

# Определение продуктов деления и примесей в растворах-имитаторах отработавшего ядерного топлива методом атомно-эмиссионной спектроскопии

Н. Г. Терентьева<sup>1</sup>, С. А. Тогушаков<sup>1</sup>,  
О. А. Ширькалова<sup>1</sup>

УДК 621.039.59:66.085

Методом атомно-эмиссионной спектроскопии с азотной микроволновой плазмой проведены определения стабильных изотопов, имитирующих продукты деления и примесные элементы, в растворах-имитаторах отработавшего ядерного топлива в присутствии U, Pu, Np, Tc, Am, Cm, Pm.

Предложен способ нивелирования мешающего влияния U и Pu на определение продуктов деления и примесных элементов отработавшего ядерного топлива с использованием градуировок спектрометра, построенных на растворах с такими же концентрациями U и Pu, как и в анализируемых пробах.

**Ключевые слова:** отработавшее ядерное топливо, атомно-эмиссионная спектроскопия с азотной микроволновой плазмой, продукты деления, уран, плутоний, нептуний, технеций, америций, раствор-имитатор

Suggested method eliminates U and Pu interfere influence on determination of fission products and impurity elements in solutions of spent nuclear fuel by spectrometer calibrating using solutions with the same U and Pu concentrations as in analyzing samples.

Concentration of stable isotopes imitated fission products and impurities in solutions simulators of spent nuclear fuel was determined by atomic emission spectrometry with nitrogen microwave-ionization plasma in the presence of U, Pu, Np, Tc, Am, Cm, Pm.

**Keywords:** spent nuclear fuel, atomic emission spectrometry with nitrogen microwave-ionization plasma, fission products, uranium, plutonium, neptunium, technetium, americium, solutions simulators

## Введение

После отработки уран-плутониевого топлива в проектируемом реакторе на быстрых нейтронах с замкнутым ядерным топливным циклом «Брест-ОД-300» предполагается выгорание основных компонентов с накоплением продуктов деления (ПД).

Отработавшее ядерное топливо (ОЯТ), состоящее из значительных количеств U и Pu, по данным [1], содержит 56 радионуклидов (редкоземельные элементы, младшие актиниды и др.), многие из которых обладают большим сечением захвата нейтронов и должны отделяться при очистке ядерного топлива.

Переработка ОЯТ для дальнейшего использования представляет собой одну из наиболее актуальных

<sup>1</sup> АО «Сибирский химический комбинат», 636039, г. Северск, Томская обл., ул. Курчатова, 1, shk@atomsib.ru.

задач современной атомной энергетики. В ходе технологического процесса переработки ОЯТ необходимо проводить аналитический контроль не только ядерных материалов, но и ПД, накопившихся при эксплуатации топлива в реакторной установке. Массовая доля ПД и примесных элементов, не превышающая нормативное значение, является одним из показателей качества смешанных оксидов урана и плутония, направляемых на рефабрикации топлива.

Настоящая работа посвящена изучению возможности определения массовой концентрации ПД и примесных элементов в растворах имитаторах продуктов переработки ОЯТ на атомно-эмиссионном спектрометре с азотной микроволновой плазмой. Испытания проводили на площадке АО «СХК» в рамках подготовки методического и приборного обеспечения проектируемой аналитической лаборатории модуля переработки смешанного нитридного уран-плутониевого (СНУП) отработавшего ядерного топлива, создаваемого в составе опытно-демонстрационного энергокомплекса (ОДЭК).

Ранее проводились исследования по определению ПД в продуктах, получаемых в процессе регенерации ОЯТ методом атомно-эмиссионной спектрометрии. В работе [2] описано определение методом атомно-эмиссионной спектрометрии (с электродуговым возбуждением) примесных элементов в фосфатных концентратах ПД и высокоактивных отходах после пирохимической переработки ОЯТ, содержащих микроколичества U, Pu и ПД.

В растворах с высоким содержанием U и Pu прямое определение малых содержаний примесных элементов ограничено как спектральными интерференциями, вызванными наложениями линий излучения U и Pu на аналитические линии примесных элементов, так и несектральными матричными эффектами. Авторы [3] отмечают, что условием для устранения матричного эффекта при определении примесных элементов в ОЯТ методом атомно-эмиссионной спектрометрии является отделение U. Для определения элементов примесей в оксидах, гексафториде и металлическом уране рекомендовано проводить его экстракцию с последующим концентрированием примесных элементов.

Для снижения негативного влияния U и Pu на проведение измерений содержания примесных элементов в работе [4] описано использование метода экстракционного извлечения, который предусматривает совместную экстракцию U (VI) и Pu (IV, VI) из азотнокислого раствора

экстрагентом – трибутилфосфатом в инертном углеводородном разбавителе. Основным недостатком такой пробоподготовки состоит в том, что ПД и примесные элементы, имеющие различные коэффициенты распределения в экстрагенте, могут частично экстрагироваться с U и Pu. Для каждого элемента коэффициенты распределения зависят от солевого состава, концентрации азотной кислоты и природы примесных элементов [5, 6], поэтому невозможно точно прогнозировать потери элемента при экстракции.

Цель проведенных исследований состояла в подборе метода прямого определения ПД и примесных элементов в прогнозируемых растворах технологических продуктов проектируемого модуля переработки СНУП ОЯТ без предварительной экстракции U и Pu.

Проведение анализа, минуя процедуру экстракции U и Pu, позволит исключить потери радионуклидов, переходящих в экстракт, а также снизить количество радиоактивных оборотов, которые образуются при регенерации экстрагента и имеют дорогостоящую переработку. Поэтому особый интерес представляет прямое определение ПД и элементов примесей в ОЯТ без пробоподготовки.

## Характеристики метода измерения и оборудования

Применяемый атомно-эмиссионный метод основан на измерении интенсивности излучения атомов, возникающего при распылении мелкодисперсного аэрозоля анализируемой пробы в плазму.

В работе использовали атомно-эмиссионный спектральный комплекс «Гранд-СВЧ» производства ООО «ВМК-Оптоэлектроника» (г. Новосибирск) с источником возбуждения спектров на основе азотной микроволновой плазмы, возбуждаемой СВЧ-полем (2,45 ГГц) с температурой ~5000 °С [7]. Для уменьшения негативного воздействия радионуклидов на оборудование СВЧ-резонатор и систему ввода пробы – трехщелевую кварцевую горелку 30-807-0552 (Glass Expansion, Австралия), распылительную камеру ML180022 (Meinhard, США), пневматический распылитель TR-50-A1 (Meinhard, США), трехканальный перистальтический насос – размещали в металлическом перчаточном боксе [8]. СВЧ-магнетрон устанавливали под боксом и соединяли с резонатором через волновод, герметично запаивая полимерным материалом. Горелку закрепляли в специальном быстросъемном зажиме типа «шаттл». В измерениях использовали

аксиальный/осевой способ обзора плазмы с горизонтально расположенной горелкой.

Регистрацию излучения проводили с помощью двух параллельно работающих полихроматоров, построенных по схеме Пашена – Рунге с неклассическими вогнутыми дифракционными решетками 2400 и 900 штр/мм со скомпенсированным астигматизмом.

Рабочий спектральный диапазон спектрометра «Гранд-СВЧ» составлял 190–780 нм с разрешением 10 пм в области 190–350 нм (первый полихроматор) и 30 пм в области 350–780 нм (второй полихроматор). Спектр во всем рабочем спектральном диапазоне 190–780 нм регистрировался со временем базовой экспозиции от 2 мс и выше.

Параметры измерений на атомно-эмиссионном спектрометре представлены в табл. 1.

### Экспериментальная часть

Для приготовления градуировочных растворов и растворов-имитаторов технологических продуктов проектируемого модуля переработки СНУП ОЯТ ОДЭК использовали аттестованные смеси U, Pu, Np, Tc, Am, Cm, Pm, приготовленные из образцовых растворов радионуклидов производства

Таблица 1. Параметры измерений на атомно-эмиссионном спектрометре

Параметр	Значение
Подводимая к плазме мощность, Вт	1 350
Поток азота	
– охлаждающий, дм <sup>3</sup> /мин	12,00
– промежуточный, дм <sup>3</sup> /мин	0,50
– распылителя, дм <sup>3</sup> /мин	0,40
Чистота азота, %	99,6
Способ наблюдения плазмы	Аксиальный, нулевое положение от оптической оси
Время стабилизации плазмы до измерения спектра, с	10
Время измерения одной пробы с пятью повторениями, с	50
Время промывки системы подачи пробы, с	15
Скорость вращения перистальтического насоса во время анализа, об/мин	20
Скорость вращения перистальтического насоса во время промывки, об/мин	80

АО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина», а также многоэлементные смеси (МЭС-1 СОП-15616-2014, МЭС-2 СОП-15616-2014, МЭС-3 СОП-15616-2014, МЭС-4 СОП-15617-2014, МЭС-РЗЭ («Скат», Россия), ICP-MS-68A-C и МСО Cs (МСО 1060:2004). В качестве ПД и примесных элементов ОЯТ в дальнейшем использовали стабильные изотопы МЭС.

Для приготовления растворов применяли азотную кислоту квалификации «ос. ч.» и деионизованную воду с удельным сопротивлением  $\geq 18$  МОм/см.

Были приготовлены две партии по шесть градуировочных растворов, содержащих U, Pu, Np, Tc, Am, ПД и элементы примесей. Концентрацию каждого элемента в градуировочных растворах последовательно увеличивали от  $10^{-6}$  до  $10^{-3}$  г/дм<sup>3</sup> (концентрация каждого следующего раствора увеличивалась в три раза). В первой партии градуировочных растворов концентрация U и Pu также варьировалась, во второй партии – оставалась неизменной.

Для проведения исследований были подготовлены четыре раствора-имитатора, исходя из предполагаемого состава продуктов переработки ОЯТ по данным, указанным в [1]. В растворе-имитаторе № 2 содержание U и Pu совпадало с содержанием во второй партии градуировочных растворов.

Данные по составу градуировочных растворов и растворов-имитаторов продуктов переработки ОЯТ представлены в табл. 2.

Градуировочные растворы и растворы-имитаторы использовали сразу после приготовления. Градуировочные графики строили и измерения в растворах-имитаторах проводили по результатам пяти параллельных определений. Правильность измерений после работы с каждым раствором-имитатором проверяли путем контрольного измерения элемента в точке, соответствующей середине градуировочного графика.

### Измерение содержания ПД и примесных элементов в растворах-имитаторах

Используя атлас эмиссионных линий программного обеспечения «Атом», для каждого элемента были выбраны наиболее чувствительные эмиссионные линии, позволяющие проводить определения в многокомпонентных растворах, содержащих U, Pu, Np и примесные элементы. На рис. 1 представлены диаграммы спектральных наложений, которые возникают при определении ПД и элементов примесей в ОЯТ, содержащих U и Pu. U и Pu имеют большое

Таблица 2. Состав градуировочных растворов и растворов-имитаторов

Элемент	Концентрация элементов, г/дм <sup>3</sup>					
	градуировочные растворы I партии	градуировочные растворы II партии	раствор-имитатор № 1	раствор-имитатор № 2	раствор-имитатор № 3	раствор-имитатор № 4
U	10 <sup>-6</sup> –10 <sup>-3</sup>	5 · 10 <sup>-2</sup>	2 · 10 <sup>-4</sup>	5 · 10 <sup>-2</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup>
Pu	10 <sup>-6</sup> –10 <sup>-3</sup>	7 · 10 <sup>-4</sup>	7 · 10 <sup>-5</sup>	7 · 10 <sup>-4</sup>	7 · 10 <sup>-5</sup>	7 · 10 <sup>-5</sup>
Np	10 <sup>-6</sup> –10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup> –10 <sup>-3</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup>
Tc	10 <sup>-6</sup> –10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup> –10 <sup>-3</sup>	2 · 10 <sup>-5</sup>	2 · 10 <sup>-5</sup>	2 · 10 <sup>-5</sup>	2 · 10 <sup>-5</sup>
Am	10 <sup>-6</sup> –10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup> –10 <sup>-3</sup>	7 · 10 <sup>-5</sup>	7 · 10 <sup>-5</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup>	1 · 10 <sup>-4</sup>
Cm	–	–	–	–	–	5 · 10 <sup>-8</sup>
Pm	–	–	–	–	–	6 · 10 <sup>-9</sup>
ПД и элементы примесей	10 <sup>-6</sup> –10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-6</sup> –10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-5</sup> –10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup> –10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup> –10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup> –10 <sup>-4</sup>

количество спектральных линий, перекрывающих спектральные линии определяемых ПД и примесных элементов, что может приводить к взаимным наложениям и влиять на результаты анализа.

Определены ПД и примесные элементы в растворах-имитаторах № 1 и 2 с помощью градуировок, построенных на растворах с составом, указанным в табл. 2.

На рис. 2 представлены диаграммы отклонений определенных концентраций ПД и примесных элементов в растворах-имитаторах от рассчитанных. Видно, что при проведении анализа в растворах-имитаторах существенное влияние оказывает содержание U и Pu в градуировочных растворах.

При использовании градуировки спектрометра, построенной на растворах с такими же

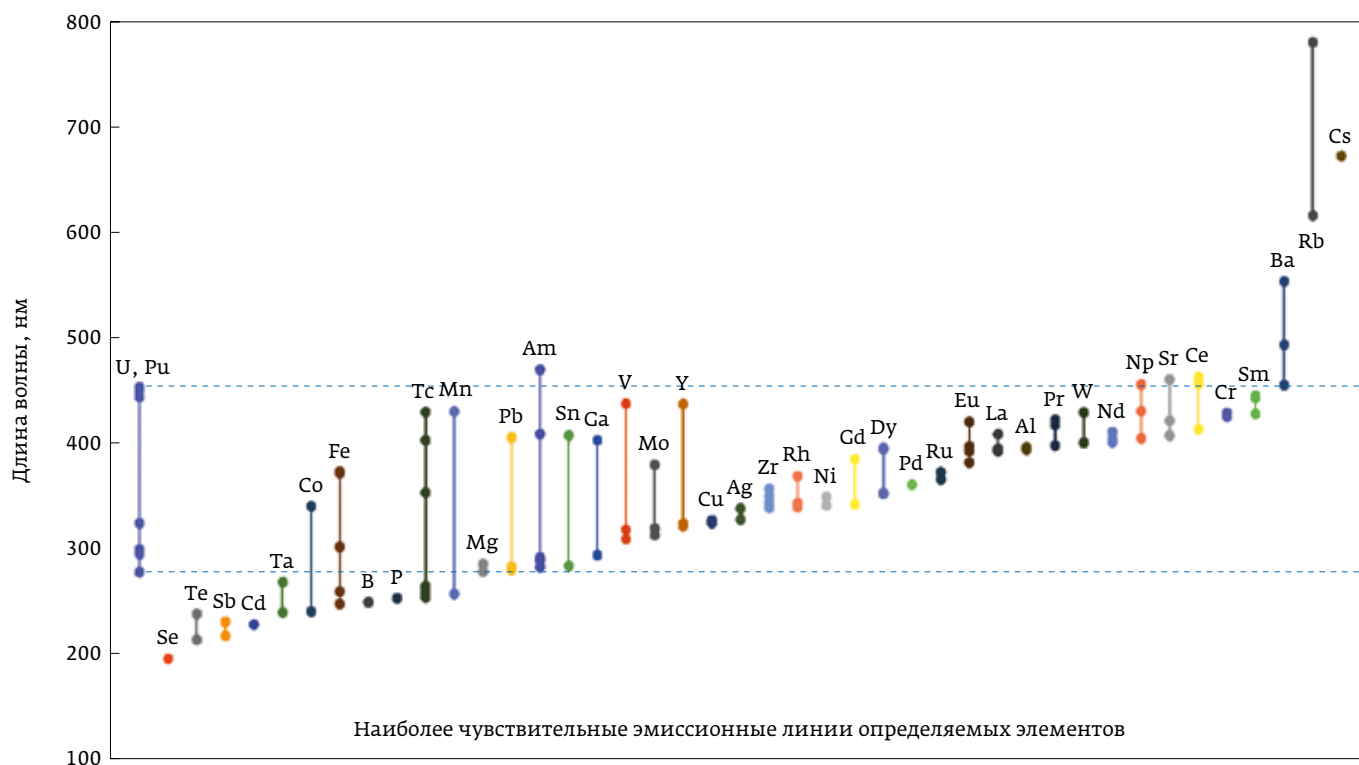


Рис. 1. Области наложения спектральных линий U, Pu со спектральными линиями Np, Am, Tc, имитаторов ПД и примесей

концентрациями U и Pu, как и в анализируемых пробах, не наблюдалось негативного влияния актиноидов на определение содержания Tc, Al, Cd, Fe, Mn, B, V, Ga, Co, Cu, Ni, Sn, Rb, Pb, Sb, Ba, Ag, W, Mo, Ta, Zr, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Pd, Rh, Ru, Cs с концентрацией каждого элемента не менее  $10^{-4}$  г/дм<sup>3</sup>. Поэтому не требуется проводить экстракцию U и Pu.

В растворах-имитаторах для элементов Te и Se не идентифицированы спектральные линии, что связано с более высоким пределом обнаружения Te и Se ( $10^{-3}$  г/дм<sup>3</sup>) в растворах с представленным солевым составом по сравнению с массовыми концентрациями в приготовленных имитаторах ( $10^{-4}$  г/дм<sup>3</sup>).

### Влияние Am, Cm, Pm на определение ПД и примесных элементов

В большинстве продуктов модуля переработки ОЯТ ОДЭК предполагается наличие Am и Cm, а в составе примесных элементов, наряду с другими РЗЭ, может содержаться Pm в виде катионов азотнокислых солей [1].

Так как присутствие Am, Cm и Pm может повлиять на спектры определяемых элементов, проведено исследование их влияния на изменение интенсивности линий ПД и примесных элементов. Испытания

проводили с помощью растворов-имитаторов № 3 и 4, для которых сравнивали интенсивности спектральных линий.

По результатам сравнительного анализа спектральных линий установлено, что добавление Am, Cm и Pm в заданных количествах не оказывает существенного влияния на интенсивность спектральных линий Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, W, Fe, Ni, Al, V, Ga, Co, Mg, Mn, Cu, Pb, Sb, Sn, Ba, Mo, Zr, Rb, Rh, Pd, Ru, Ag, Tc, Cd, Ta, Cr, B, P, Cs.

Интенсивности спектральных линий каждого элемента при анализе растворов-имитаторов № 3 и 4 совпадали. Для некоторых элементов (Mg, Np, Cd, Sm и др.) наблюдались незначительные отличия спектральных линий в растворах-имитаторах № 3 и 4. Для элементов Te, Se спектральные линии регистрировались при концентрациях от  $10^{-3}$  г/дм<sup>3</sup> и выше. Таким образом, Cm, Pm и Am в концентрациях, соответствующих содержанию актиноидов в ОЯТ, практически не влияют на определение ПД и примесных элементов.

### Выводы

При атомно-эмиссионном определении ПД и примесных элементов в присутствии U и Pu происходит искажение результатов анализа, связанное с наложением эмиссионных линий и матричными

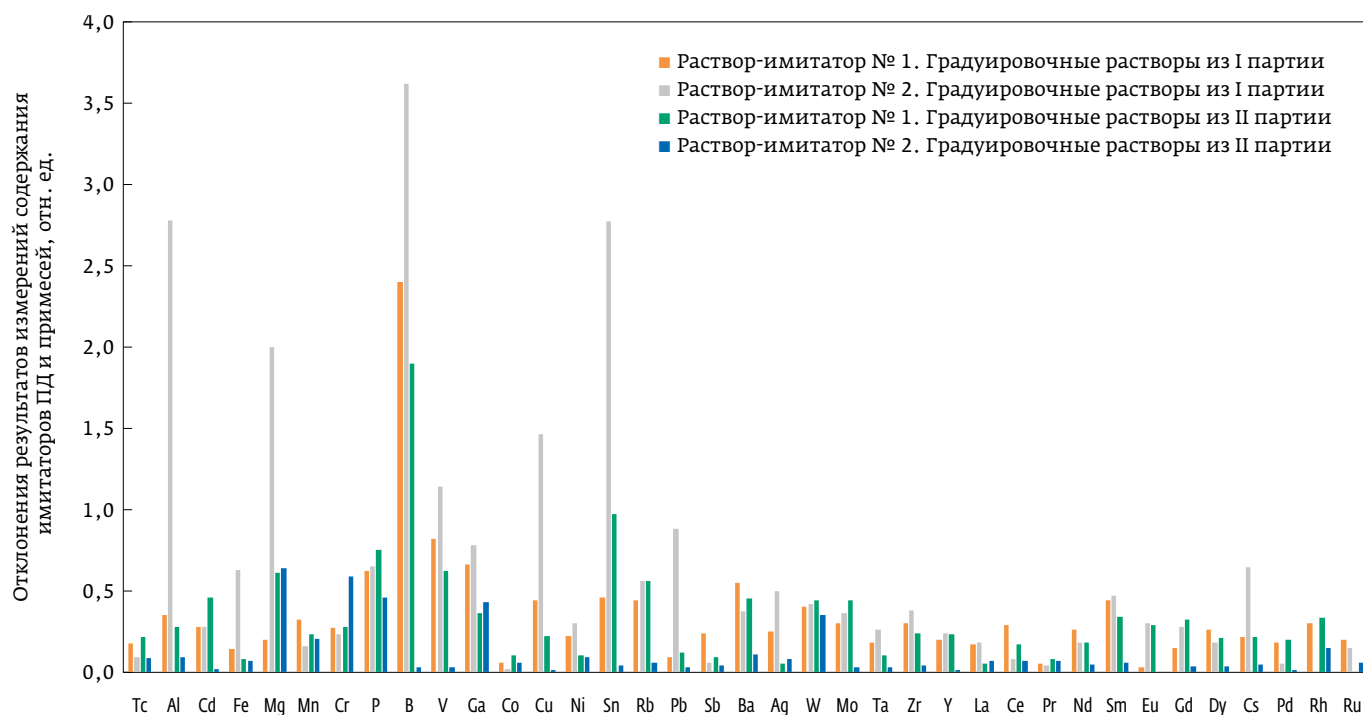


Рис. 2. Отклонения результатов измерений ПД и примесей от содержания в растворах-имитаторах



# Гранд-СВЧ

Спектрометр с микроволновой плазмой

## ■ Двойной обзор плазмы

- Обеспечивает превосходные пределы обнаружения и широкий диапазон линейности градуировочного графика, сравнимые с ИСП спектрометрами

## ■ Твердотельный высоковольтный источник питания

- Обеспечивает стабильную мощность плазмы в диапазоне 900-1700 Вт, что позволяет анализировать пробы с минерализацией до 10 %



## ■ Стандартная ИСП горелка с автоматической юстировкой положения

## ■ Система «Воздушный нож»

- Удаление молекулярных интерференций  
- Не требует технического обслуживания

## ■ Двойной полихроматор

- Обеспечивает одновременное измерение спектра в области от 190-780 нм с разрешением 10 пм в области 200 нм

## ■ Генератор азота

- Позволяет использовать спектрометр в удаленных лабораториях  
- Позволяет отказаться от использования горючих и взрывоопасных газов

## ■ Добавление воздуха

- Простой анализ органики без предварительной минерализации проб при введении воздуха в горелку  
- Снижение молекулярных интерференций

[www.vmk.ru](http://www.vmk.ru)

+7 (800) 333-30-91, бесплатно по России  
© ООО ВМК-Оптоэлектроника., 2018



эффектами, которые усиливаются при увеличении концентрации U и Pu в анализируемых пробах.

Негативное влияние U и Pu нивелируется использованием градуировок спектрометра, построенных на растворах с такими же концентрациями U и Pu, как и в анализируемых пробах.

Присутствие Am, Cm и Pm в пробах переработки ОЯТ в исследованных количествах практически не влияет на определение ПД и примесных элементов.

Предложенный метод позволяет проводить прямое определение ПД и примесных элементов Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, W, Fe, Ni, Al, V, Ga, Co, Mn, Cu, Pb, Sb, Sn, Ba, Mo, Zr, Rb, Rh, Pd, Ru, Ag, Tc, Cd, Ta, B, Cs в исследованном диапазоне концентраций с постоянным содержанием U и Pu, не проводя очистку от U и Pu. Следует учитывать, что при изменении содержания U и Pu в анализируемой пробе необходимо проводить градуировку спектрометра.

## Литература

1. Шведов В. П., Седов В. М., Рыбальченко И. Л., Власов И. Н. Ядерная технология. Учеб. пособие для вузов / Под ред. Морохова И. Д. М.: Атомиздат, 1979. С. 123.
2. Хамдеев М. И., Васильева О. Н., Чистяков В. М., Ерин Е. А. Атомно-эмиссионный спектральный анализ фосфатных концентратов продуктов деления и примесей, получаемых в процессе регенерации облученного ядерного топлива // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2015. Т. 81 № 1. Ч. II. С. 65–68.
3. Souza A. L., Cotrim M. E. B., Pires M. A. F. Review article: An Overview of spectrometric techniques and sample for the determination of impurities in uranium nuclear fuel grade // Microchemical Journal. 2013. V. 106. PP. 194–201.
4. Вдовенко В. М. Химия урана и трансурановых элементов / М.-Л.: Изд. Академии наук СССР, 1960. С. 564–569.
5. Михайличенко А. И., Михлин Е. Б., Патрикеев Ю. Б. Редкоземельные металлы. М.: Металлургия, 1987. 232 с.

6. Химия и технология редких и рассеянных элементов. Учеб. пособие для вузов. Ч. 2 / Под ред. Большакова К. А.; 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1976. 360 с.
7. Pelipasov O. V., Polyakova E. V. Matrix effects in atmospheric pressure nitrogen microwave induced plasma optical emission spectrometry // J. Anal. At. Spectrom. 2020. 35. 1389–1394. <https://doi.org/10.1039/d0ja00065e>.
8. Пелипасов О. В., Лабусов В. А., Путьмаков А. Н., Чернов К. Н., Боровиков В. М., Бурумов И. Д., Селюнин Д. О., Гаранин В. Г., Зарубин И. А. Спектрометр с микроволновой плазмой «ГРАНД-СВЧ» для атомно-эмиссионного анализа // Аналитика и контроль. 2019. Т. 23, № 1. С. 24–34. <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.1.004>.

## References

1. Svedov V. P., Sedov V. M., Rybalchenko I. L., Vlasov I. N. Nuclear technology. Study guide for universities. Ed. I. D. Morochova. Moscow, Atomizdat, 1979. P. 123.
2. Khamdееv M. I., Vasilieva O. N., Chistyakov V. M., Erin E. A. Atomic Emission Spectral Analysis of Phosphate Concentrates of Fission Products and Impurities Obtained upon Pyrochemical Reprocessing of the Irradiated Nuclear Fuel. Industrial laboratory. Diagnostics of materials. 2015. V. 81(1). PP. 65–68.
3. Souza A. L., Cotrim M. E. B., Pires M. A. F. Review article: An Overview of spectrometric techniques and sample for the determination of impurities in uranium nuclear fuel grade // Microchemical Journal. 2013. V. 106. PP. 194–201.
4. Vdovenko V. M. Chemistry of Uranium и transuranic elements Moscow-Leningrad, Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1960. PP. 564–569.
5. Michailichenko A. I., Michlin E. B., Patrikееv U. B. Rare earth metals. Moscow: Metallurgy, 1987. 232 p.
6. Chemistry and chemistry rare and diffused elements. Study guide for universities. Ed. K. A. Bolshakova, Edition 2, expanded and revised edition, Moscow, Higher school, V. II. 1976. P. 128.
7. Pelipasov O. V., Polyakova E. V. Matrix effects in atmospheric pressure nitrogen microwave induced plasma optical emission spectrometry // J. Anal. At. Spectrom. 2020. 35. PP. 1389–1394.
8. Pelipasov O. V., Labusov V. A., Putmakov A. N., Chernov K. N., Burumov V. M., Selunin D. O., Garanin V. G., Zarubin I. A. Spectrometer with microwave plasma GRAND-UHV for atomic emission analysis // Analytika i kontrol' [Analytics and control]. 2019. V. 23. № 1. PP. 24–34 (In Russ.).



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



1090 руб.

### АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

коллективная монография

под ред. Карнова Ю. А., Барановской В. Б., Житенко Л. П.

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 400 с. ISBN 978-5-94836-554-1

Благородные (драгоценные) металлы относятся к важнейшим видам современных материалов. Они являются валютными ценностями, широко применяются в ювелирном деле, в электронной, химической, машиностроительной промышленности, в медицине и многих других областях человеческой деятельности. Функциональные свойства этих материалов неразрывно связаны с их химическим составом, который устанавливают с помощью аналитического контроля. В настоящей монографии рассмотрены современные методы анализа (атомно-спектральные, рентгеноспектральные, физико-химические и другие), методы пробирного концентрирования, методики аналитического контроля конкретных объектов, стандарты на методы анализа и проблемы развития аналитической химии благородных металлов. Эта информация представляет интерес для работников аналитических лабораторий, научно-исследовательских организаций и многочисленных потребителей материалов и изделий, содержащих благородные металлы.

#### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

125319, Москва, а/я 91; тел.: +7 495 234-0110; факс: +7 495 956-3346; e-mail: [knigi@technosphere.ru](mailto:knigi@technosphere.ru); [sales@technosphere.ru](mailto:sales@technosphere.ru)



# ВУЗ ПРОМ ЭКСПО 2020

МОСКВА



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ  
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

10-11 ДЕКАБРЯ  
VII ЕЖЕГОДНАЯ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ  
ВЫСТАВКА



МОБИЛЬНОЕ  
ПРИЛОЖЕНИЕ



ЭКСПОЦЕНТР

Место проведения

VUZPROMEXPO.RU

