом горизонте значительно увеличивается (до $63\times 10^{-4}\%$) на конечной стадии корообразования.

Нарушение радиоактивного равновесия

Характерной радиогеохимической особенностью продуктов кор выветривания является нарушение радиоактивного равновесия в уран-радиевом ряду – смещение в **сторону избытка радия**. Коэффициент равновесия между ураном и радием (Ra/U) колеблется от единицы в зоне дезинтеграции до 1,7 – в глинистых продуктах каолинитового горизонта. Подсчеты баланса радиоактивных элементов, выполненные В. И. Васильевой с учетом плотности и пористости пород, свидетельствуют о значительном общем дефиците урана и радия в образованиях кор выветривания

Формы нахождения урана и тория

В корках выветривания распространены различные формы нахождения урана и тория. **Основными концентраторами урана и тория являются высокодисперсные минералы – монтмориллонит, каолинит, иллит, гидроокислы железа и марганца.** По данным С.М. Жмодика (1984), в корках выветривания уран и торий концентрируются в большинстве случаев в глинистой (<1 мкм) и тонкопелитовой фракциях (1-10 мкм). Торий-урановое отношение в гранулометрических фракциях зоны выветривания сопоставимо с Th/U исходных пород. Причиной этого явления может быть одновременная фиксация большей части урана и тория в процессе выветривания тонкодисперсными минералами глин и гидроокислов.

Итак, в корках выветривания ведущую роль приобретают две **формы нахождения урана и тория: сорбционная на гидроокислах железа и глинистых минералах** и **минеральная в составе трудно разрушаемых минералов-концентраторов урана и тория (циркон, монацит и др.).**

Механизмы миграции U и Th в коре выветривания

Как показывают исследования (Жмодик, 1984), выветривание пород в окислительной обстановке приводит прежде всего к изменению форм нахождения урана. Уран, сконцентрированный в породообразующих и акцессорных минералах, переходит в раствор с последующей сорбцией его гипергенными тонкодисперсными окислами и силикатами. Происходит мобилизация и концентрация в процессе выветривания легкоподвижного урана, сорбционно связанного с минералами глин и гидроокислов. Размыв, транспортировка и осадочная дифференциация продуктов выветривания в условиях, аналогичных тем, в которых происходило формирование элювия, привели к образованию горизонтов, обогащенных дисперсными гипергенными минералами с высокими содержаниями сорбционно связанного урана.

Смена гумидных условий климата на аридные приводит к трансформации химического состава вод, которые становятся содовыми. Взаимодействие глинистых минералов с восходящими содовыми растворами в результате капиллярного подъема вод при испарении приводит к переходу урана в раствор с последующим его осаждением в виде собственных урановых минералов.