

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГАММА-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НЕЙТРОННОГО АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

А.Ю. АЛЕКСАНИЯН^{1*}, С.М. АМИРХАНИЯН¹, А.Ж. АПЕРЯН²,
Г.Р. ГУЛКАНИЯН¹, Т.В. КОТАНДЖЯН¹, М.А. ЛЕВОНЯН¹,
В.С. ПОГОСОВ¹, Л.А. ПОГОСЯН¹, А.С. СААКОВ², А.А. ШАГИНЯН¹

¹Национальная научная лаборатория им. А.И. Алиханяна, Ереван, Армения

²Институт геологических наук Национальной академии наук Армении,
Ереван, Армения

*e-mail: andranik@mail.yerphi.am

(Поступила в редакцию 16 октября 2023 г.)

На линейном ускорителе электронов Национальной научной лаборатории им. Алиханяна впервые в Армении осуществлен гамма-активационный анализ геологических образцов обсидиана с использованием пучков тормозных фотонов. Показано, что результаты анализа по определению содержания ряда химических элементов в образце обсидиана сопоставимы с результатами инструментального нейтронного активационного анализа (ИНАА) того же образца, проведенного в Центре Ареометрии Майнхайма, Германия, после облучения нейтронами в специализированном ядерном реакторе TRIGA в Институте ядерной химии Университета Майнца. Показано также, что гамма-активационный анализ позволяет определить содержание ряда элементов, для которых применение ИНАА невозможно или затруднено.

1. Введение

Одним из наиболее распространенных методов определения содержания химических элементов в различных геологических образцах является метод инструментального нейтронного активационного анализа (ИНАА) с использованием пучков нейтронов из ядерных реакторов. При облучении нейтронами специально изготовленных мишеней из исследуемого образца в результате реакции радиационного захвата (n, γ) на присутствующих в мишени изотопах искомого элемента образуются дочерние изотопы данного элемента. Если среди последних присутствуют радиоизотопы с подходящим (не слишком коротким и не слишком длинным) временем полураспада $T_{1/2}$, то их можно надежно идентифицировать путем регистрации характерного γ -излучения, сопровождающего их распад и обладающего достаточной интенсивностью. Если заранее известен поток нейтронов и взвешенное по их энергетическому спектру сечение σ_w реакции (n, γ), то по измеренной наведенной активности характерного γ -излучения можно определить количество присутствующих в мишени ядер родительского изотопа и тем самым – зная относительную распространенность данного изотопа – количество присутствующих в мишени ядер искомого химического элемента. В тех

случаях, когда поток нейтронов и усредненное сечение σ_w не известны с достаточной точностью, применяются ряд реперных мишеней (с заранее известным содержанием искомого элемента), которые облучаются одновременно с основной мишенью на том же пучке нейтронов. Из сравнения наведенных активностей основной и реперных мишеней определяется содержание искомого элемента в основной мишени.

Важно отметить, что для ряда химических элементов метод ИНАА неприменим в силу того, что не удовлетворяются упомянутые выше требования относительно периода полураспада и/или интенсивности характерного γ -излучения дочернего радиоизотопа. В таких случаях полезным может оказаться другой способ активационного анализа – гамма-активационный анализ (ГАА) с использованием пучков гамма-лучей вместо нейтронных пучков. Такую возможность предоставляет действующий в ННЛА (ЕрФИ) линейный ускоритель электронов (ЛУЭ-75) на энергию до 75 МэВ [1].

Целью настоящей работы является практическое тестирование метода ГАА с использованием тормозного излучения ускоренных на ЛУЭ-75 электронов. Для тестирования использовался образец обсидиана (с условным названием «А2»), отобранный из местности Артени в Арагацском вулканическом регионе Армении, который задолго до выполненного в настоящей работе ГАА был подвергнут ИНАА [2, 3] (результаты которого оставались для авторов данной работы закрытыми вплоть до ее завершения). Как будет показано ниже, результаты обоих методов в целом сопоставимы, а для некоторых элементов дополняют друг друга.

2. Экспериментальная процедура

2.1. Мишенная система и ее облучение

Для ГАА использовались тормозные фотоны, образованные ускоренными на ЛУЭ-75 электронами со средней энергией $E_e = 20.8$ МэВ и разбросом по энергии примерно 2.5%. Выведенный из ускорителя пучок электронов отклонялся магнитом и, проходя через стальной коллиматор с внутренним диаметром 14 и длиной 32 мм, направлялся на мишенную систему. Последняя представляла собой стопку, составленную из вольфрамового радиатора для генерации тормозных фотонов, следующих за ним алюминиевого поглотителя пучка электронов и ряда мишеней, которые подвергаются облучению тормозными фотонами. Продолжительность облучения составила полтора часа. Вольфрамовый радиатор имел квадратный профиль с поперечными размерами 20×20 мм² и толщиной 2 мм, алюминиевый поглотитель – цилиндрическую форму с диаметром 20 и толщиной 30 мм. Помимо изучаемого образца обсидиана (с массой $M_{\text{obs}} = 0.72$ г, дискообразной формы с диаметром 12 и толщиной 3 мм), в стопку входили также тонкие реперные мишени (с массой до нескольких десятков мг) с известным содержанием данного химического элемента (в том числе – цинк, ниобий, молибден, свинец), а также вперемежку с ними тонкие мониторные мишени из естественной меди (с толщиной 25 мкм). Содержание примесей в реперных и мониторных мишенях не превышает 1–2%.

Измерение выхода Y_m мониторной реакции $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$ осуществлялось при помощи γ -линии $E_\gamma = 1345.77$ кэВ, сопровождающей электронный захват

дочерним ядром ^{64}Cu . Для функции возбуждения $\sigma_m(E_\gamma)$ мониторинговой реакции $^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$ имеются экспериментальные данные практически во всей области энергий E_γ , где $\sigma_m(E_\gamma)$ достаточно значимо [4, 5]. Измеренное значение выхода Y_m (в данной работе определяемое как количество ядер ^{64}Cu , образовавшихся за секунду облучения мишени) позволяет определить средний ток I_e первичного пучка электронов за время облучения, воспользовавшись соотношением [6]

$$Y_m = I_e \nu_m \sigma_{m,W}, \quad (1)$$

в котором $\sigma_{m,W}$ – сечение, взвешенное по спектру $W_m(E_\gamma, E_e)$ падающих на мониторинговую мишень тормозных фотонов:

$$\sigma_{m,W} = \int \sigma_m(E_\gamma) W_m(E_\gamma, E_e) dE_\gamma. \quad (2)$$

Здесь интегрирование ведется от пороговой энергии E_{th} данной (γ, n) реакции до максимального значения энергии тормозных фотонов; ν_m – количество ядер ^{65}Cu на единичную площадь медной мишени:

$$\nu_m = \frac{f_m M_m N_A}{S_m A_m}, \quad (3)$$

где S_m – площадь облучаемой поверхности мишени, M_m – ее масса, A_m – атомный вес меди, f_m – доля изотопа ^{65}Cu в меди и N_A – число Авогадро.

Спектр тормозных фотонов вычислялся с использованием программного пакета GEANT4 (версия 10.4) [7]. Кроме основного вклада в спектр от вольфрамового радиатора учитывался также небольшой вклад от тормозных фотонов, образованных в коллиматоре и алюминиевом поглотителе (см. подробности в работах [6, 8]). В расчетах учитывался энергетический разброс пучка электронов. На рис.1 приведен результирующий спектр на одной из медных мишеней, расположенной в стопке мишеней на расстоянии 3 мм перед обсидиановым образцом. Аналогичным образом рассчитывались спектры тормозных фотонов, падающих на другие мишени.

2.2. Гамма-спектроскопические измерения

Примерно через полусутки после облучения мишени переносились в низкофоновую подземную лабораторию ННЛА [6, 9], расположенную в Аванском соляном руднике на глубине 650 метров водного эквивалента. Гамма-

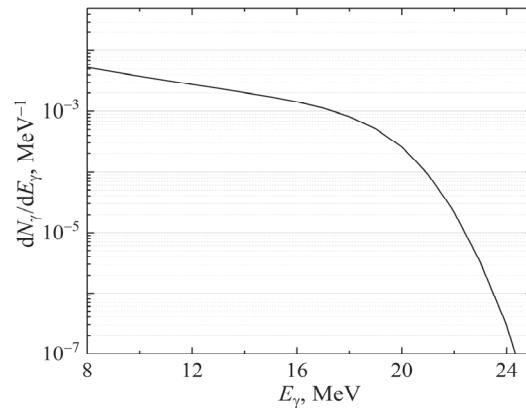


Рис.1. Спектр тормозных фотонов (на один первичный электрон) на одной из медных мишеней.

спектроскопические измерения проводились с помощью экспериментальной установки на основе германиевого детектора HPGe GCD-20180. Чувствительный объём кристалла германия составляет 101.2 см^3 . Разрешение детектора при 1.33 МэВ равно 1.8 кэВ. Детектор окружен защитой из радиационно-чистых свинца и меди для подавления влияния внешнего фона. Для предотвращения попадания радона в установку она окружена полиэтиленовым мешком, который продувается азотом. Подробное описание германиевого детектора и методики его калибровки можно найти в работе [6].

На рис.2 в качестве примера приведен фрагмент измеренного спектра γ -квантов от обсидиановой мишени. Как видно, хорошо выделяются характерные γ -линии от распада дочерних радиоизотопов ^{22}Na , ^{47}Ca , ^{54}Mn , ^{84}Rb , ^{88}Y , ^{89}Zr , $^{92\text{m}}\text{Nb}$ и ^{132}Cs , а также содержащегося в обсидиане и в конструктивных материалах самого гамма-спектрометра долгоживущего радиоизотопа ^{40}K (с периодом полураспада $T_{1/2} = 1.277 \times 10^9$ лет).

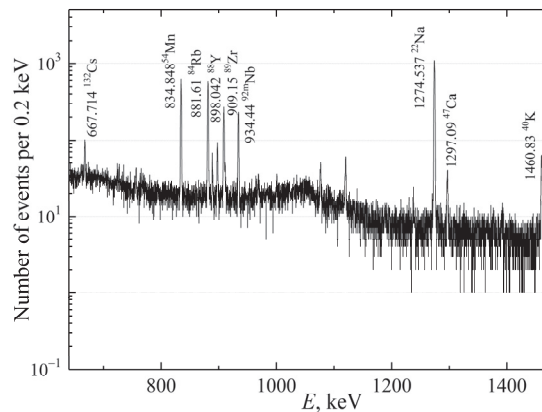


Рис.2. γ -спектр от обсидиановой мишени в интервале энергий от $E_\gamma = 640$ до $E_\gamma = 1480$ кэВ.

В табл.1 приведен перечень радиоизотопов, обнаруженных в гамма-спектроскопическом анализе обсидиановой мишени, их материнских изотопов, а также некоторые характеризующие их ядерные данные. Достоверность идентификации радиоизотопов проверялась путем кратных измерений и оценки их периодов полураспада $T_{1/2}$, которые в пределах ошибок оказались сопоставимыми с приведенными в табл.1 значениями. При определении выхода Y радиоизотопа бралось усредненное по кратным измерениям значение.

В табл.1 включены только однонуклонные реакции (γ, n) и (γ, p) . Вклад возможных двухнуклонных реакций (γ, pn) и (γ, nn) в образование перечисленных в табл.1 дочерних радионуклидов ничтожно мал, так как при максимальной энергии тормозных фотонов $E_\gamma^{\text{max}} = E_e = 20.8$ МэВ взвешенные сечения σ_W этих реакций очень малы [10] из-за их высоких энергетических порогов E_{th} (от 15 до 22 МэВ). Вклад возможных (n, γ) реакций, вызванных фоновыми нейтронами, в условиях нашего эксперимента также ожидается незначительным, так как в гамма-спектроскопическом анализе обсидиановой мишени не было обнаружено значимых сигналов от дочерних радионуклидов (как, например, ^{76}As , ^{95}Zr , ^{131}Ba , ^{181}Hf , ^{182}Ta , ^{239}Np), которые могли бы образоваться при радиационном захвате нейтрона, но не могут образоваться в фотонейтронной реакции (γ, n) .

Табл.1. Ядерные данные для обнаруженных элементов в образце обсидиана «А2»

Материнский изотоп и его относительная распространенность	Дочерний радиоизотоп и его период полураспада $T_{1/2}$	Энергия измеренных γ -квантов, кэВ
^{23}Na (100%)	^{22}Na (2.602 лет)	1274.5
^{48}Ca (0.187%)	^{47}Ca (4.536 дней)	1297.1
^{45}Sc (100%)	^{44}Sc (58.61 дней)	271.2
^{47}Ti (7.44%)	^{46}Sc (83.79 дней)	889.3
^{52}Cr (83.79%)	^{51}Cr (27.7 дней)	320.1
^{55}Mn (100%)	^{54}Mn (312.2 дней)	834.8
^{59}Co (100%)	^{58}Co (70.86 дней)	810.8
^{66}Zn (27.9%)	^{65}Zn (243.9 дней)	1115.5
^{75}As (100%)	^{74}As (17.77 дней)	595.8
^{85}Rb (72.2%)	^{84}Rb (32.82 дней)	881.6
^{88}Sr (27.8%)	$^{87\text{m}}\text{Sr}$ (2.815 часов)	388.5
^{89}Y (100%)	^{88}Y (106.6 дней)	898.0
^{90}Zr (51.5%)	^{89}Zr (78.41 часов)	909.2
^{93}Nb (100%)	$^{92\text{m}}\text{Nb}$ (10.15 дней)	934.4
^{100}Mo (9.63%)	^{99}Mo (65.98 часов)	140.5
^{123}Sb (42.8%)	^{122}Sb (2.72 дней)	564.2
^{133}Cs (100%)	^{132}Cs (6.479 дней)	667.7
^{134}Ba (2.42%)	$^{133\text{m}}\text{Ba}$ (38.93 часов)	375.9
^{136}Ba (7.85%)	$^{135\text{m}}\text{Ba}$ (28.7 часов)	268.2
^{142}Ce (11.114%)	^{141}Ce (32.5 дней)	145.4
^{204}Pb (1.4%)	^{203}Pb (51.92 часов)	279.2
^{232}Th (100%)	^{231}Th (25.57 часов)	84.2
^{238}U (99.27%)	^{237}U (6.75 дней)	208.0

3. Результаты и обсуждение

При определении элементного содержания образца обсидиана мы условно разделили представленные в табл.1 элементы на две группы. В первую группу входят элементы Zn, Nb, Mo и Pb, которые в облучаемой стопке представлены отдельными реперными мишенями. Воспользовавшись выражениями, аналогичными (1)–(3), можно получить следующее соотношение между искомой массой M данного элемента в обсидиане и заранее известной массой M_R соответствующего элемента в реперной мишени:

$$\frac{M}{M_R} = \frac{Y S \sigma_{R,W}}{Y_R S_R \sigma_W}, \quad (4)$$

где Y и Y_R – измеренные выходы искомого дочернего радиоизотопа, соответственно, из обсидиановой и реперной мишеней, S и S_R – площади облученной поверхности этих мишеней, σ_W и $\sigma_{R,W}$ – сечения, взвешенные, соответственно, по спектру $W(E_\gamma, E_e)$ и $W_R(E_\gamma, E_e)$ тормозных фотонов, падающих на обсидиановую и реперную мишени. В выражении (4) отношение $\sigma_{R,W} / \sigma_W$ может быть практически заменено на отношение

$$\frac{\sigma_{R,W}}{\sigma_W} \approx \frac{\int W_R(E_\gamma, E_e) dE_\gamma}{\int W(E_\gamma, E_e) dE_\gamma}, \quad (5)$$

где интеграл по спектру (рассчитываемый при помощи программного пакета GEANT4) есть не что иное, как приходящееся на один первичный электрон количество тормозных фотонов (с энергией $E_\gamma > E_{th}$), падающих на данную мишень.

Во вторую группу входят остальные элементы табл.1, по которым в облучаемой стопке отсутствуют соответствующие реперные мишени. Воспользовавшись выражениями, аналогичными (1)–(3), можно получить следующее соотношение между измеренным выходом Y искомого дочернего радиоизотопа и массой M соответствующего элемента в обсидиане:

$$M = \frac{Y}{I_e \sigma_W} \frac{S A}{f N_A}, \quad (6)$$

где взвешенное сечение σ_W вычисляется на основе имеющихся экспериментальных данных [10] по функции возбуждения $\sigma(E_\gamma)$ соответствующей (γ, n) или (γ, p) реакции.

Средний ток электронов I_e , как отмечалось выше, определяется при помощи мониторинговой реакции на меди; в данном эксперименте он равен $I_e = (3.81 \pm 0.23) \times 10^{12} \text{ сек}^{-1}$, где приведенная ошибка в основном обусловлена погрешностью в эффективности детектора HPGe. Обозначения остальных входящих в (6) величин разъяснены выше. Оцененные при помощи выражений (4)–(6) массы M искомым элементов, нормированные на массу M_{obs} обсидиановой мишени, M / M_{obs} , представлены в табл.2 (вторая колонка).

В табл.2 наши результаты по относительному содержанию элементов сравниваются с данными, полученными методом ИНАА на нейтронном реакторе. В представленных данных учтена поправка, связанная с вкладом фотоделения содержащихся в образце обсидиана ядер ^{238}U и ^{232}Th с образованием радионуклидов ^{99}Mo и ^{141}Ce , обладающих, согласно экспериментальным данным [11, 12], сравнительно высоким кумулятивным выходом η на акт деления, соответственно: $\eta_{\text{U}}(^{99}\text{Mo}) = 5.6 \times 10^{-2}$, $\eta_{\text{Th}}(^{99}\text{Mo}) = 2.1 \times 10^{-2}$, $\eta_{\text{U}}(^{141}\text{Ce}) = 4.4 \times 10^{-2}$ и $\eta_{\text{Th}}(^{141}\text{Ce}) = 7.5 \times 10^{-2}$. Используя указанные значения η и вычисленные на основе имеющихся данных [13, 14] взвешенные сечения фотоделения ядер ^{238}U и ^{232}Th , соответственно, $\sigma_W^{f(^{238}\text{U})} = 2.6 \text{ мб}$ и $\sigma_W^{f(^{232}\text{Th})} = 0.9 \text{ мб}$, а также представленные в табл. 2 данные по урану и торью, можно оценить искомую поправку, которая оказалась равной, соответственно, 31% для молибдена и 7% для церия.

Отметим, что в дополнение к элементам табл.1, в табл.2 включены данные для калия, полученные без привлечения метода ГАА, используя естественную

Табл.2. Сравнение результатов ГАА и ИНАА образца обсидиана «А2». Данные для калия получены путем измерения естественной гамма-активности долгоживущего радионуклида ^{40}K .

Элемент	Относительное содержание элемента (мкг/г или %), измеренное методом ГАА (за исключением калия)	Относительное содержание элемента (мкг/г или %), измеренное методом ИНАА
Na (%)	2.52±0.33	3.22
K (%)	3.79±0.35	3.40
Ca (%)	0.445± 0.043	Нет данных
Sc	3.2 ±0.6	2.50
Ti (%)	0.070±0.004	Нет данных
Cr	3.5 ±2.7	6.00
Mn	404±29	Нет данных
Fe (%)	0.58±0.06	0.61
Co	1.59±0.60	1.09
Zn	47.8±15.5	40.0
As	2.53 ±0.36	5.10
Rb	128±8	135
Sr	32.3±2.7	Нет данных
Y	26.3±1.9	Нет данных
Zr	72.2±5.1	73
Nb	32.7±2.1	Нет данных
Mo	6.1±1.0	Нет данных
Sb	1.0±0.3	0.16
Cs	3.57±0.24	3.64
Ba	405±48	388
La	Нет данных	24.0
Ce	48.6±6.6	40.4
Nd	Нет данных	17.0
Sm	Нет данных	3.42
Eu	Нет данных	0.369
Tb	Нет данных	0.57
Yb	Нет данных	2.44
Lu	Нет данных	0.480
Hf	Нет данных	3.45
Ta	Нет данных	1.97
Pb	16.1±2.8	Нет данных
Th	20.4±2.4	16.3
U	5.74±0.45	6.20

гамма-активность долгоживущего радионуклида ^{40}K , а также данные для железа, полученные в специальном эксперименте (выполненном при энергии электронов $E_e = 40 \text{ МэВ}$), в котором наряду с обсидианом облучалась также и реперная мишень из естественного железа с последующим измерением гамма-активности радионуклида ^{52}Fe , образованного в двухнейтронной реакции $^{54}\text{Fe}(\gamma, nn)^{52}\text{Fe}$.

Как видно, результаты, полученные независимо друг от друга двумя разными методами, в целом неплохо согласуются. Исключение составляют, в основном, элементы со сравнительно низким содержанием в обсидиане, включая

мышьяк, сурьму, а также не обнаруженные методом ГАА почти все лантаноиды (от неодима до лютеция). По-видимому, необходимы дополнительные исследования для выяснения причин указанных разногласий. Выбор соответствующих режимов облучения и измерений в предстоящих исследованиях позволит нам расширить перечень анализируемых элементов. Важно подчеркнуть, что с помощью метода ГАА удастся получить значимые данные по содержанию некоторых элементов (Ca, Ti, Mn, Sr, Y, Nb, Mo, Pb), относительно которых метод ИНАА оказался безрезультатным. Таким образом, методы ИНАА и ГАА в значительной степени являются взаимодополняющими.

4. Заключение

На линейном ускорителе электронов Национальной научной лаборатории им. Алиханяна впервые в Армении осуществлен гамма-активационный анализ геологических образцов, отобранных на территории Армении, с использованием пучков тормозных фотонов. Показано, что результаты анализа по определению содержания химических элементов в образце обсидиана сопоставимы с результатами нейтронного активационного анализа того же образца, проведенного на специализированном ядерном реакторе за рубежом. Показано также, что гамма-активационный анализ позволяет определить содержание ряда элементов (Ca, Ti, Mn, Sr, Y, Nb, Mo, Pb), относительно которых метод ИНАА оказался безрезультатным. Результаты настоящей работы позволяют утверждать, что действующее в настоящее время в Армении научное оборудование может обеспечить широкое применение метода активационного анализа в различных отраслях, включая геологию, горную промышленность, охрану окружающей среды, археологию, изучение культурного наследия.

Авторы выражают благодарность персоналу линейного ускорителя ННЛА (ЕрФИ) за обеспечение пучками электронов для облучения мишенной системы и Х.Б. Меликсетяну за предоставление образцы обсидиана для исследований и результатов ИНАА, выполненного в Германии.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по Науке РА в рамках научного проекта № 21APP-1E006.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.S. Hakobyan, J. Contemp. Phys., **56**, 169 (2021).
2. M. Oddone, G. Bigazzi, Y. Keheyan, S. Meloni. J. Radioanalytical and Nuclear Chemistry, **243**, 673 (2000).
3. N.R. Aghamalyan, Y.A. Kafadaryan, A.A. Manukyan, H.T. Gyulasaryan, H.A. Smbatyan, V. Szilágyi, I. Harsányi, K. Gméling. J. Contemp. Phys., **56**, 13 (2021).
4. S.C. Fultz, R.L. Bramblett, J.T. Caldwell, R.R. Harvey. Phys. Rev., **133**, B1149 (1964).
5. V.V. Varlamov, A.I. Davydov, M.A. Makarov, V.N. Orlin, N.N. Peskov, Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, **80**, 317 (2016).
6. A.S. Hakobyan, A.Y. Aleksanyan, S.M. Amirkhanyan, H.R. Gulkanyan, T.V. Kotanjyan, V.S. Pogosov, L.A. Poghosyan. J. Contemp. Phys., **55**, 111 (2020).
7. J.Allison, K. Amako, J. Apostolakis, P. Arce, M. Asai, T. Aso, E. Bagli, A. Bagulya, S. Banerjee, G. Barrand et al. Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A, **835**, 186 (2016).

8. **A. Aleksanyan, S.M. Amirkhanyan, H.R. Gulkanyan, T.V. Kotanjyan, V.S. Pogosov, L.A. Poghosyan.** J. Contemp. Phys., **57**, 112 (2022).
9. **A.A. Vasenko, I.V. Kirpichnikov, V.A. Kuznetsov, A.S. Starostin, A.G. Djanyan, V.S. Pogosov, S.P. Shachysisyan, A.G. Tamanyan.** Mod. Phys. Lett., **A5**, 1299 (1990).
10. USA National Nuclear Data Center database “CSISRS and EXFOR Nuclear reaction experimental data”, <http://www.nndc.bnl.gov/exfor> (2014).
11. **W. Wilke, U. Kneissl, Th. Weber, H. Stroher, L.S. Cardman, P.T. Debevec, S.D. Hoblit, R.T. Jones, A.M. Nathan.** Phys. Rev. C, **42**, 2148 (1990).
12. **J.T. Caldwell, E.J. Dowdy, B.L. Berman, R.A. Alvarez, P. Meyer.** Phys. Rev. C, **21**, 1215 (1980).
13. **H. Naik, F. Carrel, G.N. Kim, F. Laine, A. Sari, S. Normand, A. Goswami.** The European Physical Journal A, **49**, 94 (2013).
14. **H. Naik, G.N. Kim, R. Schwengner, K. Kim, R. John, R. Massarczyk, A. Junghans, A. Wagner, A. Goswami.** The European Physical Journal A, **51**, 150 (2015).

COMPARISON OF GAMMA ACTIVATION ANALYSIS AND INSTRUMENTAL NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS OF GEOLOGICAL SAMPLES

A.Y. ALEKSANYAN, S.M. AMIRKHANYAN, A.G. APERYAN, H.R. GULKANYAN,
T.V. KOTANJYAN, M.A. LEVONYAN, V.S. POGOSOV, L.A. POGHOSYAN,
A.S. SAAKOV, A.A. SHAHINYAN

For the first time in Armenia, gamma activation analysis of geological samples of obsidian was carried out using beams of bremsstrahlung photons at the linear electron accelerator of the National Scientific Laboratory after Alikhanyan. It is shown that the results of the chemical composition of the obsidian sample are comparable with the results of instrumental neutron activation analysis (INAA) of the same sample, carried out at the Curt-Engelhom-Center for Archaeometry (Mannheim, Germany), after irradiation with neutrons in a specialized nuclear reactor TRIGA at the Institute of Nuclear Chemistry of the University Mainz. It is also shown that gamma activation analysis makes it possible to determine the content of a number of elements for which the use of INAA is impossible or difficult.