

Медико-биологические проблемы жизнедеятельности

Научно-практический рецензируемый журнал

№ 1(5)

2011 г.

Учредитель

Государственное учреждение
«Республиканский научно-
практический центр
радиационной медицины
и экологии человека»

Журнал включен в Перечень
научных изданий Респуб-
лики Беларусь для опубликова-
ния диссертационных иссле-
дований по медицинской и
биологической отраслям науки
(31.12.2009, протокол 25/1)

Журнал зарегистрирован

Министерством информации
Республики Беларусь,
Свид. № 762 от 6.11.2009

Компьютерная верстка
А.А. Гурин

Подписано в печать 11.04.11.
Формат 60×90/8. Бумага офсетная.
Гарнитура «Times New Roman».
Печать цифровая. Доп тираж 46 экз.
Усл. печ. л. 22,3. Уч.-изд. л. 20,1.
Зак. 861.

Издатель ГУ «Республиканский
научно-практический центр
радиационной медицины и экологии
человека»
ЛИ № 0230/0131895 от 3.01.2007 г.

Отпечатано в Филиале БОРБИЦ
РНИУП «Институт радиологии».
220112, г. Минск,
ул. Шпилевского, 59, помещение 7Н

ISSN 2074-2088

Главный редактор

В.П. Сытый (д.м.н., профессор)

Редакционная коллегия

В.С. Аверин (д.б.н., зам. гл. редактора), В.В. Аничкин (д.м.н., профессор), В.Н. Беляковский (д.м.н., профессор), Ю.В. Висенберг (к.б.н., отв. секретарь), Н.Г. Власова (к.б.н., доцент), А.В. Величко (к.м.н., доцент), В.М. Дорофеев (к.м.н., доцент), В.В. Евсеенко (к.п.с.н.), А.В. Коротаяев А.В. (к.м.н.), Н.Б. Кривелевич (к.м.н.), А.Н. Лызилов (д.м.н., профессор), А.В. Макарович (к.м.н.), С.Б. Мельнов (д.б.н., профессор), Э.А. Надыров (к.м.н., доцент), Э.Н. Платошкин (к.м.н., доцент), А.В. Рожко (к.м.н., доцент), Г.Н. Романов (к.м.н.), А.М. Скрябин (к.м.н.), А.Е. Силин (к.б.н.), А.Н. Стожаров (д.б.н., профессор), О.В. Черныш (к.м.н.), Н.И. Шевченко (к.б.н.), А.Н. Цуканов (к.м.н.)

Редакционный совет

С.С. Алексанин (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), А.Ю. Бушманов (д.м.н., профессор, Москва), И.И. Дедов (д.м.н., академик РАМН, Москва), Ю.Е. Демидчик (д.м.н., член-корреспондент НАН РБ, Минск), М.П. Захарченко (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), Л.А. Ильин (д.м.н., академик РАМН, Москва), Я.Э. Кенигсберг (д.б.н., профессор, Минск), В.Ю. Кравцов (д.б.н., профессор, Санкт-Петербург), Н.Г. Кручинский (д.м.н., Минск), Т.В. Мохорт (д.м.н., профессор, Минск), И.А. Новикова (д.м.н., профессор, Гомель), В.Ю. Рыбников (д.м.н., профессор, Санкт-Петербург), В.П. Ситников (д.м.н., профессор, Гомель), Н.Д. Тронько (д.м.н., профессор, Киев), В.П. Филонов (д.м.н., профессор), В.А. Филонюк (к.м.н., доцент, Минск), А.Ф. Цыб (д.м.н., академик РАМН, Обнинск), В.Е. Шевчук (к.м.н., Минск)

Технический редактор

С.Н. Никонович

Адрес редакции

246040 г. Гомель, ул. Ильича, д. 290,
ГУ «РНПЦ РМ и ЭЧ», редакция журнала
тел (0232) 38-95-00, факс (0232) 37-80-97
<http://www.rcrm.by>
e-mail: mbp@rcrm.by

© Государственное учреждение
«Республиканский научно-
практический центр радиационной
медицины и экологии человека», 2011

№ 1(5)

2011

Medical and Biological Problems of Life Activity

Scientific and Practical Journal

Founder

Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology

Journal registration
by the Ministry of information
of Republic of Belarus

Certificate № 762 of 6.11.2009

© *Republican Research Centre
for Radiation Medicine
and Human Ecology*

ISSN 2074-2088

Обзоры и проблемные статьи

- Котеров А.Н.* Перспективы учета «эффекта свидетеля» при оценке радиационных рисков 7

Медико-биологические проблемы

- Замотаева Г.А., Степура Н.Н.* Влияние различных доз радиоioda на состояние иммунной системы больных дифференцированным раком щитовидной железы 20

- Кашкалда Д.А., Бориско Г.А.* Гендерные особенности изменений про- и антиоксидантных процессов у детей, рожденных в семьях отцов-ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС 27

- Мельницкая Т.Б., Симонов А.В., Бельх Т.В.* Оценка социально-психологических последствий переживания радиационного риска у населения России и Беларуси 32

- Могилевец О.Н., Шейбак В.М., Пырочкин В.М., Могилевец Э.В.* Способ биохимической оценки дисфункции эндотелия 37

- Молева В.И., Кашина-Ярмак В.Л.* Особенности состояния здоровья и иммунологического гомеостаза у детей, родители которых проживали в зонах радиационного загрязнения в детском и подростковом возрасте 42

- Ровбутъ Т.И., Мойсеенок А.Г., Харченко О.Ф.* Характеристика витаминной обеспеченности как критерий оценки качества жизни детей, проживающих в различных экологических условиях 48

- Росина Й., Вранова Я., Квашнак Е., Шута Д., Костргун Т., Навратил Л., Сабол Й., Гон З., Драбова Д.* Чешская Республика и авария на Чернобыльской АЭС – 25 лет спустя 55

Reviews and problem articles

- Koterov A.N.* Prospects of the bystander effect at radiation risks estimation 7

Medical-biological problems

- Zamotayeva G.A., Stepura N.N.* Effect of various doses of radioactive iodine on immune status of patients with differentiated thyroid cancer 20

- Kashkalda D.A., Borisko G.A.* Gender peculiarities of changes in pro- and antioxidant processes in children born in families of liquidators of Chernobyl nuclear power station accident 27

- Melnitskaja T.B., Simonov A.V., Belyh T.V.* Estimation of social and psychological consequences of radiation risk among populatoin of Russia and Belarus 32

- Mogilevec O.N., Shejbak V.M., Pyrochkin V.M., Mogilevec E.V.* Method of the biochemical estimation of endothelial dysfunction 37

- Moleva V.I., Kashina-Yarmak V.L.* Features of the health state and immunological homeostasis for children, whose parents lived in areas with radiation contamination in child's and juvenile age 42

- Roubuts T.I., Mojseenok A.G., Kharchanka A.F.* The characteristic of vitamin provision, as criterion of the estimation of quality of the life of children living in different ecological conditions 48

- Rosina Y., Vranova Ya., Kvashnak E., Shuta D., Kostrgun T., Navratil L., Sabol Y., Gon Z., Drabova D.* The Czech Republic and the Chernobyl accident – 25 years later 55

Клиническая медицина

Абросимов А.Ю., Кожушная С.М. Морфология рака щитовидной железы после аварии на ЧАЭС: цитогистологические сопоставления 63

Бранован И. Распространенность заболеваний щитовидной железы среди лиц, проживающих в США, облученных в результате аварии на ЧАЭС 70

Гуминский А.М., Демидчик Ю.Е., Кушнеров А.И. Дифференциальная ультразвуковая диагностика опухолевых заболеваний щитовидной железы 75

Ерш И.Р., Лучко В.С., Зайцев В.И., Романчук Э.В. Комбинированная терапия больных артериальной гипертензией в амбулаторных условиях 81

Захарченко Т.Ф., Замотаева Г.А., Тронько Н.Д. Функциональные показатели эффекторов врожденного иммунитета у больных с отдаленными метастазами рака щитовидной железы после радиойодтерапии 88

Игумнов С.А., Орлов А.Л., Евсеенко В.В., Докукина Т.В., Касап В.А., Козмидиади А.О., Курс О.В. Психологическая и нейрофизиологическая диагностика психического состояния антенатально облученных лиц 93

Красавцев Е.Л., Мицура В.М. Роль цитокинов в прогнозировании эффективности лечения больных хроническим гепатитом С 103

Ляликов С.А. Возрастные особенности картины крови у детей в современный период 109

Румянцева Г.М., Левина Т.М., Чинкина О.В. Сравнительная характеристика психических

Clinical medicine

Abrosimov A. Yu., Kozhushnaya S.M. Morphology of thyroid carcinoma after Chernobyl accident: cytological and histological correlations

Branovan I. Prevalence of thyroid diseases among persons living in the USA exposed to radiation as a result of the Chernobyl accident

Huminski A. M., Demidchik J.E., Kushnerov A.I. Differential ultrasonic diagnostics of tumoral diseases of a thyroid gland

Yorsh I. R., Luchko V.S., Zaitsev V.I., Romanchuk E.W. The combined therapy in patients with arterial hypertension in ambulance conditions

Zakharchenko T.F., Zamotayeva G.A., Tronko N.D. Functional indices of innate immunity effectors in patients with distant metastases of thyroid cancer after radioiodine therapy

Igumnov S.A., Orlov A.L., Evseenko V.V., Dokukina T.V., Kasap V.A., Kozmidiadi A.O., Kurs O.V. Psychological and neurophysiological diagnosis of mental antenatally irradiated persons

Krasavtsev E.L., Mitsura V.M. Role of cytokines in forecasting of treatment efficiency in patients with chronic hepatitis C

Lialikov S.A. Age features of the blood picture in children during the modern period

Rumjantseva G. M., Levina T.M., Chinkina O.V. Comparative characteristics of mental disorders with

нарушений при сосудистой патологии головного мозга у ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС и больных, не подвергавшихся облучению

116

Цитко Е.В., Мрочек А.Г.
Ремоделирование левого желудочка у пациентов с диффузным токсическим зобом

124

Обмен опытом

Воробьев А.П., Радчук В.Я., Фролов А.В., Лопатина А.Л., Поляков С.М., Мельникова О.П., Станкевич В.И. Разработка и внедрение дистанционной кардиологической диагностики в Гомельской области

129

Мирончик А.Ф. Экономическая оценка ущерба от радиационной чрезвычайной ситуации

135

Материалы Международной научно-практической конференции «25 ЛЕТ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ. Преодоление ее последствий в рамках Союзного государства» (г. Гомель, 12-13 апреля 2011 г.)

25 лет после Чернобыльской катастрофы

Аверин В.С., Буздалькин К.Н., Царенок А.А., Тагай С.А., Кухтевич А.Б., Макаровец И.В., Нилова Е.К. Поступление трансуранических элементов в молоко коров

144

Булавик И.М. Радиологическая эффективность калийных удобрений в лесных насаждениях

153

Дударева Н.В., Довнар А.К., Тагай С.А., Кухтевич А.Б., Васковцова В.А., Шумилин В.А. Совершенствование методик радиохимического анализа ^{90}Sr и трансуранических элементов в объектах агробиоценоза

159

vascular brain pathology in liquidators of the Chernobyl accident and in patients not exposed to radiation.

Tsitko E., Mrochek A. Left ventricular remodeling in patients with diffuse toxic goiter

Experience exchange

Vorobiev A.P., Radchuk V.Ja., Frolov A.V., Lopatina A.L., Poliakov S.M., Melnikova O.P., Stankevich V.I. Development and implementation of remote cardiological diagnostics in Gomel region

Mironchik A.F. Economic estimation of a damage from a radiating emergency situation

25 years after Chernobyl accident

Averin V.S., Buzdalkin K.N., Tsarenok A.A., Tagai S.A., Kukhtsevich A.B., Makarovets I.V., Nilova E.K. Transfer of transuranic elements to cow milk

Bulavik I.M. Radiological effectiveness of potassium fertilization in forest stands

Dudareva N.V., Dovnar A.K., Tagai S.A., Kukhtsevich A.B., Vaskovtsova V.A., Shumilin V.A. Development of the techniques for radiochemical analysis of ^{90}Sr and transuranic elements in agrobiocoenosis objects

<i>Мостовенко А.Л., Карпенко А.Ф.</i> Содержание радионуклидов в животноводческой продукции после переспециализации сельскохозяйственного производства	167	Mostovenko A.L., Karpenko A.F. Radionuclide content in animal products after re-specialization of farm production
<i>Подоляк А.Г., Ласько Т.В., Головешкин В.В.</i> Радиологические аспекты использования луговых земель на торфяных почвах в отдаленный период после катастрофы на ЧАЭС	171	<i>Podolyak A.G., Lasko T.V., Goloveshkin V.V.</i> Radiological aspects of long-term meadow land use on peat soils affected in the result of the Chernobyl accident
<i>Соколик Г.А., Овсянникова С.В., Войникова Е.В., Попеня М.В.</i> Современное состояние и подвижность плутония и америция чернобыльского выброса в почвенно-растительном покрове	179	<i>Sokolik G.A., Ovsiannikova S.V., Voinikava K.V., Popenia M.V.</i> Contemporary state and mobility of plutonium and americium of chernobyl fallout in a soil-plant cover

УДК 546.798:546.42:543.5:574

Н.В. Дударева¹, А.К. Довнар²,
С.А. Тагай¹, А.Б. Кухтевич¹,
В.А. Васьковцова¹, В.А. Шумилин³

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИК РАДИОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ⁹⁰Sr И ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОБЪЕКТАХ АГРОБИОЦЕНОЗА

¹РНИУП «Институт радиологии», г. Гомель, Беларусь

²УО «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Беларусь

³УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»,
г. Гомель, Беларусь

Разработаны методики: «Методика радиохимического определения удельной активности ⁹⁰Sr в почвах и растениях без разделения в системе стронций-кальций»; «Экстракционно-хроматографический метод выделения и определения активности ⁹⁰Sr с применением газового пропорционального счетчика в продукции растениеводства и природных водах»; «Методика альфа-спектрометрического определения удельной активности изотопов плутония (²³⁸Pu, ^{239,240}Pu) в почвах и растениях с получением счетного образца методом электролитического осаждения»; «Методика альфа-спектрометрического определения ²⁴¹Am в почвах и растениях с предварительной радиохимической пробоподготовкой и получением счетного образца электроосаждением», которые внесены в Перечень методик радиационного контроля, действующих на территории Республики Беларусь.

Ключевые слова: стронций, плутоний, америций, альфа-излучение, бета-излучение, радиохимический анализ

Введение

Радиохимический анализ биологически значимых радионуклидов ⁹⁰Sr, ²³⁸Pu, ^{239,240} Pu и ²⁴¹Am в современной системе радиационного контроля требует постоянного развития, которое определяется совершенствованием методов селективного выделения нуклидов, качеством формирования измеряемой конфигурации мишени и последующей регистрации ядерных излучений [1].

Использование менее трудоемких спектрометрических (инструментальных) методов имеет существенное ограничение, связанное с величинами измеряемой активности радионуклидов. Так, при высоких активностях ⁹⁰Sr (> 300 Бк/пробу) вполне допустимо его инструментальное определение с использованием специального математического аппарата выделения и обработки β-спектра (⁹⁰Sr+⁹⁰Y) из суммарного спектра пробы, поскольку относительное влияние других радионуклидов является незначительным [2]. При более низких уровнях ак-

тивности ⁹⁰Sr (соотносимых с временно-допустимыми в сельскохозяйственной продукции), спектрометрический анализ, как правило, дает весьма завышенные результаты, что обусловлено присутствием в пробах природных изотопов ²¹⁰Pb и ²¹⁰Bi. Аналогичная ситуация имеет место при гамма-спектрометрическом определении содержания ²⁴¹Am в почве и других объектах окружающей среды в процессе измерения интенсивности линии 59,6 КэВ. Рассеянные γ-кванты ¹³⁷Cs (Eγ = 661 КэВ) при высокой активности нуклида создают комптоновское распределение в области пика ²⁴¹Am, фактически исключая возможность его корректного количественного детектирования. Иногда влияние ¹³⁷Cs в этом случае подавляют путем предварительной радиохимической очистки проб при оксалатном соосаждении ²⁴¹Am с кальцием из растворов выщелачивания [3]. В последнем случае используется совмещенный инструментально-радиохимический метод.

Методы и результаты исследований

Стронций. Присутствие ^{90}Sr в окружающей среде является опасным показателем для живых организмов, поскольку этот радионуклид накапливается в костной ткани. Поэтому остается актуальным совершенствование методической базы для контроля содержания радионуклидов в почве, растениях, воде, продуктах питания и др.

В то время, как ^{137}Cs в объектах окружающей среды определяют на гамма-спектрометрических комплексах, что сейчас уже не представляет больших трудностей при массовых анализах, определение ^{90}Sr требует применения радиохимического анализа. Эта необходимость обусловлена радиационными характеристиками ^{90}Sr , по которым данный радионуклид проявляется только «чистым» β -излучателем (то есть распад его ядер не сопровождается испусканием γ -квантов). Как правило, радиохимическая аналитика предполагает последовательное выполнение отдельных стадий, включая предварительную подготовку (минерализацию, озоление, концентрирование и др.), перевод пробы в раствор, выделение и очистку радионуклида из раствора, изготовление препарата для радиометрического измерения активности. Кроме того, важным моментом всегда является определение химического выхода радионуклида с использованием в случае стронция его стабильного изотопа или радиоактивной метки ^{85}Sr . Радиоактивность ^{90}Sr может быть определена регистрацией β -частиц ($E_{\beta_{\max}} = 0,54 \text{ МэВ}$), испускаемых при его распаде, или по дочернему ^{90}Y ($T_{1/2} = 64 \text{ ч}$), который является также «чистым» β -излучателем и обладает существенно большей максимальной энергией β -излучения ($E_{\beta_{\max}} = 2,27 \text{ МэВ}$).

Система радиационного контроля, которая в настоящее время ведет мониторинг ^{90}Sr как в агрофере, так и во всей природной среде, первоначально стала создаваться на методиках, где выделение данного радионуклида основывалось главным образом на реакциях осаждения

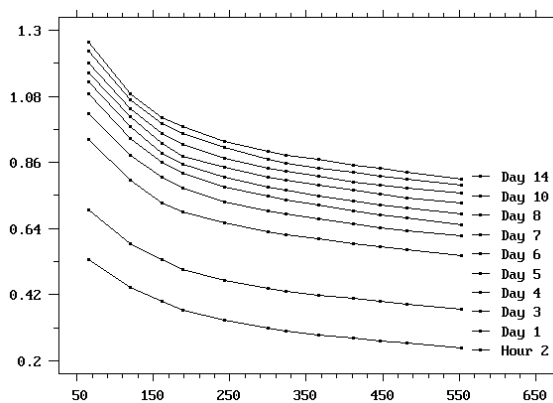


Рисунок 1 – Номограмма для определения коэффициента регистрации детектора в зависимости от массы осадка (мг) и времени накопления вторичного ^{90}Y

[4, 5]. Наибольшее применение получило осаждение оксалатов или карбонатов щелочноземельных элементов на первом этапе радиохимической очистки стронция с последующим осаждением гидроксидов железа/алюминия и повторное осаждение оксалатов или карбонатов. Трудоемкость осуществления всех последовательных стадий осаждения в многочасовой радиохимической очистке вещества определила поиск наиболее эффективных методических подходов.

Одним из результатов поиска наиболее производительных решений стала разработанная, а затем аттестованная методика выполнения измерений для определения ^{90}Sr в почве и растениях без разделения в системе стронций-кальций [6].

Полный цикл радиохимических процедур при этом занимает не более 6 часов, поэтому данная методика хорошо себя зарекомендовала в радиологической практике и активно используется до сих пор при производстве массовых анализов, особенно для почв, имеющих высокое содержание железа. Значительное сокращение времени достигается исключением процедуры разделения стронций-кальций путем учета коэффициента регистрации в зависимости от массы получаемых мишеней (связанной с содержанием кальция) и времени накопления вторичного ^{90}Y по номограмме (рисунок 1), полученной на стадии калибровки детектора β -счетчика.

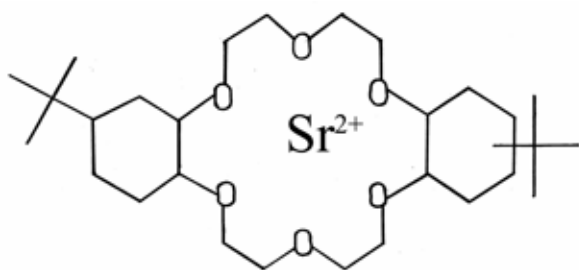


Рисунок 2 – Структурная формула краун-эфира 4,4'(5')-ди-{трет-бутил-циклогексан}-18-краун-6

В последние годы для определения ^{90}Sr предложены инновационные подходы, в которых применяются экстракционно-хроматографические сорбенты на основе замещенных краун-эфиров, такие как дибензо-18-краун-6 (ДБ18К6) и дицикло-18-краун-6 (ДЦГ18К6), а также их производные. Высокая степень избирательности для ^{90}Sr была достигнута применением в качестве экстрагента 4,4'(5')-ди-[(трет-бутил) циклогексан]-18-краун-6 (ДТБДЦГ18К6). Этот реагент (рисунок 2) проявляет хорошее сродство к ионам Sr^{2+} , образуя высокоселективные комплексные соединения в результате совпадения между диаметром полости краун-эфира (270-290 пм) и диаметром ионов стронция (240 пм).

Метод экстракционной хроматографии – это вариант сочетания жидкостной экстракции с техникой хроматографии, выполняемой на колонке. При использовании этого метода химический выход стронция составляет не менее 95% и существенно сокращается время (до 2 часов), затрачиваемое на анализ. Применение жидкостных сцинтилляционных счетчиков для регистрации ^{90}Sr или его дочернего ^{90}Y обуславливает самую высокую эффективность счета бета-излучения (60-70%), достигающую практически 100% при оптимальных условиях. Газопроточные пропорциональные счетчики не обеспечивают такой высокой эффективности регистрации, но отличаются достижением наиболее низких (менее 0,05 Бк) минимально детектируемых уровней активности (МДА) радионуклида [7].

Трансурановые элементы. В середине прошлого века плутонию, загрязнение которым носило глобальный характер, уделяли особое внимание. В настоящее время проблема плутония, выброшенного в окружающую среду во время Чернобыльской катастрофы, остается не менее актуальной. Более того, наличие в чернобыльском выбросе значительного количества ^{241}Pu ($E_{\beta\text{max}} = 20,8$ КэВ; $T_{1/2} = 14,4$ года) ведет к образованию альфа-излучающих радионуклидов ^{241}Am ($E_{\alpha} = 5,49$ МэВ) и ^{237}Np ($E_{\alpha} = 4,79$ МэВ) [8].

Вместе с ^{137}Cs и ^{90}Sr трансурановые элементы (ТУЭ) выделяют в группу наиболее биологически значимых радионуклидов, обладающих высокой токсичностью и большими периодами полураспада ($T_{1/2}$ (^{238}Pu) = 88 лет, $T_{1/2}$ (^{239}Pu) = $2,41 \cdot 10^4$ лет, $T_{1/2}$ (^{240}Pu) = 6540 лет, $T_{1/2}$ (^{241}Am) = 452 года), однако, в отличие от ^{137}Cs , доза облучения от ^{90}Sr и ТУЭ формируется в основном за счет инкорпорированных в организме радионуклидов [9].

Основными органами депонирования высокотоксичных изотопов плутония (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu) и ^{241}Am в организме животных и человека являются скелет, печень и легкие; 10% данных радионуклидов откладывается в почках, селезенке, щитовидной железе и других внутренних органах [10, 11, 12].

Определение трансурановых радионуклидов в объектах окружающей среды является сложной задачей. Все ТУЭ, за редким исключением, характеризуются как α -излучатели, т.е. распад их ядер сопровождается испусканием α -частиц. Высокий заряд (+2) и относительно низкая скорость α -частиц приводят к значительным потерям энергии даже в тонких слоях вещества, а относительно малое различие в энергии α -частиц некоторых α -излучателей создает определенные трудности в спектрометрическом разделении пиков, например, в случае таких изотопов как ^{241}Am (5,49 МэВ) и ^{238}Pu (5,50 МэВ), ^{237}Np (4,79 МэВ) и ^{233}U (4,82 МэВ), ^{234}U (4,78 МэВ) и ^{230}Th (4,69 МэВ). Все это вносит свою специфику в процесс изготовления счетного

образца, поэтому ключевым моментом в α -спектрометрии является приготовление тонкослойного источника. В идеале счетный образец должен представлять собой тонкий и однородный по толщине и распределению слой α -излучающего элемента в отсутствие посторонних веществ, приводящих к деградации спектра.

Во многих методиках конечное выделение плутония и америция успешно осуществляют посредством техники микроосаждения с микрограммовым количеством носителя (обычно гидроокисей или фторидов редкоземельных элементов: церия, лантана, неодима) [13]. Добавление носителя в счетный образец приводит к увеличению толщины активного слоя образца, ухудшению энергетического разрешения и, как следствие, снижению точности количественного определения радионуклидов.

Для контроля за содержанием ТУЭ в объектах окружающей среды были разработаны и аттестованы методики выполнения измерений для определения ^{238}Pu ($E_{\alpha} = 5,50$ МэВ), $^{239,240}\text{Pu}$ ($E_{\alpha} = 5,15$ МэВ и $E_{\alpha} = 5,16$ МэВ, соответственно) и ^{241}Am в почвах и растениях с предварительной радиохимической очисткой и электролитическим окончанием [14, 15]. В обеих методиках был применен метод электролитического осаждения, который является одним из лучших способов приготовления счетных образцов актиноидных элементов, позволяющий получать хорошо воспроизводимые образцы (воспроизводимость 1-2%) с равномерным распределением вещества по площади активного слоя [16, 17]. Вме-

сте с тем, электроосаждение – это специфичный процесс для выделения радионуклидов, находящихся в окружающей среде в ультрамалых концентрациях, поэтому оптимальные условия их электроосаждения устанавливают опытным путем. На полноту осаждения изотопов влияют величина тока, продолжительность электролиза, тип ячейки и другие параметры.

Электролиз проводят с использованием разборной электролитической ячейки (рисунок 3) из тефлона объемом 50 мл, высотой 60 мм, с диаметром активного пятна 25 мм (рисунок 4). 99,8%-ный выход плутония получали при воспроизведении следующих условий электролиза: оксалатно-аммонийно-хлоридный буферный раствор (10 мл) с $\text{pH}=2,5$, сила тока 0,8 А, напряжение 10 В, время электролиза 1 час и др. Количественное осаждение америция обеспечивается при электролизе из 2%-ного сульфатно-аммонийного буферного раствора с $\text{pH}=3-4$, силой тока 0,8 А, напряжением 10 В и временем электролиза 1 час 15 мин. Катодная плотность тока в обеих методиках составила 163 mA/cm^2 .

Величину химического выхода определяли способом, широко используемым при определении радионуклидов, не имеющих стабильных изотопов. При этом применялись контрольные растворы изотопных индикаторов ^{242}Pu и ^{243}Am с аттестованной удельной активностью (погрешность аттестации для ^{242}Pu не более 6%, а для ^{243}Am – не более 10%).

Также, как и в случае с «чистыми» β -излучателями, определение ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$



Рисунок 3 – Система для электроосаждения



Рисунок 4 – Счетные мишени анализируемых проб

и ^{241}Am возможно с применением радиохимического анализа, который основывается на общих принципах радиохимии и является многостадийным процессом. Для обеспечения качественных результатов спектрометрического определения α -излучающих радионуклидов требуется надежное химическое разделение интересующих ТУЭ от стабильных макро- и микрокомпонентов и мешающих ионов.

В процессе радиохимического разделения и очистки используют методы осаждения, жидкостную экстракцию, ионообменную и экстракционную хроматографию. На практике чаще всего применяют сочетание двух и более из перечисленных методов.

На стадии ионного обмена чаще всего используют трехвалентное состояние америция, которое является наиболее характерным для этого радионуклида.

Степень же выделения и очистки плутония существенно зависит от полноты стабилизации иона Pu (IV) . Для этих целей применяют обработку азотной кислотой в присутствии перекиси водорода или нитрита натрия. Промежуточные степени окисления кислорода и азота (-1 и +3, соответственно) в указанных реагентах способствуют диспропорционированию по схеме: $\text{Pu (III)} \rightarrow \text{Pu (IV)} \leftarrow \text{Pu (VI)}$ с образованием в азотнокислой среде устойчивых комплексных анионов четырехвалентного плутония $[\text{Pu}(\text{NO}_3)_6]^{2-}$ [18].

В указанных выше методиках процесс выщелачивания проводили в 7,5М HNO_3 вблизи температуры кипения, с трехкратной обработкой перекисью водорода. Для разделения и очистки анализируемых радионуклидов были выполнены следующие стадии радиохимической процедуры: гидроксидное осаждение, анионообменное разделение с использованием анионита АВ-17 (сильноосновная смола с функциональной триметиламмониевой группой – $\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$) и катионообменное разделение на катионите Фибан К-1 (сильнокислотная смола с функциональной сульфогруппой – SO_3H^+).

Анионообменное разделение на анионите АВ-17 в NO_3^- – форме применяли для

очистки америция от плутония и тория, анионообменное разделение на анионите в Cl^- -форме – для очистки америция от железа, урана путем их сорбции, катионообменное разделение на катионите Фибан К-1 – для дополнительной очистки от катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} и др. В качестве элюирующего раствора для вымывания америция с колонки с катионитом использовали смесь $\text{HCl}_{\text{конц}}$ (80 %) и $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (20 %), которая обеспечивает разделение америция и редкоземельных элементов. Для элюирования плутония с анионообменной смолы использовали раствор 0,1М NH_4I в 10М HCl .

Химический выход для плутония составляет 70 ± 20 %, для америция – 50 ± 20 %.

В качестве средств измерения использовали α -спектрометрический комплекс Alpha Analyst Canberra с кремниевым полупроводниковым детектором типа PIPS с энергетическим разрешением < 15 КэВ, эффективностью регистрации – не менее 18 % (для расстояния образец-детектор 5 мм), фоном < 1 импульс/час для энергий более 3 МэВ.

Все разработанные методики включены в перечень методик радиационного контроля, действующих на территории Республики Беларусь [19].

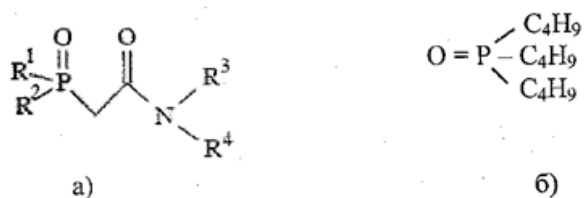
В настоящее время для выделения и разделения трансурановых элементов, как в аналитической химии, так и в технологии производства, широко используются экстракционные методы. Применяя разнообразные экстракционные системы, можно осуществить практически все стадии очистки и выделения ТУЭ из образца.

Из всех известных соединений, пригодных для использования в качестве экстрагентов, в подобных процессах наибольшее распространение получили нейтральные фосфорорганические соединения (НФОС) различных типов. Также в качестве экстрагентов используются высокомолекулярные первичные, вторичные, третичные и четвертичные амины и их соли.

Наиболее современная технология – экстракционная хроматография – предлагает многообразие экстракционно-хроматографических материалов для ре-

шения аналитических задач, связанных с определением ТУЭ. В частности, для разделения и очистки плутония и америция успешно используются экстракционно-хроматографические смолы торговых марок TRU и TEVA.

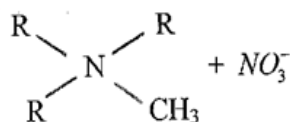
Экстрагирующая система смолы TRU представлена смесью производного оксида октилфенил-N,N-ди-изобутил карабамоил-метилфосфина (КМФО) и трибутилфосфата (ТБФ) (рисунок 5). В качестве экстрагентов при разделении ТУЭ КМФО и ТБФ могут применяться независимо друг от друга. Однако их сочетание значительно улучшает экстракционные свойства в отношении америция, а также повышает селективность экстрагента [20].



R_1, R_2, R_3, R_4 – алкильный радикал; $R_1 = R_2$; $R_3 = R_4$

Рисунок 5 – Общая структура производных КМФО (а) и структура ТБФ (б)

Экстрагирующий материал смолы TEVA представлен нитратом триалкилметил аммония – солью четверичного аммониевого основания (рисунок 6).



где $R = C_{18}H_{37}$, $R = C_{10}H_{21}$

Рисунок 6 – Общая структура четвертичной аммонийной соли

Эти экстрагенты имеют преимущества перед другими аминами. Четвертичные аммонийные соли являются более эффективными экстрагентами при разделении трехвалентных ТУЭ от лантаноидов [17].

Несмотря на то, что широкое применение этих материалов сдерживается отсутствием отечественных производителей и, как следствие, их высокой стоимостью, на наш взгляд они могут быть применены в аналитической практике.

Заключение

Разработаны методики радиохимического анализа ^{90}Sr и трансураниевых элементов – ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в объектах агробиоценоза. Все методики аттестованы и включены в перечень методик радиационного контроля, действующих на территории Республики Беларусь.

В радиологической практике при производстве массовых анализов хорошо себя зарекомендовала и активно используется до сих пор методика определения ^{90}Sr в почве и растениях без разделения в системе стронций-кальций. Для определения радионуклидов ^{90}Sr в пробах «свежих» радиоактивных выпадений удельный вес собственно радиохимических операций значительно возрастает при использовании традиционных схем очистки. Определение ^{90}Sr в таких пробах требует очистки от мешающего изотопа ^{140}Ba , что предполагает выполнение достаточно трудоемкой стадии хроматного осаждения. В такой ситуации применение экстракционно-хроматографического метода, который значительно упрощает химические операции выделения радионуклидов, может оказаться наиболее эффективным.

Методики α -спектрометрического определения ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в почвах и растениях унифицируют метод электролитического осаждения для изготовления счетных образцов с высоким энергетическим разрешением. В данных методиках оптимизированы методы радиохимической пробоподготовки и условия проведения электролиза, оказывающие решающее влияние на качество приготовления счетного образца.

Библиографический список

1. Москвин, Л.Н. Проблемы радиохимического контроля на атомных электростанциях / Л.Н. Москвин // Сборник научных трудов: Современные методы разделения и определения радиоактивных элементов. – М.: Наука, 1989. – 183 с.
2. Стронций-90 в почвах: радиохимические и инструментальные методы

- определения / А.Е. Бахур [и др.] // Научно-информационный журнал по радиационной безопасности Анри. – 2003. – № 1. – С. 20–28.
3. Развитие γ , χ -спектрометрической методики для контроля загрязненности почв ^{241}Am и Pu / А.В. Бушуев [и др.] // Препринт: МИФИ 013-96. – Москва, 1996. – 88 с.
4. Методические указания по радиационному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах внешней среды / А.Н. Марей [и др.]. – М.: Минздрав СССР, 1980. – 337 с
5. Методические указания по определению содержания стронция-90 и цезия-137 в почвах и растениях: методические указания для радиологического контроля / А.В. Кузнецов [и др.]; под ред. Л.М. Державина. – М., 1985.
6. МВИ.МН 1932-2003. Методика радиохимического определения удельной активности ^{90}Sr в почвах и растениях без разделения в системе стронций-кальций. Введ. 28.08.2003. – Мн., 2003.
7. МВИ.МН 2459-2006. Экстракционно-хроматографический метод выделения и определения активности ^{90}Sr с применением газового пропорционального счетчика в продукции растениеводства и природных водах. Введ. 14.03.06. – Мн., 2006.
8. Конопля, Е.Ф. Радиация и Чернобыль: Трансурановые элементы на территории Беларуси / Е.Ф. Конопля, В.П. Кудряшов, В.П. Миронов. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2007. – 128 с.
9. Павлоцкая, Ф.И. Основные принципы радиохимического анализа объектов природной среды и методы определения радионуклидов стронция и трансурановых элементов / Ф.И. Павлоцкая // Журнал аналитической химии. – 1997. – Т. 52. – № 2. – С. 126–143.
10. Надыкто, Б.А. Плутоний. Фундаментальные проблемы: В 2-х ч. Ч.1. / Пер. с англ. / Б.А. Надыкто, Л.Ф. Тимофеева // Саров: «РФЯЦ-ВНИИЭФ». – 2003. – С. 77-78.
11. Хэнсон, У.С. Трансурановые элементы в окружающей среде / Пер. с англ. / У.С. Хэнсон // М.: Энергоатомиздат. – 1985. – 344 с.
12. Швыдко, Н.С. Физико-химическое состояние и обмен плутония и америция в организме / Н.С. Швыдко, Н.П. Иванова, С.И. Рушоник. – М.: Энергоатомиздат. – 1987. – 144 с.
13. МВИ.МН 1892-2003. Методика определения активности стронция-90 и трансурановых элементов в биологических объектах, утв. 05.03.2003 Институт радиобиологии НАНБ, согл.30.04.2003 г. Комитет по стандартизации, метрологии и сертификации при Совете Министров РБ.
14. МВИ. МН 3621-2010. Методика альфа-спектрометрического определения ^{241}Am в почвах и растениях с предварительной радиохимической пробоподготовкой и получением счетного образца электроосаждением, утв. 08.2010 РНИУП «Институт радиологии», согл. 25.10.2010г. РУП «Белорусский государственный институт метрологии».
15. МВИ. МН 3059-2008. Методика альфа-спектрометрического определения удельной активности изотопов плутония (^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$) в почвах и растениях с получением счетного образца методом электролитического осаждения, утв. 10.2008г. РНИУП «Институт радиологии», согл. 16.12.2008г. Комитет по стандартизации Республики Беларусь.
16. Коробков, В.И. Методы приготовления препаратов и обработка результатов измерений радиоактивности / В.И. Коробков, В.Б. Лукьянов. – М.: Атомиздат, 1973. – 216 с.
17. Аналитическая химия трансплутониевых элементов / Мясоедов Б.Ф. [и др.] – М.: Наука, 1972. – 376 с.
18. Аналитическая химия плутония / М.С. Милоков [и др.] – М.: Наука. – 1965. – 455 с.
19. Перечень методик радиационного контроля, действующих на территории Республики Беларусь (по состоянию на 01.01.2010 г.). – Мн., 2010.
20. Экстракционные свойства нейтральных фосфорорганических соединений для фракционирования радиоактивных отходов / Т.А. Мاستрюкова [и др.] // Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. – 2005. – № 2. – С. 86-96.

**N.V. Dudareva, A.K. Dovnar, S.A. Tagai, A.B. Kukhtevich,
V.A. Vaskovtsova, V.A. Shumilin**

**DEVELOPMENT OF THE TECHNIQUES FOR RADIOCHEMICAL ANALYSIS OF
⁹⁰Sr AND TRANSURANIC ELEMENTS IN AGROBIOCOENOSIS OBJECTS**

The following determination techniques have been developed: «Radiochemical determination of ⁹⁰Sr specific activity in soils and plants without separation of strontium from calcium»; «Extraction and determination of ⁹⁰Sr in plant products and natural waters by the extraction-chromatographic method using a gas flow proportional counter»; «Alpha-spectrometry method for determination of specific activities of plutonium isotopes (²³⁸Pu, ^{239,240}Pu) in soils and plants using electrodeposition method for counting sample preparation»; «Alpha-spectrometry method for determination of ²⁴¹Am in soils and plants with preliminary radiochemical sample preparation and counting sample preparation by electrodeposition». All of the indicated techniques are included into the List of the Current Radiation Control Methods Applied in the Republic of Belarus.

Key words: *strontium, plutonium, americium, α-radiation, β-radiation, radiochemical analysis*

Поступила 10.03.11