

Радиогенные изотопы в геологии

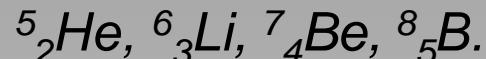


Систематика атомов

- **Изотопы** - разновидности атомов *одного химического элемента* с разным количеством нейтронов в ядре



- **Изотоны** - атомы разных элементов, имеющие *одинаковое количество нейтронов* в ядре

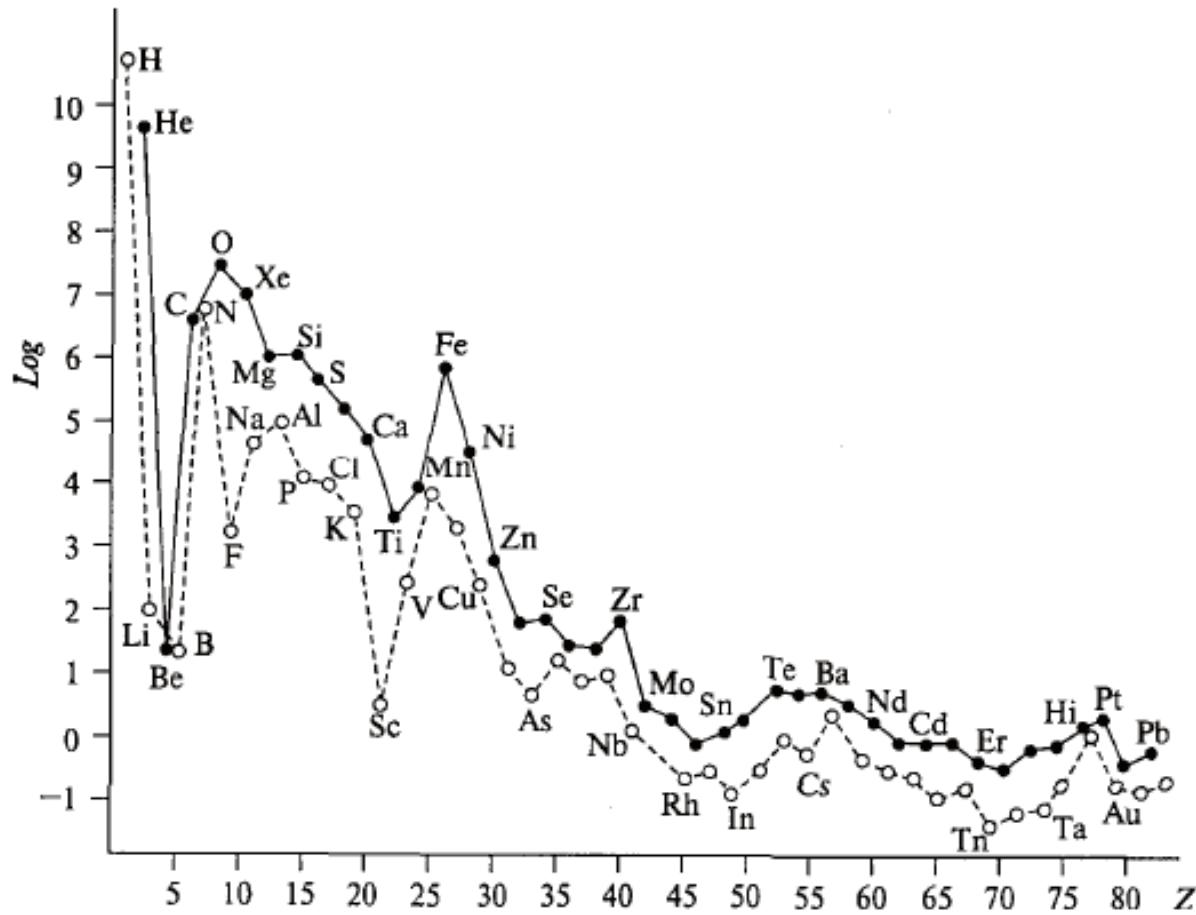


- **Изобары** – атомы элементов, имеющие *одинаковое массовое число*



Правило Оддо-Гаркинса

Относительная распространенность химических элементов в Солнечной системе в зависимости от порядкового номера



Радиоактивный распад

Радиоактивный
(материнский) изотоп

p/a распад

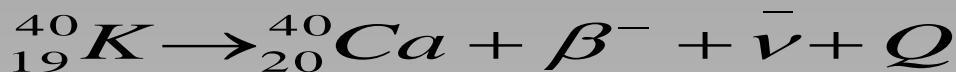
Радиогенный
(дочерний) изотоп

Радиоактивный распад

- Альфа-распад



- Бета-распад



+позитронный распад, электронный захват



Радиоактивный распад

$$-\frac{dN}{dt} \approx \lambda \times N \longrightarrow t = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{D - D_0}{N}\right) + 1$$

- N - число атомов в данный момент времени
- λ – постоянная распада



Направления использования радиогенных изотопов

- **Геохронология** - определение абсолютного возраста пород и минералов.
- **Изотопная геохимия** – идентификация источников пород
- **Изотопная геология**- идентификация палеотектонических обстановок формирования пород



Изотопные методы исследований

- U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr, Re-Os, K-Ar, Pb-Pb, Lu-Hf...



Способы оценки возраста

- По уравнению, изохронный, расчет модельных возрастов



Что датируем?

Какие процессы?

1. Время кристаллизации минерала
2. Время кристаллизации породы
3. Время метаморфизма
4. Время осадконакопления
5. Время отделения первичного расплава от мантийного резервуара
(модельные возрасты)



Пробоподготовка

Минералы:

- дробление породы
- извлечение нужного минерала

Породы:

- дробление
- истирание в пудру



Пробоподготовка

Возможные ошибки

Минералы:

- дробление породы
- извлечение нужного минерала

Породы:

- дробление
- истирание в пудру

Невыветрельные образцы, во что заворачиваем,
чем дробим..



Пробоподготовка

- Химическое разделение, спайкирование, разложение проб, выделение нужных элементов, нанесение (?)

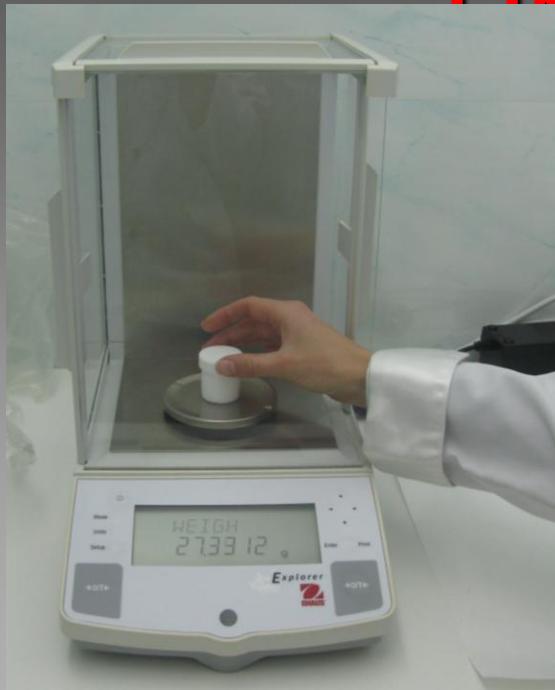
Чистота лаборатории, тщательно вымытая посуда, верные калибровки растворов, хорошие холостые...



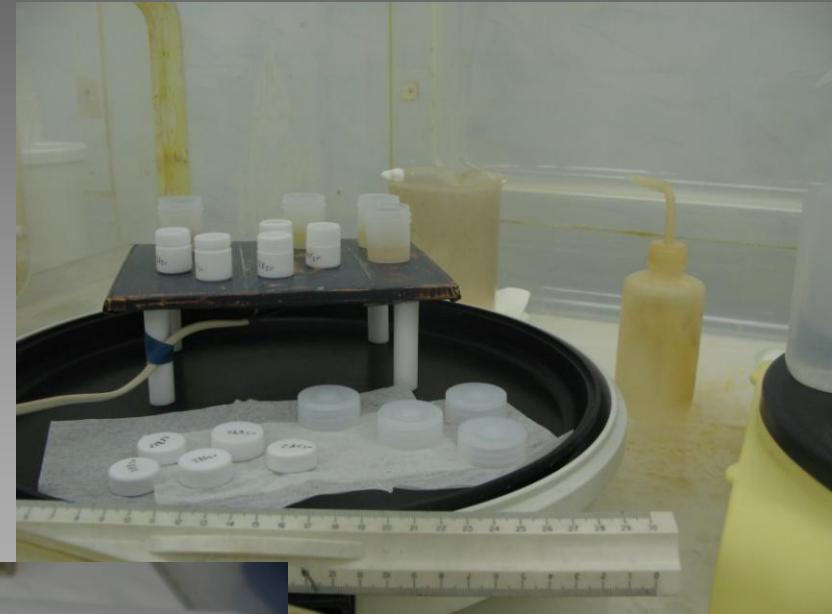
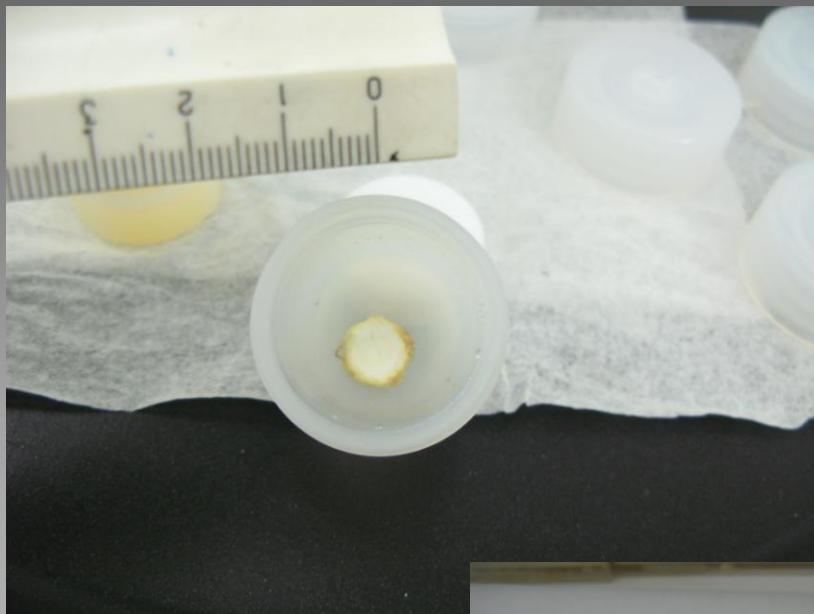
Пробоподготовка



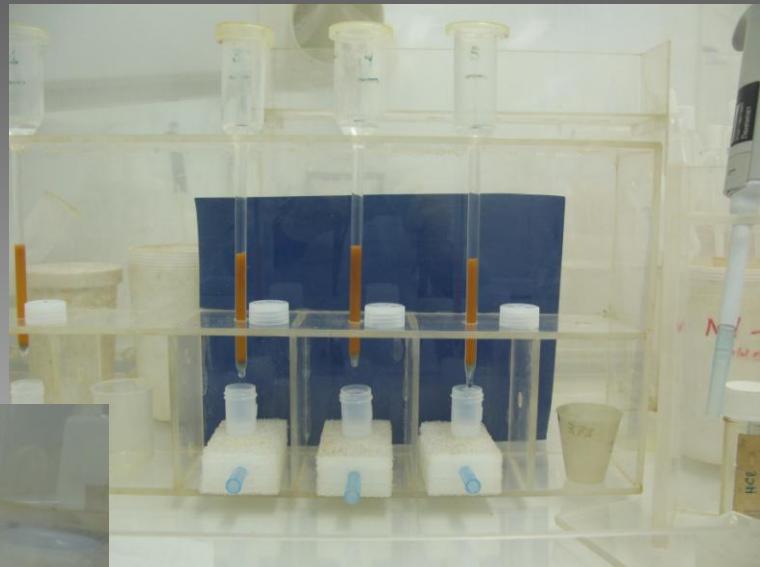
Пробоподготовка



Пробоподготовка



Пробоподготовка

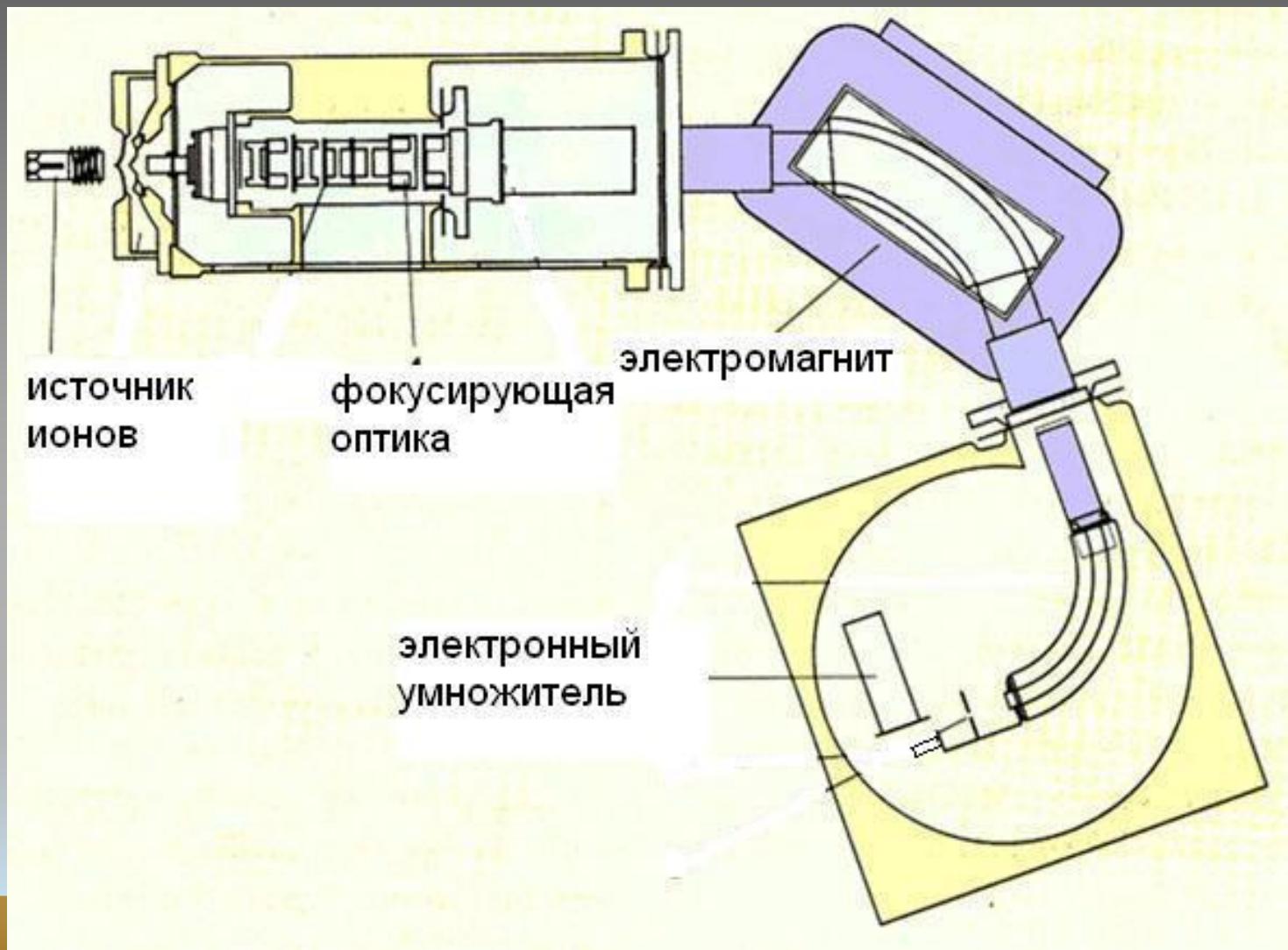


Масс-спектрометрия

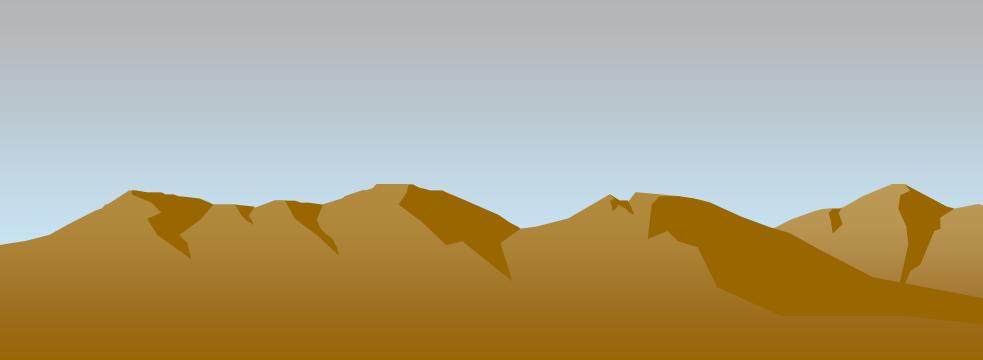
- Принцип работы, схема масс-спектрометра



Схема масс-спектрометра



Масс-спектрометрия



Масс-спектрометрия



Аналитические исследования Возможные ошибки

Уровень холостых измерений, метод расчета,
первичные отношения...



K-Ar



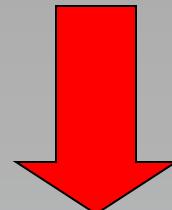
$$T_{1/2} = 4,88 \cdot 10^{10} \text{ лет}$$

- Уравнение распада (три)
- Для каких минералов
- Какие задачи решать (магматические (вулканические!), осадки)
- Источники ошибок



K-Ar

Минерал	Температура закрытия, °C
Роговая обманка	525-450
Мусковит	375-325
Биотит	350-260
Полевой шпат	350-125



Оцениваем не время кристаллизации минерала, а время его охлаждения до температуры закрытия!

K-Ar

Нарушение изотопной системы вследствие:

1. Ar проникает в минерал по трещинам из атмосферы, грунтовых вод
2. Ar был потерян вследствие повторного нагревания минерала выше температуры закрытия (потерян весь или частично)



Содержания K и Ar определяются разными методами

40K – исходя из общего содержания K, полученного
рентгенофлуоресцентными и др. методами

40Ar- на масс-спектрометре

Ar-Ar

Предварительное выжигание аргона



K-Ar

	Тип пород			
	Вулканические	Плутонические	Метаморфические	Осадочные
Полевые шпаты				
Санидин	++			
Ортоклаз	++			
Плагиоклаз	++			
Фельдшпатоиды				
Лейцит	+			
Нефелин	+	+		
Слюды				
Биотит	++	++	++	
Флогопит			++	
Мусковит		++	++	
Лепидолит		+		
Глауконий				+
Амфиболы	++	++	++	
Пироксены	+	+	+	
Порода в целом	++			

Rb-Sr



$$T_{1/2} = 4,88 \cdot 10^{10} \text{ лет}$$

Пригодные минералы для датирования:
Полевой шпат, мусковит, биотит, амфиболы

+

происхождение гранитов!

- Источники ошибок



Rb-Sr

Пригодные минералы для датирования:
Полевой шпат, мусковит, биотит, амфиболы

+

происхождение гранитов!

- Источники ошибок



Rb-Sr

Источники некорректных данных



Re-Os



$$T_{1/2} = 4,56 \cdot 10^{10} \text{ лет}$$

Re-Os

Источники некорректных данных



Sm-Nd



$$T_{1/2} = 1.06 \cdot 10^{10} \text{ лет}$$

+ эпсилон Nd, модельные возраста..

Sm-Nd

Минералы:

Гранаты

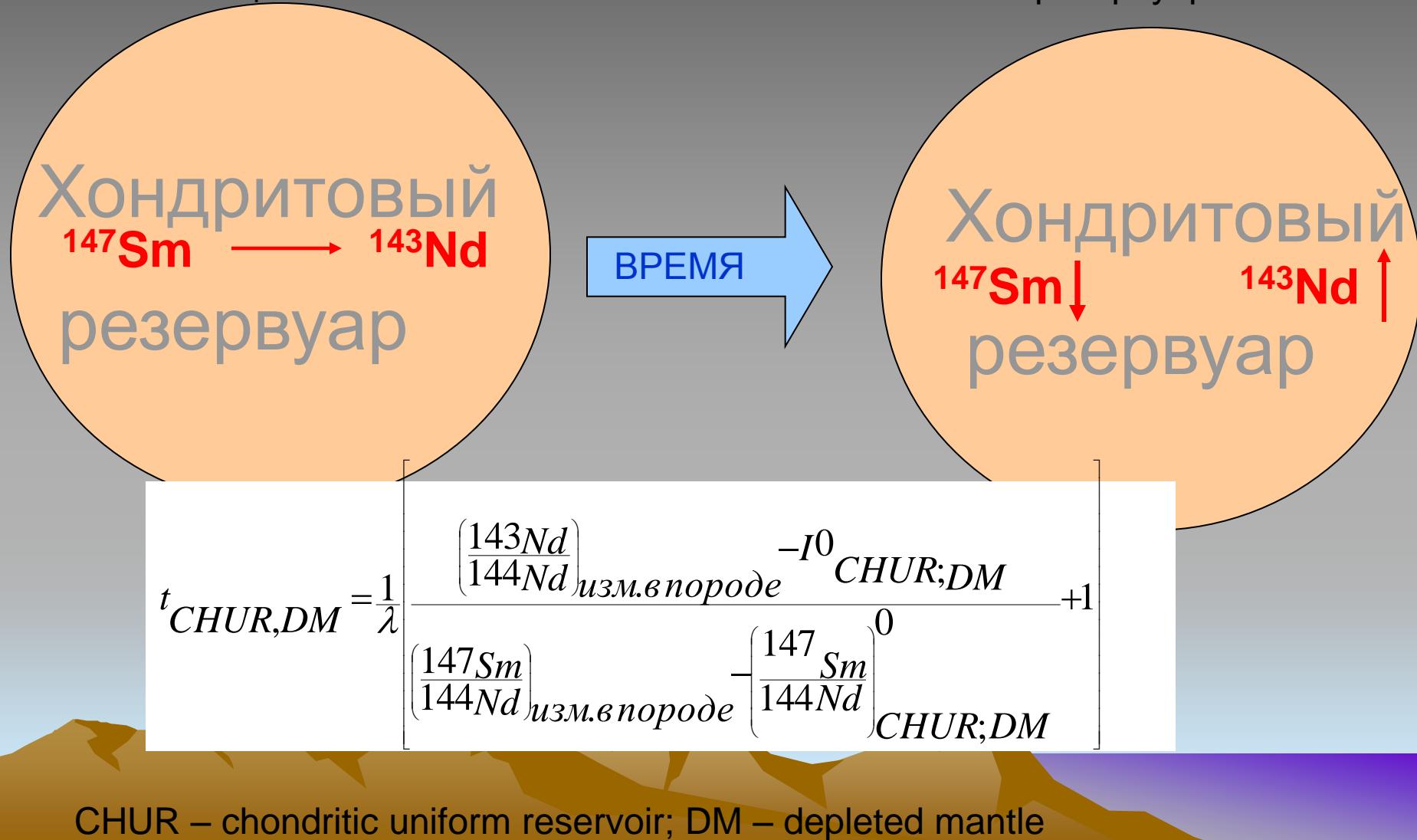
Породы:

На модельные возраста – магматические, осадочные, метаморфические



Sm-Nd

Эволюция изотопного состава Sm и Nd в мантийном резервуаре



Sm-Nd

Nd – остается в расплаве

Sm – входит в состав минералов

^{147}Sm

порода

^{143}Nd

$\epsilon < 0$

Хондритовый
 ^{147}Sm ^{143}Nd
резервуар

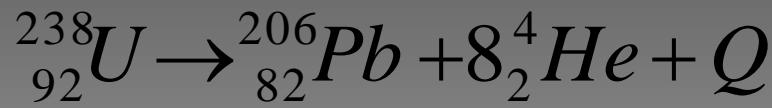
частичное
плавление

Хондритовый
 ^{147}Sm ^{143}Nd
резервуар

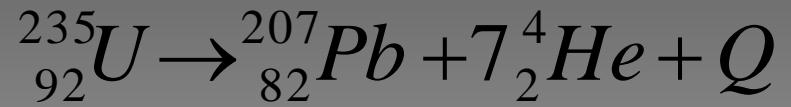
$\epsilon > 0$

$$\epsilon_{CHUR}^t = \left[\frac{\left(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} \right)_i}{I_{CHUR}^t} - 1 \right] \cdot 10^4$$

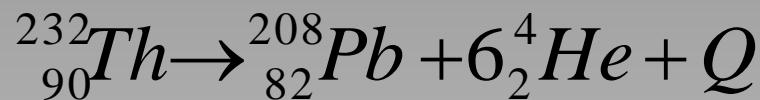
U-Pb, Th-Pb



$$T_{1/2} = 1.06 \cdot 10^{10} \text{ лет}$$



$$T_{1/2} = 1.06 \cdot 10^{10} \text{ лет}$$



$$T_{1/2} = 1.06 \cdot 10^{10} \text{ лет}$$



U-Pb метод датирования по цирконам

Минерал должен:

1. Содержать U, Th
2. Сохранять U, Th и дочерние изотопы
3. Широко встречаться в различных породах

Это циркон!

+ уранинит, монацит, титанит, апатит....



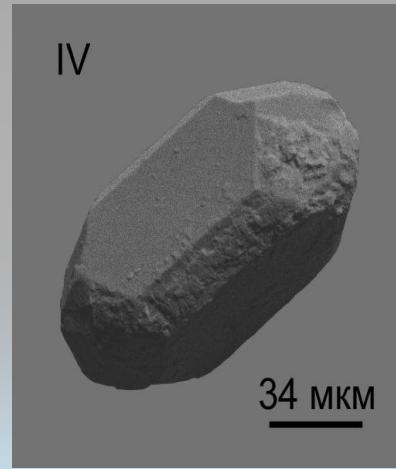
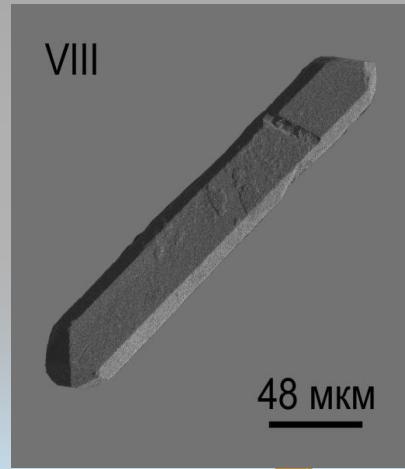
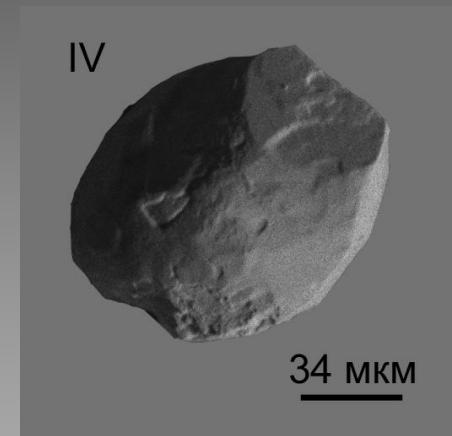
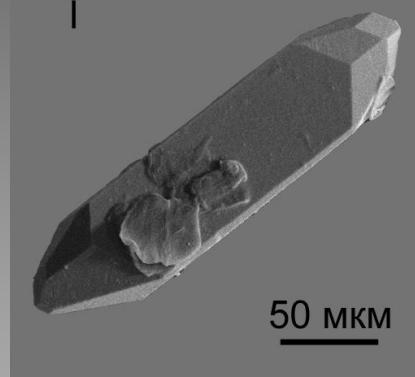
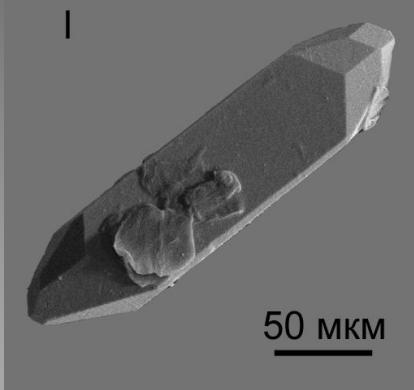
U-Pb метод датирования по цирконам

«Классика»

Измерение изотопного состава нескольких циркона (микронавески) с последующим построением конкордии (или дискордии)

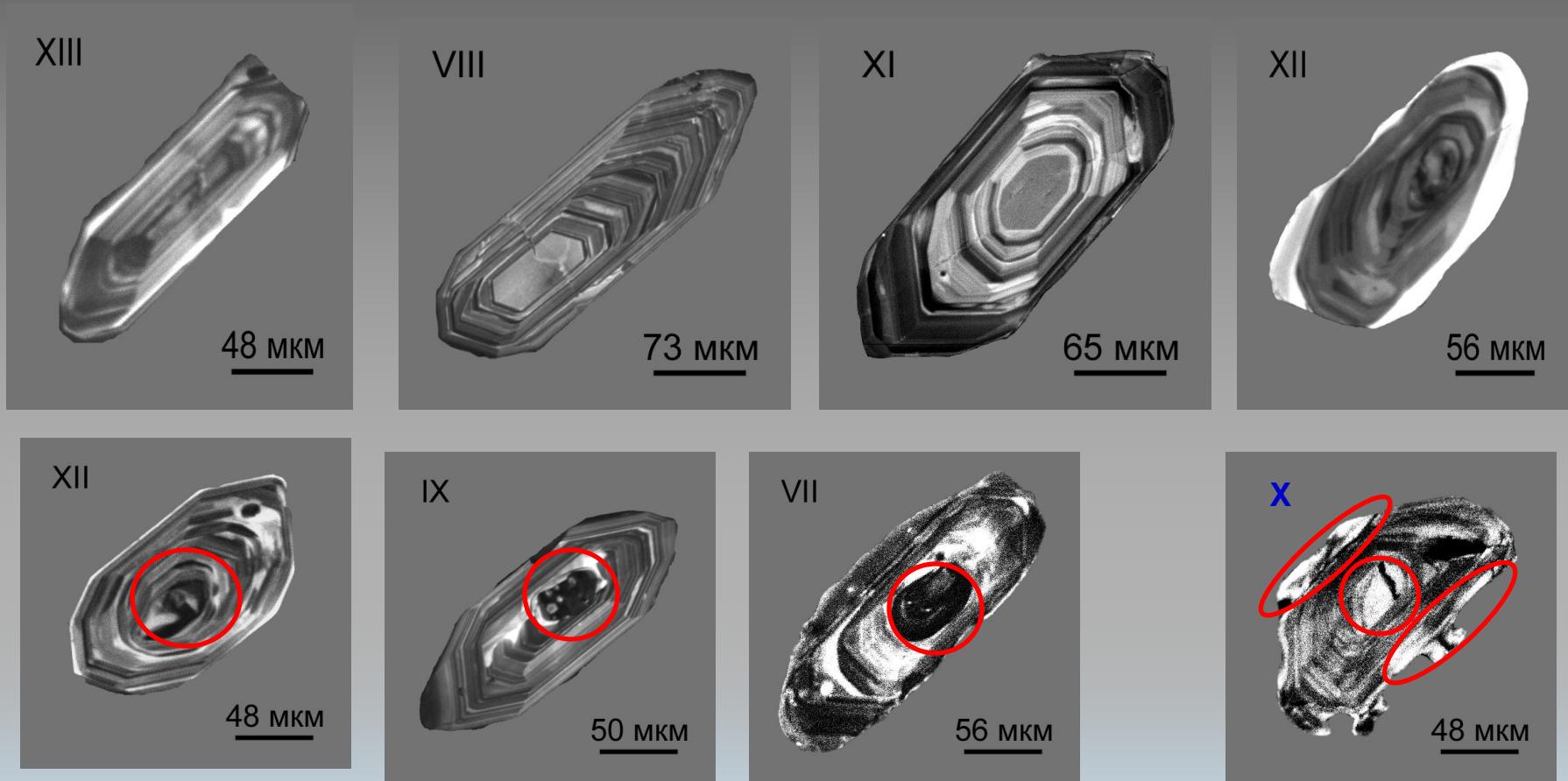


U-Pb метод датирования по цирконам



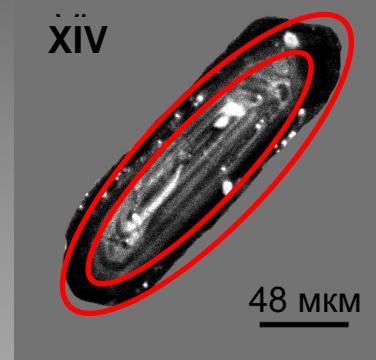
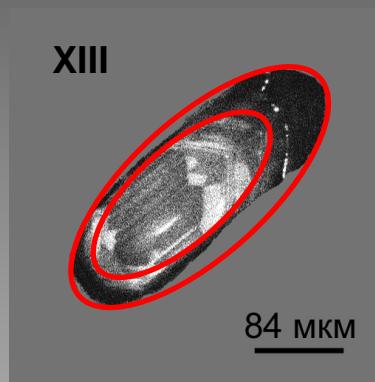
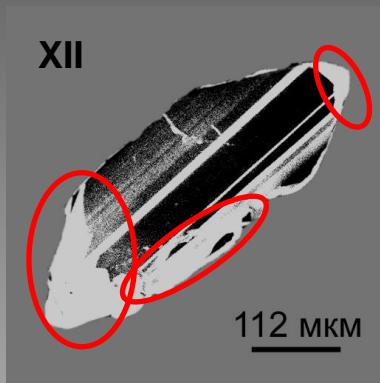
Микрофотографии кристаллов циркона, выполненные на сканирующем электронном микроскопе в режиме вторичных электронов

U-Pb метод датирования по цирконам



Микрофотографии кристаллов циркона, выполненные на сканирующем электронном микроскопе в режиме катодолюминесценции

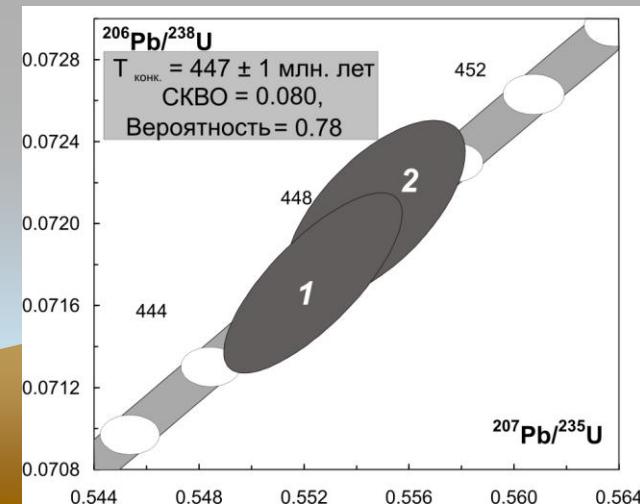
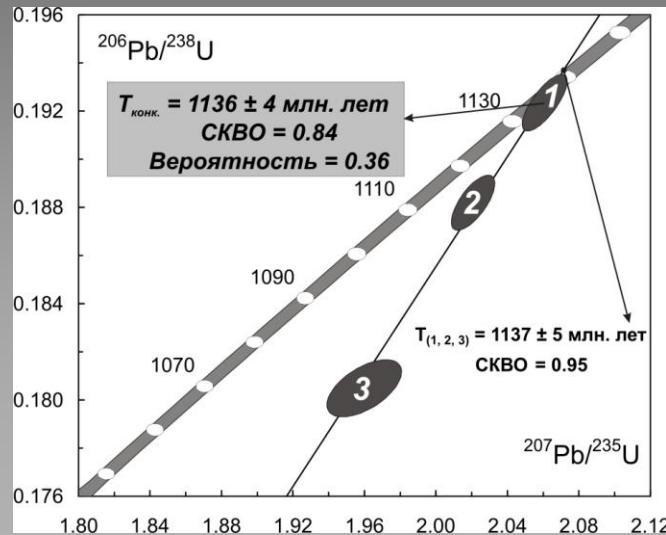
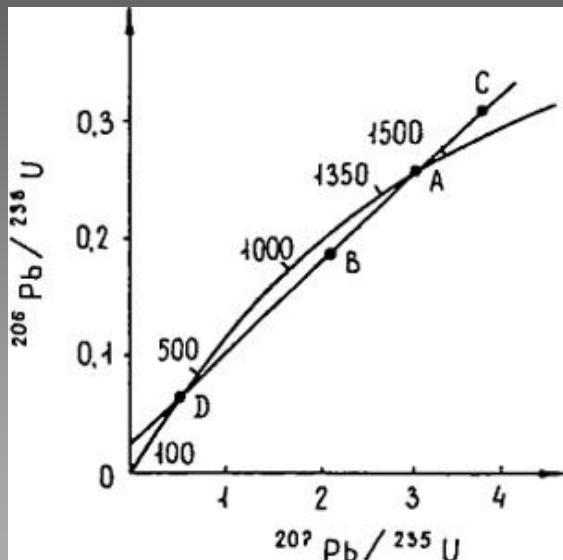
U-Pb метод датирования по цирконам



XV

Микрофотографии кристаллов циркона, выполненные на сканирующем электронном микроскопе в режиме катодолюминесценции

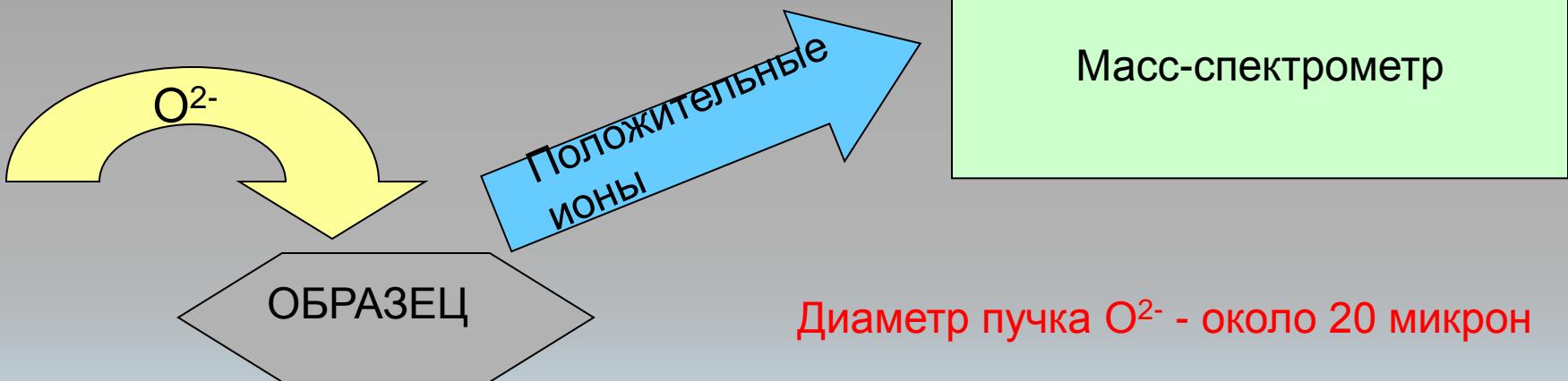
U-Pb метод датирования по цирконам



U-Pb метод датирования по цирконам

SHRIMP (*Sensitive High Resolution Ion MicroProbe*)

Получаем данные об изотопном составе в «точке».



U-Pb метод датирования по цирконам

SHRIMP (*Sensitive High Resolution Ion MicroProbe*)



U-Pb метод датирования по цирконам, SHRIMP



Датирование минералов

Возможные ошибки

Необходимы условия:

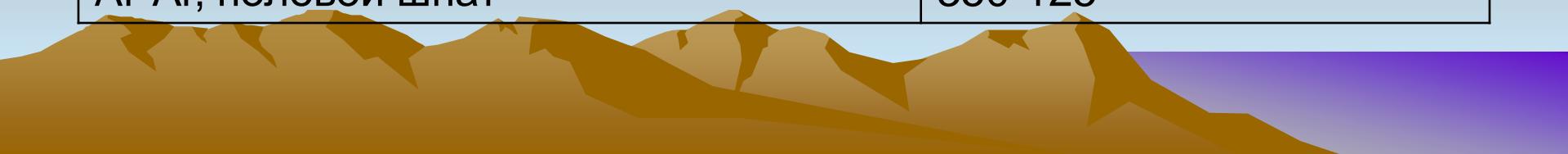
- ✓ Минерал оставался замкнутым относительно материнских и радиогенных изотопов
- ✓ Выбраны правильные значения для первичных отношений изотопов
- ✓ Аналитические результаты не содержат систематических погрешностей



Датирование минералов

Возможные ошибки

Метод, минерал	Температура закрытия
Sm-Nd, гранат	600
U-Pb, циркон	>700
U-Pb, титанит	500-600
Ar-Ar, роговая обманка	525-450
Ar-Ar, мусковит	375-325
Ar-Ar, биотит	350-260
Ar-Ar, полевой шпат	350-125



Датирование пород Возможные ошибки



Применение изотопных методов для оценки возраста пород

Магматические

- ✓ K-Ar – минералы,
если не было потерь Ar,
породы
- ✓ U-Pb – по цирконам,
классика

Осадочные

Метаморфические

- ✓ K-Ar – минералы, в
зависимости от степени
метаморфизма
(температуры
закрытия!)
- ✓ U-Pb – по цирконам,
соответствующие зоны
- SHRIMP

