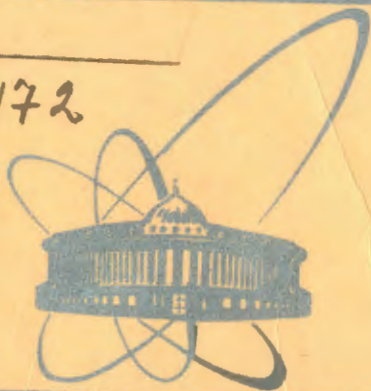


Б-172



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

5349 / 4-79

18 - 12629

Т.В.Базаркина, А.Г.Белов, В.Я.Выропаев,
Л.П.Кулькина, О.Д.Маслов, Ю.Г.Тетерев

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОТРОНА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТА
В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ
МЕТОДОМ АКТИВАЦИИ РЕЗОНАНСНЫМИ
НЕЙТРОНАМИ

18 - 12629

Т.В.Базаркина, А.Г.Белов, В.Я.Выропаев,
Л.П.Кулькина, О.Д.Маслов, Ю.Г.Тетерев

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОТРОНА
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТА
В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ
МЕТОДОМ АКТИВАЦИИ РЕЗОНАНСНЫМИ
НЕЙТРОНАМИ

Направлено в АЭ

Применение микротрона для определения золота в геологических объектах методом активации резонансными нейтронами.

Исследовано применение микротрона для определения содержания золота в геологических объектах методом активации резонансными нейтронами. Каналы для облучения объектов располагались в объеме графитовой призмы параллельно плоскости сложного конвертора нейтронов. Размер каждого канала $500 \times 500 \times 22$ мм. Плотность потока нейтронов с энергией 4,9 эВ в зоне активации образцов составляла $2 \cdot 10^7$ н/см² с. Показано, что использование сложного уран-бериллиевого конвертора нейтронов и графита в качестве замедлителя обеспечивает массовый нейтронно-активационный анализ содержания золота в геологических объектах с чувствительностью на уровне $1 \cdot 10^{-7}$ г/г.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Application of the Microtron for Determination of Gold in Geological Samples by Resonance Neutron Activation Method

The application of the microtron for determination of gold in geological samples has been investigated by a resonance activation method. Canals for sample activation were placed in a volume of the graphite prism in parallel to a plane of the compound neutron converter. The dimension of each canal was $500 \times 500 \times 22$ mm. The neutron flux with energy 4.9 eV in the activation place was $2 \cdot 10^7$ n/cm² s. Using of the compound of uranium-beryllium neutron converter and the graphite-moderator provides for the mass neutron activation analysis of gold in geological samples with a sensitivity at the level of $1 \cdot 10^{-7}$ g/g.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Перспективным направлением развития активационного анализа является использование малогабаритных циклических ускорителей электронов - микротронов, разработанных в ИФП АН СССР под руководством профессора С.П.Капицы^{1/}, которые дают возможность применять для аналитических целей не только высокоэнергетичное гамма-излучение^{2/} но и нейтроны, возникающие в материале фотонейтронного конвертора в результате реакции (γ, n) ^{3,4/}.

Результаты исследования полей фотонейтронов при работе со свинцовыми и бериллиевыми конверторами на микротроне ИФП АН СССР на энергии 30 МэВ с использованием воды в качестве замедлителя приведены в работе^{3/}. На микротроне ЛЯР ОИЯИ /энергия 16 МэВ/ также исследовались различные конверторы нейтронов^{4/} но с использованием в качестве замедлителя графита.

В данной работе рассматриваются предварительные результаты по применению микротрона с целью активационного определения золота в геологических объектах.

Нейтронно-активационный анализ золота основан на реакции $^{197}\text{Au}(n, \gamma) ^{198}\text{Au}^{/5/}$. Наибольшая чувствительность активационного анализа может быть получена в том случае, если наряду с определяемым элементом активируется минимальное количество элементов пробы. Такая ситуация возможна при использовании резонансных нейтронов^{5,6/}. При этом заметно повышается селективность определения элементов, имеющих достаточно высокий резонансный интеграл активации, который, например, для ^{198}Au равен 1550 барн^{7,9/}.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Активация образцов производилась надтепловыми нейтронами микротрона ЛЯР с энергией ~ 16 МэВ.

На рис. 1 показана графитовая призма, геометрия расположения конверторов и каналов для облучения образцов.

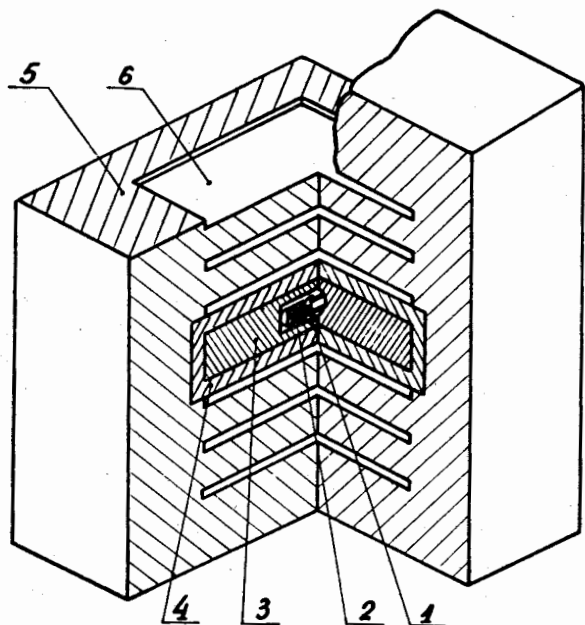


Рис. 1. Графитовая призма - устройство для массового нейтронно-активационного анализа геологических объектов. 1 - тормозная мишень, 2 - уран, 3 - бериллий, 4 - свинец, 5 - графит, 6 - каналы для размещения образцов.

Пучок, выведенный из микротрона через магнитный канал, проходит через электропровод в центр графитового куба со стороной 120 см и попадает на тормозную мишень из Та толщиной 1 мм. Непосредственно за тормозной мишенью находится цилиндрический конвертор нейтронов из урана $b=50$ мм и длиной $l=100$ мм, окруженный Be, размером $500 \times 500 \times 120$. Такой сложный уран-бериллиевый конвертор был выбран экспериментально

для получения наибольшей плотности потока резонансных нейтронов. Сравнение нашего конвертора с другими приведено на рис. 2. Хотя и не было выбрано оптимального соотношения и геометрии урана и бериллия, но плотность потока в зоне облучения образцов удалось поднять в $1,5 \div 2$ раза по сравнению с урановым конвертором. Сейчас он составляет для нейтронов с энергией $4,9$ эВ $2 \cdot 10^7$ н/см²·с.

Каналы для размещения облучаемых объектов расположены в объеме графитовой призмы параллельно плоскости сложного конвертора нейтронов. Размер каждого канала $500 \times 500 \times 22$ мм. Всего имеется 6 каналов, три из них расположены выше, три ниже конвертора.

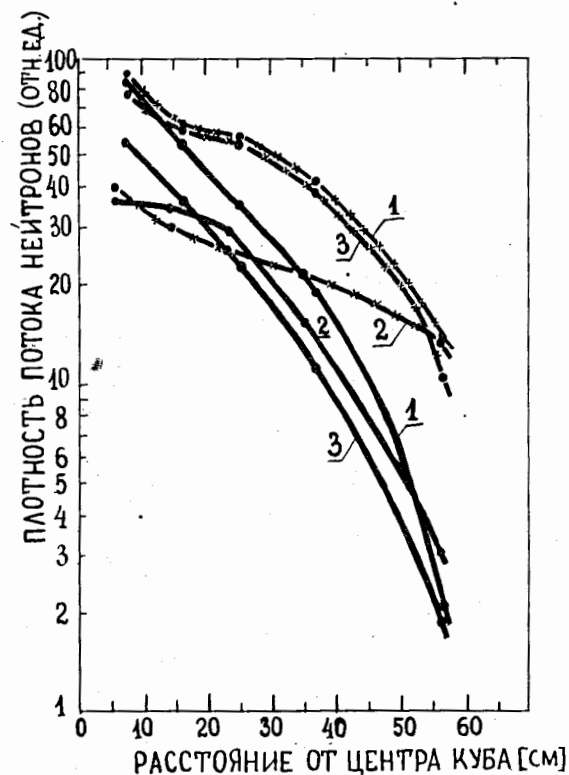


Рис. 2. Распределение плотностей потоков нейтронов в графитовом замедлителе при различных конверторах. 1 - уран + бериллий, 2 - уран, 3 - бериллий. \bullet - нейтроны с энергией 4,9 эВ, \times - тепловые нейтроны.

В классическом пробирном методе анализа содержания золота представительной считается проба весом не менее 50 г, т.к. при этом эффект неоднородности распределения золота в образце будет минимальным.^{/8/}

В работе содержание золота определялось в образцах геологических пород весом 80 г. Образцы упаковывались в кассеты и размещались в каналах, экранированных кадмием толщиной 1 мм для поглощения тепловых нейтронов. В каждом канале можно разместить 49 таких образцов. Кассеты изготовлялись из полиэтиленовой трубки $\varnothing 60$ мм и толщиной 5 мм. Высота кассет 18 мм. Верхний и нижний торцы кассеты заклеены полиэтиленовой пленкой толщиной 0,1 мм. Экспериментально было установлено, что наличие такого количества полиэтилена в виде 300 кассет практически не уменьшает потока резонансных нейтронов в каналах. В основном уменьшение плотности потока резонансных нейтронов на 15% происходит за счет наличия больших листов кадмия.

Для учета распределения резонансных нейтронов в плоскости каждого канала использовались мониторы, изготовленные путем нанесения на фильтрованную бумагу аликвоты эталонного раствора золота /5 мкг/ и облучаемые совместно с пробами.

Время облучения фотонейтронами микротрона равнялось 10 ч. Ток микротрона - 20 мкА. После 60-110-часовой выдержки гамма-спектры образцов измерялись в течение 3 мин на гамма-спектрометре с Ge(Li) -детектором объемом 30 см³, разрешение которого по фотопику 1,332 МэВ составляло 4 кэВ. Количественный анализ производился относительным методом по площади фотопика ¹⁹⁸Au с энергией 0,412 МэВ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице приведены результаты нейтронно-активационного определения золота в геологических образцах.

Из таблицы следует, что совпадение данных нейтронно-активационного и пробирного методов анализа содержания золота в исследуемых объектах удовлетворительное, и расхождения не превышают в среднем 15% при содержании его от 1 до 56 г/л.

Таблица

Результаты нейтронно-активационного определения золота

№№ п/п	Микротрон содержание, г/т	Пробирный анализ содержание, г/т
1	2	3
1.	1,1 \pm 0,06	1,0
2.	5,3 \pm 0,1	5,0
3.	0,4 \pm 0,1	0,5
4.	1,0 \pm 0,07	1,0
5.	8,4 \pm 0,3	8,4
6.	55,7 \pm 0,4	58,0
7.	3,8 \pm 0,3	3,4
8.	13,9 \pm 0,6	16,4
9.	1,2 \pm 0,2	1,0
10.	9,0 \pm 0,2	9,0
11.	1,4 \pm 0,2	1,2

При расчете концентрации золота в образцах и эталонах учитывалось распределение потока резонансных нейтронов в плоскости каждого загруженного канала. На рис. 3 можно сравнить характер распределения потока резонансных нейтронов в первом и втором, считая от конвертора, каналах при полной их загрузке геологическими образцами. Видно, что падение количества резонансных нейтронов от центра к краям первого канала доходит до 75%, в то время как во втором канале распределение более равномерно, различие центра и краев не превышает 45%. Это объясняется тем, что изменение плотности потока нейтронов в зависимости от толщины графитового замедлителя происходит более резко вблизи конвертора нейтронов.

В рассматриваемом варианте обеспечивается массовый анализ геологических объектов на золото, общей загрузкой до 15 кг. С учетом того, что производится активация резонансными нейтронами, большая часть примесных элементов матрицы практически не активируется, и активность после облучения незначительна. Матричные элементы $Mn / J_{p,1} = 14$ барн/ и Na

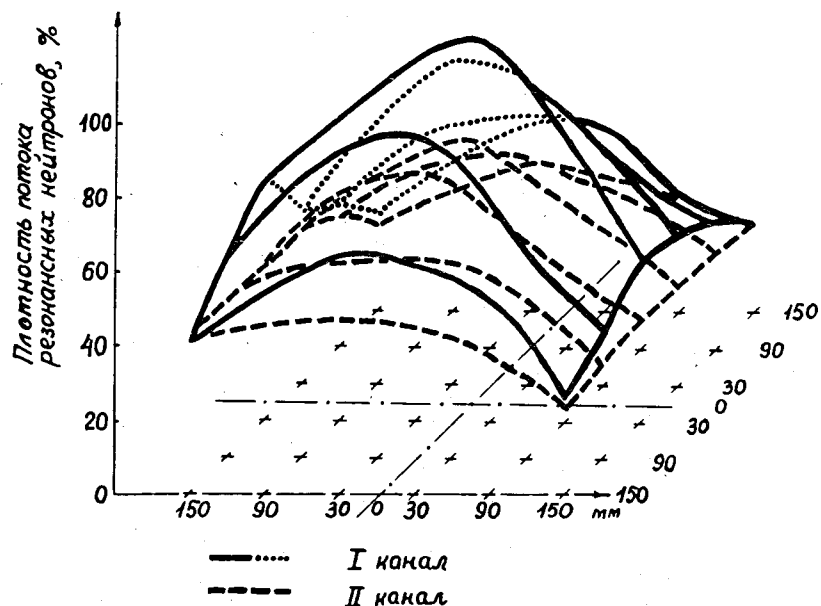


Рис.3. Распределение плотностей потоков резонансных нейтронов в плоскости каналов графитовой призмы.

$\sigma_{рез} = 0,31$ барн/ за счет их высокого содержания в породе /несколько кг/т./ активируются значительно, но при выдержке - 100 ч их изотопы $^{24}\text{Na} / T_{1/2} = 15$ ч/ и $^{56}\text{Mn} / T_{1/2} = 2,6$ ч/ распадаются ^{7/}. Определенный вклад в гамма-спектр могут давать присутствующие в пробах As и Sb, их активация происходит из-за наличия у указанных элементов достаточно высоких резонансных интегралов активации. После выдержки в течение 60-110 ч активность изотопа ^{76}As , имеющего период полураспада 26,5 ч, практически исчезает. На рис. 4. показан участок спектра образца, содержащего 0,5 г/т золота, после 110-часовой выдержки. Присутствие фотопиков сурьмы объясняется периодом полураспада изотопов ^{122}Sb , ^{124}Sb , /2,8 дня и 60,4 дня соответственно/.

В данном варианте массового нейтронно-активационного анализа содержания золота в геологических породах получена чувствительность на уровне $1 \cdot 10^{-7}$ г/г. Такая высокая чувствительность является результатом использования больших навесок образцов и применения резонансной активации. Сравнение резо-

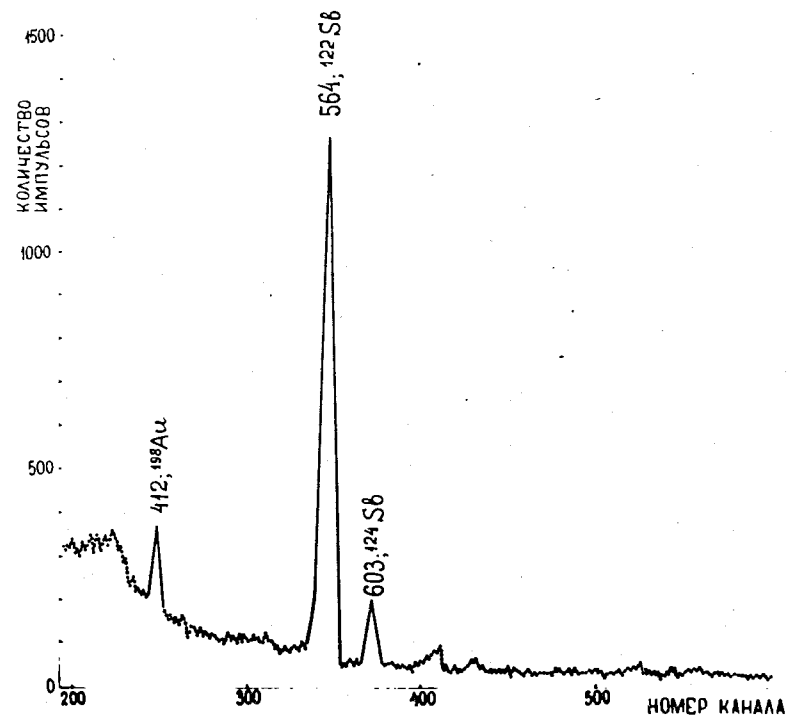


Рис.4. Участок гамма-спектра геологического образца. Содержание золота 0,5 г/т. Время облучения 10 ч, ток микрофона - 20 мк, время охлаждения - 60 ч, время измерения - 3 мин.

нансных характеристик золота и других элементов, имеющих высокие резонансные интегралы активации, например, U, W, Yb, Sm и т.д., позволяет сделать вывод о том, что чувствительность их определения при рассмотренных выше условиях активации будет равна $10^{-6} - 10^{-7}$ г/г ^{7,9/}.

В заключение заметим, что результаты работы следует рассматривать как предварительные.

В дальнейшем необходимо оптимизировать конструкцию уран-бериллиевого конвертора /массы и размеры урана и бериллия/, время облучения, выдержки и измерения образцов, применение дополнительно к кадмию экранов из других материалов /напри-

мер, из сурьмы и мышьяка/, подбор специальных детекторов для гамма-спектрометрии.

В данной же работе авторы представляют главный результат:

На основе созданной в ЛЯР уран-бериллий-графитовой сборки при микротроне реально осуществлен массовый нейтронно-активационный анализ золотосодержащих пород с чувствительностью порядка 10^{-7} г/г по Au при одновременном облучении 15 кг проб. Производительность гамма-спектрометрии составляет 3 мин. на анализ при весе пробы не менее 50 г.

Авторы глубоко признательны акад. Г.Н.Флерову за постановку проблемы, руководство и личное участие в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Капица С.П., Мелехин В.М. Микроптон. "Наука", М., 1969.
2. Baker C.A., Williams D.R. Talanta, 1968, 15, p.1143.
3. Бровцын В.К., Самосюк В.Н., Ципенюк Ю.Н. АЭ, 1972, 32, с. 383.
4. Выропаев В.Я. ОИЯИ, 14-9446, Дубна, 1976.
5. Нейтронный активационный анализ в геологии и геофизике /под редакцией Д.И.Лейпунской/ "Наука", М., 1972.
6. Gordon G.E. et al. Geochim. Cosmochim. Acta, 1968, 32, p.369.
7. Юз Д. Нейтронные исследования на ядерных реакторах. ИЛ, М., 1954, с. 177.
8. Бишиш Ф. Аналитическая химия благородных металлов. "Мир", М., 1969.
9. Van der Linden R. et al. J.Radioanal. Chem., 1972, 11, p.133; 1974, 20, p.695.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 июля 1979 года.