

Лекция 2

Магматические месторождения

Магматические месторождения образуются путем кристаллизации магматического расплава.

Они формируются в процессе подъема магмы из нижних горизонтов земной коры.

В верхней части земной коры при охлаждении магматического расплава происходит его дифференциация и образуются месторождения.

Условия образования магматических месторождений

Преобладающим источником рудообразующих элементов магматических месторождений было глубинное вещество подкоровой магмы.

Однако формирование самих месторождений происходило в широком диапазоне глубин и давлений от очень больших, отвечающим полям устойчивости алмаза и пироба на глубине 150 км, до приповерхностных, соответствующих образованию сульфидных Cu-Ni месторождений на глубине до 1 км. Давление, необходимое для возникновения алмаза, достигает 5000 МПа.

Условия образования магматических месторождений

Температура формирования магматических месторождений изменяется от 1500°C , соответствующей экспериментальным условиям получения алмаза, до 300°C , при которой выделялись рудообразующие сульфиды (и оксиды) некоторых магматических месторождений. Перепад температур от начала до конца магматического рудообразования мог быть весьма значительным.

Ультраосновные и основные магмы часто обогащены серой и некоторыми металлами. По экспериментальным данным сернистые соединения металлов растворяются в магме только при температуре выше 1500°C . Поэтому в охлаждающейся сульфидно-силикатной магме при температуре близкой к 1500°C или несколько ниже, т.е. задолго до начала ее кристаллизации ($900-1000^{\circ}\text{C}$), происходит разделение расплава на две несмешивающиеся жидкости: силикатную и сульфидную. Этот процесс и называется ликвацией. Если кристаллизация породообразующих минералов начинается при температуре $900-1000^{\circ}\text{C}$, то температура выделения сульфидов значительно ниже – $600-700^{\circ}\text{C}$, а для части из них оценивается в $200-300^{\circ}\text{C}$.

3 причины возникновения магматических месторождений:

1. Расплав остывая, разделяется на две несмешивающиеся жидкости, рудную и силикатную – **ликвация**. Если одна из жидкостей состоит из вещества, которое образует месторождение, то оно называется **ликвационным**.

2. Обычно происходит разделение магматического расплава вследствие различной температуры плавления минералов – **кристаллизационная дифференциация**.

Если среди первых выпадают рудные минералы – образуются **раннемагматические** месторождения.

Иногда их называют **аккумулятивными** или **сегрегационными** (по Заварицкому).

3. Образование месторождений, если расплавы насыщены газовой фазой. Меняется порядок выпадения минералов.

Рудные минералы выделяются последними –

позднемагматические месторождения

(гистеромагматические).

Генетическая классификация месторождений

Магматогенная (эндогенная) серия

Группа	Класс
Магматическая	Ликвационный Раннемагматический Позднемагматический

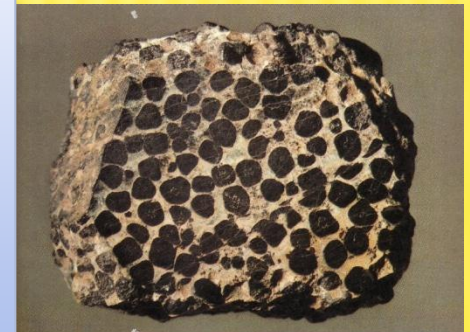
Механизмы дифференциации рудно-силикатной магмы

Ликвация (ликвационная дифференциация)

Экспериментально показано, что если силикатные расплавы содержат сернистые соединения, то при постепенном охлаждении, при $\sim 1500^{\circ}\text{C}$ начинается ликвация, т.е. разделение гомогенного рудно-силикатного расплава на две несмешивающиеся жидкости – сульфидную и силикатную.

Главными геохимическими факторами, влияющими на ликвацию сульфидного расплава в магме, являются: 1) концентрация серы, 2) общий состав силикатной магмы, особенно содержание в ней Fe, Mg, Si; 3) содержание халькофильных элементов (Cu, Ni, Co) в жидкой силикатной фазе.

*При ликвации сульфидная часть расплава обособляется в капли. Эти капли имеют более высокую плотность и начинают погружаться в вязком силикатном расплаве по направлению к донной части резервуара. Этот процесс идет под действием силы тяжести и называется **гравитационной дифференциацией**.*



Формы рудных тел ликвационных месторождений

В зависимости от длительности остывания силикатной части расплава, которая в известной мере связана с глубиной формирования интрузии, локализация сульфидных тел может происходить различными способами, что определяет форму рудных тел и их положение в интрузивном массиве.

1. При относительно быстром остывании магмы на небольшой глубине отделившиеся капельки сульфидов могут не дойти до дна интрузии и образуют **висячие залежи вкрапленных руд**.
2. При более медленном остывании интрузии сульфидный расплав может сконцентрироваться в его нижней части и образовать **донные залежи сплошных и вкрапленных руд**.
3. При обычной раскристаллизации интрузивного массива до полного отверждения сульфидного расплава его часть может быть отжата из донной и центральной областей под действием тектонических причин в трещины вмещающих пород, и образовать **сульфидные жилы**.

Формы рудных тел ликвационных месторождений

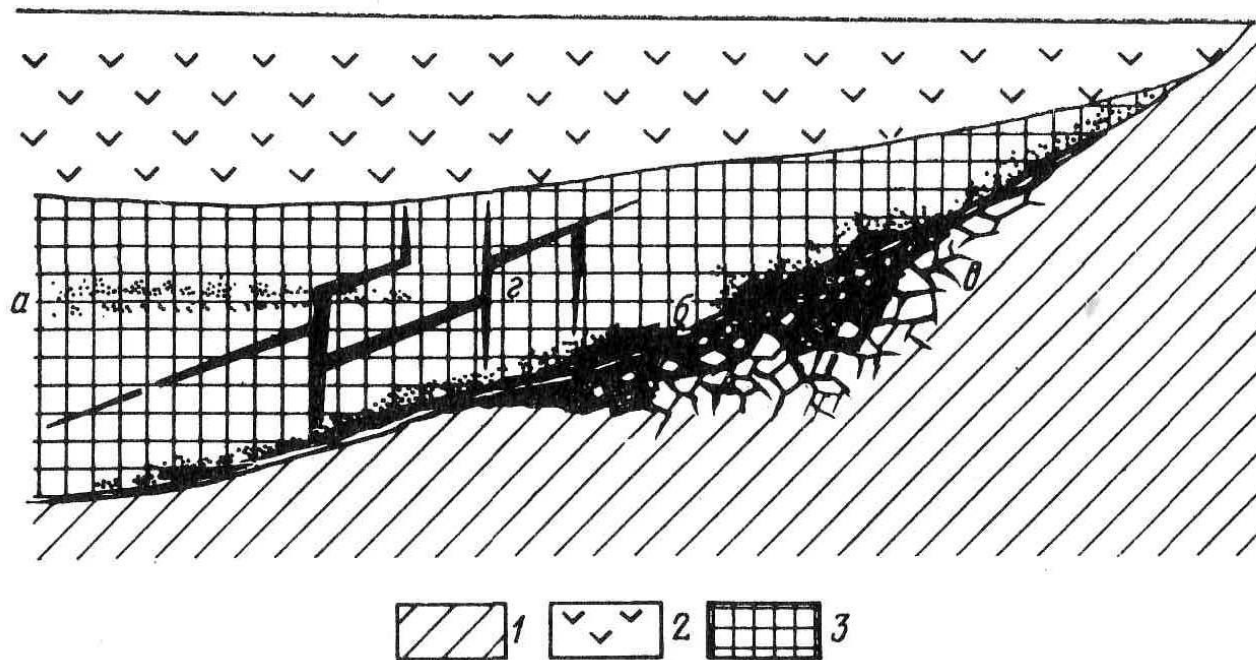


Рис. 25. Принципиальная схема размещения рудных тел сульфидных медно-никелевых месторождений:

a — висячие вкрапленные руды; *б* — донные залежи; *в* — приконтактные брекчиевые руды; *г* — жилы; породы: *1* — подстилающие, *2* — перекрывающие, *3* — вмещающие

Механизм кристаллизационной дифференциации

Отделение рудного расплава от силикатного может происходить и другим путем – по схеме кристаллизационной дифференциации или фракционирования.

На первой стадии (1) при понижении температуры из расплава выделяются кристаллы силикатов. На следующей (2) стадии кристаллы железо- и магниевых силикатов, имеющие более высокую плотность в сравнении с плагиоклазами, под действием силы тяжести опускаются на дно и происходит обогащение ими донной части магматической камеры. Постепенно (3) накапливается остаточный рудный расплав и также погружается вниз, располагаясь выше скоплений Fe-Mg минералов, выстилающих ложе интрузии. Более легкие плагиоклазы и другие минералы всплывают (4), образуя покров рудного горизонта. *При этом возникают согласные рудные залежи.* В других случаях, в силу тектонических причин, жидкий рудный расплав может быть отжат в стороны по разломам (5) и таким образом формируются *секущие рудные тела.*

Таким образом в теле интрузии образуются слои разного минерального и химического состава, и он приобретает полосчатое строение. Для объяснения полосчатого строения рудоносных ультраосновных и основных интрузий предложены *два механизма дифференциации* рудно-силикатных расплавов: *ликвационный и кристаллизационный.* В первом случае силикатный и рудный расплавы обособляются до их затвердевания, во втором – в процессе затвердевания. В обоих случаях в силу разной плотности жидких и твердых фаз происходит их *гравитационная дифференциация.*

Механизм кристаллизационной дифференциации

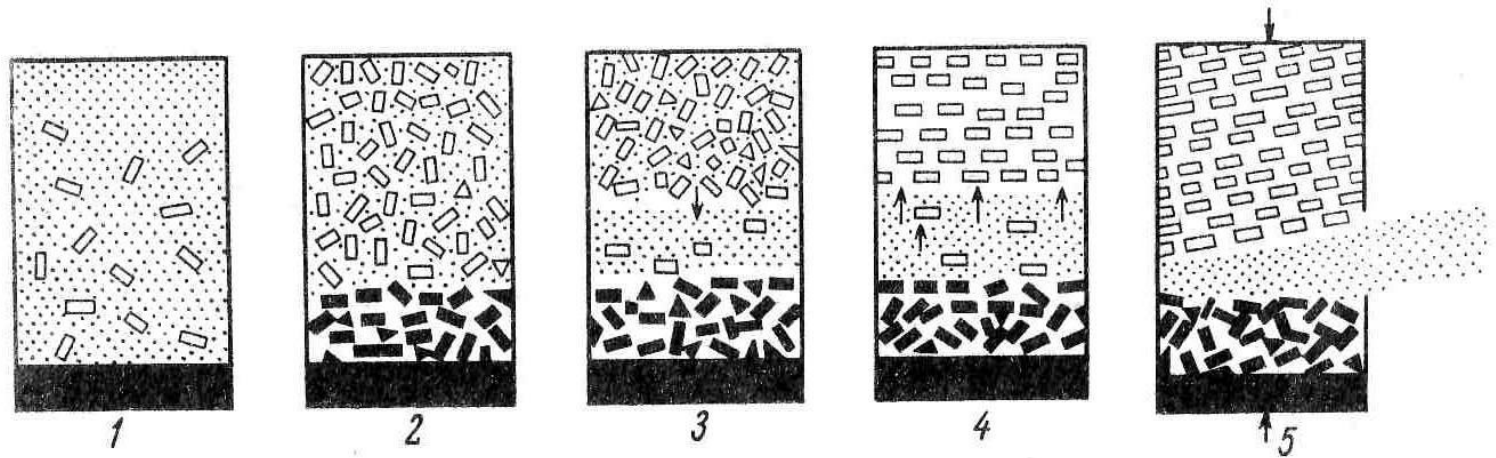


Рис. 28. Схема формирования согласных и секущих залежей магматических месторождений в расслоенных плутонах. По А. Бэтману.

1 — ранняя стадия с выделением кристаллов силикатов; 2 — последующая стадия с выделением железомagneзиальных минералов и погружением их на дно; 3 — проникновение рудного расплава вниз; 4 — всплывание более легких силикатных минералов и образование согласных рудных залежей; 5 — отжатие (фильтр-прессинг) рудного расплава и образование секущих рудных залежей

Ликвационные месторождения

Типы месторождений:

1. Сульфидные Cu-Ni месторождения
2. Хромовые месторождения
3. Месторождения редких земель.

Ликвационные месторождения связаны с магматическими породами габбровой и щелочной формаций, приуроченных к областям ТМА* древних платформ.

Морфология массивов: лополиты, силлы (расслоенные, полосчатые, стратифицированные).

По глубине формирования – гипабиссальные (1,5-3 км).

* ТМА – тектоно-магматическая активизация

Это сульфидные Cu-Ni месторождения среди траппов (габбровая формация).

Древние платформы, зоны ТМА.

Рудные минералы: пентландит ($4,6-4,7 \text{ г/см}^3$)
пирротин ($4,5-5,0 \text{ г/см}^3$)
халькопирит ($4,1-4,3 \text{ г/см}^3$)

Второстепенные: магнетит
минералы Co, As

Северо-Американская платформа – Канада – Седбери,
Русская платформы (север) – Кольский п-ов – Печенга,
Сибирская платформы – группа Норильских месторождений.

Норильские месторождения

Расположены на севере Сибирской платформы.

Платформенный чехол сложен известняками, песчаниками, сланцами (возраст: кембрий-карбон, PZ). Платформа активизированная – прорезана глубинными разломами.



Месторождение Седбери (Канада)

Расположено на Северо-Американской платформе, южнее оз.Гурон.

Месторождение PR возраста залегает на активизированной AR платформе. Связано с крупным лополитом (60 × 25 км).

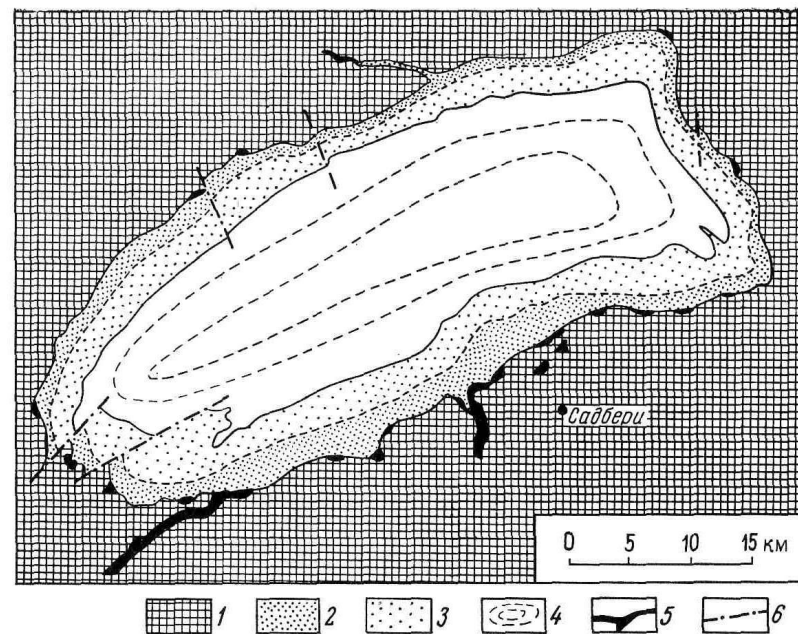


Рис. 24. Схема геологического строения рудоносного лополита Седбери в Канаде. По П. Колеману.

1 — нижнегуронские и лаврентьевские подстилающие породы подошвы; 2 — габбро; 3 — нориты; 4 — верхнегуронские вулканогенно-осадочные породы кровли; 5 — сульфидные месторождения; 6 — тектонические нарушения

Месторождение Садбери

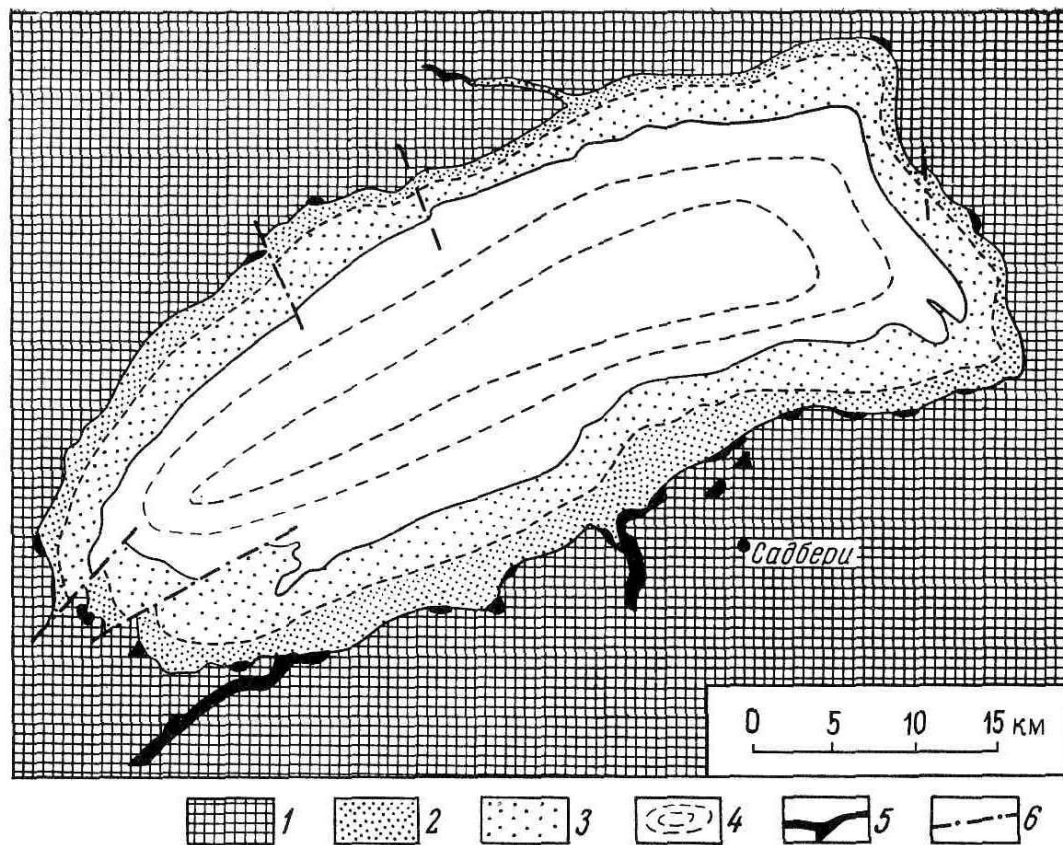


Рис. 24. Схема геологического строения рудоносного лополита Садбери в Канаде. По П. Колеману.

1 — нижнегуронские и лаврентьевские подстилающие породы подошвы; 2 — габбро; 3 — нориты; 4 — верхнегуронские вулканогенно-осадочные породы кровли; 5 — сульфидные месторождения; 6 — тектонические нарушения

Великая дайка – Африканская платформа

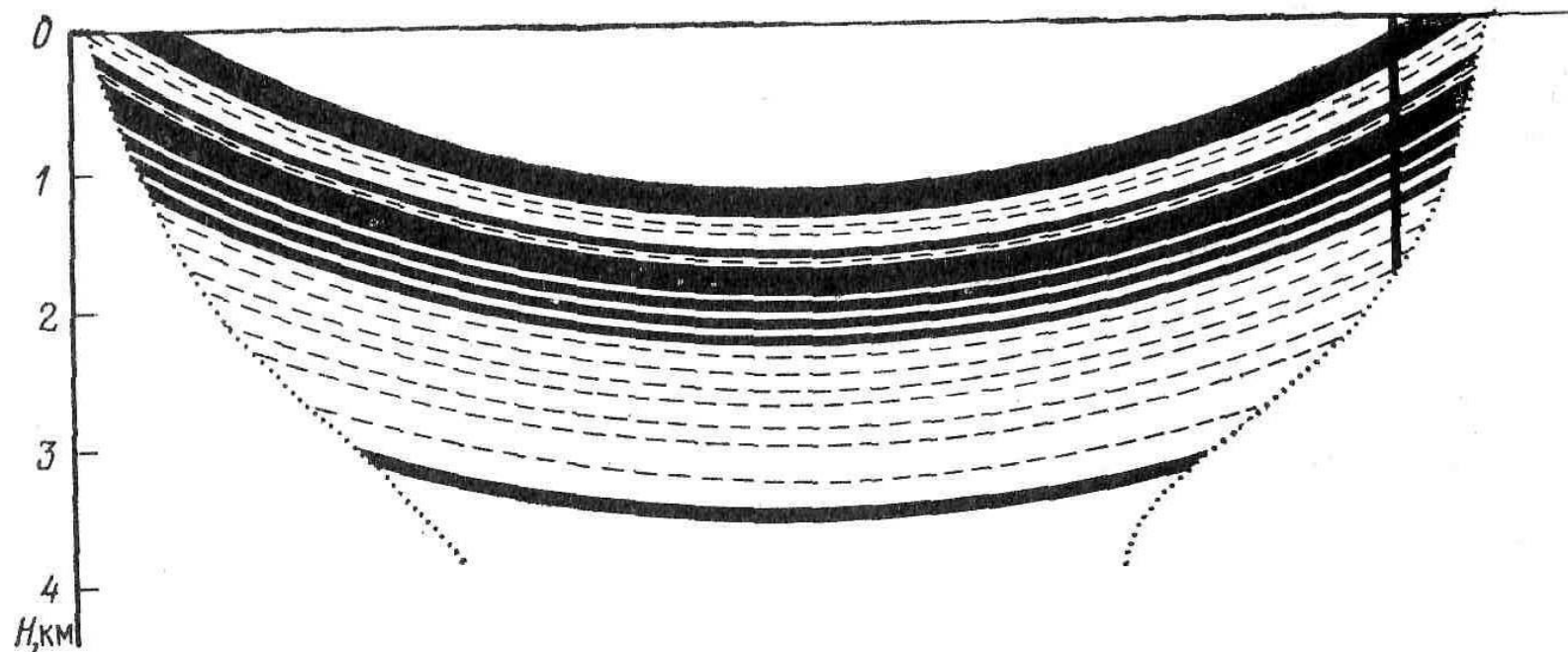


Рис. 26. Поперечный разрез месторождения Великая Дайка, демонстрирующий чередование слоев габбро-пироксенитов. По Б. Ворсту

Месторождения редких земель

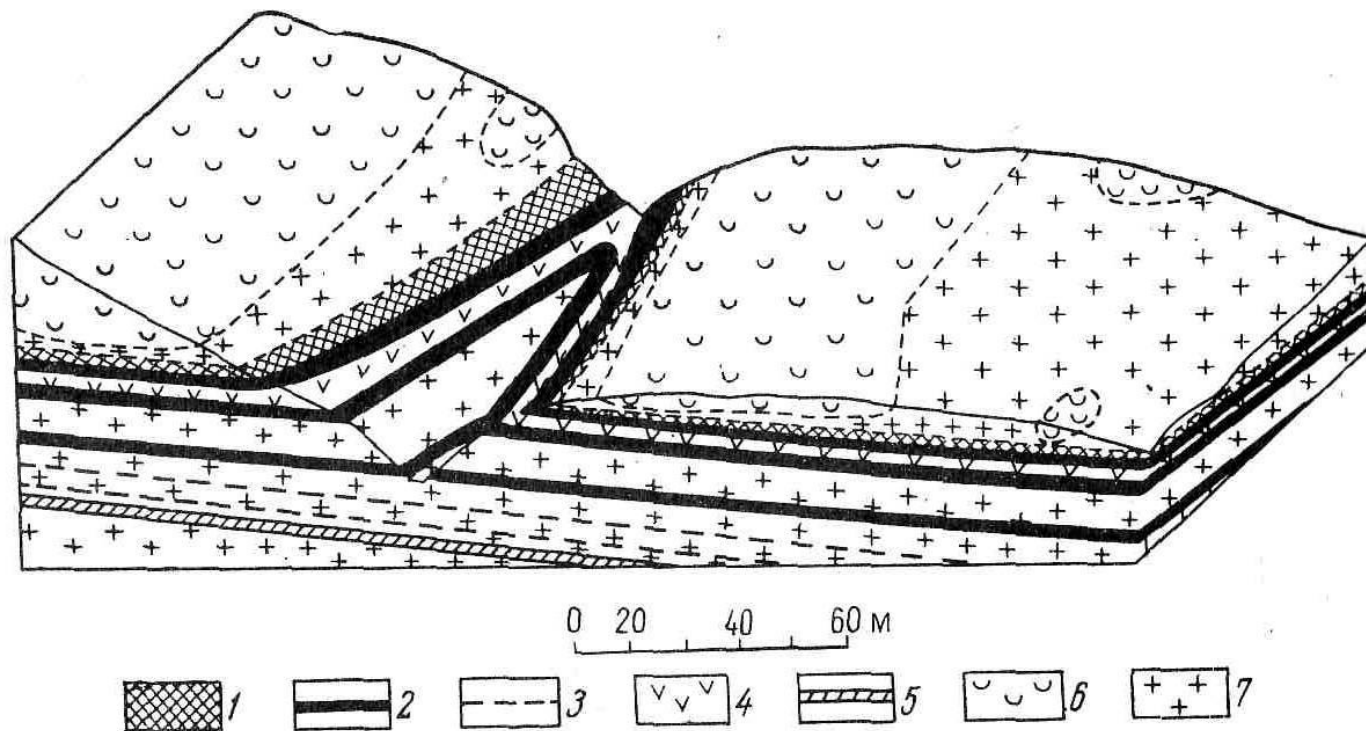


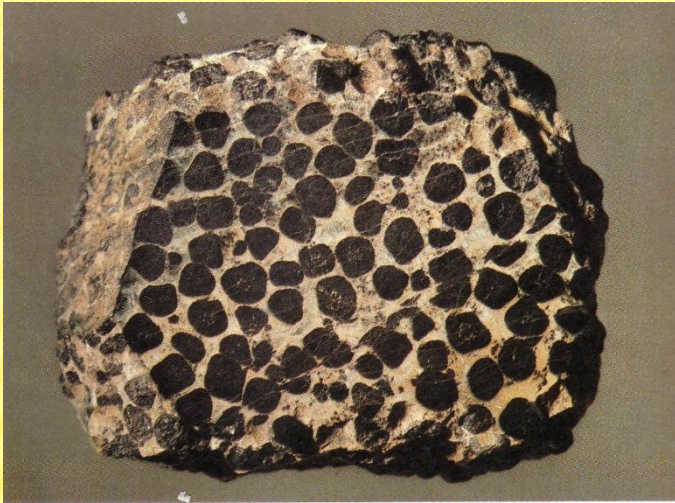
Рис. 27. Схема геологического строения одного из участков расслоенного редкоземельного магматического месторождения. По М. Золотарю:

1 — уртиты с мурманитом и лопаритом; 2—5 — луявриты; 2 — лопаритовые, 3 — бедные лопаритом, 4 — лейкократовые, 5 — со сфеном; 6 — эгириновые нефелиновые сиениты
7 — фойяиты

Минералы TR, Ti, Nb, Zr

Ультраосновные щелочные породы

Породная ассоциация	Минералы		
	Главные	Второстепенные	Рудные (акцессорные)
Фойялиты уртиты луявриты	Калиевый полевой шпат, альбит, щелочной амфибол, эгирин	Астрофиллит, лампрофиллит, эвдиалит	Апатит Циркон Титанит Титаномагнетит Цирконосиликаты
Нефелиновые сиениты	Нефелин, микроклин, альбит, эгирин, щелочные амфиболы, лепидомелан	Астрофиллит, лампрофиллит, эвдиалит (канкринит, содалит, цеолиты)	Апатит Титаномагнетит Титанит Циркон Пирохлор



Нодулярная текстура хромовой руды (проявление процесса ликвации рудно-силикатного расплава)

Спасибо за внимание

Прослои хромита (черное), чередующиеся с прослоями, обогащенными плагиоклазом (светлое). Бушвельд.
[McBirney&Noyes, 1979]

