

- period 1994 to 1998. — Appl. Rad. Isotopes, 2001, v. 55, p. 413—417.
4. **Gonzales-Gomez C., Azahra M., Lopez-Penalver J. e.a.** Seasonal variability in ^7Be depositional fluxes in Granada, Spain. — Ibid., 2006, v. 64, p. 228—234.
5. **Кунгуров Ф.Р., Мунинов А.Т., Мунинов И.Т. и др.** Атмосферные выпадение ^7Be и погодные факторы. — Узбек. физ. журн., 2004, т. 6, № 4, с. 305—308.
6. **Ажабов А., Кунгуров Ф.Р., Мунинов И.Т. и др.** Месячные вариации космогенного ^7Be в атмосферных выпадениях в городе Самарканде. — Там же, 2005, т. 7, № 5—6, с. 404—406.
7. **Азимов А.Н., Кунгуров Ф.Р., Мухаммедов А.К. и др.** Вариации активности ^7Be в атмосферных выпадениях и погодные факторы в 2004—2005 гг. в Самарканде. — Атомная энергия, 2007, т. 102, вып. 5, с. 323—325.
8. **Azimov A.N., Hushmuradov Sh.Kh., Muminov I.T. e.a.** Gamma spectrometric determination of natural radionuclides and ^{137}Cs concentration in environmental samples. The improved scintillation technique. — Rad. Measur., 2008, v. 43, p. 66—71.

Поступило в Редакцию 9.08.10

УДК 543.5:546.17

МЕТОДИКА АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ ДЛЯ ОДНОВРЕМЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА И ФОСФОРА В БИОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛАХ

*Мухаммедов С., Хушвактов Ж., Барсукова Е.Г., Хайдаров А., Акрамов Ф.
(ИЯФ АН РУз, Ташкент, Узбекистан)*

Азот и фосфор среди 17 питательных веществ, необходимых для оптимального роста и воспроизводства растений, являются наиважнейшим макропитанием. Эти элементы всегда присутствуют в злаковых культурах и играют определяющую роль в фор-

мации содержания азота и фосфора в зерновых, зернобобовых и других сельскохозяйственных культурах [1, 2]. В настоящей статье приведены результаты дополнительных исследований методики одновременного определения азота и фосфора в зерновых, зер-

Т а б л и ц а 1. Ядерно-физические характеристики реакций и образующихся радионуклидов

Изотоп	Доля, %	Ядерная реакция	Q , МэВ	σ , мб	$T_{1/2}$, мин	E_γ , кэВ	I_γ , %
^{14}N	99,635	$^{13}\text{N}(n, 2n)^{13}\text{N}$	−10,553	0,005	0,09	511	100,62
^{31}P	100	$^{31}\text{P}(n, \alpha)^{28}\text{Al}$	−1,94	125 ± 6	2,24	1778,8	100
^{27}Al	100	$^{27}\text{Al}(n, p)^{27}\text{Mg}$	−1,855	80	9,46	1015 844	30 70
^{28}Si	92,17	$^{28}\text{Si}(n, p)^{28}\text{Al}$	−3,857	$244,4 \pm 24$	2,24	1778,8	100
^{29}Si	4,71	$^{29}\text{Si}(n, p)^{29}\text{Al}$	−2,98	121 ± 5	6,56	1273,3	90,6

мировании качества растительной продукции. Поэтому разработка методики для одновременного определения их содержания актуальна в связи с контролем качества зерна.

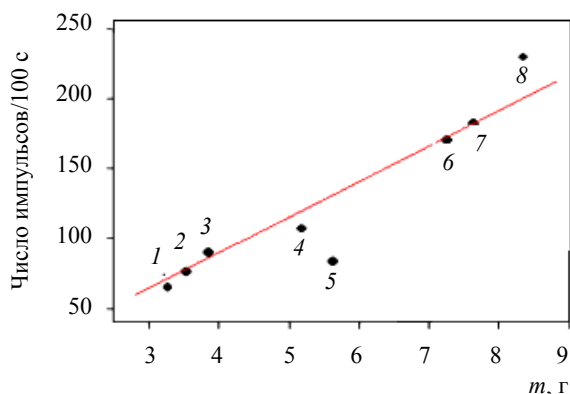
Активационный анализ на быстрых нейтронах является наиболее подходящим методом определе-

ния содержания азота и фосфора в зерновых, зернобобовых, крупных и косточковых культурах с применением нейтронного генератора НГ-150 ИЯФ АН РУз [2—4].

Для определения содержания фосфора использовали ядерную реакцию $^{31}\text{P}(n, \alpha)^{28}\text{Al}$ (табл. 1). Алюминий используется в качестве монитора для контроля потока нейтронов [2]. Ядерная реакция $^{28}\text{Si}(n, p)^{28}\text{Al}$, является мешающей при определении фосфора, реакция $^{29}\text{Si}(n, p)^{29}\text{Al}$ используется для учета ее мешающего влияния по методике [5].

Нейтронно-активационная методика разработана для определения содержания азота и фосфора в образцах некоторых зерновых, зернобобовых, крупных и косточковых культур — пшеницы, пшена, фасоли, гречихи, урюка, абрикоса, фисташки и персика.

Содержание ^7Be в атмосферных выпадениях: $a_i = A_i/221 \text{ Бк/м}^2$, количество осадков $h_i = H_i/56 \text{ мм}$, солнечная активность $W_i/94^{-1}$, средняя температура воздуха $t_i = T_i/3,1 \text{ }^\circ\text{C}$ в январе, феврале, марте (З), апреле, мае, июне (В), июле, августе, сентябре (Л), октябре, ноябре, декабре (З) в Гранаде и Самарканде

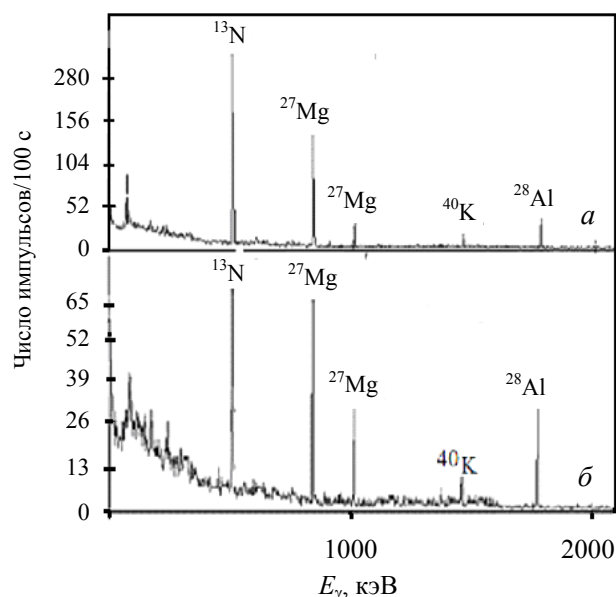


Р и с. 1. Зависимость активности от массы фосфора в образцах сравнения $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (1), Na_2HPO_4 (2), $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (3), $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (4), K_2HPO_4 (5), NaH_2PO_4 (6), $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ (7), KH_2PO_4 (8)

Образцы массой 19—22 г взвешивали и упаковывали в полиэтиленовый контейнер цилиндрической формы диаметром 40, высотой 35 мм. Контейнер сверху плотно закрывали полиэтиленовой крышкой, к которой прикрепляли алюминиевый монитор массой 35—50 мг, толщиной 0,1 мм для контроля потока быстрых нейтронов. В качестве образца сравнения изучили применение некоторых азотных и фосфорных соединений. Процедура испытания, касающегося стандартизации азота, подробно изложена в работах [2, 3]. Содержание фосфора в растениях составляет

На рис. 1 приведена зависимость изменения активности ^{28}Al (в данном случае числа зарегистрированных импульсов — площадь фотопика γ -кванта 1778,8 кэВ) от массы фосфора в образцах сравнения. В пределах выбранного диапазона концентрации фосфора эта зависимость прямолинейная, откуда следует, что метод можно применять для корректного определения содержания элемента в биологических материалах. Видно, что для некоторых образцов отклонение данных от прямолинейной зависимости значительное (более 30%). Такое отклонение могло быть связано с возможными потерями массы в результате долгого хранения химических соединений или сорбции влаги из воздуха. Поэтому в качестве образца сравнения использовали соединения, которые укладывались на прямолинейный участок графика. Таким образом, был обоснован подход для разработки методики быстрого и одновременного определения азота и фосфора в биологических материалах.

Анализ проводится традиционным методом сравнения активности образца и стандарта (образца сравнения), облученных в потоке быстрых нейтронов на одинаковых геометрических позициях и при идентичных временных режимах активации. Радиоактивность измеряется инструментально, без химического выделения радионуклида, концентрация вычисляется



Р и с. 2. Энергетический спектр γ -квантов, наблюдаемых в образцах зерна пшеницы (а) и косточки абрикоса (б)

0,1—0,6% [6]. Поэтому образцы сравнения готовили из соединений, в которых масса фосфора находится примерно в этих пределах. Образцы облучали в одинаковых потоках быстрых нейтронов. Временные режимы облучения образцов и измерение их навесной активности также были одинаковыми.

с использованием площади фотопиков аннигиляционного кванта для азота и γ -кванта 1778,8 кэВ для фосфора.

На рис. 2 видно, что в образцах наблюдаются одни и те же радионуклиды. В активированных образцах растительных материалов ^{29}Al не обнаружен, что свидетельствует об отсутствии или очень низком содержании кремния. Следовательно, можно сказать, что радиоактивность ^{28}Al обусловлена реакцией $^{31}\text{P}(n, \alpha)^{28}\text{Al}$ на фосфоре.

Исследовали элементный состав как местных,

Т а б л и ц а 2. Результаты анализа исследованных биологических материалов

Образец	$C_P, \%$	$C_N, \%$
Пшеница	$0,31 \pm 0,02$	$2,39 \pm 0,05$
Пшено	$0,39 \pm 0,02$	$1,52 \pm 0,03$
Фасоль	$0,53 \pm 0,04$	$3,15 \pm 0,06$
Гречиха	$0,60 \pm 0,06$	$2,03 \pm 0,13$
Косточка:		
абрикоса	$0,65 \pm 0,04$	$2,93 \pm 0,05$
	$0,64 \pm 0,01$	$3,11 \pm 0,10$
урюка	$0,92 \pm 0,05$	$3,81 \pm 0,12$
персика	$0,68 \pm 0,03$	$3,28 \pm 0,11$
фисташки	$0,80 \pm 0,04$	$3,47 \pm 0,12$

так и импортируемых продуктов сельскохозяйственных культур (табл. 2). Видно, что косточки фруктовых деревьев богаты фосфором и азотом. В некоторых сортах косточковых содержание фосфора выше в 2 раза, чем в зерновых. Изучение аналитических характеристик методики показывает, что в диапазоне концентрации фосфора 0,1—1% погрешность определения не превышает 5%. Погрешности определения азота, как отмечалось [2], не превышают погрешности химического метода.

Таким образом, разработанная методика нейтронно-активационного анализа, основанная на применении нейтронного генератора НГ-150 и пороговых ядерных реакций $^{14}\text{N}(n, 2n)^{13}\text{N}$ и $^{31}\text{P}(n, \alpha)^{29}\text{Al}$, позволяет инструментально определять содержание азота и фосфора в зерновых, зернобобовых, крупяных и косточковых культурах. Погрешность анализа не превышает погрешности химических методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муминов В.А., Навалихин Л.В. Активационный анализ с использованием нейтронного генератора. Ташкент: ФАН, 1979. 152 с.

2. Мухаммедов С., Хайдаров А., Барсукова Е.Г. Определение белка в зернопродуктах методом активационного анализа с применением нейтронного генератора. — Атомная энергия, 2009, т. 106, вып. 3, с. 169—173.
3. Mukhammedov S., Khaydarov A., Osinskaya N.S., Barsukova E.G. Fast neutron activation analysis of protein in wheat. — Узбек. физ. журн., 2009, т. 11, № 1, с. 79—83.
4. Хайдаров А. Методика активационного анализа для определения азота в зернах риса. — Там же, 2008, т. 10, № 4—5, с. 343—347.
5. Мухаммедов С., Хушвактов Ж., Барсукова Е.Г. и др. Учет мешающего влияния конкурирующей реакции в нейтронно-активационном анализе. — Атомная энергия, 2010, т. 109, вып. 1, с. 57—59.
6. Schachtman D., Reid R., Ayling S. Phosphorus uptake by plants: from soil to sells. — Plant Physiol., 1998, v. 116, p. 447—453

Поступило в Редакцию 21.10.10

УДК 621.039.5.001.24

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ИГР

Котов В.М., Курпешева А.М., Иркимбеков Р.А. (Ин-т атомной энергии Нац. ядерного центра Республики Казахстан, г. Курчатов, Восточно-Казахстанская обл.)

Реактор ИГР эксплуатируется более 50 лет [1]. С его помощью были исследованы различные образцы техники и технологий. Совершенствуется и методология работ на реакторе. Основой совершенствования является понимание процессов, происходящих в реакторе, появление эффективных программ нейтронно-физических и теплофизических расчетов, анализ особенностей работы с различными облучаемыми объектами.

Актуальными в эксплуатации реактора являются знание изменения отношения мощности ТВС, установленной в центральном экспериментальном канале, к мощности реактора и стабильность регистрации мощности. Поставленные вопросы не могут быть решены в рамках одноточечной модели реактора. В работах [2—5] показана высокая эффективность программы [6] расчета нейтронно-физических характеристик ИГР. В работе [5] обоснована необходимость определения температурных полей кладки расчетным путем. На основе программы [6] и программы теплофизических расчетов [7] создана методика расчета динамики полей температуры и потоков нейтронов в ходе пуска ИГР.

Согласно методике длительность пуска и кладка активной зоны разбиваются на определенное число частей с условно равной температурой на каждом временном шаге, задаются исходное поле температу-

ры в элементах кладки (первого временного шага), положение органов регулирования в каждом временном шаге. В настоящее время в методику не включена задача кинетики реактора, поэтому данные о мощности в каждом временном шаге приняты фактические.

Поочередно для каждого временного шага проводили нейтронно-физические и теплофизические расчеты. С помощью нейтронно-физических расчетов на основании распределения температуры по объему кладки и положения органов регулирования находится распределение потока нейтронов. Для учета изменения сечений в графите дополнительно с помощью программного комплекса [8] рассчитывали зависимость характеристик графита от температуры с шагом 50 К. В теплофизических расчетах на основании энерговыделения определяли приращение температуры в элементах кладки активной зоны. Малое время пуска реактора позволяет считать нулевыми перетоки теплоты между ними. Так, в работе [5] показано, что время выравнивания температурного поля для ИГР составляет несколько часов.

Как правило, в начальный момент работы реактора температуру всех элементов кладки устанавливали одинаковой 300 К. Кладку активной зоны разбивали на 124 элемента по горизонтальному и вертикальному сечениям с пустым центральным экс-