

tarkibi bo'yicha qonuniy me'yorlarga to'la muvofiq kelishi, og'ir metallar va patogenlar yo'qligi alohida tekshirib ko'rilishi zarur. Shuningdek, bunday organik o'g'itni qaysi ekinlar va qaysi miqdorda berish bo'yicha amaliy tavsiyalar

ishlab chiqilishi maqsadga muvofiq. Umuman olganda, bioshlamlarni samarali qayta ishlash va organik o'g'it olish dasturi atrof-muhitni muhofaza qilish va qishloq xo'jaligida mustahkam o'rin olishi mumkin.

Adabiyotlar

1. Martinez-Durán A.J., Rodríguez-Núñez V.A., Castillo-Jáquez J.C. Use of biosolids from wastewater treatment plants and other organic fertilizers in agriculture – a preliminary results of a case study in banana cultivation (Frontiers in Water) 2023.
2. Toker C., Bilgili M.S. Using sewage sludge as alternative fertilizer: effects on turf performance of perennial ryegrass (Sustainability) 2020.
3. Siqueira de Amorim Júnior, S., Pereira, M.A. de S., Morishigue M., et al., 2022. Circular economy in the biosolids management by nexus approach: enhancing safe nutrient recycling (Sustainability).
4. U.S. EPA, Basic information about sewage sludge and biosolids (AQ., Washington DC) 2018.

REZYUME. Tadqiqotda oqova suv tozalash jarayonida hosil bo'lgan bioshlangan fermentatsiya qilinib, ishlab chiqarish organik fosforli o'g'it olindi. Natijalarda PO_4 va TDS ko'rsatkichlari tahlil qilinib, ayrim namunalar o'g'it sifatida mosligi aniqlandi.

РЕЗЮМЕ. В данном исследовании осадок сточных вод, образующийся при очистке сточных вод, подвергался ферментации для получения жидкого органического фосфорного удобрения. В результате были проанализированы показатели PO_4 и TDS, и установлено, что некоторые образцы пригодны для использования в качестве удобрения.

SUMMARY. In this study, sewage sludge generated during wastewater treatment was fermented to obtain liquid organic phosphorus fertilizer. The results showed that PO_4 and TDS indicators were analyzed, and some samples were identified as suitable for use as fertilizer.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОЙ МЕТОДИКИ АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА

А.Р.Журакулов – доктор философии по техническим наукам, доцент

Навоийский государственный горно-технологический университет

Б.И.Курбанов – доктор технических наук, профессор

Институт ядерной физики АН РУз.

А.М.Музафаров – доктор химических наук, профессор

Навоийский государственный горно-технологический университет

Таянч сўзлар: нейтронни фаоллаштириш тахлили, радиоактивлик, радионуклидлар, ядро реакцияси, ярим умр, нейтрон оқимининг зичлиги, макро ва микроэлементлар, атом ядроси.

Ключевые слова: нейтронно-активационный анализ, радиоактивность, радионуклиды, ядерная реакция, период полураспада, плотность потока нейтронов, макро и микроэлементы, атомное ядро.

Key words: neutron activation analysis, radioactivity, radionuclides, nuclear reaction, half-life, neutron flux density, macro- and microelements, atomic nucleus

Введение. Изучение элементного состава вещества имеют важного значения для многих отраслей науки, техники и промышленности [1-3]. Среди аналитических методов, разработанных для макро- и микроэлементного анализа, явные преимущества имеет инструментальный нейтронно-активационный метод анализа с применением атомных реакторов с высокой плотностью потока нейтронов [4-6]. В результате многолетних исследований авторами разработаны множества методик анализа макро- и микроэлементного состава различных объектов (природные, техногенные, биологические, экологические и т.д.), которые в основном отличаются временными режимами облучения исследуемых образцов, охлаждения после облучения и измерения спектров гамма-излучения наведенной активности радионуклидов [7-10]. Не многочисленная часть химических элементов, такие как: I, Cl, Mn, Cu, Na, K поддаются к анализу с использованием короткоживущих радионуклидов, образованных при облучении потоком нейтронов. Некоторые элементы такие как: Ca, Au, Br, La, U, Cd, As возможна анализировать по средне-живущим радионуклидам. А вот большинства химических элементов, такие как: Se, Hg, Cr, Hf, Sr, Ag, Ni, Sc, Rb, Fe, Zn, Co, Sb и др. на практике определяют с использованием долгоживущих радионуклидов, «охлаждением» в течение 25-30 суток после облучения, что при практических применениях метода нейтронно-

активационного анализа во многих отраслях, в частности в промышленных процессах, в медицинской диагностике и т.д. создают неудобства или препятствует к широкому применению данного метода.

Техника и методика физического эксперимента.

Усовершенствовать метод инструментального нейтронно-активационного анализа возможно, путём оптимизации временных режимов, т.е. за счет сокращения времени охлаждения и измерения. Для этого рассмотрим наиболее эффективно применяемый в нейтронно-активационном анализе компараторный метод, при которой исследуемые и эталонные образцы облучают на потоке нейтронов в аналогичных условиях [11].

Полученные результаты и их обсуждений. При облучении образцов потоком нейтронов более $n \times 10^9$ нейтрон/см² сек химические элементы, входящие в состав образца начинают активироваться и в зависимости от периода полураспада образовавшихся радионуклидов различными интенсивностями излучают в основном гамма-квантов. В процессе измерения проходит определенное время и активность как функция зависящее от времени, изменяется. По этой причине при измерении активности необходимо внести поправочный коэффициент по времени. В результате, активность во времени t_0 выражается через времени $t_0 + t$. Закономерности радиоактивности для этих времен t_0 и $t_0 + t$ будет [10, 11]:

$$\begin{cases} A(t_0) = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t_0} \\ A(t_0 + t) = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot (t_0 + t)} \end{cases} \quad (1)$$

где, λ - постоянная радиоактивного распада. С помощью решения системы уравнения (1), активность $A(t_0)$ можно определить через активность $A(t_0 + t)$. Т.е.,

$$A(t_0) = A(t_0 + t) \cdot e^{\lambda \cdot t}. \quad (2)$$

Значит, поправочный коэффициент на время при вычислении радиоактивности будет как:

$$K_0(t) = e^{\lambda \cdot t}. \quad (3)$$

Теперь рассмотрим определения радиоактивности после облучения образца. Это достаточно сложная формула, зависящая от начальных условий, источника излучения, геометрии облучения, эффективного сечения и др. параметров. Запишем уравнению для радиоактивности [10, 11]:

$$\frac{dN^*}{dt} = \sigma \Phi N - \lambda N^*, \quad (4)$$

где, N^* - количество радиоактивных ядер; N - количество ядер, которые активизируется; Φ - плотность потока нейтронов; σ - сечения реакции.

Как начальная условия берем, что радиоактивности в исследуемом образце нет. Т.е. $N^*(t=0) = 0$. Для того, чтобы решить неоднородного дифференциального уравнения, мы сначала будем решать однородного дифференциального уравнения и затем найдем общего решения:

$$A(t) = -\frac{dN^*(t)}{dt} = \lambda N^*(t) = \sigma \Phi N \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t}) \quad (5)$$

Одинаковые активности можно выражать через количества (масса) измеряемого образца:

$$N = c_i \cdot N_0 = c_i \cdot \frac{m \cdot N_A}{M}, \text{ здесь } c_i - \text{ вклад общих атомов,}$$

вызывающие одинаковые радиоактивности.

С учетом времени облучения, охлаждения и измерения используем формулу (5) для определения скорости счета (кол-во импульсов) при измерении [11]. В результате имеем:

$$S_i = \int_{t_c}^{t_c + t_{ys}} A_i(t) dt = \frac{m \cdot N_A \cdot c_i \cdot J_i}{\lambda_i \cdot M} \cdot (1 - e^{-\lambda_i \cdot t_n}) \cdot e^{-\lambda_i \cdot t_c} \cdot (1 - e^{-\lambda_i \cdot t_{ys}}). \quad (6)$$

Здесь, $J_i = \int_0^\infty \sigma_i(E) \cdot \Phi(E) dE$ - скорость реакции.

Формулой (6) воспользуемся для выражение активности радиоизотопов исследуемого элемента в составе образца через активности радиоизотопов известных элементов в составе эталона. Для этого внесем следующего компараторного коэффициента [11]:

$$K \cdot \frac{S_{zn}}{m_{zn}} = \frac{S_{эл}}{m_{эл}} \quad (7)$$

Выражение (7) является эталоном для исследуемого элемента. Для примера используем в качестве эталона элемент цинк -Zn. Значением определенного для времени t_c этого коэффициента, можно пользоваться в различные времена, которые выражается как:

$$\begin{cases} K(t_c) = \frac{S_{эл}}{m_{эл}} \cdot \frac{m_{zn}}{S_{zn}} = \frac{\lambda_{zn}}{\lambda_{эл}} \cdot \frac{c_{эл} \cdot J_{эл}}{c_{zn} \cdot J_{zn}} \cdot \frac{M_{zn}}{M_{эл}} \cdot \frac{(1 - e^{-\lambda_{эл} \cdot t_n}) \cdot e^{-\lambda_{эл} \cdot t_c} \cdot (1 - e^{-\lambda_{эл} \cdot t_{ys}})}{(1 - e^{-\lambda_{zn} \cdot t_n}) \cdot e^{-\lambda_{zn} \cdot t_c} \cdot (1 - e^{-\lambda_{zn} \cdot t_{ys}})}, \\ K_1(t_c) = \frac{S'_{эл}}{m_{эл}} \cdot \frac{m_{zn}}{S'_{zn}} = \frac{\lambda_{zn}}{\lambda_{эл}} \cdot \frac{c_{эл} \cdot J_{эл}}{c_{zn} \cdot J_{zn}} \cdot \frac{M_{zn}}{M_{эл}} \cdot \frac{(1 - e^{-\lambda_{эл} \cdot t_n}) \cdot e^{-\lambda_{эл} \cdot t'_c} \cdot (1 - e^{-\lambda_{эл} \cdot t_{ys}})}{(1 - e^{-\lambda_{zn} \cdot t_n}) \cdot e^{-\lambda_{zn} \cdot t'_c} \cdot (1 - e^{-\lambda_{zn} \cdot t_{ys}})}. \end{cases} \quad (8)$$

Сравнивая, $t_s = t$, для компараторного коэффициента находим выражение, зависящий от времени:

$$K_1(t) = K(t_c) \cdot e^{(\lambda_{zn} - \lambda_{эл})(t - t_c)}. \quad (9)$$

С учетом формул (3) и (9), можно записать формулу для определения содержания элемента в составе образца [11]:

$$C_{эл.нам} = \frac{S_{эл.нам}(t'_c + t)}{S_{zn.эм}(t'_c)} \cdot \frac{m_{zn.эм}}{m_{нам}} \cdot \frac{K_0(t)}{K_1(t'_c)}. \quad (10)$$

Формула (10) применима для элементов, не влияющих на активности друг-друга. Активности элементов, которые влияют на активности друг-друга, следует разделить. Для этого на уравнение (4) добавим активность другого элемента. Т.е.,

$$\frac{dN_1^*}{dt} = \sigma_1 \Phi N_1 + \sigma_2 \Phi N_2 - \lambda N_1^*, \quad (11)$$

где, N_1^* - количество основных радиоактивных ядер; N_1 и N_2 - количества ядер элементов, основных и влияющих на активацию; Φ - плотность потока нейтронов; σ_1 и σ_2 - сечения реакций основных и влияющих на активацию элементов; λ - постоянная радиоактивного распада основного элемента.

На основе выражений (4), (5), (6) получим следующее:

$$S_i = \int_{t_c}^{t_c + t_{ys}} A_i(t) dt = \frac{m_1 \cdot N_A \cdot c_1^i \cdot J_1^i}{\lambda_1 \cdot M_1} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 \cdot t_n}) \cdot e^{-\lambda_1 \cdot t_c} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 \cdot t_{ys}}) + \frac{m_2 \cdot N_A \cdot c_2^i \cdot J_2^i}{\lambda_1 \cdot M_2} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 \cdot t_n}) \cdot e^{-\lambda_1 \cdot t_c} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 \cdot t_{ys}}). \quad (12)$$

Уравнение, определенное для времени t_c имеет простую форму. Однако, мы формулу расширяем с помощью выражение (6) и можем использовать для различных времен ($t'_c = t$) охлаждения:

$$S_i = S_{1i} + k \cdot S_{2j} = \frac{m_1 \cdot N_A \cdot c_{1i} \cdot J_{1i}}{\lambda_1 \cdot M_1} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 \cdot t_n}) \cdot e^{-\lambda_1 \cdot t_c} \cdot (1 - e^{-\lambda_1 \cdot t_{ys}}) + k \cdot \frac{m_2 \cdot N_A \cdot c_{2j} \cdot J_{2j}}{\lambda_j \cdot M_2} \cdot (1 - e^{-\lambda_j \cdot t_n}) \cdot e^{-\lambda_j \cdot t_c} \cdot (1 - e^{-\lambda_j \cdot t_{ys}}). \quad (13)$$

Сравнивая формулы (12) и (13), количество зарегистрированных импульсов можем выражать в следующем виде:

$$S'_i = S'_{li} + k(t) \cdot S'_{2j}. \quad (14)$$

Значить, неизвестного члена в уравнение (14) можно назвать коэффициентом разделения активности элементов, и может быть написан как:

$$k(t) = k(t_c) \cdot e^{(\lambda_j - \lambda_i)(t - t_c)} \quad (15)$$

Используя формулу (14), разделим элементы, которые вкладывают свою активность на друг-друга. Затем, по формуле (9) можно определять содержание элементов в составе образца.

В таблице приводятся результаты нейтронно-активационного анализа, рассчитанные на основе методики внесения поправки на время по вышеизложенному.

Намуна Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tb*	2.6	0.62	2.3	4.2	0.41	17	0.94	0.58	0.95	0.97
Tb**	2.54	0.57	2.81	3.32	0.35	23.6	0.93	0.59	0.94	1.04
Th*	49.4	12.73	48.24	18.3	5.0	265	14.4	11.3	15.1	13.5
Th**	48.3	12.33	44.6	34.2	4.54	269	12.6	11	13.42	12.59
Sc*	0.46	8	14.8	7.27	3	72	9.8	13.9	9.1	9.4
Sc**	0.51	8.33	15.32	8.38	3.14	77.2	10.1	14.56	9.23	9.78
Fe*	12988	12096	13189	52903	16253	360111	34930	58180	29961	32982
Fe**	11565	10686	13000	54000	14100	382000	31300	57400	26300	28900
Zn*	66	21	365	27.7	17.6	387	109	120	114	190
Zn**	48.5	20.7	334	142	17	387	105	119	101	176
Co*	0.32	6.5	5.1	42.7	4.42	17.4	9.68	18.8	8.6	9.1
Co**	0	6.6	4.97	47.4	3.85	27.4	9.39	18.8	8.22	8.83
Ta*	4.34	0.92	5.87	2.66	1.02	29.67	1.08	1.06	1.04	1.15
Ta**	4.9	0.92	5.91	2.57	0.91	42	0.85	1.2	1.04	0.98

*результат полученный за 30 суток.

**результат полученный за 10 суток на основе формулы (10)

Заключение Таким образом, получены результаты, позволяющие оптимизировать методики расчета элементов в нейтронно-активационном анализе, при которой определения содержания элементов по долгоживущим радионуклидам сокращается в 3 раза, т.е. время охлаждения на место 25-30 суток, используют 8-10 суток и получают идентичные результаты, не ухудшая среднеквадратических погрешностей определения и других метрологических характеристик.

Литература

1. Кист А.А. Феноменология биогеохимии и бионеорганической химии. – Ташкент: «Фан», 1987.
2. Фронтасьева М.В. Нейтронно-активационный анализ в науках о жизни. // Журнал: «Физика элементарных частиц и атомного ядра», 2011. Т.42. вып 2. – С. 636-716.
3. Данилова Е.А., Осинская Н.С., Курбанов Б.И. и др. Применение нейтронно-активационного анализа для медико-экологического мониторинга. // Труды XV-Международной конференции «Безопасность АЭС и подготовка кадров 2018». – Обнинск: 26-28-ноября, 2018.
4. Кузнецов Р.А. Активационный анализ. Изд. 2-е. – Москва: «Атомиздат», 1974.
5. Курбанов Б.И. Спектрометрия мгновенного гамма-излучения захвата нейтронов для аналитических задач. – Ташкент: «Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi», 2021.
6. Курбанов Б.И., Данилова Е.А., Осинская Н.С. и др. Нейтронно-активационный анализ в экологических исследованиях объектов окружающей среды. // Uzbek Journal of Physics, Vol. 23, № 4. – Р. 57-64, 2021. DOI: <https://doi.org/10.52304/v23i4.290>.
7. Курбанов Б.И., Данилова Е.А., Хушвактов Н. и др. Нейтронно-активационный анализ микроэлементного состава хлебобулочных изделий функционального назначения. // Медицинская физика (РИНЦ), 2021, №1. – С. 119-122.
8. Данилова Е.А., Осинская Н.С., Курбанов Б.И., Ахмедов Я.А., Хусниддинова С.Х. Исследование содержания химических элементов в пряных травах и специях Узбекистана. // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2021, 24(11). – С. 3-12.
9. Данилова Е.А., Курбанов Б.И., Ахмедов Я.А., Хушвактов Н.Х., Фарманов Х.Ш. Использование инструментального нейтронно-активационного анализа для экологического мониторинга техногенных территорий Узбекистана. // Труды 21-й Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2021года: Экологические проблемы XXI века. 20-21 мая 2021. – Минск: МГЭИ им. А.Д.Сахарова БГУ-2021, Часть 2. – С. 166-169.
10. Данилова Е.А., Курбанов Б.И., Осинская Н.С., Хусниддинова С.Х. Исследование заболеваемости жителей Ташкента и Ташкентской области, обусловленной техногенным загрязнением окружающей среды, на основе данных нейтронно-активационного анализа. // «Атомная энергия», Т. 132, Вып.1, январь 2022. – С. 52-56.
11. Гутько В.И. Активационный анализ: курс лекций. – Минск: 2008. – С. 74.

РЕЗЮМЕ. Ушбу мақолада моддадаги макро ва микроэлементлар таркибини аниқлаш учун нейтрон- активация таҳлилида (НАА) қиёсий усулдан фойдаланганда таҳлиливактини қискартириш масалалари ўрганилди.

РЕЗЮМЕ. В данной работе исследованы вопросы сокращения времени анализа при использовании компараторного метода в нейтронно-активационном анализе (НАА) для определения содержания макро- и микроэлементов в веществе.

SUMMARY. In this paper, the issues of reducing the analysis time when using the comparator method in neutron activation analysis (NAA) to determine the content of macro- and microelements in a substance are investigated.