

**Рекомендации по отбору и подготовке образцов  
для геохронологических исследований различными методами  
(составная часть Геохронологического Атласа).**

Авторы:  
С.А. Сергеев, К.И. Лохов, Д.С. Сергеев

Санкт-Петербург  
2015

## Оглавление

	стр
Введение	3
1 Отбор проб	3
1.1 Общие требования к образцам	3
1.2 Особенности отбора проб из разных типов пород	4
2 Подготовка проб	5
3 Виды геохронологических работ и необходимые материалы для исследования	8
4 Качество результатов аналитических работ	9
5 Правильность использования аналитических данных при интерпретационных построениях	9
6 Достаточность и полнота аналитических данных	10
Заключение	10

## **Введение**

Высокопрецизионные и высокоразрешающие изотопно-геохронологические и изотопно-геохимические исследования требуют особо тщательного отбора геологических образцов и их доаналитической пробоподготовки. В первую очередь, это связано с очень высокой чувствительностью изотопных методов анализа, использованием микронавесок вещества и влиянием различных контаминирующих факторов.

Важнейшие требования к пробам для изотопных исследований:

- а) адекватность проб, как частей целого, изучаемому геологическому объекту или его составляющих;
- б) наличие в поробах минеральных образований, пригодных для корректного изотопного исследования и отражающих только интересующий исследователя процесс или условие.

## **1 Отбор проб**

### **1.1 Общие требования к образцам**

Поскольку геохронологическое датирование преследует цель выяснения времени некоего конкретного процесса, то и материал должен быть отобран соответственно.

То есть, вещество должно быть:

- а) сформировано вполне определенным процессом;
- б) не испытать после образования значительных изменений;
- в) не терять и не испытывать привноса дочерних химических элементов (т.е. изотопная система должна быть «закрыта»);
- г) материал должен содержать минералы – геохронометры;

Используя последние, мы можем датировать такие процессы как:

- а) магматизм - по магматическим минералам или породе;
- б) метасоматоз - по метасоматическим минералам или породе;
- в) метаморфическое преобразование - по метаморфическим минералам или породе;
- г) диагенез - по диагенетическим минералам, фоссилиям или осадочной породе;

Разные минералы – геохронометры имеют различные P-T условия образования и неодинаковую прочность кристаллической решетки. Поэтому закрытие изотопной системы разных минералов наступает при различных P-T условиях. Это позволяет использовать несколько минералов – геохронометров и один или несколько изотопных методов для того, чтобы оценить скорость и / или условия протекания процессов, P-T градиенты или скорость эксгумации пород.

Для выбора пробы, адекватно отражающей интересующее временное событие, или источник вещества, необходимо провести предварительные исследования, включающие:

- а) выяснение структурно – тектонической приуроченности объекта исследования;
- б) детальное картирование внутренней структуры объекта;
- в) петрохимическая характеристика пород по основным и рассеянным элементам с целью идентификации тектонической обстановки формирования объекта, для метаморфических пород – с целью определения природы первичного субстрата;
- г) минералого-петрографическое изучение, выявление минеральных парагенезисов и последовательности их формирования и преобразования – с целью выявления всех процессов эволюции объекта;
- д) привязка минеральных ассоциаций к конкретным этапам эволюции породы: магматическому, метаморфическому, метасоматическому, гидротермальному.

Выполнение этих требований является неременным условием правильной интерпретации изотопной информации.

## **1.2 Особенности отбора проб из разных типов пород**

а) Для изотопного изучения процесса магматизма следует обратить особое внимание на наличие возможных вторичных изменений, в полевых условиях отбирать пробы вне областей выветривания, тектонических зон, участков метасоматических или иных преобразований. Учитывая вероятность контаминации веществом вмещающих пород, пробы следует отбирать на удалении от контактов. Следует, по возможности, избегать отбора проб из маломощных магматических тел (даек, силлов, прослоев вулканитов, жил), а также из тех частей магматических тел, где встречены ксенолиты или очевидны процессы ассимиляции, из-за опасности заражения породы ксеногенными минералами, прежде всего цирконами.

Для многофазных массивов имеет смысл отбирать доминирующий тип породы, если отсутствуют признаки значительных возрастных различий отдельных фаз внедрения (например – резкие секущие контакты, зоны закалки или ороговикования, петрохимические и петрографические отличия).

б) Для изотопного изучения метаморфических и метасоматических пород необходимо отбирать пробы как раз на участках наиболее интенсивно измененных пород, где в наибольшей степени проявлен интересующий процесс. Это может выражаться в появлении признаков частичного плавления, мигматитизации, развитии специфических текстур. Например, для случаев мигматизации («гранитизации») предпочтение следует отдавать неосоме (лейкосоме), поскольку палеосома с большой долей вероятности будет содержать древнюю минеральную компоненту. Однако, следует проявлять осторожность, опробуя интенсивно тектонизированные зоны, поскольку они могут содержать механическую смесь различных пород. Зоны метасоматоза нуждаются в тщательном изучении их минералогии и внутренней структуры для выявления зон новообразования минералов, пригодных для изотопных исследований.

Общим требованием к пробам для изотопного исследования является их отбор с удалением корок выветривания толщиной не менее 5 мм, а в выветрелых породах и более. Следует отбирать валовые пробы расколов породу на куски величиной не более 10x10 см, при этом тщательно удалять поверхности ожелезнения, окварцевания или иных поздних изменений.

## **2 Подготовка проб**

Для лабораторного исследования берутся пробы, разделенные на мономинеральные фракции. При этом практически всегда требуется их специальная дополнительная очистка, отбор наилучших минеральных индивидов, удаление минеральных сростков и кристаллов с инородными включениями. Проба породы должна быть представительной, то есть отражать, насколько это возможно полно, исследуемое геологическое тело. Для выделения аксессуарных минералов обычно достаточно 3-5 кг породы, а для выделения фракций породообразующих минералов – не менее 0,5 кг.

Выбирая объект изотопного исследования (геологическое тело), всегда необходимо руководствоваться его историко-тектонической позицией. А именно, сформировавшийся

тело процесс должен иметь строго определенное и информативное значение в геологической эволюции исследуемого региона, характеризовать один (или несколько) этапов структурного и металлогенического развития.

Для успешного проведения лабораторных изотопных исследований требуется четкая постановка задач. Это будет определять методический подход к предмету исследования и, в конечном итоге, может определить его успех или неудачу.

Для решения задачи выбора адекватного материала для изотопных исследований между полевым отбором и собственно аналитическими процедурами, требуется углубленное изучение исходных проб, включающее:

а) первичную обработку проб, распиловку, деление на представительные части, сортировку;

б) приготовление прозрачных срезов (шлифов) и непрозрачных срезов (аншлифов) для минералого-петрографического, микрозондового, геохимического и петрологического анализа;

в) дробление и истирание горных пород для химического и изотопного анализа по породе в целом;

г) дробление, расситовку, отмучивание и выделение тяжелых и легких, магнитных, электромагнитных и немагнитных минеральных фракций для изотопного и минералогического анализа;

д) механическую или ручную доочистку минеральных фракций до уровня мономинеральных фракций породообразующих и акцессорных минералов, или монокристаллов, необходимых для изотопно-геохимического и геохронологического анализа;

е) выделение растворов, вод, газов, флюидных включений из образцов для целей изотопного анализа;

ж) аликвотирование и упаковка образцов для различных видов изотопного анализа;

и) изготовление специализированных препаратов (шайб) с минеральными индивидами для локальных методов исследования (ионный микрозонд, система лазерной абляции, микроанализатор), включая сортировку, заливку эпоксидной смолой, документацию, полировку, напыление токопроводящим веществом;

к) катодолюминесцентную съемку внутреннего строения минералов для дальнейших изотопно-геохимических и геохронологических анализов локальными методами;

л) петрографическое описание шлифов и аншлифов для петрологического анализа и интерпретации изотопных данных;

м) минералогическое изучение и описание тяжелых минеральных фракций;

н) интерпретацию и систематизацию результатов комплексного минералого-петрографического и петрологического анализа и внесение их в общую базу данных по объекту.

### 3 Виды геохронологических работ и необходимые материалы для исследования

В Таблице 1 приведена обобщенная информация по необходимым образцам для изотопного датирования в зависимости от типа горных пород и решаемых задач.

**Таблица 1** Виды геохронологических и изотопно-геохимических аналитических работ, выполняемые в ЦИИ ФГУП «ВСЕГЕИ» для различных типов пород и минералов

<b>Магматические и метаморфические породы основного состава</b>		
Порода в целом	Породообразующие минералы (первичные и вторичные)	Акцессорные минералы (тяжелая фракция)
- <u>определение начальных изотопных отношений и соотношений</u> : неодима (Nd), осмия (Os), гелия (He) и аргона (Ar), лития (Li); <u>определение возраста</u> аргон-аргоновым методом ( $Ar^{40}/Ar^{39}$ ).	- по <u>первичным</u> (пироксен, оливин, плагиоклаз и др.): - определение возраста кристаллизации - изохронный самарий-неодимовый (Sm-Nd) и рений-осмиевый (Re-Os) методы. - по <u>вторичным</u> (амфибол, слюды и др.): - характер, интенсивность и возраст вторичных процессов - изохронный самарий-неодимовый (Sm-Nd) и рубидий-стронциевый (Rb-Sr) методы.	- по минералам <u>этапа магматической кристаллизации</u> (циркон, бадделейт): – определение возраста кристаллизации – уран-свинцовый (U-Pb) локальный метод. - по <u>вторичным</u> минералам (гранат, магнетит, сульфиды, циркон и др.) - характер, интенсивность и возраст вторичных процессов - изотопная систематика серы (S), кислорода (O), изохронный самарий-неодимовый (Sm-Nd), уран-свинцовый (U-Pb) и лютеций-гафниевый (Lu-Hf) локальные методы. - по <u>захваченным и унаследованным</u> минералам (циркон): – определение возраста и состава нижележащих пород и пород источника - уран-свинцовый (U-Pb) локальный метод, изотопная систематика гафния (Hf).
<b>Магматические и метаморфические породы кислого состава</b>		
Порода в целом	Породообразующие минералы (первичные и вторичные)	Акцессорные минералы (тяжелая фракция)
- <u>определение начальных изотопных отношений и соотношений</u> : стронция (Sr), неодима (Nd), свинца (Pb).	- по <u>первичным</u> (кварц, амфибол, плагиоклаз, биотит и др.): - определение возраста кристаллизации и глубинности - изохронный рубидий-стронциевый (Rb-Sr) метод, изотопная систематика стронция (Sr), неодима (Nd), гелия (He), аргона (Ar). - по <u>вторичным</u> (полевые шпаты, слюды и др.): - характер, интенсивность и возраст вторичных процессов - изохронный самарий-неодимовый (Sm-Nd) и рубидий-стронциевый (Rb-Sr) методы.	- по минералам <u>этапа магматической кристаллизации</u> (циркон, уранинит, перовскит и др.): – определение возраста кристаллизации – уран-свинцовый (U-Pb) локальный метод. - по <u>вторичным</u> минералам (монацит, сфен, гранат, магнетит, сульфиды, циркон и др.) - характер, интенсивность и возраст вторичных процессов - изотопная систематика серы (S), кислорода (O), изохронный рубидий-стронциевый (Rb-Sr), уран-свинцовый (U-Pb) и лютеций-гафниевый (Lu-Hf) локальные методы. - по <u>унаследованным</u> минералам (циркон): – определение возраста и состава пород источника - уран-свинцовый (U-Pb) локальный метод, изотопная систематика гафния (Hf).
<b>Терригенные породы</b>		
Порода в целом	Породообразующие минералы (первичные и вторичные)	Акцессорные минералы (тяжелая фракция)
- <u>определение начальных изотопных отношений</u> : неодима (Nd).	--	- по <u>детритовым минералам</u> (циркон, гранат): определение возраста, количественного вклада и характеристик источников сноса - уран-свинцовая (U-Pb) геохронология, лютеций-гафниевая изотопная систематика. - по <u>вторичным минералам</u> : (слюды, апатит и др.) – определение условий мета- и катагенеза - уран-торий-свинцовое (U-Th-Pb) датирование апатитов и опалов, изохронное датирование слюд (Rb-Sr) метод.
<b>Карбонатные породы</b>		
Порода в целом	Породообразующие минералы (первичные и вторичные)	Акцессорные минералы (тяжелая фракция)
- <u>сравнительная</u> изотопная систематика стронция (Sr), кислорода (O) и углерода (C).	- кальцит, доломит, сидерит - определение солености и температуры среды образования - изотопная систематика кислорода (O) и углерода (C).	--



Очевидно, что любые решения по уточнению геологического строения и легенд к геологическим картам могут базироваться только на достоверной информации. Достоверность получаемой информации обеспечивается четырьмя главными параметрами.

#### **4 Качество результатов аналитических работ.**

Объективные цифровые изотопно-геохимические и геохронологические аналитические данные, отражающие происхождение, абсолютный возраст и характер преобразований горных пород, руд и минералов, должны быть получены в аттестованной лаборатории по сертифицированным методикам и на зарегистрированном в Росреестре оборудовании. ЦИИ ФГУП «ВСЕГЕИ» - единственный среди изотопных лабораторий природоресурсного комплекса РФ обладает соответствующим аттестатом Госстандарта и Росаккредитации, его оборудование имеет регистрацию в Росреестре. Только такой подход делает полученные результаты международно-значимыми и легитимными. Это необходимое условие для признания правильности получаемой геологической информации, в том числе имеющей стратегическое значение.

#### **5 Правильность использования аналитических данных при интерпретационных построениях.**

Несмотря на объективную правильность получаемых результатов (физических параметров), для повышения надежности геологических рекомендаций необходимо отфильтровывать информацию, недостаточно подтвержденную статистически или случайную. Это относится также и к информации о первичных (исходных) геологических объектах, затронутых вторичными процессами, если невозможно количественно оценить и учесть вклад одного или нескольких наложенных событий.

Наиболее характерным примером этого может служить самый распространенный способ оценки вклада различных источников сноса в состав формирующейся терригенной осадочной породы. При статистически рекомендуемом количестве датированных детритовых цирконов в 60-100 единиц, данные об абсолютном возрасте источника(ов), подтвержденные только 2-3 зернами и менее – рассматриваются только как вероятные. Они имеют низкую геологическую значимость – по причине возможной контаминации, флюктуационных эффектов и т.п. Тем не менее, в итоговых отчетах должны фигурировать все без исключения результаты аналитических работ. Наиболее эффективно разбраковку аналитических данных могут выполнять только специалисты, имеющие опыт работы в изотопных лабораториях.

Кроме того, при проведении интерпретации геохронологических данных, полученных по акцессорному циркону, необходимо принимать во внимание, что чрезвычайно устойчивая минеральная структура циркона и высокая локальность применяемых методов, позволяют находить и датировать отдельные древнейшие зерна, присутствие которых указывают на:

- а) для кислых магматических пород – возраст их протолита;
- б) для пелагических илов – присутствие древних пород в региональном контексте;
- в) для базитовых магматических пород – свидетельство ассимиляции нижележащих пород;
- г) для осадочных пород – возраст их древнейших источников.

### **6 Достаточность и полнота аналитических данных**

Для выработки адекватных интерпретационных решений и рекомендаций необходимо располагать представительной базой данных по геохронологическим характеристикам различных типов пород. Также необходима максимально возможная плотность полигонов опробования и исследование всех разновидностей пород на изучаемой территории (акватории).

### **Заключение**

Очень важно понимать, что выполнение изотопных исследований в геологии является нетривиальной процедурой, требующей значительных затрат времени, материальных и финансовых ресурсов. Поэтому итоговая информация (интерпретация, цифровые значения) так же, как и обстоятельная характеристика использованного материала и методов его исследований нуждаются в долговременном «закреплении». Это подразумевает отражение на картографических и в текстовых документах точных указаний на место отбора проб (с координатной привязкой), обоснование отбора использованной пробы или серий проб. Обязательным является указание на характер и особенности исследованных пород или минералов, в том числе, и особенно в тех случаях, когда материал не может считаться абсолютно идеальным. Важно указание на метод исследования, использованные стандартные или модифицированные приемы пробоподготовки и получения аналитических результатов. Вся указанная информация призвана демонстрировать как логику и объективность получения изотопных данных, так и ее интерпретации. Кроме того, это позволит создавать и наращивать геоинформационные банки и базы данных, которые необходимы для проведения на территориях картосоставительских, прогнозно–металлогенических, оценочных и поисковых работ.