

Выявление пространственного распределения свинца по альфа-трекам

ФЛЕРОВ Г. Н., БЕРЗИНА И. Г., БЕРМАН И. Е., МЕЛЬНИКОВ И. В.

УДК 550.835:553.44:546.815

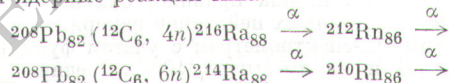
Ряд генетических задач из области минералогии, петрографии и геохимии не может быть успешно решен без знания пространственного распределения элементов в минералах и их агрегатах. К числу таких задач относится выяснение особенностей распределения свинца в минералах, где свинец является основным элементом или элементом-примесью.

Разработка и практическое использование новых ядерно-физических методов элементного анализа образцов горных пород и руд открывают новые возможности для более полного изучения процессов перетолжения свинца, связанных с различными геологическими процессами.

В настоящее время пространственное распределение свинца выявляют с помощью рентгеновских микроанализаторов типа «Самеса» с чувствительностью $n \times 10^{-2}$ вес. % и разрешающей способностью $\sim 1-2 \text{ мк}$ [1]. Для проведения анализа указанным методом объекты готовят в виде полированных шлифов, напыляют на их поверхность тонкий слой углерода или какого-либо металла и облучают подготовленную таким образом поверхность электронами с энергией $\sim 30 \text{ кэВ}$. Электроны вызывают характеристическое рентгеновское излучение атомов свинца, которое фиксируется на экране осциллографа. На фотографиях, снятых с экрана осциллографа, в местах нахождения свинца на поверхности исследуемого объекта, наблюдаются светлые точки на общем темном фоне. Метод выявления пространственного распределения свинца, основанный на использовании рентгеновских микроанализаторов, обладает высокой разрешающей способностью и может быть эффективно применен для мелкодисперсных структур горных пород и руд.

В ряде случаев необходимо изучать распределение свинца в крупных минералах, получать общую картину его распределения в минералах и вмещающих породах и проводить определения локальных содержаний свинца для более широкого диапазона изменения его концентраций, меньших $n \cdot 10^{-2}$ вес. %. Для этого может быть использован метод активационного анализа веществ с помощью ускоренных тяжелых ионов [2], специально видоизмененный для решения поставленных задач.

Применяемый метод заключается в следующем. Минералы, предназначенные для анализа, готовят в виде шлифов. Затем образцы облучают на циклотроне в выведенном пучке ионов $^{12}\text{C}_{+2}$ с энергией 84 МэВ . В результате облучения ядер свинца ионами углерода образуются радиоактивные изотопы, последовательный распад которых дает спектр α -частиц. Происходят ядерные реакции типа:



Подобного типа реакции происходят на всех изотопах свинца. Образующиеся в результате этих реакций радиоактивные изотопы имеют различные периоды полураспада ($T_{1/2} = 23 \text{ мин}$; $2,7, 15 \text{ ч}$ и т. п.) и испускают α -частицы с разными энергиями ($E_{\alpha} = 6,26$; $6,04$; $7,45 \text{ МэВ}$ и т. п.).

После облучения к полированной поверхности шлифа вплотную прикладывают твердый детектор —

нитрат целлюлозы, хорошо регистрирующий следы от α -частиц. Время экспозиции составляет $1-5 \text{ ч}$. Затем детектор подвергают химическому травлению ($1,2 \text{ г/см}^3 \text{ NaOH}$, 60° C , 9 мин) для выявления следов от α -частиц. При просмотре в оптическом микроскопе видны следы от α -частиц в виде черных точек и штрихов на общем светлом фоне.

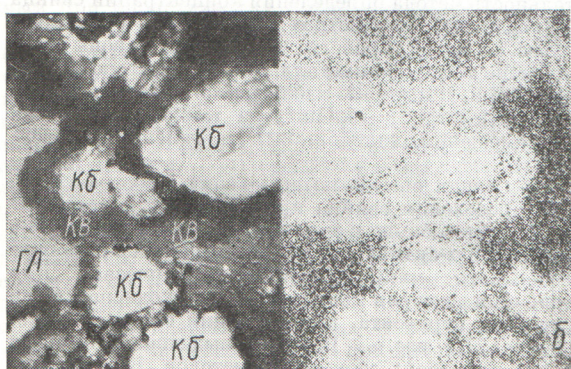
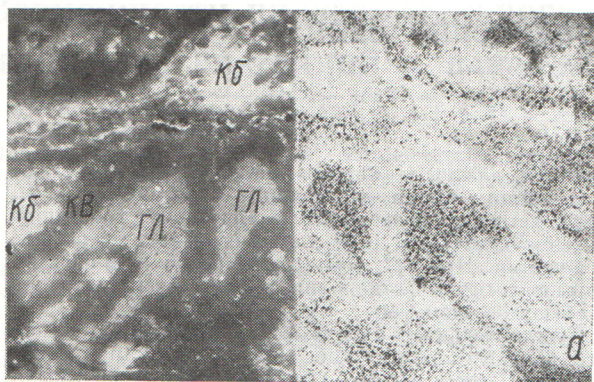
Чувствительность метода выявления пространственного распределения свинца $\sim 10^{-3}$ вес. % при интегральном потоке ионов углерода, равном $100 \text{ мкА} \cdot \text{ч}$. Разрешающая способность составляет $\sim 10 \text{ мк}$. Чувствительность метода определения концентрации свинца при указанных параметрах облучения составляет $\sim 10^{-4}$ вес. %. Метод опробован на образцах из зоны окисления одного из полиметаллических месторождений Средней Азии, в которых наблюдается развитие церуссита и англезита по галениту, а также фстончатая кайма замещения халькопирита и галенита ковеллином.

Первая серия опытов по выявлению пространственного распределения свинца проведена для сопоставления двумя способами: с помощью регистрации следов от наведенной α -активности на циклотроне и с помощью рентгеновского микроанализатора «Самеса». Для исследования выбран образец с мелкодисперсными выделениями церуссита, концентрация свинца в котором равна $77,5 \text{ вес. \%}$. Размеры выделений выбраны удобными для обоих указанных методов. Как следует из эксперимента, распределение свинца, выявленное обоими методами, полностью совпадает.

Под действием ионов углерода с энергией $\sim 80 \text{ МэВ}$ α -частицы дают не только свинец, но и другие элементы с $Z > 77$, а также некоторые редкоземельные элементы. С помощью рентгеновского микроанализатора проверено наличие следующих элементов, α -частицы которых могли дать существенный вклад в общее число α -треков на детекторе: платины, золота, ртути, висмута. Анализ данных показал, что содержание каждого элемента ниже величины, мешающей определению свинца.

Во второй серии опытов исследованы образцы, в которых необходимо было изучить общую картину распределения свинцовых минералов и перераспределение свинца при метасоматических преобразованиях минералов на значительно больших поверхностях, чем в первой серии опытов. Сопоставление результатов минералогического исследования образцов с α -радиографией, полученной в результате облучения исследуемых объектов на циклотроне ионами углерода, показало, что максимальная плотность α -треков приурочена к свинцовым минералам: галениту, церусситу и англезиту, значительно меньшая плотность треков соответствует кайме ковеллина, развивающегося по галениту. Кайма ковеллина, развившегося по халькопириту, содержит небольшое количество треков на α -радиограмме. Примерно такая же плотность треков соответствует участкам, отражающим местоположение несвинцовых карбонатов (рисунок).

Исследования показали, таким образом, возможность выявления пространственного распределения свинца в минералах, содержащих свинец в составе самого минерала и свинец, связанный с более поздними процессами, наложенными на минерал.



Особенности распределения свинца при замещении галенита ковеллином (а) и во вкраплениях карбоната (б), выявленные α -радиографией. Слева — шлиф, справа — детектор; гл — галенит, кв — ковеллин, кб — карбонат.

Концентрацию свинца в исследуемых объектах определяли, используя эталонную пробу, содержащую 86,6 вес. % свинца. Пробег α -частиц в каждом минерале определяли по формуле Брега — Климена [3]. Рас-

четы показали, что в исследовавшихся галенитах содержание свинца такое же, как в эталоне. Кайма, представляющая собой тонкодисперсную смесь ковеллина с англезитом, раздельное выявление которых возможно только при использовании электронного микроскопа, содержит $\sim 5,7$ вес. % свинца. В карбонате содержание свинца равнялось $\sim 0,2$ вес. %.

Исследования показали, что при чувствительности метода выявления пространственного распределения свинца, равной 10^{-3} вес. % и ниже, что недоступно в настоящее время другим методам, представляется возможным решать ряд геологических задач: по выявленному распределению свинца можно устанавливать его переотложение, связанное с различными геологическими процессами, что в сочетании с минералогическими исследованиями играет важную роль при создании методов поисков свинца по переотложенным концентрациям. Изучать поведение свинца при формировании месторождений различных типов, в которых свинец является как основным полезным компонентом, так и элементом-примесью с содержанием свинца $< 10^{-2}$ вес. %, а также перераспределение свинца при метасоматических преобразованиях минералов, пород и руд, в которых $C_{Pb} < 10^{-2}$ вес. %.

Описанный метод в настоящее время может быть использован для немногочисленных несерийных измерений. В дальнейшем при создании микроанализаторов тяжелых ионов метод может получить широкое распространение для определения концентрации и пространственного распределения как свинца, так и других элементов с $Z > 77$.

Поступило в Редакцию 15/III 1974 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирке Л. С. Рентгеновский микроанализ с помощью электронного зонда. М., «Металлургия», 1966.
2. Карамян С. А., Шукуров Я. Препринт ОИЯИ 13-3486, Дубна, 1967.
3. Вальтер А. К., Залобовский И. И. Ядерная физика. Харьков, изд. Харьковск. ун-та, 1963.

О природе структуры в энергетической зависимости величины $\bar{\nu}$ при делении ^{235}U нейтронами с энергией ниже 0,6 Мэв

СЕРЕГИНА Е. А., ДЬЯЧЕНКО П. П., КУЗЬМИНОВ Б. Д.

УДК 621.039.512.23

Сравнительно недавно в энергетической зависимости среднего числа вторичных нейтронов $\bar{\nu}(E_n)$ при делении ^{235}U нейтронами с энергией ниже 0,6 Мэв обнаружена тонкая структура [1, 2].

Как было показано в работе [3], более грубые нерегулярности в $\bar{\nu}(E_n)$, наблюдаемые для ряда ядер, могут быть объяснены вариациями распределений осколков по массам и кинетическим энергиям. В связи с этим представляло интерес исследовать возможную связь обнаруженной в работах [1, 2] тонкой структуры с аналогичными эффектами.

С этой целью в настоящей работе измерены распределения осколков по массам и кинетическим энергиям при делении ^{235}U нейтронами в диапазоне энергий от 450 до 610 кэв примерно с таким же разрешением по E_n , как и в работе [2]. Измерения проводили на элект-

тродатическом генераторе ЭГ-2,5. В качестве источника нейтронов использовалась реакция $^7\text{Li}(p, n)^7\text{Be}$ с применением внутреннего распылителя металлического лития. Толщину мишени определяли по пороговым измерениям, и, как правило, она не превышала 15 кэв. Фон рассеянных нейтронов измерялся полупроводниковым ^6Li -спектрометром с учетом функции разрешения [4] и не превышал 10%. Средние энергии и ширины спектров нейтронов, вызывающих деление, определяли двумя методами: расчетным путем, учитывая угловое размытие пучка и конечность толщины мишени, и из обработки данных ^6Li -спектрометра. Оба метода дали приблизительно совпадающие результаты. Разрешение по энергии нейтронов, вызывающих деление ^{235}U , в среднем составляло ± 10 кэв. Энергию осколков измеряли двумя кремниевыми поверхностно-