

СООБЩЕНИЯ Объединенного института ядерных исследований

дубна

18-84-392

А.Эрнандес, В.Д.Нартикоев*, В.Я.Элевич*, Е.Л.Журавлева

МЕТОДИКА ГАММА-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ИЗУЧЕНИЮ ДРЕВНЕЙШИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОД ЗЕМЛИ

 Всесоюзный научно-исследовательский институт ядерной геофизики и геохимии, Москва



Древнейшие кристаллические породы Земли претерпели длительную историю своего формирования, они образовались в сложных термодинамических и физико-химических условиях. С ними во всем мире связаны крупные месторождения различных полезных ископаемых. Поэтому изучение геохимического состава таких пород представляет значительный интерес. Важную роль в связи с решением этой задачи призваны играть ядерно-физические инструментальные методы анализа.

Ядерно-физические инструментальные методы обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами:недоструктивность, возможность многократного использования пробы; широкий спектр определяемых элементов, как породообразующих, так и малых; единая метрология для всех анализируемых элементов; экспрессность; высокая точность при низких пределах обнаружения /1-5/.

Среди ядерно-физических методов особое место занимает инструментальный нейтронно-активационный метод анализа /ИНАА/ с помощью ядерных реакторов ^{/4-8/},позволяющий осуществлять одновременное определение содержания значительного числа элементов с большой чувствительностью и при небольших навесках образцов.Однако в этом методе предел определения важных в геологическом отношении элементов, таких, как никель, стронций, цирконий, рубидий, свинец и другие, довольно высок ^{/5-6/}. Кроме того, анализируемая навеска часто малопредставительна. С этой точки зрения представляется перспективным применение гамма-активационного метода анализа /ГАА/, проводимого с помощью линейного ускорителя или микротрона ^{/9-11/}. Гамма-активационный метод анализа часто служит дополнением к нейтронно-активационному анализу и в ряде случаев успешно конкурирует с другими методами анализа ^{/10-13/}.

В настоящей работе исследовались возможности использования микротрона для проведения многоэлементного гамма-активационного анализа образцов кристаллических пород. Кроме того, были использованы фотонейтроны микротрона для определения содержания A1, V, Mn, Co и Na-элементов, которые образуют удобные для анализа короткоживущие радиоизотопы в (n, y) -реакциях.

В целях выбора наиболее рациональной геометрии облучения образцов тормозным излучением микротрона исследовались продольное и угловое распределение пучка у-квантов.На основе проведенных исследований даны рекомендации относительно размеров образцов для проведения ГАА на микротроне и установлены пороги определения ряда элементов.

> 00 водинали институт адерных всследованей БИБ Имотена

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ И СТАНДАРТОВ. АППАРАТУРА

Образцы кристаллических пород измельчались до размеров зерен 0.5 мм. а стандарты приготовлялись в виде порошка, вес тех и других составлял около 3 г. Для исследования оптимальной геометрии облучения вес образцов варьировался от 0,5 до 10-12 г. Причем само исследование было проведено с использованием в качестве образца смеси окисей тантала, меди, титана, кремния и железа. Для обеспечения измерений в мягкой энергетической области спектров /Е, <100 кэВ/ в смесь окисей был внесен уран в виде раствора UO₂ (NO₃)₂. Смесь окисей с ураном тщательно размешивалась в ступке для достижения однородности проб. В качестве эталонов использовались стандартные образцы СГД-1А, СТ-1А и ВМ. Пробы и стандарты упаковывались в цилиндрические кассеты из оргстекла. Размеры кассет выбирались в соответствии с весом проб. Выбор размеров кассет более подробно объясняется ниже. Облучение проводилось у-квантами или фотонейтронами микротрона МТ-22 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ с максимальной энергией ускоренных электронов ~20,5 МэВ при среднем токе 13 мкА /14/. Облучение образцов у -квантами проводилось по схеме. представленной на рис.1. При облучении проб тепловыми нейтронами образцы были расположены в центре графитового куба микротрона /15/. Поток уквантов или нейтронов контролировался с помощью медных и марганцевых мониторов соответственно /16/

Для измерения спектров у-излучения радиоизотопов облученных образцов применялся комплекс из двух полупроводниковых детекторов. Причем спектры в энергетической области 20-200 кэВ измерялись с помощью детектора из чистого германия объемом 2,1 см³ с разрешением 0,5 кэВ на линии K_aBi с энергией 77,1 кэB, а спектры в области 100-2500 кэВ измерялись Ge(Li) -детектором с чувствительным объемом 28 см³ и разрешением 3,5 кэВ на у-линии ¹³⁷Cs с энергией 662 кэВ. Для регистрации и обработки информации применялся 4096-канальный анализатор LP-4900 фирмы "Nokia".



Рис.1. Схема облучения образцов у-квантами микротрона. 1 - микротрон, 2 - выводной патрубок пучка электронов, 3 - выпускное окно / А1-фольга/, 4 - узел тормозной мишени, 5 - тормозная мишень /из W/, 6 - поглотитель электронов /из A1/, 7 - полиэтиленовый пенал для образцов, 8 - образцы, 9 - монитор потока у-квантов/из Cu/.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ ОБЛУЧЕНИЯ ОБРАЗЦОВ

При гамма-активационном анализе важное место занимает вопрос выбора оптимальной геометрии облучения образцов. При этом необходимо правильно учитывать особенности углового и продольного распределений у-квантов тормозного излучения при определенной максимальной энергии ускоренных электронов. Решение данного вопроса существенно зависит также от количества анализируемого вещества и от числа облучаемых одновременно проб. Поэтому нами были рассмотрены следующие крайние случаи: а/имеется достаточно большое количество вещества для проведения анализа; б/ вес образца колеблется в зависимости от плотности материала от 200 до 500 мг. Причем в обоих случаях исследование проведено с учетом того, что число проб, облучаемых одновременно, равно, в общем случае, N ≥ 1.

щем случае, и 21. Прежде чем обратиться к конкретному рассмотрению случаев /a/, /б/, рассмотрим некоторые вопросы, связанные с распределением у -квантов тормозного излучения в продольном направлении. Как известно /16/, зависимость относительной интенсивности потока у -квантов тормозного излучения в продольном направлении имеет вид:

/1/

/2/

3

ong.

 $P_{\gamma} = \frac{1}{R^a}$, где R - расстояние от детектора у-излучений до тормозной мишени, а - параметр, зависящий в общем случае от экспериментальных условий. Представляет интерес выяснить зависимость а от диаметра порогового детектора с целью выбора оптимальной геометрии облучения. Если в качестве порогового детектора взять медные фольги /d = 0,1 мм/ правильной круглой формы и расположить их перпендикулярно к направлению пучка у-квантов на разных расстояниях R от тормозной мишени, то степень активации фольг будет различна в зависимости от значения R. Если построить зависимость активности фольг от расстояния R, то получим кривую, аналогичную представленной на рис.2. Кривая такого вида используется обычно на практике для учета степени убывания интенсивности потока у-квантов при количественных определениях содержания элементов в образцах, облученных по схеме, показанной на рис.1. С помощью построенной кривой /см.рис.2/ можно легко определить а. При увеличении диаметра D порогового детектора получается семейство кривых, показанных на рис.3, которому соответствует ряд значений параметра D. На рис.4 представлена зависимость а от D. Как видно из рис.4, существует линейная зависимость типа a = a + bD примерно до значений D = 40 мм, причем для данных условий эксперимента

a = 1,69 - 0,015D.





Рис.2. Зависимость интенсивности тормозного излучения от расстояния до тормозной мишени. R_0 – расстояние от тормозной мишени до первого монитора / R_0 = 65 мм/; реакция $^{65}Cu(y,n)$ ^{64}Cu , E_{γ} =511 кэВ, $T_{1/2}$ = 12,8 ч.





Рис.3. Семейство кривых зависимости интенсивности тормозного излучения от расстояния при разных диаметрах мониторов. D – диаметр мониторов, R_0 – см.рис.2, реакция ⁶⁵Cu (у, n) ⁶⁴Cu, D = 4 мм /-x-x-/, 20 мм /----/, 30 мм /---/.

Рис.4. Зависимость степени убывания интенсивности потока γ квантов тормозного излучения *а* от диаметра порогового детектора. Реакция ⁶⁵Cu(γ , n) ⁶⁴Cu, E_{γ} = = 511 кэВ, $T_{1/2}$ = 12,8 ч. На рисунке представлены экспериментальные точки 5 разных опытов. Кривая проходит по средним значениям всех экспериментальных данных.

При D > 40 мм зависимость a = f(D) нелинейна, и при D = 60 мм отклонение от линейной зависимости достигает 20%. Нелинейность зависимости a = f(D) для больших D связана, с одной стороны, с соотношением размеров монитора и детектора, а с другой стороны, это проявление того факта, что тормозное излучение направлено преимущественно вперед под довольно малым углом, образуя при этом поле излучения конусообразного вида, так что степень активации фольги падает от ее центра к краю. Характеристики фотонейтронных реакций, используемых для проверки зависимости а от диаметра порогового детектора

Рапио- изотоп	Реакция	Пороговая ^(I) энергия, МэВ	Энергия (2) детектируемых 7 — квантов кэВ	Период полураспада, ^Т I/2
237 _U	²³⁸ υ(ζ,η) ²³⁷ υ	5,30	59,5; 208,0	6.75 дн
57 _{Ni}	58 _{Ni} (0,n) 57 _{Ni}	12,2	127,1; 511,0	36,16 ч
⁶⁴ Cu	⁶⁵ Cu(ð,n) ⁶⁴ Cu	9,92	5II,0	I2,8 ч
⁹⁹ Mo+ ⁹⁹¹	^M τc ^{IOO} Mo(ð,n) ⁹⁹ Mc _ <u>ළ</u> _99m _{Tc}	8,29	140,5	66,0 प (6,0प)

(1) Литературные данные /19/.

⁽²⁾ Представлена только энергия у-квантов, используемых нами для проведения экспериментов.

Зависимость /2/ была проверена/при $E_{e}^{MaKC} = 20,5$ МэВ/ для разных реакций, представленных в табл.1. Результаты во всех рассмотренных случаях в пределах 3% совпадают между собой при измерении Ge(Li) - ППД /см.рис.5 - нижняя кривая/. При измерении детектором из чистого Ge /см.рис.5 - верхняя кривая/ зависимость /2/ для реакции ²³⁸ U(y, n) ²³⁷ U, , $E_{пор.} = 5,30$ МэВ принимает вид a = 1,838 - 0,0136 D.

Зависимости вида /2/ и /3/ можно использовать при проведении ГАА, если обеспечить постоянство положений, которые занимают образцы при повторных облучениях, а также удовлетворительное совпадение оси пучка γ -квантов с осью цилиндрического пенала /см.рис.1/, загруженного образцами. При этом отпадает необходимость использования мониторов потока γ -квантов при повторных облучениях. Кроме того, из полученных зависимостей следует целесообразность /при одновременном облучении N образцов (N > 1) / выбора диаметра проб D < 40 мм, что обеспечивает минимальную степень убывания интенсивности тормозного излучения одновременно с соблюдением линейности функции a = f(D). Такое значение диаметра проб совпадает приблизительно с установленным в ^{/17/} значением оптимального диаметра образца, исходя из данных относительно углового распределения γ -квантов тормозного излучения.

В /16,18/ нами исследован вопрос о выборе высоты проб при одновременном облучении N образцов цилиндрической формы по схеме рис.1. В частном случае, при N = 1 и измерении активности изотопа 231 Th с энергией E_v = 84,17 кэВ на Ge-детекторе, оптимальная



Рис.5. Зависимость а от диаметра порогового детектора для разных реакций. Верхняя кривая – реакция ²³⁸ U(y, n) ²³⁷ U, , $E_y = 59,54$ кэВ /-**4**-**4**-/, нижняя кривая – реакция ²³⁸ U(y, n) ²³⁷ U, $E_y = 208,0$ кэВ /-x-x-/, **4**-**4**- ⁶⁵Cu(y, n) ⁶⁴Cu, $E_y = 511,0$ кэВ; **-1**-**1**⁰⁰ Mo(y,n) ⁹⁹ Mo $E_y = 140,51$ кэВ; **-1**-**1**⁰⁰ Mo(y,n) ⁹⁹ Mo $E_y = 140,51$ кэВ; **-1**-**1**⁵⁸ Ni(y, n) ⁵⁷Ni, $E_y = 127,1$ кэВ, 511 кэВ. Во всех случаях, представленных на нижней кривой, применялся Ge(Li) – ППД.

толщина пробы была равна 20 мм $^{/18/}$. Если же N = 10, то активность, наведенная в наиболее отдаленном от мишени образце, оказывается оптимальной при толщине образцов, равной 4 мм $^{/13/}$ Уменьшение величины оптималь-

ной толщины проб с увеличением их числа связано с убыванием интенсивности тормозного излучения с расстоянием.

Основываясь на предыдущем изложении, можно сделать вывод о том, что при наличии достаточно большого количества материала для проведения анализа, т.е. случай /а/, целесообразно выбирать диаметр проб равным 35-40 мм, а высота образца будет зависеть от числа облучаемых проб N. Если же имеется небольшое количество вещества, то требуется найти некоторое компромиссное решение для каждой задачи. Рассмотрим случай /б/, когда вес образца ≤ 500 мг. Для определенности положим, что N = 5, P = 500 мг. Такая ситуация сравнительно часто встречается при анализе уникальных проб.

Ввиду того, что вес проб фиксирован, предварительно был определен объем, занимаемый образцом весом 500 мг, и в соответствии с этим изоготовлен набор кювет из оргстекла с V = const, но с различными значениями отношения D/h, где h - высота кюветы. Как следует из рис.6, для рассмотренной задачи сочетание D = = 14 мм, h = 2,5 мм /D/h = 5,6/ оказывается оптимальным. Представляет интерес проверить соотношение (D/h) ^{ОПТ.} в зависимости от V и N. Не исключается возможность того, что при N = const, (D/h) ^{ОПТ.} \approx const.



Рис.6. Выбор оптимального отношения диаметра к высоте при маленьких навесках проб. а - Реакция $5^7 Fe(y, p)^{56} Mn$, $E_y =$ = 846,64 кэВ, использован Ge(Li) – ППД, 6 - Реакция 238 Ta(y, n)¹⁸⁰mTa, $E_y = 93,33$ кэВ, использован детектор из чистого Ge. в - Реакция $^{238}U(y,n)^{237}U$. $E_y = 59,54$ кэВ, использован детектор из чистого Ge. Везде -4-4 – наведенная активность, ---- – статистическая ошибка измерения.

НЕЙТРОННО- И ГАММА-АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Содержание A1, V, Mn, Co и Na определялось по активности продуктов радиационного захвата нейтронов после 10-минутного облучения образцов и эталонов тепловыми нейтронами микротрона. При этом активность радиоизотопов ²⁸A1 и ⁵² V измеряли в течение 5 мин после 1-минутного охлаждения мишени; активность ⁵⁶ Mn и ²⁴Na - в течение 30 мин после 50-100 минутной выдержки образцов для распада более короткоживущих радиоизотопов. Активность ⁶⁰ Co / $E_y = 58,6$ кэB, $T_{1/2} = 10,47$ мин/ измерялась после 1-минутного охлаждения в течение 10 мин.

Содержание Mg, Si, Cl, K, Ca, Fe, Ti и других элементов /см.табл.2/ определялось по активности их радиоизотопов, образованных в ядерных реакциях под действием у-квантов тормозного излучения микротрона. Причем при определении Si, K, Fe, Ba пробы облучались в течение 10 мин, выдерживались 1 мин и измерялись 5 мин. Содержание других элементов определялось по их сравнительно долгоживущим изотопам после одновременного облучения 5 образцов и 2 стандартов в течение 5 ч. При этом активность ^{34m} Cl,

I 2 3 4 5 Energiet 25 Ned (5, n) 25 Ned (5, n) 25 Ned (5, n) 26 Ned (6, n)	длемент	Реакция	вав≇	T1/2 [#]	Квантовый ^ж вытол из 100 распацов , либ	Распростра ненность в природной смеси, %
Hargant Schwalt TZPA, 5 TZPA, 4 TZPA, 4 TZPA, 4 TZPA, 4 <t< th=""><th>I</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>9</th></t<>	I	2	3	4	5	9
Increase Style 1388,5 15 99,99 Kionart 35,1(3, p) 24,4 1273,3,0 6,5, sam 19,1 Xionart 35,1(3, p) 25,4 1273,3,0 6,5, sam 19,1 Xionart 35,1(3, p) 25,4 1273,3,0 6,5, sam 19,1 Xionart 45,5(0, p) 37,4 1273,3,0 2,3, sam 20,9,90 Xionart 45,5(0, p) 47,5 1135,5 3,4,4 20,9 Xionart 45,5(0, p) 47,5 1135,5 3,4,4 20,9 Xionart 55,5(0, p) 54,4 23,3 2,3,5 3,4 Xionart 55,5(0, p) 55,6 33,4 3,4 23,9 Xionart 55,5 13,5,6 41,4 3,4 3,4 Xionart 55,5 55,5 3,4,7 3,4 3,4 Xionart 55,5 3,4,7 3,5,6 4,7 Xionart 55,5 3,4,4 3,4,4 4,4	Harpurk	23 Na((), n) 22 Na	I274,5	2,6 r	99 ° 95	I00
Top Table T	Maring	PN 52 (d, 0) 54 02	I368,5	I5 4	66 66	
Top SG (10, p) Sd (1, p) Sd	Kponzeż	29 Ci(0, p) 28 AI	1273,0	6,5 MEH	1,89,I	3 , 09
August August August August Free Treature Treature Treature Accol((), n) Accol((), n)		35 c. (X, b) 34 m	17/8/71	Z,3 MIH		4,70
Result 44 Col(5n) 45 Col 75 Col 76 Col 75 Col 76 Col 77 Col 77 Col 76 Col 76 Col 76 Col 76 Col 77 Col 76 Col 77 Col 77 Col 76	A month	39 x (X -) 38 v	140°7		50 50	8°.07
Transm Society of the section of the sect	Kalink	44 C X - 1 43.	2009 2	7,7 MOH	09 . 86	93 , 10
Transm 45 45 45 45 45 45 Trensm 45 56(0,1) 45 105 45 70 85 95 85 Then 22 100 75 110(0,1) 54 95 96 95 95	Rananav		3/3,7	22,0 T	89,7	2,06 0 105
Treat 45 20 41 41 40 Treat 45 70 45 70 41 70 Treat 55 61 45 70 55 91 59 Marrensed 55 61 55 90 55 91 59 Marrensed 55 61 55 91 55 91 59 59 Marrensed 55 61 55 91 56 91 59 59 59 59 50 <t< td=""><td>the second second</td><td></td><td>TTEE O</td><td>4,00 JH</td><td></td><td>cgr ^en</td></t<>	the second second		TTEE O	4,00 JH		cgr ^e n
Поли ВС п(0, n) SC n(0, n) </td <td></td> <td>48 r: (X =) 47 e</td> <td>LEO A</td> <td>, 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1</td> <td></td> <td>10 64</td>		48 r: (X =) 47 e	LEO A	, 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1 , 1		10 64
Table Security Security <t< td=""><td>HOLET A</td><td>50 r (X -) 49 r</td><td>906</td><td></td><td>5 5</td><td></td></t<>	HOLET A	50 r (X -) 49 r	906		5 5	
Image: Market Section State Sectin State Section State	A DUM				e'3	10 ⁴
Lightmater Windo, n) Sint 834,8 312,3			320,0	EL 21.12	9,83	83,76
Палево Полеко	аргакоц		834,8	3I2,3 म	86 ,66	001
Косанизть Бос. ((), п) Бос. ((), п) <td>coreso.</td> <td>Uffe((),n) Wfe</td> <td>377,9</td> <td>8,53 MOH</td> <td>42</td> <td>5,84</td>	coreso.	Uffe((),n) Wfe	377,9	8,53 MOH	42	5,84
коомляя ⁹ Соболля ⁹ Пакель ¹ Ви((Ĵ, n) ⁵ /Ni ¹ 1 ¹ ² ¹ ¹ ¹ ¹ ¹ ¹ ¹ ¹			846,6	2,58 ч	66	2,17
Таблица Таблица Рубалий ⁶ (Å,n) ⁹ /Ni I27,1 36,16 ч 16,15 Рубалий ⁶ (Å,n) ⁸ /Ni 22,1,1 36,16 ч 16,15 Рубалий ⁸ (Å,n) ⁸ /N ¹⁰	COCATET		8I0,75	70,78 #	99,45	OI I
I 2 3 4 I 2 3 4 Pydammet 85 hbl(h,n) 84 mb 248,2 20,5 mm Pydammet 85 hbl(h,n) 84 mb 248,2 20,5 mm Cropostrumt 85 r(h,n) 88 r,0 10,6 r,0 10,1 m Harodart 90 r(h,n) 90 r,0 10,1 m 76,4 mm Utrant 88 r,0 100 mr 2,5 mm 93,4 mm Cypasa 133 cs (h,n) 132 cs 667,6 m,0 10,1 m Eagrat 133 cs 100 mr 2,5 mm 10,1 m Carted 133 cs 133 cs 1,7 mm 14,4 mm Eagrat 133 cs 133 cs 1,7 mm 137,6 m Eagrat 154,0 m 133,2 mm 137,6 m <t< td=""><td>Exem</td><td>in⁷⁶ (n,0)in⁹⁶</td><td>127,1</td><td>36,I6 T</td><td>16,15</td><td>67,88</td></t<>	Exem	in ⁷⁶ (n,0)in ⁹⁶	127,1	36,I6 T	16,15	67,88
I 2 3 4 Pydarmat 55 (d)(n) 84 m kb 3 4 Pydarmat 55 (d)(n) 84 m kb 3 4 Cropostant 55 (d)(n) 84 m kb 33, 4 4 Cropostant 55 (d)(n) 84 m kb 389, 3 2,5 mm Cropostant 55 (d)(n) 87 m kb 389, 3 2,8 m kb 4 Express 567, 5 389, 3 2,8 m kb 32,8 m kb 4 Express 567, 5 33,9 m kb 33,0 m kb 78,4 m kb 78,4 m kb Express 123 550 (d) n) 132 55 564,0 2,714 m kb 78,4 m kb Expret 123 550 (d) n) 132 55 564,0 2,714 m kb 78,4 m kb Expret 133 55 564,0 2,714 m kb 78,4 m kb 78,4 m kb Expret 133 55 564,0 2,714 m kb 73,4 m kb 73,4 m kb Expret 133 56 667,5 65,5 m kb 74,4 m kb 74,4 m kb					•	
I 2 3 4 Fydanuat B5 _{Rb} (Š _n n) 84 ^m Rb 245,5 20,5 4 Fydanuat B5 _{Rb} (Š _n n) 84 ^m Rb 245,2 20,5 4 Fydanuat B5 _{Rb} (Š _n n) 875,2 20,5 4 1 Fydanuat B5 _{Rb} (Š _n n) 875,2 20,5 4 1 Fydanuat B5 _{Rb} (Š _n n) 875,2 286,3 2,8,4 1 Crypauat 85 _{rb} (Š _n n) 89,4,0 106,6 f 4,18 ant B7 B87,6 587,6 4,18 ant 1 Crypauat 122,5 b 564,0 10,1 f 1 Cypuat 123,5 b 564,0 10,1 f 1 1 Cypuat 123,5 b 564,0 10,1 f 1 1 4 Cypuat 123,5 b 137,5 f 4,18 ant 1 1 1 Cypuat 123,5 b 56,4,0 2,17 a 1 1 1 Cypuat						
I 2 3 4 Рубаллий В5 вы(0, n) 84 m вы 248,2 20,5 ман Рубаллий 85 вы(0, n) 87 s 881,5 20,5 ман Стронций 85 вы(0, n) 87 s 881,5 20,5 ман Стронций 85 s 248,2 20,5 ман Стронций 85 s 32,8 ч 32,8 ч Стронций 89 s 00,1 в 87,6 4,18 ман Стронций 89 s 00,1 в 248,2 20,1 в Парконий 89 s 00,1 в 87,6 4,18 ман Стрики 133 s 57,6 4,18 ман Стрики 122 s 50,1 в 127,14 дн Стрики 123 s 564,0 2,714 дн Палки 133 s 564,0 2,714 дн Палки 133,33,3						
I 2 3 4 Таблина Рубаллай 85 Rb((),n) 84 mb 84 mb 32,6 mb 4 Рубаллай 85 Rb((),n) 84 mb 240,2 20,5 ман 32,8 mb Стронций 85 Rb((),n) 84 mb 240,5 32,8 mb 4 Парконций 85 Rb((),n) 87 s 32,8 mb 32,8 mb 4 Парконций 85 Rb((),n) 87 s 338,3 2,8 mb 4 Парконций 85 Rb((),n) 87 s 334,0 10,1 mb 14 mb Стронций 89 rb((),n) 132 s 55 s 56,5 mb 56,5 mb 56,5 mb Парконций 133 cs 534,0 10,1 mb 123 s 10,1 mb 12,1 mb Порий 133 cs 55 s 56,6 mb 5,5 mb 5,5 ma 5,5 ma Порий 133 cs 564,0 10,0 mb 2,6 ma 10,1 mb 10,1 mb Порий 133 s 564,0 10,1 mb 10,1 mb 10,1 mb 1,10						
I 2 3 4 I 2 3 4 I 2 3 4 Pydammat 85 Rb(0/n) 84 Rb 881,5 20,5 ман B5 Rb(0/n) 84 Rb 881,5 20,5 ман B5 Rb(0/n) 84 Rb 881,5 20,5 ман B5 Rb(0/n) 84 Rb 248,2 20,5 ман B5 Rb(0/n) 84 Rb 248,2 20,5 ман B5 Rb(0/n) 87 Rb 881,5 20,5 man B5 Rb(0/n) 87 Rb 881,5 20,5 man B5 Rb(0/n) 87 Rb 881,5 20,1 man B7 Rb 881,5 24,1 man 24,1 man B7 Rb 881,5 24,0 mon 10,1 man B1 Robard 123 Cs (0/n) 123 Cs 53,4 0 mon Rapati 123 Cs (0/n) 123 Cs 54,4 m Rapati 123 Cs (0/n) 123 Cs 54,4 m Rapati 123 Cs (0/n) 123 Cs 25,5 man Rapati 123 Cs 133 Cs 137 Rb Rapati 123 Cs 137 Rb 14 = 65,7 Rb Rapati 123 Cs 137 Rb 137 Rb Rapati 120 Ccb 130 Cb 137 Rb			•			
I 2 3 4 I 2 3 4 Pydammi B5 Rb(0,n) 84 m Rb 246,2 20,5 ман Pydammi B5 Rb(0,n) 84 m Rb 246,2 20,5 ман Crpostmant 85 r(0,n) 84 m Rb 246,2 20,5 ман B5 rb(0,n) 84 m Rb 246,2 20,5 ман B5 rb(0,n) 87 rb 88,3 2,3 rb 4 B5 rb(0,n) 87 rb 88,3 2,4 rb 4,16 man B5 rb(0,n) 87 rb 88,3 2,4 rb 4,16 man B6 rb(0,n) 87 rb 88,3 2,4 rb 4,16 man B7 rb(0,n) 87 rb 88,0 10,1 rb 74 rb B1 rbound 93 rb 8,4,0 10,1 rb 10,1 rb B1 rbound 133 rb 8,4,0 2,5 rb 1,7 rb B1 rbound 133 rb 8,4,0 2,5 rb 2,5 rb B1 rbound 233 rb 8,4,0 2,5 rb 2,5 rb B1 rbo			and a second sec		 A state of the sta	
I 2 3 4 Таблица Губадией 85 кb(X,n) 84 m k a a a a a a b b b b b b b b b b b b b						
I 2 3 4 IPydammat B5 Rbb(Xn) 84 m Rb 243,2 20,5 ман 85 bd 76,1 Pydammat 85 Rbb(Xn) 84 Rb 881,5 32,8 д 4 76,5 Cyrponumat 85 r(Xn) 87 sr 388,3 2,8 д 4 76,5 4,18 84 m B Cyrponumat 85 r(Xn) 87 sr 388,3 2,8 д 4 76,5 д Cyrponumat 85 r(Xn) 89 m Zr 398,0 106,6 д 4,18 мин Solution 89 m Zr 587,6 4,18 мин 76,4 ч 76,4 ч Cyrponat 30 Lotin 122 Sb 564,0 2,714 дн 76,4 ч Cyrponat 133 Cs 133 Cs 667,5 6,5 д 73,4 ч Cyrponat 133 Sc 667,5 6,5 д 73,4 ч 73,4 ч Bapat 133 Sc 667,5 6,5 д 74,4 ч 73,4 ч Cyrponat 133,0 h 133,0 h 8,4,0 2,55 ман 2,55 ман						
I 2 3 4 Fyduarnati Pyduarnati B5 B5Rb(Õ,n) 84 m Rb 248,2 20,5 5 ware B5 Rb(Õ,n) 84 m Rb 861,5 32,8 4 Crposaruati 85 Rb(Õ,n) 84 m Rb 248,2 20,5 5 ware B5 Rb(Õ,n) 84 m Rb 881,5 32,8 7 4 B5 Cr(Ö,n) 87 Sr 888,3 32,8 7 4 B5 Cr(Ö,n) 87 Sr 888,3 2,8 7 2,8 7 Croparati 89 Cr(Ö,n) 89 Zr 589,0 106,6 H 4,18 am S0 Zr(Ö,n) 89 Zr 589,0 100,1 H 78,4 H 4 Coparati 122 Sb (Ď,n) 122 Sb 564,0 2,174 дн 78,4 q Coparati 123 Sc (Ď,n) 122 Sb 564,0 2,174 дн 12 Baparit 133 Sc (Ď,n) 133 Sc 6,5 д 6,5 д 12 Carateur 133 Sc (Ď,n) 133 Sc 8,23,3 2,55 kar					Таблица 2 /п	родолжени
I 2 3 4 Грубаллай ESchul(X,n) 84 ^m Rb 33, 8, 4 Грубаллай ESchul(X,n) 84 ^m Rb 32, 8, 20, 5 4 Строиллай ESchul(X,n) 84 ^m Rb 32, 8, 20, 5 20, 5 4 Строиллай ESchul(X,n) 84 Rb 389, 3 2, 4 32, 8 4 Строиллай ESchul(X,n) 84 Rb 389, 3 2, 20, 5 4, 18 Парконнай 89 v(X,n) 89 v(X,n) 89 v(X,n) 89 v(X,n) 32, 8 4 Парконнай 89 v(X,n) 89 v(X,n) 89 v(X,n) 89 v(X,n) 89 v(X,n) 89 v(X,n) Сурыма 1223 Sb(X,n) 89 v(X,n) 89 v(X,n) 834, 0 10, 1 4 Сурыма 1233 Cs(X,n) 132 Cs 564, 0 2,714 дн 4 Поски 133 Cs 8, 0,0 100, 1 8, 1< q 4 Савгай 133 Cs 133 Cs 6,0,0 10,1 (A,n) 8, 1< q Поски 14,44 <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td>						
I 2 3 4 Fydarunt B5 Rb(0,n) 84 m R b 34 m L 34 m L Fydarunt B5 Rb(0,n) 84 m B 34 m L 34 m L 34 m L Crposurunt B5 Rb(0,n) 84 m L 84 m L 34 m L						
Рубацият B5 Rb((),n) 84 m Rb 248,2 20,5 ман В5 Rb((),n) 84 Rb 881,5 32,8 д 32,8 д Стронцият 85 r((),n) 87 r 881,5 32,8 д Ктрай 89 r((),n) 87 r 881,5 32,8 д Ктрай 89 r((),n) 87 r 886,0 106,6 д Ктрай 90 r((),n) 89 r 896,0 106,6 д Карки 898,0 100,1 д 89 r 896,0 106,6 д Карки 89 r 89 r 89 r 896,0 106,6 д 4,18 ман 90 r 16 s 90 r 78,4 q 78,4 q 78,4 q Сурыма 123 sb((),n) 122 sb 564,0 2,714 дн 78,4 q Сурыма 133 cs 132 cs 564,0 2,714 дн 78,4 q Позай 123 sb((),n) 132 cs 564,0 2,714 дн 78,4 q Сурыма 133 cs 133 cs 667,5 667,5 65,5 ман Поза	Π	2	E .	4	2	9
Рудания Судания Сиронция Сиронция Судонция Судонция Судонция Судонция Судонция ВВ1,5 220,5 ман. 20,5 ман. Китций 85 r(0,n) 87 r 881,5 32,8 ч		85 ,Y , 84m-				
Crpoнций 88 Cupon 87 001,0 24,0 24,0 Игтрий 895/(0,n) 89 001,0 24,0 25,8 % 386,3 2,8 % 25,8 % Игтрий 897/(0,n) 89 909,1 784,4 % 386,3 2,8 % 386,3 2,8 % 386,3 2,8 % 32,6 % 4,18 мин 1 виобий 902/(0,n) 89 0 27(0,n) 89 0 106,1 % 78,4 % 4 </td <td>PYCERTER</td> <td></td> <td>248,2 001 F</td> <td>20,5 MAR</td> <td>65 77 9</td> <td>12.</td>	PYCERTER		248,2 001 F	20,5 MAR	65 77 9	12.
итрай итрай итрай итраи итраи итраи итраи итраи итраи итраи итраи итраи итраи итраи итраи иссон			C 100	10,26	5.07	1 22
итрика играма Парисонията ЭО2г(Й,n) 89 дг ЭО2г(Й,n) 89 дг ЭО2г(Й,n) 89 дг ЭО34,0 10,1 д ЭО34,0 10,1 д ЭО4,1 да Тантал 133 Сs(Й,n) 132 Сs Барий 133 Сs(Й,n) 132 Сs Барий 165,79; 8,1 д Барий 165,9 137,6 д Порий 153 са Тантад 204 рb(Й,n) 139 С Наодини 150 Nd(Й,n) 139 С Нарий 153 са Самирий 232 rh(Й,n) 231 rh ВА,17 25,5 ч ВА,17 25,5 ч	UT POHUNA		000 C	F 9'2	1.449	82,50
царконная 92.г(0,n) 89.гг 909,1 78,4 ч Накобан 93.к(0,n) 89.гг 909,1 78,4 ч Сурыма 1235 b(0,n) 122 5 b 564,0 2,714 дн сурыма 133 Cs (0,n) 132 Cs 667,5 6,5 д Барай 133 Cs (0,n) 132 Cs 667,5 6,5 д Барай 133 Cs (0,n) 137 mBa 661,6 2,55 ман 138 Ba (0,n) 130 mTa E _{Ka} Hf=55,79; 8,1 ч г ¹⁹ 93,3 Cвансц 140 Cs 16,6 д Г ¹⁹ 93,3 Cвансц 140 Cs 16,5 д Нерай 150 Nd (0,n) 139 C 165,9 137,6 д Нерай 155 Nd (0,n) 139 C 165,9 137,6 д Голай 232 тh (0,n) 231 th 84.17 25,5 ч	NT PR H		858,0	T 9 90T	1,02	001
Насомий ЭЗNЬ(Č,n) ЭZMNb 934,0 78;4 ч Сурыма 123Sb(Č,n) 92MNb 934,0 10,1 д Сурыма 123Sb(Č,n) 122Sb 564,0 2,714 дн Барий 133Cs (Č,n) 132Cs 667,5 6,5 д Барий 138Ba(Č,n) 137MBa 661,6 2,55 ман Тантал 1317MBa 661,6 2,55 ман Тантал 204 рb(Č,n) 180MTa 54,4 Hf=55,79; 8,1 ч Кирі 14=53,2 8,1 ч Кирі 14=53,2 8,1 ч Неодами 150 Nd(Č,n) 139 b Ka, Ta=72,87 52,1 Церий 150 Nd(Č,n) 139 c 165,9 137,6 д Толай 2327h(Č,n) 231Th 84.17 255,5 ч	TEDROHEE		587,6	4° IB MIL	1.8	ST 41
насовая Суръма II33 Sb (Č,n) I22 Sb 564,0 2,714 дн Гезана I33 Cs (Č,n) I32 Cs 667,5 6,5 д Барай I33 Cs (Č,n) I37 mBa 661,6 2,55 ман Тантал 181 Та (Č,n) 180 та Е _{Ка,} Hf=55,79; 8,1 ч Гантал 204 рb (Č,n) 180 та Е _{Ка,} Hf=53,2 8,1 ч Кирі 416=53,2 8,1 ч Кирі 416=53,2 8,1 ч Кирі 416=53,2 8,1 ч Кирі 416=53,2 8,1 ч Неодти I50 Nd (Č,n) 139 Ce 165,9 137,6 д Гамарий I54 Sm (Č,n) 139 Ce 165,9 137,6 д Гамарий 232 тh (Č,n) 231 th 84.17 25.5 ч		93.14X - X 92m	I'606	78;4 T	99 ° 86	
сурына I33 с 5 (0, n) 132 С 5 667, 5 667, 5 6, 5 д Нездий I33 С 5 (0, n) 132 С 5 667, 5 6, 5 д Еврий I38 Ва (0, n) 137 М Ва (6, n) 139 144 = 63, 2 , 55 ман 14, 144 = 63, 2 , 52, 1 146 ман 14, 146 С 165, 9 137, 6 д 146 ман 154 с 155 ман 165, 9 137, 6 д 170 ман 154 с 156 ман 103, 2 46, 4 ч 100 ман 123 С 165, 9 137, 6 д 170 ман 123 С 165, 9 137, 6 д 170 ман 154 с 156 ман 103, 2 46, 4 ч 100 ман 123 С 155 ман 103, 2 46, 4 ч 100 ман	NHOOMH		934,U	H TOT	7 66	
Нантан I38 Са. (0, п) I37 ПВа 661,6 2,55 мин Тантан I81 Та (0, п) I80 Па Е _{1,4,} Hf=55,79; 8,1 ч Кир 93,3 Свинен 204 рb (0, п) 203 рb Е _{1,61} Hf =63,2 8,1 ч Кир 93,3 204 рb (0, п) 203 рb Е _{1,61} Hf =63,2 8,1 ч Неодини I40 Се (0, п) I39 р Ки ₆₁ Та=72,87 52,1 Неодини I50 Nd (0, n) I39 Ce I65,9 I37,6 д Самарий I54 Sm (0, n) I53 Sm I03,2 46,4 ч Топий 232 Th (1 n) 231 Th 84. T7 25.5 ч	Uppeara	133 (X) 132 -	064°U		6°0/.	42,74
Тантал ISI рация Тантал ISI та (Й, п) ISO Та Е ₁₆₄ , Hf=55, 79; 8, I ч Е ¹⁶ , Hf=55, 79; 8, I ч Е ¹⁶ , Hf=55, 79; 8, I ч В ₁₆ , Hf=55, 79; 8, I ч B ₁₆ , Hf=55, 79; 13, 74; 14; 14; 14; 14; 14; 14; 14; 14; 15; 14; 14; 14; 15; 14; 14; 15; 14; 14; 15; 14; 14; 15; 14; 14; 15; 14; 14; 16; 14; 14; 16; 14; 14; 16; 16; 16; 16; 16; 16; 16; 16; 16; 16		I38 - 1 / I37me	00/ 00 661 6		2, 2 2, 2 2, 2 2, 2 2, 2 2, 2 2, 2 2, 2	
Свийнец 204 ры(Хл) 203 ры Екс, Нf = 63,2 Церай 140 Се(Хл) 203 ры Екс, Та = 72,87 52,1 Церай 150 Nd(Хл) 139 Се 165,9 137,6 д Неоции 154 SM (Хл) 149 Nd 114,3 1,73 ч Самарий 154 SM (Хл) 153 SM 103,2 46,4 ч Топий 232 ть(Хл) 231 гы 84.17 25.5 ч	Тантат	ISITAC(X) IBOMT	P. Hf=55 79	ALL T		10 ⁴ T/
Свитент 204 Ры(Йл) 203 РЫ Екс, Та=72,87 52,1 Церияй I40 Се(Йл) 203 РЫ Екс, Та=72,87 52,1 Неоции I50 Nd(Йл) I39 Се I65,9 I37,6 д Неоции I54 SM(Йл) I49 Nd II4,3 I,73 ч Самарий I54 SM(Йл) I53 SM I03,2 46,4 ч Топиай 232 ты(Йл) 231 ты 84.17 25.5 ч			Ev. Hf =63.2	10	13.0	56 66
Свинец 2014 РЫ(О́л) 2019 РЫ _{Кой} Та=72,87 52,1 Церий I40 Се(Ў́л) I39 Се Тб5,9 I37,6 д Неоцим I50 Nd(Ў́л) I49 Nd II4,3 I,73 ч Самарий I54 5 m(Ў́л) I53 Sm IO3,2 46,4 ч Топий 232 тh(Ў́л) 231 р 84.17 25.5 ч					4.0	
Церай 140 Се(Й,п) 139 Се 165,9 I37,6д Неодам I50 Nd(Й,п) I49 Nd II4,3 I,73 ч Самарай I54 Sm(Й,n) I53 Sm I03,2 46,4 ч Торай 232 тh(Й,n) 231 тh 84.17 25.5 ч	Свинец		Eka, Ta=72,87	52,I	88	I,37
Heounant I54Sm(0,n) 133 Nd II4,3 I,73 т Самарай I54Sm(0,n) I53Sm I03,2 46,4 т Топай 232Th(Й,n) 231 _T h 84.17 25.5 т	llepat	140Ce(Ő,n) 139Ce	165,9	I37,6 д	80 , I	88,40
Самаржи тотеки 103,2 46,4 т Топана 232ть(Й п) 231ть 84.17 25.5 т	Heory		114,3	I,73 ч	I6,I	5,6
	Camaput	10, n) 10, nSm	103,2	46,4 T	38 ,2	22,52
	Topark	234 Th(0,n) 231 Th	84,17	25,5 T	0.7	0'00I

* Литературные данные /20/

9

Таблица 2



Рис.7. Изучение влияния кальция на определение содержания титана по радиоизотопу ⁴⁷ Sc. S_n^{Ti} / S_n^{Ca} – отношение наведенной активности в пике 159,4 кэВ /на 1 мг/ за счет реакции ⁴⁸ Ti (y, p) ⁴⁷ Sc к наведенной активности за счет реакции ⁴⁸ Ca (y, n) ⁴⁷ Ca $\xrightarrow{B^-}$, ⁴⁷ Sc.



Рис.8. Участки у-спектров образца кристаллических пород после длительного облучения пробы тормозным излучением микротрона: $a - t_{OGn} = 5 \, \text{ч}, t_{BbH} = 55 \, \text{ч}, t_{H3M} = 1 \, \text{ч}, измерение}$ проводилось детектором из чистого германия; $6 - t_{OGn} = 5 \, \text{ч}, t_{BbH} = 45 \, \text{ч}, t_{H3M} = 1 \, \text{ч}, измерение спектра проводилось}$ Ge(Li) – ППД. ⁴⁹ Сг измерялась на 'Ge-детекторе после выдержки проб ≈ 10 мин. Оптимальное время измерения / t $_{\rm ИЗM}^{OПT} \approx 10$ мин/ было рассчитано по формуле ^{/16/}:

$$t \frac{O\Pi T}{N_{3M}} = \frac{\ln N/(N-1)}{\lambda}, \qquad /4/$$

где λ - постоянная распада для ⁴⁹ Сг, N - число образцов, равное 7.

Активность ⁴⁷ Sc и радиоизотопов с 1 ч < $T_{1/2}$ < 24 ч измерялась на обоих детекторах при $t_{ИЗM} = 30$ мин и $t_{ВЫД} \ge 2$ ч. При этом нами установлено, что вклад кальция в активность радиоизотопа ⁴⁷ Sc по реакции ⁴⁸ Ca(y, n) ⁴⁷ Ca $\frac{\beta^{-}}{47}$ Sc на два порядка меньше вклада титана по реакции ⁴⁸ Ti(y, p) ⁴⁷ Sc /см.рис.7 и /¹¹/. Активность изотопов с $T_{1/2} > 24$ ч была измерена при $t_{ИЗM} = 60$ мин и $t_{выд} = 24-72$ ч.

На рис.8 в качестве примера приведены участки у -спектров облученных образцов кристаллических пород, полученных при различных режимах измерения и выдержки. Они свидетельствуют о возможности определения содержания большого числа элементов при использовании двух полупроводниковых детекторов. При планировании экспериментов и вычислении содержания различных химических элементов в образцах был учтен возможный вклад конкурирующих реакций по методу, описанному в /11/.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенных исследований химического состава стандартных образцов и выбора наиболее рациональных вариантов геометрии облучения проб и режимов измерения установлены некоторые оптимальные условия проведения опыта, рассчитаны относительная ошибка и предел определения элементов. Данные приведены в табл.3. Из нее видно, что в результате последовательного трехкратного измерения облученных образцов представляется возможным определение около 30 элементов с пределом обнаружения от $n \times 10^{-6}$ % (Та, U, Th) до 10^{-1} % (Si , Fe, Ca) с ошибкой от 5% (Na, Mg. Al. Si. Ti. Fe. Sr) до 25% (Co. Cs. Pb. Sm). Различие относительных ошибок для разных элементов обусловлено как отличием ядерно-физических характеристик радиоизотопов, используемых для анализов /см.табл.3/, так и разным содержанием элементов в данных образцах/см.табл.3/.Вследствие того,что изучаются образцы различных типов пород, вышеуказанные характеристики представляют собой наилучшие результаты при навеске $\sim 3 \Gamma / D = 20 \text{ MM}/$ и содержании титана в образцах < 0,1%: При анализе образцов, в которых имеется сравнительно высокое содержание титана />0,1%/, предел обнаружения некоторых микроэлементов, например, урана, тория, самария, неодима, повышается примерно в 2 раза.

Таблица З

Некоторые характеристики активационного метода определения химических элементов в пробах кристаллических пород

Элемент	Предел обнаружения, г/т ^ж	Содержание элемента, г/т	Относительная ошибка, %
	0.07(0.04)**	I,2 ³⁶²⁵	5
Натрии	0,008364	0.2***	5
Магнии	(0,00)	6.0355	5
AJIOMUHUU		20.0354	5
Кремний	0,10	200	7
Хлор	15	∩ 4 %%	IO
Калий	0,01	0, 4	5
Кальний	0,1 ^{mm}		20
Скандий	I		5
Титан	0,005***		20
Ваналий	(20)	60	το
XDOM	50	300	TO
Марганец	0,01***(30)	0,1	5
Железо	0,I ^{**}	1,2	ີ 05 ^{ທີ່}
KOOBJILT	30(5)	60	20 TE
Никель	5	35	IO
Рубилий	5	30	15
Стронций	0,5	90	5 75
Иттрий	IO	60	15
Пилконий	3	40	5
Ниобий	3	12	20
CITOLNA	0.2	0,7	20
Uoput	0.3	I,0	25
цезиц	T5	80	IO 10
Бария	0.05	0,3	20
Тантал	3	8	25
Свинец	- 0 F	7	15
Церии	U,U	17	10
Неодим	0.5	1.7	25
Самарий	0,0	T.4	10
Торий	0,07	т. 6	IO
Уран	0,07	1,0	

* Гамма-активационный, в скобках - нейтронно-активационный метод анализа.

жжа анализа.

**Содержание в %.

Как было указано выше, при увеличении диаметра /навески/ образца можно повысить точность результатов анализа и понизить предел обнаружения ряда элементов. Отметим, что при сравнении результатов ГАА с данными других методов /ИНАА, РФА, спектрального анализа, силикатного анализа и гамма-спектрометрии/ их относительные расхождения не превышают 25%, что свидетельствует об удовлетворительном совпадении ГАА с указанными методами анализа.

Авторы глубоко признательны Г.Н.Флерову за постановку задачи и содействие,Ю.С.Замятнину за постоянное внимание и ценные рекомендации, А.В.Гуревичу, А.Г.Белову и В.Е.Жучко за оказанную помощь, Л.П.Кулькиной за полезное обсуждение полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Савосин С.И., Сулин В.В., Дрынкин В.И. Изв.вузов, геол. и разв., 1982, № 6, с.95.
- 2. Оболенская Р.В. и др. В кн.: Микроэлементы как индикаторы геологических процессов. СО АН СССР, Институт геологии и геофизики, Новосибирск, 1982, с.10-19.
- 3. Ahmad S., Chaudhary V.S., Qureshi I.H. J.Radioanal.Chem., 1981, 67, p.119.
- 4. Колесов Г.М., Сурьков Ю.А. Радиохимия, 1979, т.XXI, вып.1, с.138.
- 5. Филиппов Е.М. Ядерная разведка полезных ископаемых. "Наукова думка", Киев, 1978.
- Зайцев Е.И., Сотсков Ю.П., Резников Р.С. Нейтронно-активационный анализ горных пород на редкие элементы. "Недра", М., 1978.
- Vobecky M. et al. Radiochem. and Radioanalyt. Letters., 1979, No. 6, p.237.
- 8. Дрынкин В.И. и др. АЭ, 1979, 47/1/, с.31-34.
- 9. Флеров Г.Н., Выропаев В.Я. ОИЯИ, 13-8849, Дубна, 1975.
- Вахрушин и др. В кн.: Доклады Третьего всесоюзного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве. Л., НИИЭФА, 1979, т. 4, с.37-44.
- 11. Эрнандес А., Замятнин Ю.С. ОИЯИ, 18-83-138, Дубна, 1983.
- 12. Колесов Г.М., Эрнандес А. ОИЯИ, 18-83-211, Дубна, 1983.
- 13. Engelman Ch. J.Radioanal.Chem., 1981, 67, p.221.
- 14. Белов А.Г. и др. ОИЯИ, Р9-82-301, Дубна, 1982.
- 15. Белов А.Г. и др. ОИЯИ, 18-80-841, Дубна, 1980.
- 16. Эрнандес А., Рубио Д. ОИЯИ, 18-80-337, Дубна, 1980.
- Эрнандес А., Белов А.Г. В кн.: 4-ое Совещание по использованию новых ядерно-физических методов для решения научнотехнических и народнохозяйственных задач. ОИЯИ, P18-82-117, Дубна, 1982, с.196-204.

- 18. Эрнандес А., Белов А.Г. ОИЯИ, 18-81-775, Дубна, 1981.
- 19. Genshikaku Kenkyu, 1971, vol.15, No.4.
- 20. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Квантовое излучение радиоактивных нуклидов. Атомиздат, М., 1977.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

..'

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги,

если они не были заказаны ранее.

۲

1

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заря- женных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заря- жениых частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 p. 00 ĸ.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
Д11-80-1 3	Труды рабочего совещания по систенам и методам аналитических вычислений на ЗВМ и их применению в творетической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по пробленан кван- товой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
A10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математи- ческого моделирования в ядерно-физических исследова- ниях. Дубна, 1980	2 p. 50 ĸ.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по ис∩ользованию новых ядерно- физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
<u>д</u> 2-62-568	Труда совещания по исследованием в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 p. 00 ĸ.
Д11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЗВМ и их применению в теоретической физика. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
A7-83-644	Труды Международной школы-сенинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
Д2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 p. 00 k.
A13-84-63	Труды XI Международного симпозиуна по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.

Рукопись поступила в издательский отдел 6 июня 1984 года

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу: 301000 Москва, Главпочтамт, п/я 79 Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Індекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники

19. Биофизика

Эрнандес А. и др. Методика гамма-активационного анализа применительно к изучению древнейших кристаллических пород Земли

Показана возможность использования тормозного излучения и фотонейтронов микротрона для многоэлементного гамма-активационного анализа образцов древнейших кристаллических пород Земли. Найдены условия инструментального активационного определения около 30 элементов в образцах. Установлены оптимальные геометрия и режим облучения образцов, время их выдержки и измерения, рассчитаны предел и погрешности определения. Получено удовлетворительное совпадение результатов гамма-активационного анализа с данными пяти других методов анализа.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

18-84-392 Hernandez A. et al. Application of Gamma-Activation Analysis to the Investigation of the Earth's Ancient Crystallized Rocks

Application of bremsstrahlung and photoneutrons from a microtron for multielement activation analysis of samples of the Earth's ancient crystallized rocks was investigated. Nearly 30 elements have been determined mostly by the instrumental photon activation analysis, but instrumental thermal neutron activation analysis has been also applied for determining several elements in the samples. The optimal irradiation regimes and both cooling and measuring times were established. Sensitivity and accuracy of the analysis are presented. The experimental data are in satisfactory agreement with the results obtained by 5 other different analytical methods.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984

18-84-392