

**сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна**

18-84-392

А.Эрнандес, В.Д.Нарतिकоев\*,  
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

**1984**

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: неdestructивность, 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 <sup>1-5/</sup>.

Среди ядерно-физических методов особое место занимает инструментальный нейтронно-активационный метод анализа /ИНАА/ с помощью ядерных реакторов <sup>4-8/</sup>, 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 <sup>5-6/</sup>. 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 <sup>9-11/</sup>. Гамма-активационный метод анализа часто служит дополнением к нейтронно-активационному анализу и в ряде случаев успешно конкурирует с другими методами анализа <sup>10-13/</sup>.

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 Al, V, Mn, Co и Na-элементов, которые образуют удобные для анализа короткоживущие радиоизотопы в (n,  $\gamma$ )-реакциях.

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

Образцы кристаллических пород измельчались до размеров зерен 0,5 мм, а стандарты готовились 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  $E_{\gamma} < 100$  кэВ/ в смесь окисей был внесен уран в виде раствора  $UO_2(NO_3)_2$ . 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  $\gamma$ -квантами или фотонейтронами микротрона МТ-22 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ с максимальной энергией ускоренных электронов ~20,5 МэВ при среднем токе 13 мкА <sup>14/</sup>. Облучение образцов  $\gamma$ -квантами проводилось по схеме, представленной на рис.1. При облучении проб тепловыми нейтронами образцы были расположены в центре графитового куба микротрона <sup>15/</sup>. Поток  $\gamma$ -квантов или нейтронов контролировался с помощью медных и марганцевых мониторов соответственно <sup>16/</sup>.

Для измерения спектров  $\gamma$ -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 см<sup>3</sup> с разрешением 0,5 кэВ на линии  $K_{\alpha}^{60}Co$  с энергией 77,1 кэВ, а спектры в области 100-2500 кэВ измерялись Ge(Li) -детектором с чувствительным объемом 28 см<sup>3</sup> и разрешением 3,5 кэВ на  $\gamma$ -линии <sup>137</sup>Cs с энергией 662 кэВ. Для регистрации и обработки информации применялся 4096-канальный анализатор LP-4900 фирмы "Nokia".

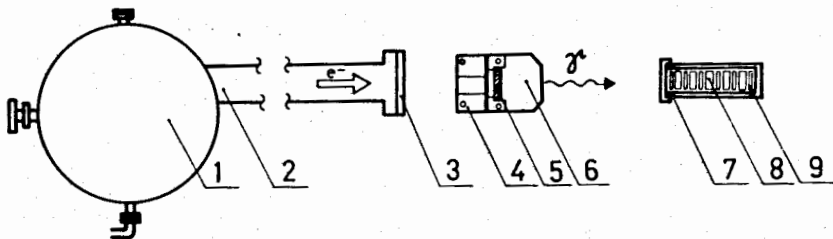


Рис.1. Схема облучения образцов  $\gamma$ -квантами микротрона. 1 - микротрон, 2 - выводной патрубок пучка электронов, 3 - выпускное окно / Al-фольга/, 4 - узел тормозной мишени, 5 - тормозная мишень /из W/, 6 - поглотитель электронов /из Al/, 7 - полиэтиленовый пенал для образцов, 8 - образцы, 9 - монитор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

При гамма-активационном анализе важное место занимает вопрос выбора оптимальной геометрии облучения образцов. При этом необходимо правильно учитывать особенности углового и продольного распределений  $\gamma$ -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,  $N \geq 1$ .

Прежде чем обратиться к конкретному рассмотрению случаев а/ , б/ , рассмотрим некоторые вопросы, связанные с распределением  $\gamma$ -квантов тормозного излучения в продольном направлении. Как известно <sup>18/</sup>, зависимость относительной интенсивности потока  $\gamma$ -квантов тормозного излучения в продольном направлении имеет вид:

$$P_{\gamma} \sim \frac{1}{R^{\alpha}}, \quad /1/$$

где R - расстояние от детектора  $\gamma$ -излучений до тормозной мишени,  $\alpha$  - параметр, зависящий в общем случае от экспериментальных условий. Представляет интерес выяснить зависимость  $\alpha$  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  $\gamma$ -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  $\gamma$ -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  $\alpha$ . При увеличении диаметра D порогового детектора получается семейство кривых, показанных на рис.3, которому соответствует ряд значений параметра D. На рис.4 представлена зависимость  $\alpha$  от D. Как видно из рис.4, существует линейная зависимость типа  $\alpha = a + bD$  примерно до значений D = 40 мм, причем для данных условий эксперимента

$$\alpha = 1,69 - 0,015D.$$

Характеристики фотонейтронных реакций, используемых для проверки зависимости  $\alpha$  от диаметра порогового детектора

Радио-изотоп	Реакция	Пороговая энергия, МэВ	Энергия детектируемых $\gamma$ -квантов кэВ	Период полураспада, T <sub>1/2</sub>
<sup>237</sup> U	<sup>238</sup> U( $\gamma, n$ ) <sup>237</sup> U	5,30	59,5; 208,0	6,75 дн
<sup>57</sup> Ni	<sup>58</sup> Ni( $\gamma, n$ ) <sup>57</sup> Ni	12,2	127,1; 511,0	36,16 ч
<sup>64</sup> Cu	<sup>65</sup> Cu( $\gamma, n$ ) <sup>64</sup> Cu	9,92	511,0	12,8 ч
<sup>99</sup> Mo	<sup>99m</sup> Tc( $\gamma, n$ ) <sup>99</sup> Mo <u>E-<sup>99m</sup>Tc</u>	8,29	140,5	66,0 ч (6,0ч)

(1) Литературные данные /19/.

(2) Представлена только энергия  $\gamma$ -квантов, используемых нами для проведения экспериментов.

Зависимость /2/ была проверена /при E<sub>e<sup>-</sup></sub><sup>макс</sup> = 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 <sup>238</sup>U( $\gamma, n$ ) <sup>237</sup>U, E<sub>пор.</sub> = 5,30 МэВ принимает вид  $\alpha = 1,838 - 0,0136D$ . /3/

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  $\gamma$ -квантов с осью цилиндрического пенала /см.рис.1/, загруженного образцами. При этом отпадает необходимость использования мониторов потока  $\gamma$ -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  $\alpha = f(D)$ . Такое значение диаметра проб совпадает приблизительно с установленным в /17/ значением оптимального диаметра образца, исходя из данных относительно углового распределения  $\gamma$ -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 <sup>231</sup>Th с энергией E <sub>$\gamma$</sub>  = 84,17 кэВ на Ge-детекторе, оптимальная

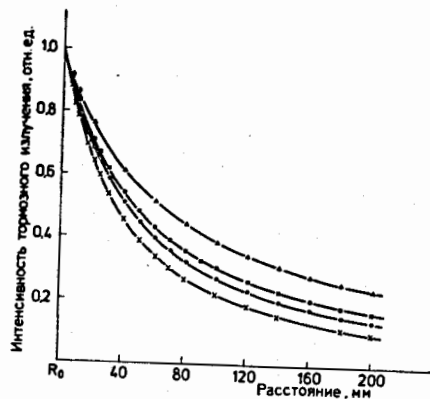
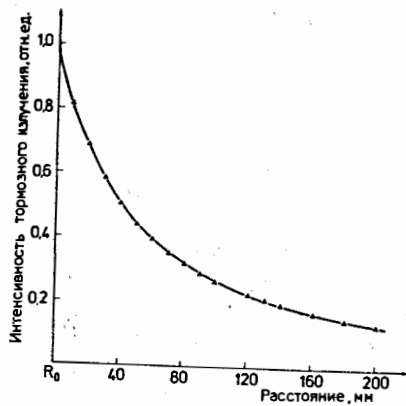


Рис.2. Зависимость интенсивности тормозного излучения от расстояния до тормозной мишени. R<sub>0</sub> - расстояние от тормозной мишени до первого монитора /R<sub>0</sub> = 65 мм/; реакция <sup>65</sup>Cu( $\gamma, n$ ) <sup>64</sup>Cu, E <sub>$\gamma$</sub>  = 511 кэВ, T<sub>1/2</sub> = 12,8 ч.

Рис.3. Семейство кривых зависимости интенсивности тормозного излучения от расстояния при разных диаметрах мониторов. D - диаметр мониторов, R<sub>0</sub> - см.рис.2, реакция <sup>65</sup>Cu( $\gamma, n$ ) <sup>64</sup>Cu, D = 4 мм /-x-x-/, 20 мм /-·-·-·-/, 30 мм /-■-■- / и 60 мм /-▲-▲- /.

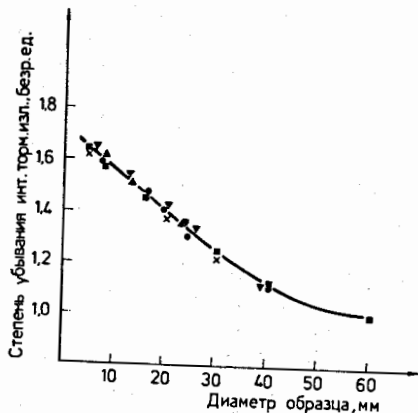


Рис.4. Зависимость степени убывания интенсивности потока  $\gamma$ -квантов тормозного излучения  $\alpha$  от диаметра порогового детектора. Реакция <sup>65</sup>Cu( $\gamma, n$ ) <sup>64</sup>Cu, E <sub>$\gamma$</sub>  = 511 кэВ, T<sub>1/2</sub> = 12,8 ч. На рисунке представлены экспериментальные точки 5 разных опытов. Кривая проходит по средним значениям всех экспериментальных данных.

При D > 40 мм зависимость  $\alpha = f(D)$  нелинейна, и при D = 60 мм отклонение от линейной зависимости достигает 20%. Нелинейность зависимости  $\alpha = f(D)$  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.



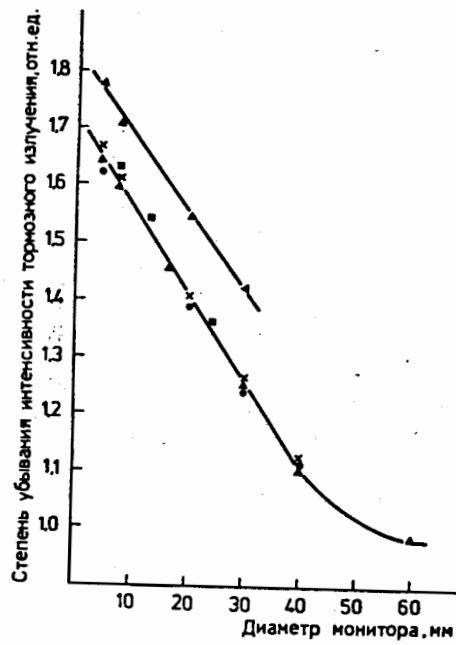


Рис.5. Зависимость  $\alpha$  от диаметра порогового детектора для разных реакций. Верхняя кривая - реакция  $^{238}\text{U}(\gamma, n)^{237}\text{U}$ ,  $E_\gamma = 59,54$  кэВ /  $\blacktriangle$ - $\blacktriangle$ -/, нижняя кривая - реакция  $^{238}\text{U}(\gamma, n)^{237}\text{U}$ ,  $E_\gamma = 208,0$  кэВ /  $\blacktriangle$ - $\blacktriangle$ -/,  $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$ ,  $E_\gamma = 511,0$  кэВ;  $\blacksquare$ - $\blacksquare$ -  $^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$ ,  $E_\gamma = 140,51$  кэВ;  $\cdots$   $^{58}\text{Ni}(\gamma, n)^{57}\text{Ni}$ ,  $E_\gamma = 127,1$  кэВ,  $511$  кэВ. Во всех случаях, представленных на нижней кривой, применялся Ge(Li) - ППД.

толщина пробы была равна  $20 \text{ мм}^{18}$ . Если же  $N = 10$ , то активность, наведенная в наиболее отдаленном от мишени образце, оказывается оптимальной при толщине образцов, равной  $4 \text{ мм}^{18}$ . 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 выбрать 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  $\leq 500$  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 изготовлен набор кювет из оргстекла с  $V = \text{const}$ , 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  $(D/h)_{\text{опт}}$  в зависимости от  $V$  и  $N$ . Не исключается возможность того, что при  $N = \text{const}$ ,  $(D/h)_{\text{опт}} \approx \text{const}$ .

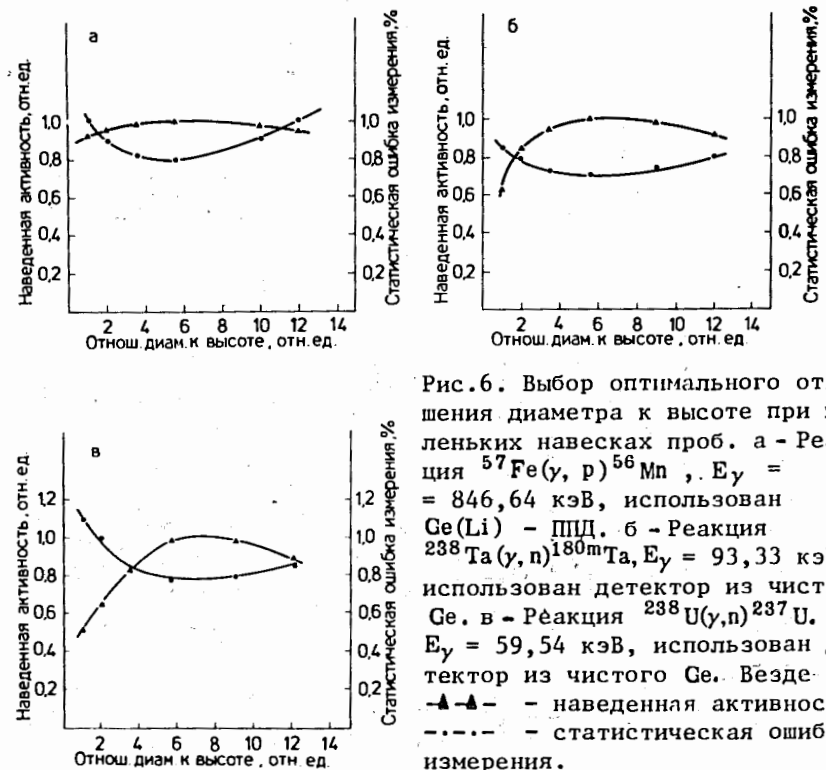


Рис.6. Выбор оптимального отношения диаметра к высоте при малейших навесках проб. а - Реакция  $^{57}\text{Fe}(\gamma, p)^{56}\text{Mn}$ ,  $E_\gamma = 846,64$  кэВ, использован Ge(Li) - ППД. б - Реакция  $^{238}\text{Ta}(\gamma, n)^{180\text{m}}\text{Ta}$ ,  $E_\gamma = 93,33$  кэВ, использован детектор из чистого Ge. в - Реакция  $^{238}\text{U}(\gamma, n)^{237}\text{U}$ ,  $E_\gamma = 59,54$  кэВ, использован детектор из чистого Ge. Везде  $\blacktriangle$ - $\blacktriangle$  - наведенная активность,  $\cdots$  - статистическая ошибка измерения.

## НЕЙТРОННО- И ГАММА-АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Содержание Al, 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  $^{28}\text{Al}$  и  $^{52}\text{V}$  измеряли в течение 5 мин после 1-минутного охлаждения мишени; активность  $^{56}\text{Mn}$  и  $^{24}\text{Na}$  - в течение 30 мин после 50-100 минутной выдержки образцов для распада более короткоживущих радиоизотопов. Активность  $^{60}\text{Co}$  / $E_\gamma = 58,6$  кэВ,  $T_{1/2} = 10,47$  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  $\gamma$ -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  $^{34\text{m}}\text{Cl}$ ,

Ядерные реакции, протекающие в веществе проб сверхглубокой скважины, облученных  $\gamma$ -квантами микротрона

Элемент	Реакция	E $\gamma$ , кэВ <sup>2</sup>	T $_{1/2}$	Квантовый выход на 100 распадов			Распространенность в природной смеси, %
				4	5	6	
Натрий	<sup>23</sup> Na( $\gamma$ ,n)	1274,5	2,6 г		99,95	100	
Магний	<sup>24</sup> Mg( $\gamma$ ,p)	1368,5	15 ч		99,99	10,13	
Хромий	<sup>29</sup> Si( $\gamma$ ,p)	1273,0	6,5 МВН		89,1	3,09	
	<sup>28</sup> Al	1778,7	2,3 МВН		100	4,70	
Хлор	<sup>34</sup> mCl	145,7	32,0 МВН		35,8	75,53	
	<sup>38</sup> K	2168,0	7,7 МВН		99,80	93,10	
Калий	<sup>43</sup> K	373,7	22,6 ч		89,7	2,06	
	<sup>44</sup> Ca( $\gamma$ ,p)	1297,1	4,55 дн		75	0,185	
Кальций	<sup>47</sup> Ca	1156,9	3,9 ч		99,8	73,94	
	<sup>44</sup> Sc	159,4	3,4 д		70	4,31	
Станций	<sup>47</sup> Sc	90,6	41,4 МВН		53,9	83,76	
	<sup>49</sup> Cr	320,0	27,73 дн		9,83	100	
Хром	<sup>51</sup> Cr	834,8	312,3 дн		99,98	5,84	
	<sup>54</sup> Mn( $\gamma$ ,n)	377,9	8,53 МВН		42	2,17	
Марганец	<sup>53</sup> Fe	846,6	2,58 ч		99	100	
	<sup>56</sup> Mn	810,75	70,78 дн		99,45	67,88	
Железо	<sup>57</sup> Fe( $\gamma$ ,p)	127,1	36,16 ч		16,15		
Кобальт	<sup>58</sup> Co( $\gamma$ ,n)						
Никель	<sup>57</sup> Ni						

Таблица 2 / продолжение /

I	2	3	4	5	6
Стронций	<sup>84</sup> Rb	881,5	32,8 д	75,3	72,15
	<sup>87</sup> Sr	388,3	2,8 ч	84,1	82,56
Итрий	<sup>88</sup> Y	898,0	106,6 д	95,1	100
	<sup>90</sup> Zr( $\gamma$ ,n)	587,6	4,18 МВН	93,1	51,46
Цирконий	<sup>89</sup> mZr	909,1	78,4 ч	99,86	
	<sup>90</sup> Zr( $\gamma$ ,n)	934,0	10,1 д	99,1	100
Нобий	<sup>92</sup> Nb( $\gamma$ ,n)	564,0	2,714 дн	70,9	42,75
	<sup>123</sup> Sb( $\gamma$ ,n)	667,5	6,5 д	97,9	100
Сурьма	<sup>133</sup> Cs( $\gamma$ ,n)	661,6	2,55 МВН	90,5	71,66
Цезий	<sup>138</sup> Ba( $\gamma$ ,n)	E $_{K\alpha_1}$ Hf=55,79; E $_{K\beta_1}$ Hf=63,2	8,1 ч	39,0	99,99
	<sup>181</sup> Ta( $\gamma$ ,n)	93,3	52,1	88	1,37
Тантал	<sup>180</sup> Ta	E $_{K\alpha_1}$ Ta=72,87	137,6 д	80,1	88,48
Свинец	<sup>204</sup> Pb( $\gamma$ ,n)	165,9	1,73 ч	16,1	5,6
	<sup>140</sup> Ce( $\gamma$ ,n)	114,3	46,4 ч	28,2	22,53
Церий	<sup>150</sup> Nd( $\gamma$ ,n)	103,2	25,5 ч	7,0	100,0
	<sup>149</sup> Nd	84,77	4,75 д	34,6	99,28
Неодим	<sup>154</sup> Sm( $\gamma$ ,n)	59,54			
	<sup>153</sup> Sm				
Самарий	<sup>232</sup> Th( $\gamma$ ,n)				
	<sup>231</sup> Th				
Торий	<sup>238</sup> U( $\gamma$ ,n)				
	<sup>237</sup> U				

\* Литературные данные /20/.



Таблица 3

Некоторые характеристики активационного метода определения химических элементов в пробах кристаллических пород

Элемент	Предел обнаружения, г/г*	Содержание элемента, г/г	Относительная ошибка, %
Натрий	0,07(0,04) <sup>жж</sup>	1,2 <sup>жж</sup>	5
Магний	0,008 <sup>жж</sup>	0,2 <sup>жж</sup>	5
Алюминий	(0,04) <sup>жж</sup>	6,0 <sup>жж</sup>	5
Кремний	0,15 <sup>жж</sup>	20,0 <sup>жж</sup>	5
Хлор	15	200	7
Калий	0,01 <sup>жж</sup>	0,4 <sup>жж</sup>	10
Кальций	0,1 <sup>жж</sup>	0,9 <sup>жж</sup>	5
Скандий	1	4	20
Титан	0,005 <sup>жж</sup>	0,06 <sup>жж</sup>	5
Ванадий	(20)	60	20
Хром	50	300	10
Марганец	0,01 <sup>жж</sup> (30)	0,1 <sup>жж</sup>	10
Железо	0,1 <sup>жж</sup>	1,2 <sup>жж</sup>	5
Кобальт	30(5)	60	25
Никель	5	35	15
Рубидий	5	30	15
Стронций	0,5	90	5
Иттрий	10	60	15
Цирконий	3	40	5
Ниобий	3	12	20
Сурьма	0,2	0,7	20
Цезий	0,3	1,0	25
Барий	15	80	10
Тантал	0,05	0,3	20
Свинец	3	8	25
Церий	0,5	7	15
Неодим	1	17	10
Самарий	0,5	1,7	25
Торий	0,07	1,4	10
Уран	0,07	1,6	10

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

<sup>жж</sup> 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.ХХI, вып.1, с.138.
5. Филиппов Е.М. Ядерная разведка полезных ископаемых. "Наукова думка", Киев, 1978.
6. Зайцев Е.И., Сотсков Ю.П., Резников Р.С. Нейтронно-активационный анализ горных пород на редкие элементы. "Недра", М., 1978.
7. 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.
10. 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.
17. Эрнандес А., Белов А.Г. В кн.: 4-ое Совещание по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. ОИЯИ, Р18-82-117, 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.

	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
	Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/	11 р. 40 к.
D11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
D2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
D10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
дз-82-560	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума 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:  
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79  
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Индекс	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.

18-84-392

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

Hernández A. et al.

18-84-392

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