

ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ АКТИВАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ НУКЛІДНОГО ТА ЕЛЕМЕНТНОГО СКЛАДУ РУД ПРИ ПЕВНИХ ОБМЕЖЕННЯХ НА АПРІОРНУ ІНФОРМАЦІЮ

М.В. СТЕЦЬ, В.М. БУЗАШ*, М.М. СТЕЦЬ*

Інститут електронної фізики НАН України, вул. Університетська, 21, м. Ужгород 88016.

*Ужгородський національний університет, вул. Підгірна 46, м. Ужгород 88000.

Розглядаються результати інструментального активаційного аналізу руд з використанням прискорювача електронів мікротрона М-30 ІЕФ України, при певних обмеженнях на апріорну інформацію (генеалогія, приблизний хімічний склад даних, тип опромінення, лімітована тривалість дослідження), які існують на початкових етапах розробки методик аналізу, та при вирішенні конкретних задач моніторингу та інспекції (наявність стратегічно важливих та токсичних хімічних елементів та нуклідів)

Активаційний аналіз (АА) з використанням прискорювачів електронів вже можна віднести до класичних методів визначення вмісту нуклідів та хімічних елементів (ХЕ) в речовині. Не дивлячись на певний “пресинг” з боку нових аналітичних методів, розвиток яких стимулюється не в останню чергу вимогами сучасної мікроелектроніки, методи АА не тільки експлуатуються, але і розвиваються. Ми розглянемо деякі актуальні проблеми одного із варіантів АА – гамма-спектрометричного інструментального активаційного аналізу (ГСІАА).

Поскілки ГСІАА є, по означенню, та призначенню, вимірювальним методом для визначення нуклідного та елементного складу речовини, тому для нього дійсні основні метрологічні твердження, які назвемо аксіомами метрології (АМ) [1]. АМ є відображенням необхідності апріорних знань про конкретну предметну область дослідження. Це, зокрема:

АМ1. Вимірювана фізична величина (ФВ) – існує;

АМ2. Діапазон можливих значень ФВ – відомий;

АМ3. Метод для визначення ФВ – існує;

АМ4. Для змінної ФВ тип розподілу її можливих значень – відомий;

АМ5. Для змінної ФВ основні параметри розподілу її можливих значень – відомі;

АМ6. Тип розподілу похибок визначення ФВ – відомий;

АМ7. Основні параметри розподілу похибок визначення ФВ – відомі;

АМ8. Існує певне виділене значення ФВ – еталон (стандарт);

АМ9. ФВ може вимірюватись багаторазово.

Для ГСІАА, в якості ФВ, використовуються вмісти хімічних елементів (ХЕ), нуклідів, в тому числі і гамма-активних (ГАН).

Апріорність АМ є суттєвою предметною проблемою, тому що потребує експериментального, або іншого джерела отримання необхідної інформації. З цієї точки зору АМ є непередикативними твердженнями (передикативні твердження (вимірювання) ФВ А – це такі твердження (вимірювання), для виконання котрих не використовується апріорна інформація про ФВ А).

Основним виразом, що використовується в ГСІАА (як в абсолютному (без використання) так і в відносному (із використанням стандарту (еталона)) є рівняння:

$$\Delta S = \frac{N_A}{M} \cdot c \cdot K \cdot \Theta \cdot n \cdot \varepsilon \frac{\Omega}{4\pi} \cdot \beta \cdot \Pi_K \cdot [f\sigma] \quad (1)$$

де N_A – число Авогадро; M – масове число ізотопу; c – концентрація ХЕ в зразку; K – маса зразка; n – квантовий вихід; $\varepsilon = f(E_\gamma)$ – фотоефективність реєстрації γ -квантів з енергією E_γ (для даного типу детектора); Θ – вміст ізотопу в природній суміші; $\Omega/4\pi$ – тілесний кут в геометрії вимірювання; β – коефіцієнт поглинання γ -квантів в матеріалі зразка, упаковки та конструкції детектора;

$$\Pi_K = \frac{1}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda T_I}) \cdot e^{-\lambda T_D} \cdot (1 - e^{-\lambda T_C}) \quad (2)$$

де Π_K – функція часових параметрів;

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \text{ – стала розпаду;}$$

$T_{1/2}$ – період напіврозпаду досліджуваного ГАН; T_I – тривалість опромінення; T_D – тривалість охолодження; T_C – тривалість виміру;

$$[f\sigma] = \int_{E_{пор}}^{E_{max}} f(E, E_{max}) \cdot \sigma \cdot (E, E_{max}) \cdot dE$$

– активаційний інтеграл, де:

$f(E, E_{max})$ – спектр випромінювання, який ініціює ядерну реакцію; $\sigma(E)$ – переріз відповідної ядерної реакції; ΔS – площа фотопіка.

Використовуючи експериментальні значення ΔS , визначаються концентрації c , вмісти cK та, при необхідності, інші величини, що входять в (1).

Важливим є той факт, що ці величини, котрі пов'язані виразом (1), повинні бути іменованими, тобто належати одному і тому ж досліджуваному нукліду та досліджуваному зразку. Встановлення взаємно-однозначної відповідності між елементами різних множин (значень цих величин) є необхідною умовою правильності результатів (тобто результатів, в яких відсутні систематичні похибки) для кожного із досліджуваних нуклідів (і відповідно ХЕ, до складу яких вони входять). Зрозуміло, що значення ΔS повинно бути "чистим", тобто

належати одній і тільки одній лінії одного й того ж нукліда.

Умова необхідності взаємно-однозначної відповідності повинна виконуватись і у випадку відносного варіанту ГСІАА, коли використовується еталон, (стандарт), тобто зразок із відомими значеннями величин, що входять в (1), та аналогічний (в ідеалі – тотожний) досліджуваному зразку.

Таким чином, і в цьому випадку також передбачається спеціальне дослідження (до початку основного експерименту). Завважимо, що в кібернетиці, зокрема в проблематиці штучного інтелекту такий етап називають етапом навчання.

Зростання кількості аналітичних проблем самого різноманітного характеру, приводить, зокрема, до зростання досліджень, в яких етапи навчання практично неможливі. Це задачі моніторингу та/або інспекції, коли аналітична проблема задана у вигляді "чорного ящика", тобто відсутня практично будь – яка апіорна інформація про досліджуваний об'єкт. Часто-густо проблема повинна бути вирішена негайно.

ГСІАА, як і інші аналітичні методи, має межу своїх можливостей: межу роздільної здатності спектрометричної лінійки, куди входить детектор γ -випромінювання (у нашому випадку – Ge(Li)-детектор ДГДК100-В), підсилювальні пристрої, багатоканальний амплітудний аналізатор (у нашому випадку – NTA-512В); межу чутливості конкретної методики (для нашого випадку – це $\approx 10^6$ г/г); межу визначення нукліда (ХЕ) у речовині (для нашого випадку – це $\approx 10^6$ г/г); межу класифікації (ідентифікації) [1]. Ці обмеження, що є по суті інформативними, зумовлені також і технічними можливостями мікротрона М-30, як джерела випромінювання гальмівних гамма-квантів ($\approx 10^{10}$ частинок/с) та фотонейтронів ($\approx 10^9$ нейтронів/с); тривалість одного неперервного опромінення – 4 год. Однак ці обмеження не зменшують кількість та складність аналітичних задач, що виконуються на мікротроні М-30. Більш того для вирішення деяких задач

моніторингу та інспекції використанню жорсткої проникаючої радіації практичної альтернативи нема (див. напр. [2]).

Конкретизуємо проблему. Існує коло аналітичних проблем, де апіорна інформація обмежена (в першу чергу про елементний склад досліджуваного зразка), або відсутня. Початковий (додатковий) етап навчання для отримання апостеріорної інформації з метою використання її як апіорної в основному експерименті може бути реалізований (як етап розробки методики – експериментальний вибір стандартів, оптимальних часових режимів, тощо) з обмеженням у часі, або взагалі неможливий. Метод (в нашому випадку ГСІАА) теж має межу своїх аналітичних можливостей.

В значній мірі вирішенню проблеми непредикативності допомагає гіпотеза Вернадського-Ноддаків (ГВН) (див. [1]):

– в будь-якому зразку є всі ХЕ (“елементна” ГВН (ЕГВН));

– в будь-якому зразку є всі нукліди, що входять до природної суміші цих ХЕ (“нуклідна” ГВН (НГВН)).

З прагматичної точки зору прийняття ГВН зводить задачу АА до впорядкування ХЕ по значенням їх вмістів (концентрацій), тобто до використання певної числової шкали; різним зразкам будуть відповідати різні впорядкування чисел на цих шкалах.

Концентрації та вмісти нуклідів (ХЕ) прямо пропорційні, як це видно з (1) значенням ΔS . Можливість використання інших числових характеристик, не пов'язаних такою залежністю із ΔS розглядалась в процедурах ідентифікації (бальні оцінки [3], міри належності [4], рівні довіри (confidence value) [5, 6] та ін.). Ми розглянемо в якості таких характеристичних чисел значення:

$$\alpha = \frac{\Delta S}{\sqrt{\Delta S + 2\Phi}} \quad (3)$$

Завважимо, що тут ми не вимагаємо взаємно-однозначної відповідності між ΔS та іншими величинами, що входять в (1), тобто ΔS може належати більш ніж одній лінії, однак залежність між

значенням ΔS та вмістом (концентрацією) нукліда (ХЕ) зберігається.

Величину α , котру для зручності можна назвати фактором належності (конкретного нукліда до досліджуваного зразка), використовують як коефіцієнт надійності [7]: при значенні $\alpha = 1$ вважають, що довірча ймовірність надійного виділення сигналу ΔS із суміші ($\Delta S + 2\Phi$) становить 68%; при значенні $\alpha = 2$ така ймовірність становить відповідно 95 %. Ці співвідношення між значеннями α та значенням довірчої ймовірності справедливі для нормального одномірного розподілу. В спектроскопії розглядаються двомірні величини – фотопік ΔS та фон Φ під цим фотопіком. Фотопік задовільно описується гауссіаном, і може бути виділений при значеннях α , менших 1. Значення $\alpha = 0$ означає відсутність фотопіка в спектрі. Відмітимо, що в пропонованому методі є можливим використання піків іншої “природи”: піків одиночного та подвійного вильоту, рентгенівських піків, піків сум і т. д.

Для того щоб здійснити оцінку факторів належності α , як числових характеристик, котрі задовольняють вимогам предикативності, тобто не вимагають апіорної інформації про нуклідний та елементний склад зразка, та разом з тим представляють цей склад, були використані експериментальні дані активаційного аналізу (апаратурні гамма-спектри) зразків руд Мужіївського родовища [8]. Було розглянуто близько 300 ГАН, котрі утворюються в результаті нейтронних ((n γ), (n 2n), (n n')) та фотоядерних ((γn), ($\gamma\gamma'$)) реакцій для практично всіх ХЕ періодичної таблиці; лініям цих ГАН було поставлено в відповідність близько 400 фотопіків (відповідно стільки ж значень ΔS) в кожному спектрі. Необхідно відмітити, що обмеження на типи реакцій (і, відповідно, кількість та список ГАН) не є принциповим. Розглядатись можуть будь-які ГАН. Значення α були знайдені для 9 апаратурних спектрів, позначених в таблицях 1, 2 індексами: 1.1 (ТД = 8 хв;

ТС = 6 хв); 1.2 (відповідно 138; 20); 1.3 (1508; 60); 1.4 (2823; 60); 1.5 (4128; 60); 1.6 (15646; 60); 1.7 (25686; 60); 1.8 (35947; 60); 1.9 (45828; 60). В першій колонці табл. 1 (позначено ГАН) приведені імена ГАН для Хе, що утворюють парагенетичні асоціації із Ag та Au [9–11] – Cu, Zn, Sb, Hg та Pb; для Al, (що є компонентом алюмосилікатів); для Fe та його супутника Mn. В останній колонці табл. 1 (позначено $\alpha_{\text{сер.}}$) приведені усереднені по всім лініям (конкретного ГАН) та спектрам значення α ; у всіх інших колонках (позначених 1.1–1.9) – значення α , усереднені по всім лініям конкретного ГАН. У другій колонці табл. 1 (позн. $T_{1/2}$) приведені значення $T_{1/2}$ для кожного із названих ГАН.

В табл. 2 значення факторів належності α приведені в розгорнутому вигляді для Ag, Au, Ba, As, Eu. В першій колонці, табл. 1 (позначено. E, KeB) приведені значення енергій ліній для конкретного ГАН (лінії впорядковані зверху вниз в бік зменшення квантових виходів n). В передостанній колонці табл. 2 (позначено. S) приведені суми значень α для всіх 9 спектрів; в останній колонці (позначено. S/9) – усереднені значення α для відповідної лінії. В рядках табл. 1, (позначено. S) приведені суми значень α для конкретного спектра; в рядках (позначено. S/l; l – кількість ліній для конкретного ГАН); виділені жирним шрифтом числа – відповідно суми всіх α (більші значення) та усереднені

значення α . В колонках 1.1–1.9 табл. 2 приведено індивідуальні значення α .

Значення ядерно-фізичних констант взято з [12–15]. Було враховано схеми розпаду ГАН.

Не дивлячись на попередній характер аналізу отриманих даних (що зумовлено відносно обмеженою кількістю опрацьованих апаратурних спектрів (27) та зразків (3)) можна зробити деякі, цікаві на наш погляд, висновки:

- впевнено відмічається підвищений вміст As, Ba, (що закономірно для даного типу руд) та підвищений вміст Eu і Mn;
- впевнено встановлено Cu, Zn, Sb, Hg, Pb – парагенетичні супутники Au;
- підтверджено певну складність визначення вмісту Ag (і в певній мірі Au) в зразках активаційним методом (не дивлячись на те, що ці зразки представляють промислові руди для видобутку Au і Ag);
- встановлено відсутність ГАН, що є уламками поділу U та Th.

При розрахунку усереднених значень α не враховувалися значення функцій часових параметрів Π_k (див. вираз (2)), що приводить до певного “розмиття” цих значень. Крім цього, після отримання достатнього масиву експериментальних даних, можна буде поставити питання про встановлення певного мінімального, максимального, та типового, рівнів факторів належності, як для конкретного ГАН, так і для конкретного Хе.

Таблиця 1. Значення факторів належності α для Al, Mn, Fe, Cu, Zn, Sb, Hg, Pb

ГАН	$T_{1/2}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	$\alpha_{\text{сер.}}$
Al 28	2,24 хв	41,3	0,77	0,83	0,33	0,79	0	0,89	0	0	4,99
Mn54	312,3 д	0	0	0	0	2,92	0	1,33	4,67	3,6	1,39
Mn56	2,785 г	9,58	21,6	4,84	1,71	1,52	0,79	0,2	0,9	0,88	4,68
Fe53m	2,6 хв	0,58	0,98	0,53	0,94	1,79	0,58	0,89	1,3	0,69	0,92
Fe53	8,53 хв	2,27	0,61	0,7	1,68	3,63	3,48	3,43	1,42	2,27	1,54
Fe59	45,1 д	0,94	0,37	0,6	0,46	1,01	1,27	0,96	1,06	1,61	0,92
Cu62	9,74 хв	1,25	0	0,78	0,34	0,36	0,43	1,11	0,2	1,62	0,68
Cu64	12,71 г	0,33	0	0	0	1,46	0,46	0,67	2,33	1,8	0,78
Cu66	5,1 хв	0,2	0	0,7	0,51	2,27	5,25	0,67	4,87	1,8	1,81

Zn63	38,1 хв	1,58	6,7	5,59	1,87	1,48	0,74	0,92	0,56	1,05	2,27
Zn65	245,7 д	1,41	0,5	0,4	0,3	1,55	0,63	0	2,45	1,12	0,93
Zn69m	14 г	6,55	0,31	1,72	0	1,12	10,8	0,51	1,36	2,52	1,38
Zn71m	3,92 г	3,32	5,82	4,42	4,8	2,83	4,09	3,02	1,67	1,04	3,44
Zn71	2,4 хв	3,42	8,82	6,29	2,73	1,93	2,19	2,12	0,65	1,35	3,28
ГАН	$T_{1/2}$	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	$\alpha_{ср.}$
Sb120m	5,76 д	1,25	1,68	0,72	0,76	0,5	1,9	2,03	2,25	1,6	1,41
Sb120	15,9 хв	1,01	1,12	1,35	0,68	0	0,71	1,36	0,54	0,98	0,86
Sb122m	4,22 хв	0,31	1,25	0,07	0,3	0	2,23	0,38	2,5	0,95	0,89
Sb122	2,714 д	0,78	0	1,37	0	0,38	0	1,36	1,55	0,27	0,63
Sb124m	93 с	0,32	1,07	2,25	3,46	4,04	8,01	5,59	2,91	1,33	3,22
Sb124	60,2 д	0,68	1,13	1,96	2,1	2,18	3,86	2,50	2,39	1,01	1,88
Hg195m	40 г	10,7	39,1	39,7	45,7	36,1	0,49	0,82	0,33	1,44	19,4
Hg195	9,5 г	7,58	6,54	10,6	14,1	18	22	17,3	12,5	11,2	1,9
Hg197m	23,8 г	136	204,	8,55	13,0	11,9	5,16	5,07	4,13	3,94	14,5
Hg197	64,1 г	0,58	0	0	0	0	2,76	0,68	1,35	3,42	1
Hg199m	42,6 хв	1,84	2,0	5,12	10,6	5,49	3,11	2,08	0,86	0,87	3,55
Hg203	46,96 д	1,07	5,59	6,0	9,6	9,62	1,75	2,33	0,6	1,24	4,2
Pb203	52,1 г	0,66	2,09	2	3,3	3,48	0,59	0,94	1,43	0,77	1,7
Pb204m	66,9 хв	3,15	1,55	2,15	3,35	4,22	11,3	4,32	1,42	3,82	1,31

 Таблица 2. Значення факторів належності α для As, Ba, Eu, Ag, Au

E, KeB	1,1	1,2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	S	S/9
As 74 (17,7 д)											
595,7	0,95	3,2	5,84	7,12	9,1	17,1	10	6,32	3,5	63,2	7,02
608,5	0,57	1,0	0	0,6	2,31	0	0	4,6	1,84	11,2	1,24
634,8	15	2,3	0,35	0	3,5	5,17	5,36	2,6	3,51	24	2,67
1204	0,27	0	0	1,03	0,72	1,2	1,67	0,94	1,52	7,88	0,87
886,6	0,027	1,03	0	0,4	3,43	6,62	7,54	7,18	7,14	34,5	3,84
S	4,99	7,53	6,19	9,15	19,1	30,1	24,6	21,6	17,5	140	
S/5	0,999	1,51	1,24	1,83	3,81	6,02	4,92	43,3	3,5		3,128
As 76 (26,32 г)											
559,5	27,41	106	119	136	108	0,98	0,85	0,3	3	502	55,85
554,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
657,2	36,6	15,8	38,6	31,7	23,8	3,58	1,31	0,28	0,6	152	16,92
1216	1,25	17,3	32,1	18,7	15,2	1,7	1,44	3,5	0	91,2	10,14
1213	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
563,9	1,65	0,31	0,66	0	0,4	10,3	0	0,62	1,92	15,9	1,76
1228	0,9	0	0	0	0	0	0	0,8	0	1,7	0,19
S	67,81	140	191	187	147	16,6	3,6	5,5	5,52	764	
S/5	13,56	28	38,1	37,4	29,5	3,31	0,72	1,1	1,1		17
Ba 131 (11,8 д)											
123,7	8,04	24,4	24	10,9	7,1	7,06	7,22	1,63	2,62	93	10,33
496,2	0	0	0,9	3,27	3,03	5,57	5,52	1,84	0,49	20,6	2,29
216	1,2	0,77	1,01	3,43	5,42	4,97	4,15	1,92	3,5	26,4	2,93
373,1	2,5	0,81	0,99	3,35	3,83	3,48	3,43	1,42	2,22	22,1	2,45
249,4	0,3	0,64	0,92	1,86	0,79	0,5	0,36	0,2	0,73	6,3	0,7
239,4	0	1,26	2,02	2,16	4,9	6,93	5,96	6,75	5,92	35,9	3,99
133,5	1,13	0,78	2,05	2,01	1,77	0,3	1,05	1,28	0,86	11,2	1,25
486,5	0,94	0,46	3,9	6,11	4,43	1,98	1,95	0,84	0	20,6	2,29
404,1	0	0,87	0	0	0	0,35	0,89	0,94	0,3	3,35	0,37
620,2	0,11	0,3	0	0,4	1,39	1,37	0	0	0	3,57	0,4
585	0,95	0,31	0,95	0	0,2	0	2,14	2,33	1,57	8,45	0,94
1048	1,32	0	1,3	1,95	0	0	0	0	1,5	6,07	0,674

S	16,4	30,6	38	33,6	32,8	32,5	32,7	19,1	19,7	258	
S/12	1,37	2,55	3,17	2,97	2,74	2,71	2,72	1,6	1,64		2,386
E, KeB	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	S	S/9
Ba 133 (10,5 p)											
356	0,3	1,2	0,82	0,68	3,45	6,63	8,86	5,37	6,44	33,8	3,75
81,04	0	0	0	5,6	4	0	0	4,67	4,03	18,3	2,03
302,7	2,3	0,35	0,5	0,58	2,02	0	0	0	2,02	7,77	0,86
S	2,6	1,55	1,32	6,86	9,47	6,63	8,86	10	12,5	59,8	
S/3	0,86	0,52	4,4	2,29	3,15	2,21	2,95	3,35	4,16		2,216
Ba 133m (38,9 r)											
275,6	1,07	5,59	6	9,6	9,62	1,75	2,33	0,6	1,24	37,8	4,2
605,6	0,83	1	0	0,6	2,31	0	0	4,6	1,84	11,2	1,24
632,5	1,2	2,3	0,35	0	3,5	5,17	5,36	2,6	3,51	24	2,67
S	3,1	8,9	6,35	10,2	15,4	6,02	7,69	7,8	6,59	73	
S/3	1,04	2,96	2,12	3,4	5,14	2,31	2,56	2,6	2,2		2,703
u 150 (12,62 r)											
333,9	0,94	0,09	0	0,34	3,4	1,65	2,52	0,56	0	9,5	1,056
406,5	0	0,87	0	0	0	0,35	0,89	0,94	0,3	3,35	0,372
831,8	0	0	0	4,25	0,2	2,6	0,82	0	1,22	9,09	1,01
921,7	0,5	0,3	0,7	0	2,47	2,46	2,84	3,69	3,51	16,5	1,83
1166	1,96	0	0,94	0,68	0	0	1,27	0	2,4	7,25	0,806
1223	0,23	0	0	0	0	1,7	0	0	0	1,93	0,214
S	3,63	1,26	1,64	5,27	6,07	8,76	8,34	5,19	7,43	47,6	
S/6	0,605	0,21	0,27	0,88	1,01	1,46	1,39	0,86	1,24		0,881
Eu 150 m2 (34,2 p)											
334	0,94	0,09	0	0,34	0	0	2,52	0,56	0	4,45	0,494
439,4	0	1,33	0	0,83	0	1,12	1,04	0,8	0,6	5,72	0,636
737,4	0,55	0,33	0,6	0,6	0,99	3,65	3,1	0	0,8	10,6	1,18
505,5	0	0	0	0	0	0	0	0	1,36	1,36	0,151
748	7,1	0,72	0,65	0,98	2,76	1,6	1,15	0	0,75	15,7	1,746
1049	1,32	0	1,3	1,95	0,36	0	0	0	1,5	6,43	0,714
869,2	0	0,6	2	1,07	0	0,3	0	0,57	0,37	4,91	0,546
1344	0	0	0	0	0	0,92	0	0	0	0,92	0,102
S	9,91	3,07	4,55	5,77	4,11	7,59	7,81	1,93	5,38	50,1	
S/6	1,24	0,38	0,51	0,64	0,51	0,95	0,97	0,24	0,67		0,696
Eu 152m (9,32 хв)											
121,8	8,94	24,4	24	10,9	7,1	7,96	7,22	1,63	2,62	94,8	10,5
841,7	63,7	107	28,7	10,6	4,42	4,75	0	0,38	0	219	24,39
963,4	6,3	32,2	24,4	8,88	4,06	0	1	0,48	0,98	78,3	8,7
344,3	1,54	8,5	6,1	2,26	1,32	2,61	2,52	0,73	2,27	27,8	3,094
1314	1,35	1,82	2,95	0	4,23	6,07	7,88	0	0	24,3	2,7
562,9	0	0	0	0	0	0	2,4	1,94	0	4,34	0,48
1389	0,74	0,66	0,3	0	0	0	1,09	0	0	2,79	0,31
S	82,57	174	86,4	32,7	21,1	21,4	22,1	5,16	5,87	451	
S/7	11,8	24,9	12,3	4,67	3,02	3,06	3,16	0,74	0,84		7,172

Таблиця 2. (продовження)

Е, КеВ	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	S	S/9
Eu 152 (13,33 д)											
344,3	1,54	8,5	6,1	2,26	1,32	2,61	2,52	0,73	2,27	27,8	3,094
778,9	1,08	0,53	0,76	1,35	0,36	0,14	0,81	0,6	0,77	6,4	0,71
964,1	6,3	32,2	24,4	8,88	4,06	0	1	0,48	0,98	78,3	8,7
1086	0	0	1,1	0	0,75	0	0,53	0,58	0,7	3,66	0,407
1112	2,	0	0,8	0	0,79	1,27	0	0	0	4,86	0,54
244,7	0,3	0,64	0,92	1,86	0,79	0,5	0,36	0,2	0,73	6,3	0,7
1408	0	0,35	0,81	0	0,79	1,66	0	2,3	1,4	7,96	0,844
S	11,22	42,2	34,9	14,3	9,51	6,18	5,22	4,89	6,85	135	
S/7	1,6	6,03	4,98	2,05	1,36	0,88	0,75	0,7	0,98		2,148
Eu 154 (8,8 p)											
123,1	8,94	24,4	24	10,9	7,1	7,06	7,22	1,63	2,62	93,9	10,4
723,3	0,17	0,99	0,71	1,34	0,5	0,5	0,67	0	0,85	5,73	0,637
873,2	0,55	0	0,62	0	0,72	0,87	0,96	0,4	0,84	4,96	0,551
996,3	0,67	0	1,1	0,6	0,71	0	2,4	1,73	1,06	8,27	0,92
1005	0	1,45	0	0,6	2,75	1,74	1,15	0,78	0,96	9,43	1,048
1274	0,5	0,83	1,73	0,98	1,94	0	0	0	0	5,98	0,664
247,9	0,3	0,64	0,92	1,86	0,79	0,5	0,36	0,2	0,73	6,3	0,7
591,8	0,95	0,31	0,95	0	0,8	0	2,14	2,33	1,57	9,05	1,06
756,9	7,1	0,72	0	0,98	0,9	0	0,61	0	0	10,3	1,146
S	19,2	29,3	30	17,3	16,2	10,7	15,5	7,07	8,63	153	
S/9	2,13	3,26	3,34	1,92	1,8	1,19	1,72	0,79	0,96		1,9
Ag 106 (23,96 хв)											
622,8	0,14	0,3	0	0,4	1,39	1,37	0	0	0	3,6	0,4
616,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
873,4	0,55	0	0,62	0	0,72	0,87	0,96	0,4	0,84	4,96	0,55
1049,8	1,32	0	1,3	1,95	0,36	0	0	0	1,5	6,43	0,71
S	2,01	0,3	1,92	2,35	2,47	2,24	0,96	0,4	2,34	15	
S/4	0,5	0,08	0,48	0,59	0,62	0,56	0,24	0,1	0,58		0,42
Ag 108 m (127 p)											
434	4,9	0	1,06	0	0,72	0,46	0,57	0,74	0,6	8,99	1
614,4	0,83	1,0	0	0,6	2,31	0	0	4,6	1,84	11,2	1,24
722,9	0,17	0,99	0,71	1,34	0,5	0,5	0,67	0	0,85	5,73	0,64
S	5,9	1,99	1,77	1,94	3,53	0,96	1,18	5,34	3,29	25,9	
S/3	1,97	0,66	0,59	0,65	1,18	0,32	0,39	1,78	1,01		0,96
Ag 108 (2,47 хв)											
632,9	1,2	2,3	0,35	0	3,5	5,17	5,36	2,6	3,51	23,1	2,67
433,1	4,9	0	1,06	0	0,72	0,46	0,51	0,74	0,6	8,99	0,99
618,7	0,14	0,3	0	0,4	1,39	1,37	0	0	0	3,6	0,4
S	6,24	2,6	1,41	0,4	5,61	7	5,87	3,34	4,11	36,6	
S/3	2,08	0,87	0,47	0,13	1,87	2,33	1,96	1,11	1,37		1,35

Таблиця 2. (закінчення)

E, KeV	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	S	S/9
Ag 110m (250,4 д)											
657,7	36,6	15,8	38,6	31,7	23,8	3,58	1,31	0,28	0,6	152	16,9
884,5	2,3	0	0	0	0,9	0	0	0,54	0	3,74	0,42
706,5	0,4	0	0	1,86	0,72	0,76	0,6	0,75	0,71	5,8	0,64
677,5	0,4	0,3	0	0,3	0,82	0	0	2,71	0	4,53	0,51
763,5	0	1,37	0	1,2	1,01	0	0,41	1,41	1,01	6,41	0,71
937,5	0,8	1,18	0	1,07	0	0,38	1,04	0,74	0,7	5,91	0,66
1384	0,74	0,66	0,3	0	0	0	1,09	0	0	2,79	0,31
1505	1,66	0	1,1	0	1,44	1,02	0	0	0	5,22	0,58
686,8	0,85	0	1,31	0	0,34	0	1,69	2,71	0,8	7,7	0,86
818	0,3	1,24	3,6	1,0	1,95	1,97	0	0,67	0,43	11,6	1,24
S	44	20,5	44,9	37,1	31	7,71	6,14	9,81	4,25	206	
S/10	4,4	2,05	4,49	3,71	3,1	0,77	0,61	0,98	0,42		2,28
Au 196 (6,18 д)											
355,7	0,3	1,2	0,82	0,68	3,45	6,63	8,86	5,37	6,44	33,7	3,75
333	0,94	0,09	6,2	0,34	3,4	1,65	0,79	0,92	0,56	14,9	1,65
426,1	0	1,58	1,17	0,85	0,3	0,22	0	1,64	0	5,76	0,64
S	1,24	2,87	8,19	1,87	7,15	8,5	9,65	7,93	7	54,4	
S/3	0,41	0,96	2,73	0,62	2,38	2,83	3,22	2,64	2,33		2,01
Au 196m (9,7 г)											
147,7	0,97	1,22	0,52	0	0	1,77	0,92	1,37	1,45	8,22	0,91
188,2	1,17	0	0	0	0	1,53	1,35	2,71	2,17	8,93	0,99
168,3	134	198	0,5	1,39	0,5	3,11	1,69	2,25	1,84	343	38,1
285,4	0,48	0,89	0	0,54	0	1,75	0,1	1,42	0,98	6,16	0,68
316,1	1,66	0,2	0,45	0,52	0	0	0,79	0,3	0,49	4,41	0,49
137,6	0,87	0	0	14,2	0,79	0,4	0	1,37	0,38	18	2
S	139	200	1,47	16,6	1,29	8,56	4,85	9,42	7,31	389	
S/6	23,1	33,3	0,24	2,78	0,21	1,43	0,81	1,57	1,22		7,2
Au 198m (2,36 д)											
214,89	1,2	0,77	1,01	3,43	5,4	4,97	4,15	1,92	3,5	26,3	2,93
180,31	0	4,2	0	0	0	1,77	1,48	1,37	0,7	9,52	1,058
97,21	1,51	5,8	1,55	0,64	0,92	4,96	3,21	4,1	1,71	24,4	2,71
204,1	0	0	0	0,52	0	0	0	0,85	0	1,37	0,15
333,82	0,94	0,09	0	0,34	0	0	2,52	0,56	0	4,45	0,494
S	3,65	10,9	2,56	4,93	6,32	11,7	11,4	8,8	5,91	66,09	
S/5	0,73	2,17	0,51	0,99	1,26	2,34	2,27	1,76	1,18		1,47
Au 198 (2,695 д)											
411,8	3,02	5,2	13,6	15,6	12,4	4,55	2	1,15	0,38	57,9	6,43
675,9	0,8	0,28	1,62	0,49	0	1,68	2,51	0	0,8	8,18	0,909
1088	2,62	0	1,1	1,25	0,75	0,53	0,58	2	1,16	9,99	1,11
S	6,44	5,48	16,3	17,3	13,1	6,76	5,09	3,15	2,34	76	
S/3	2,15	1,83	5,44	5,77	4,38	2,25	1,7	1,05	0,78		2,816

Примітка: хв – хвилини, г – години, д – доби, р – роки.

1. Стець М.В. Про взаємозв'язки логічних та предметних проблем в задачах визначення нуклідного та нуклідного та елементного складу речовини. "Проблеми економічного та соціального розвитку регіону і практика наукового експерименту." Наук. тех. зб. Вип. 16. – Київ-Ужгород-Ніредьгаза. "Карпати" 2000. – С. 211–215.
2. С.В. Найденов, В.Д. Рыжиков, академик НАН України В.П. Семиноженко. Мультиенергетический подход в неразрушающем контроле функциональных материалов. Доповіді НАН України, 2002, №11, С. 95–100.
3. Белов О.Х., и др. Идентификация изотопов с применением ЭВМ в нейтронно – активационном анализе. Журн. аналит. химии, т.34, вып. 1, 1979, с. 26 – 33.
4. Стец М.В., Сикора Д.И., Рябиничев С.П. Тез. докл. XXXVII сов. по ядер. спектроскопии и структуре атомного ядра. Л., 1987, "Наука". – С. 569.
5. Model S400 Genic – PC Spectroscopy System, Use Genic – PC V2.3 Users Manual. 1995.
6. Спектрометр гамма – излучения СЕГ – 40 Ge – 1К. Инструкция по эксплуатации. НПК "Спектр", Киев, 1999.
7. Тустановский В.Т. Оценка точности чувствительности активационного анализа. М., 1976, "Атомиздат", 192 с.
8. M.Stets, V.Maslyuk, O.Parlag, V.Buzash, V.Okogrib. Gamma-Spectrometry of the Samles from Muzhiyevo Mine. Uzhhorod University scientific Herald. Series Physics. Issue 8, Part 2 – 2000, P. 345–347.
9. В.А. Мейер, П.А. Ваганов. Основы ядерной геофизики. Из-во ЛГУ, Л., 1998. 360 с.
10. В.А. Михайлов, В.В. Шунько. Вещественно – генетические типы золоторудной минерализации Украинского Закарпатья. Доповіді НАН України, 2001, № 9, с. 119–122.
11. О.И. Бент, А.А. Юшин, Ф.Г.Баклан, Н.Н. Лебедь, В.К. Кацун. Геохимические ассоциации металлов в отходах гальванических и электрохимических производств Украины. Доповіді НАН України, 1994, №11, с. 116–119.
12. Схемы распада радионуклидов. Энергия и интенсивность излучения. Публикация МКРЗ. Книги 1, 2; часть 1, 2. – М.: Энергоатомиздат. 1987р.
13. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Радиоактивные цепочки. М.: Атомиздат. – 1978. – 88 с.
14. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Квантовое излучение радиоактивных нуклидов. М.: Атомиздат. – 1977. – 397 с.
15. Firestone R.B., Shirley V.S. (Ed.): Table of Isotopes, 8 th edition, John Wiley & Sons, Inc. –1996

INSTRUMENTAL ACTIVATION ANALYSIS OF NUCLIDE AND ELEMENT COMPOSITION OF ORES AT CERTAIN RESTRICTIONS IMPOSED ON APRIORI INFORMATION M.V. STETS, V.M. BUZASH*, M.M. STETS*

Institute of Electron Physics, Ukrainian National Academy of Sciences,

Universytetska St.21, Uzhgorod, 88016, Ukraine.

*Uzhgorod National University, Pidgirna St.46, 88000 Uzhgorod, Ukraine

The instrumental activation analysis data for ores with the use of an M-30 electron accelerator (IEP Ukr. Acad. Sci.) at certain restrictions being imposed on *a priori* information (genealogy, shape, sample chemical composition, irradiation type, limited duration studies) inherent in different stages of analysis development and at solving specific monitoring and inspection problems (availability of strategically important and toxic chemical elements and nuclides) are considered