

**ПРИ ПОДДЕРЖКЕ КОМИССИИ ПО РАБОТЕ С МОЛОДЕЖЬЮ  
НАУЧНОГО МЕЖВЕДОМСТВЕННОГО СОВЕТА  
ПО РАДИОХИМИИ**

**ПОДСЕКЦИЯ «РАДИОХИМИЯ»**

**Экспертный совет подсекции:**

Председатель	к.х.н., доц. Бадун Г.А.
Зам. председателя	к.х.н., доц. Алиев Р.А.
Секретарь	асп., м.н.с. Петров В.Г.
Члены совета	д.х.н., профессор Абрамов А.А. д.х.н., профессор Бекман И.Н. д.х.н. Тананаев И.Г. к.х.н., доц. Калмыков С.Н. к.х.н., ст.н.с. Пресняков И.А. к.х.н., м.н.с. Северин А.В.

Содержание

**Ионообменное разделение Ti, Zr, Hf и Th в смешанных растворах HCl/HF: модельные эксперименты по идентификации синтеза и изучению свойств резерфордия**

Аксенов Николай Викторович

**Изучение воздействия растворов уранила на люминесцентные бактерии**

Александрова Мария Александровна, Рожко Татьяна Владимировна

**Сорбция плутония на коллоидных частицах аморфного диоксида кремния в гидротермальных условиях**

Батук Дмитрий Николаевич

**Радиопротекторные свойства гликозидов токоферола и аскорбиновой кислоты**

Бринкевич Святослав Дмитриевич

**Разработка системы для автоматического определения  $^{90}\text{Sr}$  в морской воде по  $^{90}\text{Y}$**

Буткалюк Павел Сергеевич

**Эффективность регистрации сцинтилляционного детектора направленного действия**

Буткалюк Ирина Львовна

**Применение сферогранулированного хитозана и его модификаций для сорбции U(VI) из растворов**

Велешко Александр Николаевич, Румянцева Екатерина Вячеславна, Вихорева Галина Александровна, Кулюхин Сергей Алексеевич, Велешко Ирина Евгеньевна

**Поведение радионуклидов урана и радия в системе «твердая фаза почвы – почвенный поровый раствор»**

Войникова Екатерина Викторовна, Попеня Марина Викторовна

**Исследование возможности применения феррата натрия для извлечения урана из водных растворов**

Волкова Татьяна Сергеевна

**Образование нитратных комплексов нитрозорутения в азотнокислых растворах**

Кабин Евгений Владимирович

**Влияние органического вещества на подвижность радионуклидов в почве**

Козел Максим Алексеевич

**Радиационно-индуцированные гомолитические процессы разрыва C-C-связи гидроксилсодержащих органических соединений**

Конон Ирина Михайловна

**Исследование уран- и вольфрамсодержащих пирохлоров как возможных форм связывания радионуклидов**

Кузнецова Наталья Юрьевна

**Моделирование процесса выделения трития из титаната лития в условиях реакторного облучения**

Куйкабаева Айжан Амангалиевна

**Масс-спектрометрическое определение степени замещения водорода на тритий в норлейцине при обработке твердых мишеней потоком атомов трития, полученных с помощью метода термической активации**

Куненков Эраст Владимирович

**Структурные модификации 2-амино-5,6-дигидро-4H-1,3-тиазина для оптимизации его фармакокинетических характеристик**

Левцова Анастасия Андреевна

**Гидротермальные технологии для переработки концентрированных жидких радиоактивных отходов АЭС**

Майоров Виталий Юрьевич, Голуб Андрей Владимирович, Егорин Андрей Михайлович

**Очистка жидких радиоактивных отходов неорганическими сорбентами на основе минерального сырья Кольского полуострова**

Маслов Алексей Александрович

**Сравнение кинетических характеристик сорбентов марок Т-5 и Т-3А**

**По отношению к стронцию**

Мысливец Тамара Сергеевна, Головки Татьяна Владимировна

**Торий, лантаноиды и некоторые одно- и двухвалентные элементы в новых ортофосфатах со структурой минерала витлокита. Химия, строение, устойчивость**

Логинова Екатерина Евгеньевна, Оленева Татьяна Александровна

**Радиоактивный уран в наноструктурах природных минералов**

Парников Николай Григорьевич

**Исследование влияния температуры отжига на растворимость и сорбционные свойства оксидов урана**

Петров Владимир Геннадиевич

**Влияние растворов Am-241 на биолюминесцентные тестовые системы**

Рожко Татьяна Владимировна

**Закономерности сорбционного поведения ионов актинидов на коллоидных частицах гематита**

Романчук Анна Юрьевна

**Радионуклидное исследование сорбции аминокислот контактными линзами**

Самсонова Анна Михайловна

**Изучение состояния железа в базальтовых волокнах с применением эффекта Мёссбауэра**

Сёмин Владимир Андреевич

**Синтез и применение метода твердофазной экстракции для выделения O-(2'-[<sup>18</sup>F]фторэтил)-L-тирозина**

Степанова Мария Анатольевна

**Взаимодействие гидроксипатита с уранил-ионом**

Хрестенко Руслан Владимирович

**Разработка сорбционного метода извлечения изотопов цезия из проб технологических продуктов на фосфоромолибдате аммония**

Шувалова Татьяна Александровна, Логунов Михаил Васильевич

**Исследование сорбции U(VI), Ce(III) и Nd(III) почвой из района хранилища радиоактивных отходов**

Филиппов Марио Филиппов, Маслов Олег Дмитриевич, Божиков Господин Апостолов, Цэрэнпил Шурхуу, Густова Марина Владимировна, Миланов Милко Василев

**Ионообменное разделение Ti, Zr, Hf и Th в смешанных растворах HCl/HF: модельные эксперименты по идентификации синтеза и изучению свойств резерфордия<sup>1</sup>****Аксенов Николай Викторович**

Лаборатория Ядерных Реакций им. Г.Н. Флерова,  
Объединенный Институт Ядерных Исследований, Дубна, 141980, Россия  
E-mail: nikolay.aksenov@jinr.ru

Химическая идентификация изотопов трансактинидных элементов, образующихся в результате распада новых сверхтяжелых элементов, является независимым подтверждением открытия последних. Синтезированные в ЛЯР ОИЯИ (Дубна, Россия) новые изотопы <sup>283</sup>112, <sup>287</sup>114 и <sup>291</sup>116 испытывали несколько последовательных  $\alpha$ -распадов, приводящих в отдельных случаях к образованию нового долгоживущего изотопа <sup>267</sup>Rf ( $T_{1/2} \sim 1$  ч) [1]. Впервые эксперименты по химической идентификации Db, конечного продукта распада нового 115 элемента, были проведены нами ранее в 2004 [2, 3] и 2005 [4]. Целью данного исследования являлась разработка методики селективного выделения фракции Rf из продуктов ядерных реакций с последующим разделением элементов 4 группы для изучения химических свойств Rf.

В работе использовались радионуклиды <sup>87m</sup>Sr, <sup>88</sup>Zr, <sup>175</sup>Hf, <sup>44</sup>Ti, <sup>234</sup>Th и <sup>172</sup>Lu, которые получали аналогично [5-7]. Коэффициенты распределения на катионообменных и анионообменных смолах в растворах HCl/HF определяли статическим методом, используя стандартную процедуру. Используя значения констант устойчивости фторидных комплексов и констант гидролиза, полученные в экспериментах по электромиграции [8], мы определили области существования различных химических форм Zr, Hf и Th в растворах HF, HCl, HNO<sub>3</sub>, HCl/HF, HNO<sub>3</sub>/HF с помощью программы "Speciation" The IUPAC Stability Constants Database (IUPAC and Academic Software). На основании полученных коэффициентов распределения и проведенных расчетов были определены условия для отделения элементов 4 группы от стронция, химического аналога нобелия (возможный продукт распада <sup>267</sup>Rf) и лютеция (гомолог трехвалентных актинидов) и показана возможность для поэлементного разделения элементов 4 группы. Селективное разделение Zr, Hf, Ti и Th с высокой эффективностью выделения (>95%) достигнуто при использовании катионообменной хроматографии в растворах HF при молярной концентрации выше  $5 \cdot 10^{-4}$  в присутствии 0,2 М HCl. Порядок элюирования элементов происходил в соответствии с уменьшением стабильности фторидных комплексов. Использование данной методики в экспериментах с Rf позволит не только надежно идентифицировать его новый изотоп, но и дать оценку устойчивости его фторидных комплексов в сравнении с другими элементами 4 группы.

**Литература**

1. Yu. Oganessian, J. Phys. G.: Nucl. Part. Phys. 34, R165-R242 (2007).
2. S. N. Dmitriev et al., Mendeleev Communications. 15, 1, 1-4 (2005).
3. D. Schumann et al., Radiochim. Acta. 93, 727-732, (2005).
4. N. J. Stoyer et al. Nucl. Phys. A 787, 388-395, (2007).
5. N.V. Aksenov et al. Radiochemistry, in press (2008).
6. N.V. Aksenov et al. J. Radioanal. Nucl. Chem., in press (2008).
7. D. Filosofov et al. Radiochim. Acta, to be submitted (2008).
8. P.I. Ivanov et al. FLNR Scientific Report 2003-2004, Heavy Ion Physics, A.G. Popeko (ed.), JINR, Dubna, 137, 139 (2006).

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты №№ 04-03-32047 и 07-03-00430)

**Изучение воздействия растворов уранила на люминесцентные бактерии***Александрова Мария Александровна, Рожко Татьяна Владимировна**Сибирский Федеральный Университет, физический факультет, Красноярск, Россия**E-mail: maka-alexandrova@rambler.ru*

Выявление закономерностей воздействия малых доз  $\alpha$ -радиоактивных нуклидов на простейшие организмы является в настоящее время перспективным направлением исследований. Одним из наиболее распространенных в природе радионуклидов является уран, который характеризуется низкой удельной активностью. Представляет интерес сравнение воздействия урана с радионуклидами высокой активности и стабильными металлами. Это даст возможность выявить, с какими свойствами урана связано его воздействие на организмы – химическими или радиационными. Применение для этих целей морских люминесцентных бактерий в настоящее время является наиболее перспективным. Люминесцентные биотесты характеризуются простотой, высокой скоростью анализа (1-3 минуты), относительно низкой ценой, удобством регистрации физиологической функции организма - люминесценции. Благодаря перечисленным преимуществам, люминесцентные биотесты, основанные на морских бактериях, уже больше 30 лет используются для мониторинга химической токсичности среды. Их применение для мониторинга радиационной токсичности является новым направлением в люминесцентном биотестировании.

Исследовано влияние  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  на биолюминесценцию морских бактерий *P. Phosphoreum*. Бактерии выдерживали в растворах уранила различных концентраций ( $10^{-3}\text{M}$ ,  $10^{-4}\text{M}$ ,  $10^{-5}\text{M}$ ,  $10^{-7}\text{M}$ ,  $10^{-9}\text{M}$ ,  $10^{-11}\text{M}$ ). Через определенные промежутки времени (от 0,5 часа в начале эксперимента до 6 - 10 часов к концу эксперимента) отбирали пробы, измеряли интенсивность биолюминесценции в радиоактивном и контрольном образцах. Получены зависимости относительной интенсивности биолюминесценции от времени воздействия урана. Выявлено, что только высокие концентрации  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  ( $10^{-3}$ - $10^{-5}\text{M}$ ) заметно ингибируют биолюминесценцию.

В работе (Rozhko, 2007) аналогичные эксперименты проведены с раствором  $^{241}\text{Am}(\text{NO}_3)_3$ . Было показано, что на начальных этапах воздействия (до 40 часов) наблюдается активация биолюминесценции (до 400%), а при дальнейшем воздействии - ингибирование биолюминесценции.

Показано, что эффект урана проявляется при более высоких концентрациях, чем америция: более  $10^{-5}\text{M}$  (30Бк/л) и более  $10^{-11}\text{M}$  (300Бк/л) соответственно.

Сравнили воздействие нитрата уранила с нитратом европия в качестве стабильного аналога. Установлено, что параметры, характеризующие воздействие нитратов уранила и америция, сходны. Сделан вывод, что воздействие  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  на биолюминесценцию бактерий, обусловлено химическими свойствами, а воздействие  $^{241}\text{Am}^{3+}$  вызвано преимущественно радиационной активностью.

Таким образом, показано, что воздействие на морские бактерии радионуклида низкой удельной активности проявляется при его высоких концентрациях (больше  $10^{-5}\text{M}$ ) и характеризуется отсутствием начального периода активации свечения. Сравнение с эффектами стабильного элемента (европия) и радионуклида высокой удельной активности (америция) указывает на то, что эффект урана определяется его химической активностью, а не радиационной.

**Литература**

1. Rozhko T. V., Kudryasheva N.S., Kuznetsov A.M., Vydryakova G.A., Bondareva L.G. and Bolsunovsky A.Ya.. Effect of low-level  $\alpha$ -radiation on bioluminescent assay systems of various complexity//Photochem. Photobiol. Sci., 2007, V.6, p.67-70.

**Сорбция плутония на коллоидных частицах  
аморфного диоксида кремния в гидротермальных условиях<sup>1</sup>****Батук Дмитрий Николаевич***Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия**E-mail: dmitry@radio.chem.msu.ru*

При проектировании подземных хранилищ радиоактивных отходов необходимо построение долгосрочных прогнозов миграции радионуклидов в окружающую среду. Подвижность тех или иных радионуклидов определяется физико-химической формой, в которой находятся радионуклиды, и сорбционными процессами на минеральных породах, вмещающих хранилище. Одной из основных пород является кварц, который в условиях хранилищ радиоактивных отходов может переходить из кристаллического состояния в аморфное. При этом могут образовываться частицы нанометрового размера, которые способны сорбировать катионы, и тем самым увеличивать их подвижность.

Целью работы является исследование взаимодействия Pu, находящегося в различных степенях окисления, со сферическими частицами диоксида кремния.

В работе были подобраны условия синтеза микросфер диоксида кремния по реакции Штобера (реакции гидролиза тетраэтоксисилана аммиаком в водно-спиртовой среде) с узким распределением частиц по размерам. В результате были получены частицы со средним размером 122 нм, которые были образованы первичными наночастицами с размером около 13 нм. Полученная суспензия была отчищена от спирта и аммиака методом диализа.

Эксперименты по взаимодействию плутония с SiO<sub>2</sub> проводили при температуре 70 С, с использованием воды, моделирующей подземные воды, присутствующие в хранилищах радиоактивных отходов: I = 0,12 М (NaNO<sub>3</sub>), pH = 7,7, Eh = 580 мВ. Эксперимент проводили при различных общих концентрациях плутония, равных 1·10<sup>-5</sup>, 1·10<sup>-7</sup>, 1·10<sup>-10</sup> М, причем в каждом случае плутоний вводился в суспензию в пятивалентной форме.

Установлено, что в системе с низким содержанием плутония происходит его сорбция плутония в течение нескольких дней. Методом РФЭС показано, что процесс сорбции сопровождается восстановлением Pu(V) до Pu(IV), что сопровождается его количественной сорбцией при всех концентрациях.

В работе было установлено, что в процессе эксперимента наблюдалось растворение частиц диоксида кремния (равновесная концентрация кремния составила величину около 10<sup>-3</sup> М). По результатам ПЭМ суспензии наблюдается деградация коллоидов в процессе эксперимента, видно, что они образованы первичными наночастицами размером 12-18 нм. Анализ суспензии из эксперимента с общим содержанием плутония 10<sup>-5</sup> М методом малоуглового рентгеновского рассеяния показал, что в процессе сорбции Pu(IV) образует наночастицы размером 1,6 нм.

<sup>1</sup> Работа поддержана Федеральным Агентством по Науке и Инновациям (госконтракт 02.516.11.6138).

## Радиопротекторные свойства гликозидов токоферола и аскорбиновой кислоты

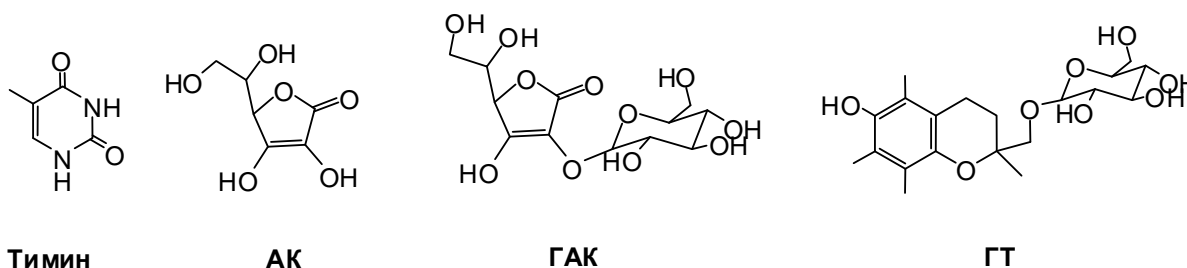
Бринкевич Святослав Дмитриевич

Белорусский государственный университет, химический факультет, Минск, Беларусь

E-mail: slavachemist@tut.by

Повреждающее действие ионизирующего излучения на организм во многом обусловлено взаимодействием продуктов радиолиза воды с молекулами ДНК. Главная роль в этом процессе принадлежит высокореакционным ОН-радикалам, которые преимущественно реагируют с азотистыми основаниями нуклеиновых кислот [1]. Протекание вышеуказанных процессов при облучении раковых клеток вызывает их гибель, что во многом определяет формирование необходимого радиотерапевтического эффекта. Однако использование радиотерапии в онкологии осложняется необходимостью устранения побочных эффектов, вызванных повреждением здоровых клеток. Это обстоятельство делает актуальным поиск веществ, которые бы преимущественно локализовывались в здоровых клетках и защищали их от радиационного воздействия [2].

В последнее время гликозид аскорбиновой кислоты (ГАК) и гликозид токоферола (ГТ) стали рассматриваться, как средства способные снизить побочные эффекты радиотерапии при сохранении необходимого терапевтического эффекта [3]. В данной работе нами было изучено защитное действие ГТ, аскорбиновой кислоты (АК) и ее гликозида на радиационно- и  $H_2O_2$ -индуцированное разложение тимина в водных растворах. Продукты свободнорадикальных превращений тимина и добавок анализировались методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на Shimadzu – LC 10 A.



В результате выполнения работы установлено, что ГАК значительно превосходит ГТ и АК по способности подавлять разложение тимина в водных растворах, индуцированное  $\gamma$ -излучением и термолизом  $H_2O_2$ . Показано, что АК способна увеличивать  $H_2O_2$ -индуцированный распад тимина. Дано объяснение наблюдаемым эффектам, основанное на различии в свойствах радикал-аддуктов, образующихся при присоединении ОН-радикалов к АК и ГАК.

## Литература

1. Von Sonntag C. The Chemical Bases of Radiation Biology. (1987) Taylor & Francis: London.
2. Nair C.K., Parida D.K., Nomura T. Radioprotectors in radiotherapy, *J. Radiat. Res.*, 42 (2001) 21.
3. Mathew D., Nair C.K., Jacob J., Biswas N., Mukherjee T., Kapoor S., Kagiya T., Ascorbic acid monoglucoside as antioxidant and radioprotector, *J. Radiat. Res.*, 48 (2007) 369.

Разработка системы для автоматического определения  $^{90}\text{Sr}$  в морской воде по  $^{90}\text{Y}$ 

Буткалюк Павел Сергеевич

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: Y90@list.ru

Целью данной работы было создание системы для автоматического определения  $^{90}\text{Sr}$  в морской воде по черенковскому излучению его дочернего изотопа  $^{90}\text{Y}$ .

В качестве метода концентрирования  $^{90}\text{Y}$ , позволяющего отделить его от других высокоэнергетических  $\beta$ -излучателей, было предложено использовать извлечение иттрия труднорастворимыми соединениями РЗЭ.

В данной работе было исследовано извлечение иттрия (III) из растворов препаратами  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{YF}_3$ ,  $\text{LaF}_3$  и  $\text{CeF}_3$ . Измерена кинетика извлечения, определены зависимости извлечения от ионной силы и pH раствора.

Было установлено, что зависимость степени извлечения иттрия (III) из раствора  $\text{Y}(\text{NO}_3)_3$  на  $\text{Y}_2\text{O}_3$  понижается с увеличением его концентрации. Для  $\text{YF}_3$ ,  $\text{LaF}_3$  и  $\text{CeF}_3$  извлечение иттрия почти количественное и не зависит от концентрации иттрия в диапазоне  $10^{-9} \div 10^{-5}$  М. Извлечение иттрия (III) на всех исследуемых образцах не зависит от ионной силы раствора в диапазоне концентрации электролита  $0,01 \div 1$  М. Для  $\text{YF}_3$ ,  $\text{LaF}_3$  и  $\text{CeF}_3$  не наблюдалось зависимости степени извлечения от pH в интервале  $3 \div 7$ . Для  $\text{Y}_2\text{O}_3$  при понижении pH степень извлечения иттрия резко падает, что может быть связано с изменением структуры поверхности (заметного растворения оксида иттрия при  $\text{pH} \geq 4,5$  не наблюдалось) или с изменением формы иттрия (III) в растворе, так как график степени извлечения повторяет график содержания  $\text{YOH}^{2+}$  в растворе.

Полученные данные по кинетике извлечения иттрия позволяют предположить, что извлечение иттрия происходит по механизму ионного ( $\text{LaF}_3$  и  $\text{CeF}_3$ ) или изотопного ( $\text{Y}_2\text{O}_3$  и  $\text{YF}_3$ ) обмена с предварительной адсорбцией на поверхности.

Основными радионуклидами, способными помешать определению  $^{90}\text{Y}$  в морской воде являются  $^{40}\text{K}$  и  $^{210}\text{Bi}$ . В ходе работы было установлено, что извлечение ионов калия при концентрациях  $0,01 \div 1$  М не происходит. Также не происходит извлечение стронция. Зато ионы висмута (III) при концентрациях, соответствующих природным ( $\sim 10^{-9}$  М), извлекаются количественно и необратимо. В связи с этим было предложено предварительно извлекать висмут путем концентрирования его на  $\text{PbS}$ . Проведенные эксперименты показали, что ионы висмута количественно извлекаются сульфидом свинца, в то время как извлечения иттрия не происходит.

Экспериментально было найдено, что для измерения  $^{90}\text{Y}$  по черенковскому излучению не требуется его десорбция с исследуемых препаратов, и была найдена эффективность регистрации  $^{90}\text{Y}$  в колонках, заполненных исследуемыми препаратами.

На основе полученных данных был сделан вывод о возможности создания устройства для автоматического измерения концентрации  $^{90}\text{Y}$  в морской воде. Разработана принципиальная схема такого устройства, рассчитаны его параметры (минимально определяемая активность, требуемая скорость потока морской воды, эффективность регистрации, ресурс работы).



**Эффективность регистрации сцинтилляционного детектора направленного действия**

**Буткалюк Ирина Львовна**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: Butkaluk-I-L@yandex.ru*

В настоящее время детекторы рентгеновского и гамма-излучения находят применение для различного рода прикладных нужд: борьбы с контрабандой, предотвращение террористических актов с использованием радиоактивных веществ и поиск утерянных источников ионизирующего излучения.

Целью данной работы являлся теоретический анализ возможности создания портативного детектора направленного действия на основе системы из кристаллов ортогерманата висмута (BGO). Подобного рода детектор может служить для обнаружения источников гамма-излучения в автотранспорте, зданиях, на местности и т.д.

Для теоретического анализа выбраны две различные схемы предполагаемого детектора:

- 1) два кристалла сцинтиллятора цилиндрической формы с общей осью (один внутри другого);
- 2) цилиндрический кристалл сцинтиллятора, окруженный шестью такими же цилиндрами.

Для проведения расчетов была написана программа, рассчитывающая площади пиков полного поглощения энергии (методом Монте-Карло) в каждом из кристаллов при заданной геометрии детектора, координатах, активности источника и энергии излучения. Данная программа выгодно отличается от существующих коммерческих программных пакетов, проводящих расчеты взаимодействия различных видов излучения с веществом, тем что, будучи очень узко специализированной, занимает меньше места в оперативной памяти ПК и имеет простой интерфейс.

Расчеты проводилось для точечных источников с энергией излучения 661 кэВ, соответствующей излучению  $^{137}\text{Cs}$ - $^{137\text{m}}\text{Ba}$ . Были проанализированы достоинства и недостатки обеих схем.

**Применение сферогранулированного хитозана и его модификаций для сорбции U(VI) из растворов**

**Велешко Александр Николаевич<sup>1</sup>, Румянцева Екатерина Вячеславна<sup>2</sup>,  
Вихорева Галина Александровна<sup>2</sup>, Кулюхин Сергей Алексеевич<sup>1</sup>,  
Велешко Ирина Евгеньевна<sup>3</sup>**

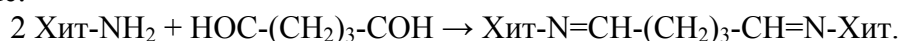
<sup>1</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фрумкина РАН, Россия, Москва

<sup>2</sup>Московский Государственный Текстильный Университет им. А.Н.Косыгина, Россия,  
Москва

<sup>3</sup> ФГУ РНЦ "Курчатовский институт", Россия, Москва

В последние десятилетия наблюдается неуклонный рост использования хитина, хитозана и их производных, что обусловлено практически неисчерпаемыми запасами и уникальными свойствами этих природных биополимеров: биосовместимость и биоразрушаемость до безопасного для организма человека и живой природы веществ, иммуномоделирующее, противомикробное, противоопухолевое действие, способность сорбировать ионы тяжелых металлов, защита от вредных излучений.

Ранее нами предложен и описан способ получения монодисперсных сферогранулированных сорбентов на основе хитозана, обладающих аморфизованной структурой и повышенной сорбционной активностью. Кроме того, получены образцы, модифицированные сшивкой. В качестве сшивающего реагента использован глутаровый альдегид, образующий с аминогруппами хитозана азометиновые связи и сшивки по схеме:



Структура и сорбционная способность сорбентов охарактеризованы с использованием элементного, рентгеноструктурного и электронномикроскопического анализов и радиометрии.

Полученные образцы сферогранулированных сорбентов – сшитые и несшитые свежеформованные, а также высушенные гранулы – были испытаны по отношению к природному урану <sup>238</sup>U, <sup>241</sup>Am и <sup>90</sup>Sr. Эксперименты по сорбции урана проводили из растворов UO<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> с концентрацией U (VI) 0,76 – 1400 мг/л, кислотность раствора поддерживали на уровне pH ~ 5,0-5,1. Установлено, что U (VI) хорошо сорбируется на свежеформованных гранулах во всем исследованном диапазоне концентраций U (VI) в растворе. Кинетическое равновесие достигается за 40 минут. Скорость процесса сорбции, рассчитанная по начальному участку кинетической кривой, составляет 1,85·10<sup>-7</sup> моль/л·с. Значения K<sub>d</sub> оказались достаточно высокими и составили 10<sup>3</sup> мл/г и более во всем исследованном диапазоне концентраций урана в растворе, при этом степень извлечения U (VI) достигала 95%. Рассчитанная величина сорбции при концентрации урана в растворе 1400 мг/л составляла ~ 175 мг/г сухого сорбента.

В ходе проведенных исследований на сшитом и несшитом сорбентах существенных различий в кинетических параметрах процесса сорбции U (VI), значениях степени извлечения и коэффициентах распределения обнаружено не было.

Помимо этого было проведено испытание сорбционных свойств высушенного сферогранулированного сорбента по отношению к <sup>241</sup>Am и <sup>90</sup>Sr. К сожалению, сорбент оказался мало эффективным по отношению к этим долгоживущим радионуклидам. Причина отличия в сорбционном поведении свежеформованных и высушенных гранул, по-видимому, заключается в необратимости внутримолекулярных перестроек и усилении межмолекулярных связей в процессе высушивания, недостаточной степени набухания гранул и содержания в них воды.

**Поведение радионуклидов урана и радия в системе «твердая фаза почвы – почвенный поровый раствор»<sup>1</sup>****Войникова Екатерина Викторовна, Попеня Марина Викторовна<sup>2</sup>***Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь**E-mail: grehem@mail.ru*

Важнейшими элементами, оказывающими существенное влияние на перераспределение радионуклидов в биосфере, являются почва и природные воды. При миграции радионуклидов из почвы в грунтовые воды и из почвы в растительность определяющую роль играют радионуклиды, накапливающиеся в почвенных поровых водах.

Цель настоящей работы заключалась в оценке миграционной способности радионуклидов U и Ra в почвенной среде по результатам изучения распределения радионуклидов в системе «твердая фаза почвы – почвенный поровый раствор» — важнейшем звене геохимической и биологической миграции химических элементов.

Объектами исследования служили образцы (0 – 10)-см слоев почв, отобранные на территории юго-восточной части Республики Беларусь, на участках, не относящихся к зоне загрязнения радионуклидами чернобыльского выброса. Поровые растворы были получены методом высокоскоростного центрифугирования почвенных образцов, находящихся в состоянии полного водонасыщения. Содержание  $\alpha$ -излучающих радионуклидов U и Ra в образцах почв и почвенных растворов определено методами радиохимического анализа с  $\alpha$ -спектрометрической идентификацией анализируемых радионуклидов.

В ходе исследования установлено, что в подавляющем большинстве случаев удельная активность поровых растворов по  $^{238}\text{U}$  (0,01 – 0,07 Бк/кг) заметно выше, чем по  $^{226}\text{Ra}$  (0,002 – 0,02 Бк/кг), даже тогда, когда активность Ra в почвах, из которых выделены растворы, выше, чем U. На основании полученных данных оценены коэффициенты распределения радионуклидов между твердой фазой и поровыми растворами почв, представляющие собой отношения удельных активностей соответствующих фаз по анализируемым радионуклидам.

Результаты исследования позволили оценить запас радиоактивных элементов в почвах в миграционноактивных формах и сопоставить миграционную способность радионуклидов в почвенных средах. Показано, что практически во всех дерново-подзолистых песчаных почвах доля U в поровых растворах (0,06 – 0,25 % от содержания в почве) превосходит соответствующую долю Ra (0,01 – 0,05 %). Величина межфазного коэффициента распределения для U (160 – 540), наоборот, меньше, чем для Ra (500 – 7 100), что указывает на более высокую подвижность урана в рассматриваемых почвах.

Выявлена прямая связь между содержанием в почвенных растворах компонентов гумусовых веществ и накоплением в них урана. Установлено, что с увеличением доли органических компонентов в поровых растворах почв увеличивается и доля урана, содержащегося в этих растворах. Такое влияние, скорее всего, обусловлено высокой склонностью урана к образованию комплексных соединений с органическими компонентами почв, причем наиболее подвижных — с органическими компонентами почвенных растворов. Связь между содержанием радия и органических компонентов в почвенных поровых растворах не обнаружена. Это можно объяснить принадлежностью радия к группе щелочноземельных элементов, для которых не характерно образование комплексных соединений с органическими составляющими почвенного комплекса.

Полученные данные использованы для оценки запаса радионуклидов урана и радия в почвах в миграционноактивных формах и сопоставления миграционной способности радионуклидов при поступлении в грунтовые воды, служащие источниками питьевого водоснабжения.

**Исследование возможности применения феррата натрия для извлечения урана из водных растворов****Волкова Татьяна Сергеевна<sup>1</sup>***Озерский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО «МИФИ», Озерск, Россия**E-mail: conf@him.oti.ru*

В процессе производственной деятельности предприятий ядерного топливного цикла непрерывно образуются радиоактивные отходы (РАО). Они являются источниками долговременной опасности для биосферы. Поэтому будущее развитие ядерной энергетики закономерно связывают с решением проблемы РАО.

Применяемая в настоящее время осадительная технология очистки сточных вод коагуляцией с использованием солей железа (III) и щелочи является достаточно эффективной, но не предполагает очистку от синтетических ПАВ и неорганических моющих веществ.

Новым и весьма перспективным коагулянтом является феррат натрия, обладающий многофункциональным действием. Ферраты (VI) являются одними из наиболее мощных известных окислителей и способны разлагать многие токсичные химические вещества до малотоксичных продуктов (окисляющее действие). Продуктом разложения самих ферратов в растворе является гидроксид железа, который выделяется в виде коллоидных агрегатов с очень развитой поверхностью, эффективно адсорбируя ионы тяжелых металлов, частицы суспензий и органические остатки, обеспечивая дополнительную очистку воды.

Основываясь на теории статического осаждения и соосаждения ионов, нами были проведены лабораторные испытания ферроксина - феррата натрия, предоставленного фирмой «ЭКРОС» в качестве реагента для извлечения альфа-излучающих радионуклидов, на примере урана, из водных растворов. Исследования проводились на модельных и реальных растворах РАО в зависимости от условий осаждения: pH исходного раствора, концентрации собственных ионов, массы коллектора, времени выдержки, присутствия гидрокарбоната натрия и др.

Результаты эксперимента сопоставлены с данными термодинамического расчета форм состояния урана (VI) в системе “ $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 - \text{NaHCO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ ” в широком диапазоне pH.

Проведенные исследования показали, что процесс соосаждения радионуклидов с оксигидратными коллекторами представляет собой очень сложное явление. В каждой конкретной системе процесс реализуется по различным механизмам в зависимости от состояния микро- и макроэлементов в растворе, pH раствора и других факторов.

Установлено, что наиболее эффективно уран соосаждается при pH исходных растворов от 5 до 7, когда он находится преимущественно в виде нейтральных гидроксокомплексов  $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ . Выявлено, что pH среды является главным фактором, определяющим эффективность извлечения микроколичеств урана из раствора.

Показано, что использование феррата натрия, вероятно, позволит устранить главные недостатки коагуляции солями железа (III): увеличение объема отходов и очистку от ПАВ.

Результаты, полученные на реальных РАО, позволяют считать феррат натрия перспективным реагентом в качестве средства для очистки радиоактивных сточных вод от альфа-излучающих нуклидов.

---

<sup>1</sup> Автор выражает признательность зав. кафедрой ОТИ МИФИ, канд. хим. наук, доценту Медведеву В.П. за помощь в подготовке тезисов.

Образование нитратных комплексов нитрозорутения в азотнокислых растворах<sup>1</sup>Кабин Евгений Владимирович<sup>2</sup>

Новосибирский государственный университет,

Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: John\_Kabin@ngs.ru

Рутений является одним из макрокомпонентов отходов переработки облученного ядерного топлива (ОЯТ), его содержание в различных типах отходов колеблется от 0,7 до 29,4 г/л. Состояние рутения в азотнокислых растворах ОЯТ и поиск путей его выделения из таких растворов - проблема, сохраняющая свою актуальность на протяжении пяти последних десятилетий. В настоящее время установлено, что подавляющая часть рутения в таких растворах находится в виде нитрозонитрато- и нитрозонитронитратокомплексов. Однако практически во всех работах идентификация комплексов рутения в таких растворах была проведена косвенными методами (хроматография, экстракция и др.). Попытки выделения комплексов из таких растворов приводят к рентгеноаморфным фазам, что может быть связано с полимеризацией нитратоаквакомплексов посредством мостиковых ОН-групп.

Современные физические методы, такие как метод ЯМР, позволяющий наблюдать за системой *in situ*, без разделения и выделения комплексов, предоставляют новые возможности для исследования состава растворов. Переход к модельным соединениям, содержащим прочно связанный с рутением аммиак взамен координированных молекул воды, мог бы позволить избежать полимеризации комплексов и выделить нитрозонитратные соединения рутения в индивидуальном состоянии.

Одной из целей нашей работы являлось исследование процесса разрушения нитритных комплексов рутения в азотнокислых растворах методом ЯМР, установление доминирующих комплексных форм и оценка кинетических и термодинамических параметров реакции вхождения нитрат-иона во внутреннюю сферу нитрозорутения. Второй целью был синтез и установление структурных характеристик модельных нитратоаммиокомплексов нитрозорутения, образующихся в крепких азотнокислых растворах, что даст возможность судить о способах координации нитрат-иона к рутению в растворах ОЯТ, геометрии образующихся комплексов и их константах устойчивости.

\*\*\*

Методом ЯМР <sup>15</sup>N исследованы 0,1 М растворы Na<sub>2</sub>[Ru<sup>15</sup>NO(<sup>15</sup>NO<sub>2</sub>)<sub>4</sub>OH] в водном растворе H<sup>15</sup>NO<sub>3</sub>. Установлено, что доминирующими формами рутения в нитритно-нитратных азотнокислых растворах являются [RuNO(NO<sub>2</sub>)<sub>4</sub>(H<sub>2</sub>O)]<sup>-</sup> (C<sup>o</sup><sub>HNO<sub>3</sub></sub> ~ 0,1 М), [RuNO(NO<sub>2</sub>)<sub>3</sub>(μ-OH)]<sub>2</sub><sup>2-</sup> (C<sup>o</sup><sub>HNO<sub>3</sub></sub> ~ 0,15 - 0,3 М), *гран*-[RuNO(NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>3</sub>]<sup>+</sup> (C<sup>o</sup><sub>HNO<sub>3</sub></sub> > 0,3 М) и [RuNO(NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>]<sup>0</sup> (C<sup>o</sup><sub>HNO<sub>3</sub></sub> > 0,7 М). Локальное равновесие между двумя последними формами устанавливается быстро (не более 2 ч), оценка константы устойчивости [RuNO(NO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>]<sup>0</sup> по нитрат-иону дает величину 0,35 ± 0,03.

Взаимодействием амино- и нитроаммиокомплексов нитрозорутения с азотной кислотой в различных условиях впервые получены комплексы нитрозорутения, содержащие во внутренней сфере координированный нитрат: *транс*-[RuNO(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>](NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, *транс*-[RuNO(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]NO<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O, *гран*-[RuNO(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>]. Обнаружено, что наличие хлорид-ионов в разбавленных азотнокислых растворах нитрозокомплексов рутения препятствует координации нитрат-иона. Обработка [RuNO(NH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(NO<sub>2</sub>)OH]Cl 3 М HNO<sub>3</sub> приводит к образованию [RuNO(NH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>O)Cl](NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Полученные соединения исследованы методами РСА, РФА, ИК и ЯМР-спектроскопии.

<sup>1</sup> Тезисы доклада основаны на материалах исследований, проведенных при поддержке ОХНМ РАН (проект 102-59-06).

<sup>2</sup> Автор выражает благодарность доценту, к.х.н. Емельянову В.А. за помощь в подготовке тезисов.

**Влияние органического вещества на подвижность радионуклидов в почве****Козел Максим Алексеевич**

*Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – “Сосны” НАНБ,  
Минск, Республика Беларусь  
E-mail: max\_kozel@rambler.ru*

Долговременное прогнозирование миграции радионуклидов попавших в почвенный покров невозможно без информации о влиянии органического вещества на их подвижность.

Органическое вещество почвы очень разнообразно по составу. Общий результат влияния почвенного органического вещества на миграцию радионуклидов зависит от природы его взаимодействия с отдельными компонентами органического вещества и может проявляться различным образом в зависимости от физико-химической природы радионуклида и типа почвы. Определяющими здесь являются свойства почвенного органического вещества: способность адсорбировать радионуклиды, способность образовывать растворимые комплексные соединения, способность взаимодействовать с минеральными частицами [1].

В структуре гумусовых кислот присутствует множество кислородсодержащих функциональных групп: карбоксильные группы, фенольные и спиртовые гидроксилы, карбонильные группы, хиноидные, лактонные и эфирные группировки. Ионообменные свойства гумусовых кислот обусловлены присутствием карбоксильных групп и фенолгидроксильных групп. Также главная роль в комплексообразовательных реакциях между органическим веществом почв и ионами металлов принадлежит этим группам [2].

Взаимодействие радионуклидов с органическим веществом почвы влияет на миграционную активность радионуклидов. Этот эффект является двойным. С одной стороны, высокомолекулярные слаборастворимые гуминовые кислоты увеличивают поглощение радионуклидов почвами, которое сопровождается уменьшением подвижности в гумусовом горизонте почвы. С другой стороны, органические вещества с низкой молекулярной массой способствуют переходу радионуклидов к подвижному состоянию вследствие образования растворимых сложных структур [3].

В ряде работ [4, 5] показано, что органическое вещество оказывает существенное влияние на миграционную способность  $^{90}\text{Sr}$ , в отличие от  $^{137}\text{Cs}$ , где его роль намного меньше. Высокая подвижность  $^{90}\text{Sr}$  связана с формированием комплексных соединений с фульвокислотами и низкомолекулярными компонентами индивидуальной природы. Меньшая миграционная способность  $^{137}\text{Cs}$  вызвана связью с менее подвижной частью гуминовых кислот, гуминами, комплексными соединениями органического вещества с полуторными гидроксидами металлов и глинистыми минералами.

**Литература**

1. Прохоров В.М. (1981) Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. Физико-химические механизмы и моделирование / Под ред. Р.М. Алексахина. М.: Энергоиздат, 1981. – 98 с.
2. Орлов Д.С. (1992) Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1992. – 400 с.
3. Агапкина Г.И., Тихомиров Ф.А. (1991) Органические соединения радионуклидов в почвенных растворах и их роль в поступлении элементов в растения // Экология, 1991, №6, С. 22-28.
4. Одинцов А.А., Пазухин Э.М., Саженок А.Д. (2005) Распределение  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{244}\text{Cm}$  по компонентам природных органических веществ почв ближней зоны отчуждения ЧАЭС // Радиохимия, 2005, том 47, №1, С. 91-96.
5. Генералова В.А., Оношко М.П. (2006) Роль гумусовых кислот в миграции радиостронция и радиоцезия в отложениях р. Сож // Радиохимия, 2006, том 48, №1, С.92-96.

**Радиационно-индуцированные гомолитические процессы разрыва С-С-связи гидроксилсодержащих органических соединений****Конон Ирина Михайловна***Белорусский государственный университет, химический факультет, Минск, Беларусь**E-mail: iriska\_13@yahoo.co.uk*

Гомолитические процессы разрыва углерод-углеродной связи могут приводить к необратимой деструкции таких биологически важных соединений как углеводы, липиды, стероиды и др. Однако закономерности протекания такого рода процессов, в отличие от процессов перекисного окисления липидов [1] и свободнорадикальной фрагментации, протекающей без изменения углеродного скелета [2], изучены в значительно меньшей степени. Это не позволяет прогнозировать возможность протекания данных процессов в биосистемах, и тем более предложить способы управления этими процессами. При этом в некоторых биологических системах реакция гидроксирования предшествует деструкции по С-С-связи.

В данной работе изучалось влияние ввода дополнительной гидроксильной группы на вероятность процесса разрыва С-С-связи в соединениях, моделирующих участки биологически важных молекул, на примере водных растворов бутанола-2 и бутандиола-2,3.

В качестве инициатора свободнорадикальных процессов использовали  $\gamma$ -излучение изотопа  $^{60}\text{Co}$  с мощностью дозы 0,53 Гр/с.

Показано, что наличие гидроксильных групп у соседних атомов углерода (бутандиол-2,3) способствует образованию продуктов деструкции по С-С-связи. Установлено, что в дезаэрированных растворах образование продуктов деструкции исходных соединений происходит за счет двойного  $\beta$ -расщепления образующихся О-центрированных радикалов. В присутствии кислорода процесс деструкции по С-С-связи более выражен вследствие того, что появляются дополнительные возможности для реализации разрыва углерод-углеродной связи.

Квантово-механические расчеты (использовался DFT-метод (RO)B3LYP 6-311++G(2d,2p)//6-31G(d), программа PC GAMESS, версия 6.4 [3]) в бутаноле-2 и бутандиоле-2,3 подтверждают снижение энергии разрыва С-С-связи при введении дополнительной гидроксильной группы. Энергия разрыва С-С-связи в бутаноле составила 76,0 ккал/моль, в бутандиоле-2,3 – 72,8 ккал/моль.

Полученные данные свидетельствуют о драматических последствиях реализации гомолитического расщепления С-С-связи в биологически важных молекулах при действии на них ионизирующих излучений и радикальных агентов.

**Литература**

1. Halliwell B., Gutteridge J.M.C. Free radicals in biology and medicine. Oxford: University press, 2007.
2. Петряев Е.П., Шадыро О.И. Радиационная химия бифункциональных соединений. Мн: Университетское, 1986.
3. Granovsky, A. A. <http://classic.chem.msu.su/gran/gamess/index.html>.

**Исследование уран- и вольфрамсодержащих пирохлоров как возможных форм связывания радионуклидов****Кузнецова Наталья Юрьевна<sup>1</sup>***Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия**E-mail: cum-grano-salis@yandex.ru*

Пирохлоры встречаются в природе в виде минералов, содержащих в своем составе как элементы V группы (Nb, Sb, Ta), так и актиноиды и лантаноиды. Кроме того, материалы со структурой минерала пирохлора широко используются в связи с полезными свойствами, включающими ионную проводимость, как по катиону, так и по аниону, электрическую проводимость и магнитные свойства. Пирохлоры, наряду с другими фазами, используют для связывания высокоактивных отходов, вследствие того, что они обладают высокой способностью к изоморфному замещению и стабильны в водных растворах в широком диапазоне кислотности среды и солевого фона.

Все эти свойства определяются составом и структурой соединений, поэтому их структурное и комплексное физико-химическое исследование представляет научный и практический интерес.

Объектами нашего исследования являются соединения состава  $M^I A^V W O_6 \cdot n H_2 O$  и  $M^I A^V U O_6$  ( $M^I$  – одновалентные катионы;  $A^V$  – Nb, Sb, Ta). Синтез данных соединений осуществляли двумя методами по реакции в твердой фазе с использованием карбонатов или нитратов щелочных металлов, оксидов элементов пятой группы, оксида вольфрама или урана и по реакции ионного обмена, используя соответствующую водородную форму.

С помощью полнопрофильного рентгеновского анализа уточнены структуры соединений  $CsTaWO_6$ ,  $CsTaUO_6$ ,  $CsSbWO_6$ ,  $CsSbUO_6$  и  $KSbWO_6$ . Показано, что они являются структурными аналогами, но атомы щелочных металлов занимают различные кристаллографические позиции – 8b, 32e.

Методом высокотемпературной рентгенографии исследовано тепловое расширение соединений состава  $CsTaWO_6$  и  $KSbWO_6$  в интервале 25-1000°C, зависимость параметра элементарной ячейки от температуры описывается полиномом второй степени. Для  $CsTaWO_6$  обнаружен полиморфный переход при температуре 800°C. По полученным результатам был рассчитан коэффициент теплового расширения, который соответствует среднерасширяющимся материалам. Определены температуры и продукты термораспада соединений  $KTaWO_6$ ,  $RbTaWO_6$ ,  $CsTaWO_6$ .

Методом адиабатической вакуумной и динамической калориметрии в интервале 7 – 630 К для соединения состава  $CsTaWO_6$  изучена теплоемкость и рассчитаны термодинамические функции. Температурная зависимость теплоемкости монотонно возрастает без видимых аномалий. Вычислена стандартная энтропия образования при 298,15 К.

С помощью порошковой рентгенографии изучен изовалентный изоморфизм в тройной системе  $KTaWO_6$  -  $RbTaWO_6$  -  $CsTaWO_6$ . Показано, что в данной системе наблюдается неограниченная смесимость в твердой фазе и для всех составов характерны структуры с кубической сингонией. В системах  $KTaWO_6$  -  $RbTaWO_6$  и  $RbTaWO_6$  -  $CsTaWO_6$  наблюдается выполнение правила Вегарда, тогда как система  $KTaWO_6$  -  $CsTaWO_6$  характеризуется отрицательным отклонением от правила Вегарда.

<sup>1</sup> Автор выражает признательность профессору, д.х.н. Чернорукову Н.Г. и доценту, к.х.н. Князеву А.В. за помощь в подготовке тезисов.



## Моделирование процесса выделения трития из титаната лития в условиях реакторного облучения

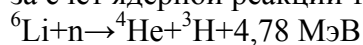
Куйкабаева Айжан Амангалиевна

Казахский Национальный Университет им. аль - Фараби, Алмата, Казахстан

E-mail: Aizhan@ntsc.kz, Aiszhok@mail.ru

Необходимость разработки функциональных материалов для систем регенерации компонентов топлива в установках термоядерного синтеза (бридерных материалов), изучения изменения физико-механических свойств бридерных материалов в условиях длительного облучения и прогнозирование работоспособности является актуальной задачей современного термоядерного материаловедения.

На реакторе ВВР-К Института ядерной физики НЯЦ РК (Казахстанский водо-водяной реактор) в течение 223 суток (5350 час) на мощности 6 МВт проводили эксперимент по облучению литиевой керамики (метатитанат лития -  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$ ). Было достигнуто очень высокое (22%) выжигание  ${}^6\text{Li}$ . Генерирование трития в титанате лития осуществляется за счет ядерной реакции тепловых нейтронов с литием:



Было проведено математическое моделирование процессов генерации и выделения трития из титаната лития. Рассмотрены три наиболее вероятных механизма:

1. Выделение трития из сферической гранулы за счёт эффекта отдачи. В этом случае нормированный на скорость образования поток атомов отдачи трития равен:

$$J_R^* = \frac{J_R}{G} = \frac{3}{4} \frac{R_t}{r_0} - \frac{1}{16} \left( \frac{R_t}{r_0} \right)^3 \quad (1)$$

Расчеты показали, что выделение трития за счёт энергии отдачи (т.е. не зависящее от температуры образца) составляет 3-5% от общего газовыделения.

2. Учёт потерь трития при его переходе в  $\text{H}^3\text{NO}$ .

Дифференциальное уравнения, описывающее изменение во времени концентрационного профиля трития в объёме сферы, с учётом ухода трития за счёт эффекта отдачи и за счёт образования  $\text{H}^3\text{NO}$ , можно записать в виде:

$$\frac{dC_T(r,t)}{dt} = \Lambda_1 C_{Li}(r,t) - \Lambda_2 C_T(r,t) \quad (2)$$

где  $\Lambda_1 = \Lambda(1-q(r))$ ,  $\Lambda_2 = k_x + \lambda$ .

Получено, что выделение трития за счёт потерь трития при его переходе в  $\text{H}^3\text{NO}$  составляет не более 1% от общего газовыделения.

3. Стационарное выделение трития за счёт диффузии.

Нормированный диффузионный поток трития из сферы в стационарном случае равен:

$$J_D^* = \frac{3}{2\tilde{y}^2} \left\{ \frac{1}{\tilde{x}} - \frac{\text{Sh}[\tilde{y}(1-\tilde{x})]}{\tilde{x}\text{Sh}\tilde{y}} \right\} - 1 + \frac{3}{2\tilde{y}} \left\{ \left( 1 - \frac{\tilde{x}}{2} - \frac{1}{\tilde{x}\tilde{y}} \right) \text{Cth}\tilde{y} + \frac{\text{Ch}\tilde{y}(1-\tilde{x})}{\tilde{x}\tilde{y}^2\text{Sh}\tilde{y}} \right\} \quad (3)$$

Если до начала генерирования газа образец уже был насыщен тем же короткоживущим газом, то суммарный поток равен (нестационарный случай):

$$J(t) = QV \left( \frac{3 \text{cth} \sqrt{\frac{\lambda}{D}} r_0}{r_0 \sqrt{\frac{\lambda}{D}}} - \frac{3D}{\lambda r_0^2} - \frac{6D}{r_0^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp \left\{ - \left[ D \frac{n^2 \pi^2}{r_0^2} + \lambda \right] t \right\}}{\frac{n^2 \pi^2 D(t)}{r_0^2} + \lambda} \right) \quad (4)$$

Рассчитаны количество газа, оставшееся и выделившееся из образца, доля газовыделения, изменение коэффициента диффузии трития от времени реакторного эксперимента.

**Масс-спектрометрическое определение степени замещения водорода на тритий в норлейцине при обработке твердых мишеней потоком атомов трития, полученных с помощью метода термической активации**

**Куненков Эраст Владимирович**

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

*E-mail: erast@mail.sponge.org*

При получении меченых соединений с помощью метода термической активации трития образование меченых продуктов происходит в тонком поверхностном слое. Вследствие этого увеличение потока атомов трития хотя и увеличивает общую радиоактивность мишени, радиоактивность меченого материнского соединения обычно растет непропорционально этой величине, а во многих случаях приводит к уменьшению его выхода из-за побочных реакций. Из-за разбавления меченого вещества носителем, находящимся вне реакционной зоны, удельная радиоактивность меченых материнских соединений не достигает предельно высоких величин. Вместе с тем, исходя из общей радиоактивности меченого материнского соединения, образующегося в мишени, и ограниченности зоны реакции, можно предположить, что даже при относительно небольших экспозициях возможно образование многократно меченых веществ.

В данной работе возможность образования многократно меченых молекул при обработке атомами трития мишени норлейцина, полученной лиофилизацией водного раствора на стенках стандартного стеклянного реакционного сосуда, исследовали с помощью масс-спектрометрии ионно-циклотронного резонанса с преобразованием Фурье. Масса мишени составляла 0,13 мг (1 мкмоль норлейцина), геометрическая площадь поверхности стенок сосуда, покрытых мишенью была 120 см<sup>2</sup>. Условия обработки мишени атомарным тритием были следующие: температура вольфрамовой проволоки 1900 К, давление газа 0,5 Па, соотношении трития/протия в газе 1:1, продолжительность атомизации 10 секунд с последующим полным обновлением газа. Масс-спектры были получены на масс-спектрометре LTQ FT (Thermo Electron, Бремен, Германия), оснащенный сверхпроводящим магнитом на 7 Тесла. Для ионизации методом электрораспыления использовался источник ионов Ion Max (Thermo Electron, Бремен, Германия) со следующими параметрами: напряжение на игле электрораспылителя 3 кВ, температура капилляра 250<sup>0</sup>С, раствор подавался со скоростью 2 мкл/мин. Масс-анализатор использовался в режиме мониторинга выбранных ионов (SIM) с центром массового окна на 130 Да и шириной окна 20 Да, разрешающая сила была установлена в 25000 для m/z 400 Да (около 75000 при 130 Да), количество накапливаемых ионов 100000, количество микросканирований 3. Каждый полученный масс-спектр являлся усредненным результатом 100 измерений.

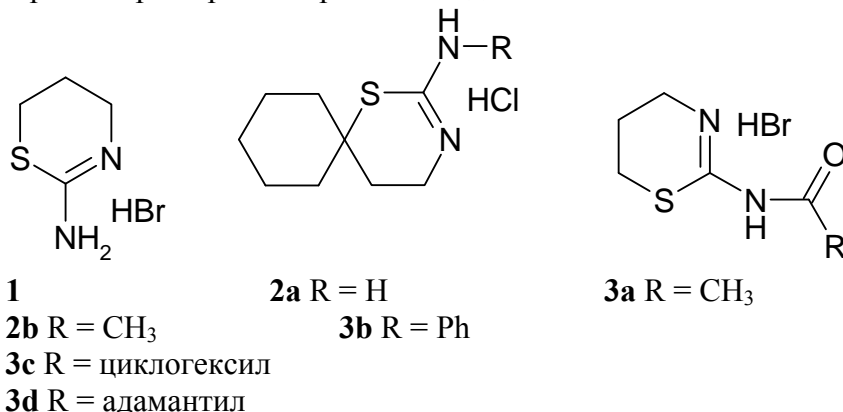
Оказалось, что количество молекул, содержащих один атом трития, составило 1,8±0,2 % и практически не менялось при увеличении экспозиции от 10 до 60 секунд. Было обнаружено практически линейное увеличение количества двукратно меченных тритием молекул норлейцина с увеличением продолжительности действия атомов трития на мишень (2,2±0,3 % при продолжительности обработки 60 секунд). Обсуждаются найденные закономерности накопления тритиевой метки в молекулах норлейцина с точки зрения послойного механизма этого процесса.

## Структурные модификации 2-амино-5,6-дигидро-4H-1,3-тиазина для оптимизации его фармакокинетических характеристик

Левцова Анастасия Андреевна

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, Москва, Россия  
E-mail: levtsovaa.a@mail.ru

Известно, что некоторые циклические изотиомочевины, например, 2-амино-5,6-дигидро-4H-1,3-тиазин (**1**), обладают радиопротекторной активностью, обусловленной их способностью ингибировать фермент NO-синтазу. Целью данной работы стало создание более липофильных структурных аналогов соединения **1** как потенциальных радиопротекторов пролонгированного действия.



Изначально нами была выбрана стратегия повышения липофильности базового тиазина **1** путем «наложения» структуры соединения-лидера на спиро-темплат. Для этого из N-2-(1-циклогексенил)этил- замещенных тиомочевин были синтезированы не описанные ранее спиро- аналоги тиазина **1** – 2-амино-1-тиа-3-аза-спиро[5.5]додец-2-ен (**2a**) и его метильное производное (**2b**).

На втором этапе данной работы нами были синтезированы более липофильные аналоги базового соединения **1**, которые могли бы выступать в качестве пролекарств, а именно четыре N-ацильных производных тиазина **1** со структурно разнообразными заместителями: 2-N-ацетиламино-, 2-N-бензоиламино-, 2-N-гексаноиламино- и 2-N-(1-адамантоил)амино-5,6-дигидро-4H-1,3-тиазины (**3a–d**). Выбор заместителей определялся не только их липофильными характеристиками, но и возможным влиянием на скорость гидролиза амидной связи *in vivo*.

Эксперименты по приблизительной оценке ингибирующей активности полученных соединений по отношению к двум изоформам NO-синтазы – индуцибельной iNOS и нейрональной nNOS *in vitro*, свидетельствуют о том, что эти соединения ингибируют NO-синтазу в заметно меньшей степени по сравнению с базовым соединением. Однако тестирование *ex vivo* показало, что ацетильное (**3a**) и бензоильное (**3b**) производные тиазина обладают примерно таким же ингибирующим эффектом на выработку оксида азота в печени мышей, как и базовый тиазин **1**. Кроме того, исследование антигипотензивной активности соединений (**3a–d**), проведенное *in vivo* на крысах, в том числе и на модели септического шока, показало, что антигипотензивный эффект соединения **3a** приблизительно в два раза более длителен по сравнению с таковым для тиазина **1**.

Таким образом, наилучший результат из серии синтезированных веществ был достигнут для 2-ацетиламино-5,6-дигидро-4H-1,3-тиазина (**3a**), которое действительно оказалось эффективным пролекарством тиазина. Учитывая, что его токсичность очень мала, 2-ацетиламино-5,6-дигидро-4H-1,3-тиазин стал предметом патентной заявки в качестве потенциального антигипотензивного средства.

## Гидротермальные технологии для переработки концентрированных жидких радиоактивных отходов АЭС

Майоров Виталий Юрьевич, Голуб Андрей Владимирович, Егорин Андрей Михайлович

Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия

E-mail: 024205@inbox.ru

Одно из важных применений гидротермальных технологий – переработка радиоактивных отходов. Работы в этом направлении уже ведутся в различных научных центрах мира. Переработка кубовых остатков АЭС с использованием гидротермальных технологий на стадии окисления кубовых остатков для деструкции органических комплексов, связывающих долгоживущие радионуклиды и препятствующих применению сорбционных технологий, является одним из таких применений. Принципиальные возможности гидротермальной технологии демонстрирует рис.1, на котором показаны среднее время, необходимое для окислительной деструкции комплексов ЭДТА-<sup>60</sup>Со, содержащихся в кубовых остатках АЭС и средний объем образующихся радиоактивных осадков в различных технологиях (разрабатываемых или используемых на практике).

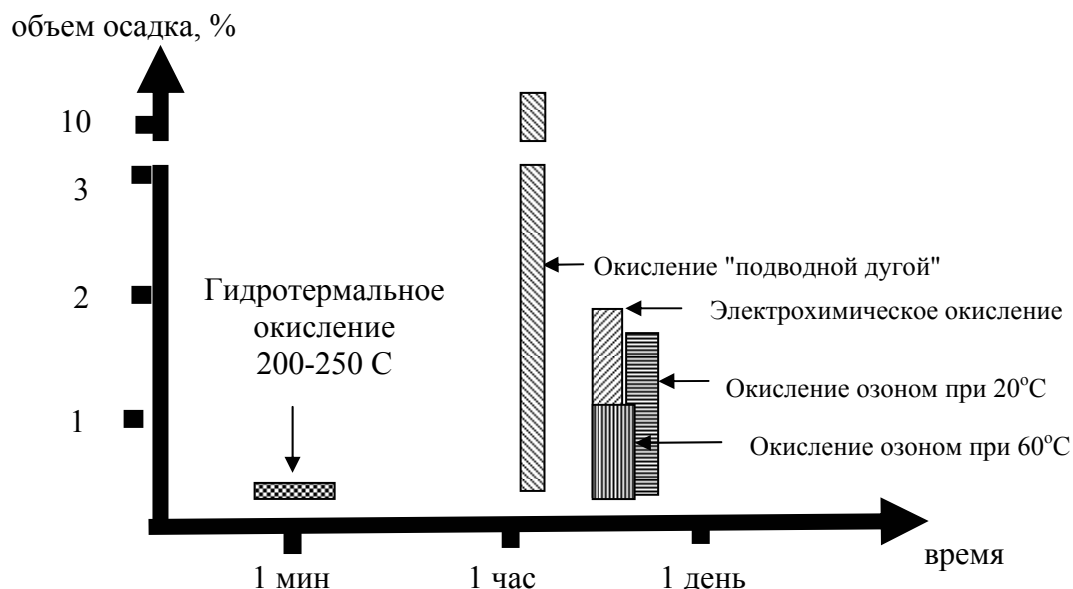


Рис.1. Окисление кубовых остатков АЭС.

Малые объемы осадков, образующихся в процессе окисления – это, прежде всего, уменьшение объемов твердых радиоактивных отходов (ТРО), возникающих при переработке кубовых остатков.

Одним из важных преимуществ гидротермальных технологий является то, что образующиеся в гидротермальном процессе ТРО, обладают минимальной выщелачиваемостью радионуклидов. Применение гидротермальных технологий в переработке кубовых остатков АЭС обеспечивает высокую экологическую безопасность длительного хранения ТРО. Кроме того, большие скорости процессов в гидротермальных условиях и возможность быстрого и экологически безопасного окисления органических веществ (нет выделения радиоактивных аэрозолей) позволяет использовать гидротермальные технологии в процессах переработки других типов РАО.

**Очистка жидких радиоактивных отходов неорганическими сорбентами на основе минерального сырья Кольского полуострова***Маслов Алексей Александрович**ФГУП "Атомфлот", Мурманск, Россия**E-mail: alexmaslov4@rambler.ru*

Сложившаяся сегодня практика переработки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) появилась из опыта эксплуатации объектов атомной энергетики, прежде всего атомных электростанций (АЭС), и предусматривает использование бросового тепла, которого достаточно на работающей АЭС. Образующиеся концентраты подлежат длительному хранению в специальных могильниках, либо в виде отверженных цементом или стеклом блоков, либо, что гораздо чаще, из-за недоработки методов отверждения, - в жидком состоянии в соответствующим образом оборудованных емкостях. В любом случае очень высоки как стоимость такого хранения, так и экологическая опасность из-за возможных протечек и разливов.

На других атомных объектах как гражданского, так и военного назначения, проблема обращения с ЖРО еще более сложна, поскольку для выпаривания требуются большие затраты энергии, во многих случаях это сделать невозможно из-за отсутствия в составе объекта соответствующего оборудования. Наконец хранение концентратов ЖРО на самих объектах, как правило, не предусмотрено. Проблема многократно усилилась, когда началась утилизация ядерного стратегического вооружения, демонтаж морских атомных подводных лодок и выработавших свой ресурс блоков АЭС.

Ранее на модельных растворах установлена селективная сорбция радионуклидов цезия и кобальта твердеющей минеральной дисперсией (ТМД) постоянного стехиометрического состава, приготовленной перекристаллизацией шлаков медно-никелевого производства в щелочных силикатах, и возможность ее последующего использования в качестве цементного раствора для приготовления устойчивого к выщелачиванию прочного бетона. ТМД относятся к вяжущим полифункциональным геополимерам, отличаются низкой пористостью, способностью к набуханию и соответственно проницаемостью к водной фазе.

Изучена возможность очистки ЖРО гражданского атомного флота ТМД, сунгулитом и сфеновым концентратом в статических и динамических условиях. Получены коэффициенты распределения и степени извлечения радионуклидов. Изучено влияние состава растворов на эффективность извлечения радионуклидов, а для ТМД исследовано также влияние содержания калия и натрия в сорбенте при  $\Sigma R_2O=5\%$ . В отдельном опыте определяли  $K_d$  весовых количеств цезия-137 из растворов  $CsNO_3$  укрепленных ЖРО с  $A(^{137}Cs)=5,5 \cdot 10^5$  Бк/л.

Установлено, что коэффициент очистки для ТМД в динамических условиях достигает 750 при 500 колоночных объемах;

Сунгулит изучен в статических условиях, степень извлечения  $^{137}Cs$  за 100 часов – 98%.

Необходимы дальнейшие испытания ТМД для выяснения механизма сорбции. А также необходимы дальнейшие испытания сорбентов в укрупненных лабораторных и полупромышленных масштабах.

Для сложных ЖРО, а именно с высоким содержанием взвесей, органических примесей, необходимо исследовать комбинированные схемы очистки с применением различных по свойствам сорбентов.

## Сравнение кинетических характеристик сорбентов марок Т-5 и Т-3А

## По отношению к стронцию

Мысливец Тамара Сергеевна, Головки Татьяна Владимировна<sup>1</sup>

Уральский государственный технологический университет УГТУ-УПИ,

физико-технический факультет, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: mirror\_ru@mail.ru

В работе изучили кинетику сорбции радионуклидов Sr-85 и Sr-90 соответственно сферогранулированными сорбентами на основе гидроксида титана (Т-5) и фосфата циркония (Т-3А), полученными золь-гель методом. По полученным кинетическим зависимостям степени достижения сорбционного равновесия ( $F$ ) от времени ( $\tau$ ) построили линеаризованные кривые в координатах « $-\ln(1-F)-\tau$ » вида  $y = (a \pm \Delta a)x + (b \pm \Delta b)$ , где  $a$  - кажущаяся константа скорости процесса сорбции, час<sup>-1</sup>,  $b$  - свободный член уравнения. В обобщенном виде результаты обработки данных кинетических экспериментов (в течение 2-х часов сорбции) приведены в табл.1.

Табл.1. Кинетические характеристики процесса сорбции стронция

$t, ^\circ\text{C}$	Диаметр гранул	Скорость перемешивания		$a \pm \Delta a, \text{ час}^{-1}$	$b \pm \Delta b$	Коэффициент диффузии $D, \text{ м}^2/\text{с}$		
		$u, \text{ об/мин}$	$w, \text{ м/с}$					
<i>Сорбент марки Т-5, 0,01 М боратный буферный раствор, рН<sub>0</sub>=9,18.</i>								
20-25	∅ 0,2-0,4 мм, 100 °С	180	0,26	0,72±0,01	0	1,92·10 <sup>-11</sup>		
		490	0,72	1,54±0,06	0	4,57·10 <sup>-11</sup>		
		1128	1,65	1,65±0,06	0	4,61·10 <sup>-11</sup>		
	∅ 0,2-0,4 мм, 400 °С	180	0,26	0,58±0,09	0,07±0,03	1,91·10 <sup>-11</sup>		
		490	0,72	0,88±0,06	0,10±0,06	3,16·10 <sup>-11</sup>		
		1128	1,65	0,90±0,09	0,25±0,10	4,26·10 <sup>-11</sup>		
	∅ 0,4-1,0 мм, 100 °С	180	0,26	0,56±0,01	0	8,17·10 <sup>-11</sup>		
		490	0,72	0,65±0,02	0	9,20·10 <sup>-11</sup>		
		1128	1,65	0,96±0,02	0	1,45·10 <sup>-10</sup>		
	∅ 0,4-1,0 мм, 400 °С	1128	1,65	0,92±0,06	0,12±0,05	1,93·10 <sup>-10</sup>		
		49	∅ 0,2-0,4 мм, 400 °С	1128	1,65	1,76±0,07	0,08±0,05	5,21·10 <sup>-11</sup>
		60				2,10±0,21	0,33±0,14	1,34·10 <sup>-10</sup>
85	2,99±0,13	0				7,81·10 <sup>-11</sup>		
<i>Сорбент марки Т-3А, водопроводная вода, рН<sub>0</sub>=7,2-7,5.</i>								
20-25	∅ 0,4-1,0 мм, влажность 36%	180	0,26	1,15±0,07	0,14±0,07	1,82·10 <sup>-12</sup>		
		490	0,72	1,13±0,08	0,14±0,07	1,54·10 <sup>-12</sup>		
		1128	1,65	0,97±0,05	0,07±0,05	1,19·10 <sup>-12</sup>		

Изменение скорости вращения мешалки от 180 до 490 об/мин приводит к существенному увеличению кажущейся константы скорости процесса и коэффициента диффузии для всех образцов сорбента марки Т-5. Коэффициент  $D$  зависит от скорости перемешивания, что может указывать на определяющую роль внешнедиффузионного режима в течение всего процесса сорбции. Учитывая, что коэффициент диффузии стронция в воде при комнатной температуре равен  $7,89 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ , найденные нами значения  $D$  не более  $1,45 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$  скорее всего характеризуют диффузию стронция в поровой жидкости внутри гранулы сорбента. Для сорбента Т-3А константа скорости процесса и  $D$  остаются практически неизменными при разных скоростях перемешивания, что может указывать как на внутридиффузионный характер процесса сорбции, так и на возможное влияние на скорость сорбции стадии химического взаимодействия сорбата с сорбентом. Значения  $D$  для сорбента на основе фосфата циркония меньше на один-два порядка по сравнению с Т-5, что говорит о худших кинетических характеристиках Т-3А по отношению к стронцию.

<sup>1</sup> Мы благодарим за помощь нашего научного руководителя Бетенекова Николая Дмитриевича, д.х.н., зав. каф. радиохимии УГТУ-УПИ

**Торий, лантаноиды и некоторые одно- и двухвалентные элементы в новых ортофосфатах со структурой минерала витлокита. Химия, строение, устойчивость****Логинава Екатерина Евгеньевна, Оленева Татьяна Александровна***Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, химический факультет, г. Нижний Новгород, Россия**E-mail: loginova.e@mail.ru*

Природный витлокит космогенного происхождения содержит Th, U, в прошлом Pu, Cm, он устойчив в космических радиационных полях. Этот “природный опыт” позволяет предвидеть возможность включения в такую структуру техногенных актиноидов и радиационную устойчивость соединений такого строения. Земные минералы витлокиты (биогенные и минералы пещер) характеризует устойчивость к химическим воздействиям. С учетом широкого изоморфизма катионов в этой структуре и названных характеристик устойчивости считается целесообразным рассматривать витлокитоподобные материалы (кристаллические порошки, керамики) как формы прочного химического связывания катионов РАО для изоляции от биосферы.

В настоящей работе фазообразование и устойчивость изучали для фосфатов кальция ( $\beta$ - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ), содержащих торий, лантаноиды и некоторые элементы, изотопы которых могут присутствовать в отходах ЯТЦ. Возможность вхождения Cs, Mg, Sr, Cd, Sm, Eu, Gd, Th в состав изоструктурных фаз контролировали методами РФА, ИК-спектроскопии, СЭМ с электронным микронзондовым анализом; также проводили изучение поведения этих соединений при нагревании, изучение их термической, термомеханической и гидrolитической устойчивости.

Для получения соединений и твердых растворов использовали метод золь-гель технологии, в том числе с комплексообразующими компонентами. Выполнен комплексный анализ промежуточных и конечных продуктов.

В результате подтвержден кристаллохимический “прогноз” относительно образования нового фосфата кальций-тория со структурой витлокита (ромбоэдрическая сингония, пр.гр. R3c). Таким образом, впервые показана возможность образования соединений-аналогов  $\beta$ - $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  с актинидами. Выполнено уточнение структуры и химического состава фосфата. Структурно-химические характеристики сопоставлены с данными для базового аналога (низкотемпературной модификации трикальцийортофосфата). Соединения устойчивы до 1270°C.

Тепловые деформации в витлокитоподобных фосфатах исследованы методом высокотемпературной рентгенографии для интервала температур 25-825°C. Для примера изучили фосфаты с лантаноидами, а для сравнения также фосфат кальция.

Все синтезированные фосфаты и примеси идентифицированы: соединения с Th, лантаноидами, Cd и Mg в структурной модификации витлокита (пр.гр. R3c), соединение с Sr в структурной форме апатита; для индивидуальных фаз рассчитаны кристаллографические параметры. Установлено также, что цезий не входит в состав фосфата со структурой витлокита (данные РФА и СЭМ).

Результаты гидротермальных испытаний образцов при 90°C в динамическом режиме (аппарат Сокслетта) показали приемлемые характеристики скоростей выщелачивания катионов. Местоположение рефлексов на дифрактограммах и их относительные интенсивности до и после испытаний практически не изменились.

**Радиоактивный уран в наноструктурах природных минералов****Парников Николай Григорьевич***Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия**E-mail: nikolaparnikov@rambler.ru*

Природные уран - и торий - содержащие минералы выступают в качестве моделей синтетических матриц для долговременной консервации актиноидов. Исследование таких объектов литосферы позволяет прогнозировать поведение матричных материалов в условиях высокой радиации и жестких гидротермальных воздействий. Основным результатом этих процессов является аморфизация кристаллической решетки с постепенным уменьшением размеров кристаллических блоков до 10-15 нанометров. [1,2].

В качестве объектов исследования выбраны минералы, близкие к пироклорам, относящиеся к природным титано-тантало-ниобатам кубической сингонии – «Виикиты 3, 4, 5, 6», «Эвксенит» и «Самарскит» [3].

Разделение валентных форм U(IV) и U(VI) при полном растворении образцов виикитов с использованием плавиковой кислоты показало, что радиогенный уран-234, не в полной мере повторяет поведение урана-238. Отношение активностей изотопов урана  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  во фракции U(VI) в виикитах № 5 и № 6 меньше 1, а во фракции U(IV) превышает 1. Это означает, что в объеме трека создаются условия для восстановления, в результате чего из атомов шестивалентного урана-238 образуются атомы четырехвалентного урана-234. Эти же закономерности проявляются при инконгруентном растворении минералов в соляной кислоте. В вииките № 4 картина более сложная: в плавиковой кислоте фракция U(IV) незначительно обеднена радиогенным изотопом, а при первичной обработке минералов соляной кислотой обнаруживается значительный дефицит урана-234 в составе U(IV). Однако при повторном воздействии соляной кислоты отношение активностей изотопов урана  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  во фракции U(IV) достигает значений 1.10-1.14. Следовательно, дефицит радиогенного изотопа на ранних стадиях инконгруентного растворения в соляной кислоте можно объяснить эффектом Ширвингтона [4], а именно захватом атомов отдачи  $^{234}\text{Th}(^{234}\text{U})$  глинистыми минералами, входящими в состав минеральной композиции. Корректность полученных данных подтверждают результаты радиохимического анализа эвксенита и самарскита: при воздействии плавиковой кислоты на минералы радиогенный уран в эвксените обогащает фракцию U(IV), в самарските наблюдается равновесное соотношение активностей изотопов урана. К такому же выводу пришла ранее группа японских исследователей [5,6].

В заключение следует подчеркнуть, что возможность захвата электронов радиогенными атомами в аморфизованной структуре является весьма благоприятным фактором при консервации актиноидов в титано-тантало-ниобатных матрицах: в результате этого процесса продукты распада (U, Np, Pu, Am) будут стабилизироваться преимущественно в восстановленной (четырёхвалентной) форме и менее подвергаться выщелачивающему действию природных растворов. В качестве минеральных присадок к синтетической титано-тантало-ниобатной матрице можно рекомендовать добавки некоторых глинистых минералов.

**Литература**

1. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. 1993, В 91, pp 22-29.
2. Phys. Chem. Minerals. 1988, Vol.16, pp 2-20.
3. Минералогическая энциклопедия / под ред. К. Фрея. (Перевод с англ.) Ленинград, «Недра» Л/О, 1985.
4. Geochim. Et Cosmochim Acta. 1983, Vol. 47, pp 403-412.
5. Radiochimica Acta. 1979, Vol. 26, № 2, pp 107-111.
6. Radiochimica Acta. 1982, Vol. 30, № 2, pp 205-212.



**Исследование влияния температуры отжига на растворимость и сорбционные свойства оксидов урана<sup>1</sup>****Петров Владимир Геннадиевич***Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,**Химический факультет, Москва, Россия**E-mail: vladimir@radio.chem.msu.ru*

Исчерпывание горючих полезных ископаемых привело к «ренессансу» атомной энергетики. Производство обогащенного урана для нужд ядерно-топливного цикла неизбежно приводит к накоплению огромных количеств (>1,2 млн.т) обедненного урана (ОУ), который в настоящее время хранится на дневной поверхности в виде высокотоксичного  $UF_6$ . Использование ОУ в форме оксидов в качестве одного из компонентов барьера в местах захоронения высокоактивных радиоактивных отходов (ВАО) позволит с одной стороны обеспечить безопасное и долговременное хранение ВАО, и с другой стороны, решить проблему утилизации ОУ. Для установления возможности использования оксидов ОУ в местах захоронения ВАО необходимо исследование их растворимости, сорбционных свойств по отношению к техногенным радионуклидам, оценка химической, радиационной и термостойкости. Ранее было установлено, что в случае сорбции Np на диоксиде урана решающую роль играют окислительно-восстановительные процессы на поверхности оксида. В окислительных условиях окружающей среды диоксид урана переходит в  $U_3O_8$ , поэтому необходимо было исследовать поведение Np в присутствии  $U_3O_8$ .

В данной работе исследовали растворимость образцов оксидов ОУ, полученных при разных температурах, и их сорбционное поведение по отношению  $^{237}Np(V)$ , как к долгоживущему радионуклиду, проявляющему высокую миграционную подвижность в условиях окружающей среды.

Все образцы оксидов обедненного урана были синтезированы из промышленно полученного  $UO_2$  (DUO1). Остальные исследуемые препараты диоксида урана получали, используя в качестве исходного материала DUO1. Препараты DUO2, DUO3, DUO7, DUO8 и DUO9 получали в 7%-ной смеси  $H_2$  и Ar при температурах 700, 800, 1500, 1600 и 1700°C соответственно. Образцы  $U_3O_8$  получали окислением  $UO_2$  на воздухе при температурах 600 (DUO4), 700 (DUO5) и 800°C (DUO6). Для всех исследуемых препаратов определяли удельную поверхность и пористость по сорбции азота при 77К и расчету по уравнению БЭТ, средний размер частиц определяли методом динамического светорассеяния. Кислородные коэффициенты были определены методом полярографии. Фазовый состав препаратов был подтвержден методом рентгенофазового анализа.

Эксперименты по растворимости и сорбции проводили как в окислительных условиях в воде моделирующей природную, так и в атмосфере азота в герметичном боксе в деионизованной воде. Соотношение твердая фаза – раствор во всех экспериментах составляло 2,5 г/л. Концентрация нептуния в сорбционных экспериментах составляла  $1 \cdot 10^{-10}$  М.

Кинетика растворимости образцов (растворимость оценивалась на протяжении ~1,5 лет), отожженных при более высокой температуре, была существенно более медленной, чем препаратов, отожженных при более низкой температуре как для  $UO_2$ , так и для  $U_3O_8$ . При этом фазовый состав был одинаковым, а такие характеристики, как удельная поверхность, пористость и средний размер частиц были близки. Растворимость исследуемых образцов через 100 дней достигает одинакового значения. Сорбция нептуния выше на препарате с большей растворимостью, причем как в деионизованной воде, так и в воде, моделирующей природную. Оценена сорбционная емкость препаратов.

<sup>1</sup> Работа поддержана Федеральным Агентством по Науке и Инновациям (гос.контракт 02.516.11.6138).

## Влияние растворов Am-241 на биолюминесцентные тестовые системы

Рожко Татьяна Владимировна

Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия  
 Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Россия  
 E-mail: gutniktv72@mail.ru

В настоящее время рост в окружающей среде радиоактивных загрязнений техногенного характера ставит перед исследователями задачу поиска новых методов мониторинга и контроля состояния окружающей среды. В связи с этим, особую значимость приобретает разработка удобных радиобиологических методов для оценки влияния малых и средних доз радиации на живые организмы. Для детального исследования механизмов радиоактивного воздействия перспективны простые тестовые системы, такие как светящиеся бактерии, которые уже достаточно давно используются для мониторинга химической токсичности среды. Их преимущества по сравнению с другими биотестами - высокая скорость анализа, чувствительность, простота. В качестве биологического параметра жизнедеятельности используется интенсивность люминесценции бактерий, что обеспечивает простую приборную регистрацию.

Целью работы является изучение воздействия растворов Am-241 ( $\alpha$ -радионуклида высокой удельной активности) на биолюминесцентные бактерии и биолюминесцентные ферментативные реакции. Получены зависимости относительной интенсивности биолюминесценции ( $I^{rel}$ ) от времени воздействия растворов америция. Показано, что эффекты определяются уровнем организации системы, степенью повреждения бактериальных клеток, временем воздействия радионуклида, его концентрацией.

Показано, что воздействие америция проявляется при низких концентрациях радионуклида (до  $10^{-11}$ М) и характеризуется начальным периодом активации (Рис.  $I^{rel} > 1$ ). Активация биолюминесценции бактерий достигала 400 % (Рис.), а ферментативных реакций - 30%.

Проведено сравнение эффекта америция с его стабильным химическим аналогом – европием. Из рис. видно, что в аналогичных условиях европий не изменяет интенсивность биолюминесценции ( $I^{rel}$  близко к единице). Это указывает на то, что эффект америция полностью определяется его радиационными свойствами, а не химическими.

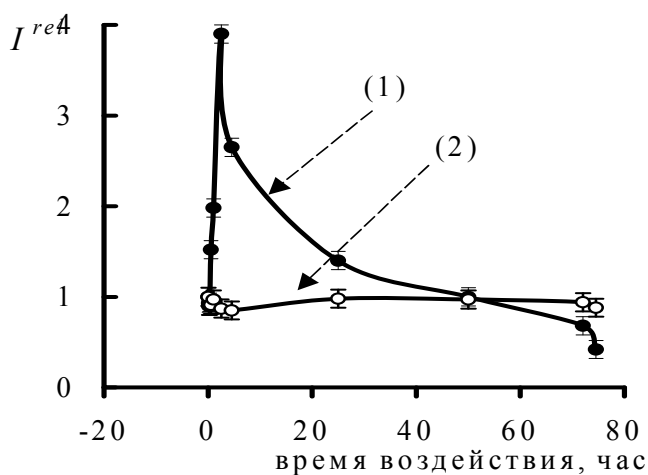


Рис. Относительная интенсивность биолюминесценции ( $I^{rel}$ ) бактерий *Ph. Phosphoreum* при хроническом воздействии радиоактивного элемента  $^{241}\text{Am}^{3+}$  ( $C=2 \cdot 10^{-10}$  М,  $A=6000$  Бк/л) (1) и стабильного элемента  $\text{Eu}^{3+}$  ( $C = 2 \cdot 10^{-10}$  М) (2).

Продемонстрировано накопление америция в клеточной культуре бактерий.

Показана возможность использования биолюминесцентного метода для мониторинга детоксикации растворов радионуклидов гуминовыми веществами.

**Закономерности сорбционного поведения ионов актинидов на коллоидных частицах гематита****Романчук Анна Юрьевна***Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
E-mail: annr11@mail.ru*

К числу наиболее важных проблем современной атомной энергетики относятся совершенствование технологий обращения с отработанным ядерным топливом (ОЯТ) и захоронения радиоактивных отходов (РАО). При оценке безопасности хранилищ РАО в поверхностных и глубинных геологических формациях необходимым является исследование сорбции радионуклидов на компонентах инженерных и геохимических барьеров. Минералы железа, в частности гематит,  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , являются одними из основных коллоидных частиц, присутствие которых возможно в ближней и дальней зонах хранилищ РАО. Таким образом, исследование влияния оксидов железа на физико-химические формы радионуклидов является существенным при оценке безопасности хранилищ РАО.

Целью данной работы являлось исследование механизмов сорбции Pu(V), Pu(IV) и Am(III) на различных коллоидных частицах гематита.

На первоначальном этапе методом «принудительного» гидролиза было синтезировано три образца гематита, отличающихся размером частиц. С использованием просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) было определено, что частицы всех образцов имеют форму близкую к сферической, причем частицы **гем-25** имеют средний диаметр  $25 \pm 10$  нм, **гем-85** –  $85 \pm 20$  нм, а **гем-225** –  $225 \pm 10$  нм. Рентгенофазовый анализ полученных образцов подтвердил отсутствие примесных фаз во всех образцах. Были определены параметры решётки образцов, которые хорошо согласовывались с литературными данными. По адсорбции азота при  $-195^\circ\text{C}$  с использованием уравнения БЭТ были определены значения свободной удельной поверхности. Для образца **гем-25** она составила  $38 \text{ м}^2/\text{г}$ , для **гем-85** –  $16 \text{ м}^2/\text{г}$ , а для **гем-225** –  $7 \text{ м}^2/\text{г}$ .

Все сорбционные эксперименты проводили в пластиковых флаконах в закрытом боксе в атмосфере азота для предотвращения образования карбонатных комплексов. Предварительно все рабочие растворы барботировались азотом для удаления  $\text{CO}_2$ .

На первоначальном этапе работы была исследована кинетика сорбции радионуклидов на коллоидных частицах гематита. В случае сорбции Am(III) на **гем-25** было выяснено, что равновесие в системе устанавливается менее чем за 1 час. В случае Pu(V) и Pu(IV) мы наблюдали значительное замедление сорбции. Это можно связать с процессами, сопровождающими сорбцию: протеканием окислительно-восстановительных реакций и образованием полиядерных комплексов. Так методом жидкостной экстракции было исследовано изменение валентности плутония в процессе сорбции. Установлено, что при сорбции как Pu(V), так и Pu(IV) на поверхности гематита находится четырехвалентная форма, в то время как в растворе стабилизируется Pu(V). При изучении зависимости сорбции Pu(V) на образцах  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , было также определено, что скорость сорбции возрастает с уменьшением размера частиц оксида железа.

Для описания сорбции Am(III) на гематите с использованием полученных экспериментальных сорбционных данных было произведено моделирование с использованием эмпирической модели изотермы Ленгмюра и механистической модели.

Результаты описания сорбции Am(III) для различных образцов гематита и с использованием разных моделей показывают сходимость значений. Поскольку результаты, полученные с учетом электростатического влияния поверхности и без него, достаточно близки, можно сделать вывод о том, что при низких степенях заполнения поверхности, это влияние пренебрежимо мало.

**Радионуклидное исследование сорбции аминокислот контактными линзами****Самсонова Анна Михайловна<sup>1</sup>***ГОУ ВПО Росздрава РФ Российский Государственный Медицинский Университет  
кафедра глазных болезней лечебного факультета, Москва, Россия**E-mail: am\_samsonova@mail.ru***Введение**

Контактные линзы являются общепризнанным средством оптической коррекции аметропий. Важную роль в нормальном функционировании тканей глаза при ношении контактных линз (КЛ) играют не только геометрические параметры КЛ, показатели влагосодержания и газопроницаемости линзы, но и ее диффузионные свойства, ухудшение которых может приводить к осложнениям. Одной из последних инноваций контактной коррекции зрения является создание мягких КЛ из новых полимеров – силикон-гидрогелей. Применение КЛ из силикон-гидрогелей значительно снижает риск развития гипоксических осложнений, продлевает период комфортного ношения КЛ. Адсорбционные процессы веществ в силикон-гидрогелевых линзах, а также зависимость процесса диффузии веществ в КЛ от времени ее ношения пока недостаточно изучены, поэтому представленные результаты исследования этих процессов в различных типах КЛ имеют важное значение для дальнейшего клинического применения линз и понимания механизмов их возможного негативного воздействия на ткани глаза.

**Материал и методы исследования**

Диффузионные свойства полимеров КЛ исследованы с использованием радиоизотопного метода на примере сорбции и десорбции аминокислот, представители которых содержатся как в слезной жидкости, так и в некоторых лекарственных препаратах. Для получения меченых веществ использовали тритиевую метку, которую вводили в аминокислоты (альфа-аланин и норлейцин) с помощью метода термической активации трития. В работе исследованы диффузионные свойства линз КЛ после ношения при различных сроках замены из гидрогелевого и силикон-гидрогелевого полимера. В результате были получены данные изменения сорбционных свойств в новых (неиспользованных) КЛ и КЛ после различных сроков ношения, отмечалась тенденция к снижению сорбционных свойств «ношенных» гидрогелевых КЛ, особенно при увеличении срока ношения КЛ. Эти данные могут быть интерпретированы как ухудшение диффузионных свойств КЛ в процессе ношения и, в определенной степени, объяснять возможные осложнения, возникающие при «перенашивании» КЛ. Эти исследования показывают, что на кинетику поведения веществ в КЛ влияет не только строение полимера, степень его гидратации, химическое строение и концентрация вещества в исходном растворе, но и длительность ношения КЛ. Полученные выводы могут в определенной степени являться научным обоснованием одного из основных принципов профилактики осложнений контактной коррекции зрения: «чем короче срок замены линз, тем лучше для здоровья глаз».

---

<sup>1</sup> Автор выражает признательность профессору, д.м.н. Рыбаковой Е.Г., доценту, к.х.н. Бадуну Г.А., м.н.с. Тясто З.А. за помощь в подготовке тезисов.

## Изучение состояния железа в базальтовых волокнах с применением эффекта Мёссбауэра

*Сёмин Владимир Андреевич*

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
E-mail: vsemin83@mail.ru*

Перспективным направлением для иммобилизации РАО является разработка матричных материалов на основе дешевого и недефицитного сырья, например, горных пород, бытовых и промышленных отходов.

Подходящими для этих целей горными породами представляются отходы производства базальта. Важным параметром процесса ИПХТ является соотношение двухвалентного и трёхвалентного железа на стадии формирования фаз. Достоверная информация о состоянии железа с учетом флуктуации его параметров по объёму может быть получена спектроскопическими методами.

Оценить реальное состояние и соотношение двух- и трёхвалентного железа в полученных продуктах является задачей данной работы. В качестве метода анализа в настоящей работе использовался метод мессбауэровской спектроскопии, как наиболее проработанный неразрушающий метод определения состояния железа.

Мессбауэровские спектры, полученные при комнатной температуре, базальтовых волокон № 1 и 2, отобранных на различных стадиях плавления, даны на рис. 1.

Анализ параметров, полученных спектров, показывает, что железо в первом образце находится в двух валентных формах: Fe(II) и Fe(III). Простейший анализ спектра волокна №1 показал, что спектр содержит, как основные компоненты, 2 дублета. Но поскольку линии данных дублетов значительно уширены, спектр более точно интерпретируется суперпозицией четырёх дублетов. Сравнивая параметры этих дублетов (изомерный сдвиг,  $\delta$ ; квадрупольное расщепление,  $\Delta E$ ) с литературными данными, можно прийти к выводу, что 2 дублета относятся к двухвалентному а другие два - к трёхвалентному железу соответственно. Процентное отношение этих форм соответствует величинам площадей под пиками на спектре.

Таким образом, из данных спектра первого образца следует, что в этом образце железо находится на 63 % в двухвалентном состоянии и на 37 % - в трёхвалентном.

Параметры спектра второго образца показывают, что всё железо в образце находится в трёхвалентном состоянии, о чём свидетельствует наличие в спектре только одного дублета, имеющего параметры, соответствующие трёхвалентному железу. Наличие двухвалентного железа в образце базальтового волокна №2 не обнаружено.

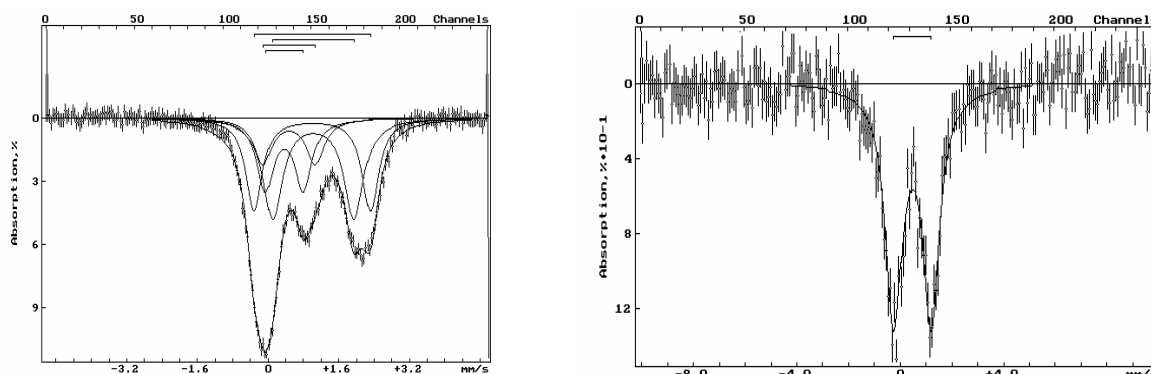


Рис. 1. Мессбауэровские спектры базальтовых волокон №1 (слева) и № 2 (справа), полученных на различных стадиях плавления.

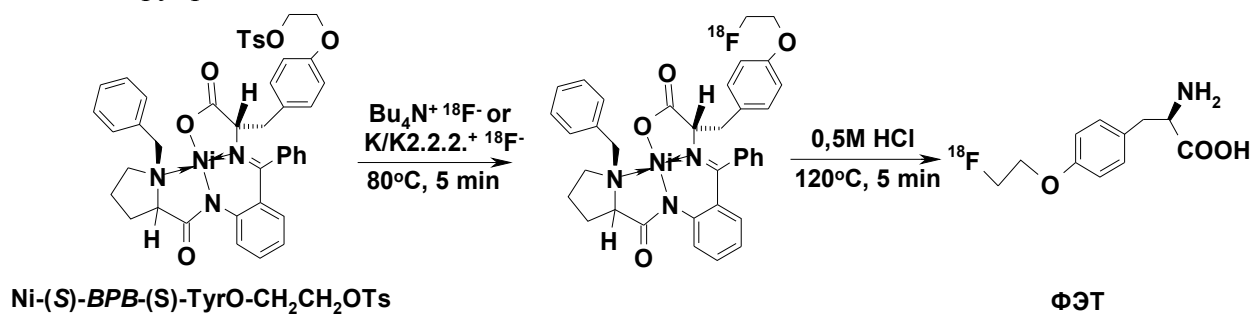
## Синтез и применение метода твердофазной экстракции для выделения *O*-(2'-<sup>18</sup>F)фторэтил)-*L*-тирозина

Степанова Мария Анатольевна<sup>1</sup>

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), факультет тонкого органического и микробиологического синтеза, Санкт-Петербург, Россия

Email: maristepanova@gmail.com

На сегодняшний день для диагностики опухолей мозга методом позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) широко применяется *O*-(2'-<sup>18</sup>F)фторэтил)-*L*-тирозин (ФЭТ). В Институте мозга человека (ИМЧ) для синтеза ФЭТ разработан метод прямого нуклеофильного замещения тозилльной группы в молекуле «прекурсора», хирального комплекса никеля<sup>II</sup> основания Шиффа (*S*)-[*N*-2-(*N'*-бензилпролил)амино]бензофенона (BPB) и (*S*)-тирозина (Ni-BPB-Тур-ОСН<sub>2</sub>СН<sub>2</sub>ОТs), на [<sup>18</sup>F]-фторид [1]. Радиофторирование проводится в ацетонитриле (5 мин, 80°C) с присутствием тетрабутил аммоний карбоната (ТБАК) или криптофикса с последующим разложением комплекса и одновременным снятием защитных групп. Синтез ФЭТ осуществляется на модуле, сконструированном в ИМЧ.



До настоящего времени очистка и выделение ФЭТ производилась методом полупрепаративной ВЭЖХ. Целью нашей работы было применение метода твердофазной экстракции, преимуществом которого является простота, меньшая трудоемкость, быстрота синтеза и возможность использования одноразовых картриджей. Для решения задачи были апробированы различные картриджи и их комбинации, включая C18 SepPak, tC18 SepPak, Lichrolut RP 18E, ENVY C18, Lichrolut SCX, NH<sub>2</sub>, Silica, AluminaN производства фирм WATERS, SUPELCO и MERCK. Также были использованы самодельные микроколонки, наполненные отечественным анионообменным сорбентом АВ17 8 ЧС. Наилучшие результаты были получены при использовании картриджей tC18 SepPak фирмы WATERS и катионной ионообменной смолы SCX, установленных в линию. Радиохимическая чистота ФЭТ составляла > 95%, содержание никеля, определяемое методом индуктивно-связанной плазмы, было пренебрежимо мало (0,1 ppm). Применение данного способа очистки позволило существенно сократить общее время синтеза препарата, а также свести к минимуму радиационную нагрузку на сотрудника, осуществляющего выделение конечного продукта.

### Литература.

1. О.С. Федорова, О.Ф. Кузнецова, Р.Н. Красикова и др. Синтез *O*-(2'-<sup>18</sup>F)фторэтил)-*L*-тирозина методом прямого нуклеофильного радиофторирования субстратов на основе комплексов Ni (II) с тирозином. Пятая российская конференция по радиохимии «Радиохимия-2006», Дубна, 23-28 октября 2006 г., сб. тезисов, стр. 321-322.

<sup>1</sup> Автор выражает признательность и благодарит за помощь в исследованиях к.х.н. Федорову О.С., вед. техн. Кузнецову О.Ф., к.х.н. Красикову Р. Н.

**Взаимодействие гидроксиапатита с уранил-ионом****Хрестенко Руслан Владимирович***Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия**E-mail: msu\_khrestenko@mail.ru*

Высокодисперсные системы неорганических веществ находят широкое применение в качестве носителей, катализаторов, сорбентов в различных областях науки, технологии и медицины. Перспективно их использование для извлечения радионуклидов, особенно таких долгоживущих, как  $^{238}\text{U}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , что может использоваться, как для очистки сточных вод, так и для создания противомиграционных барьеров в местах захоронения радиоактивных отходов. Сорбция радионуклидов является одним из важных факторов, который определяет миграцию компонентов РАО, поэтому изучение данного процесса является актуальной задачей, как с точки зрения фундаментальной науки, так и химической технологии. В качестве сорбентов для извлечения изотопов актинидов применяются различные глины, цеолиты, гидроксиды и оксиды переходных металлов и пр. В данной работе исследовали механизмы сорбции урана из водной среды нанокристаллическим гидроксиапатитом,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ , кристаллы которого представляют собой пластины в одну кристаллографическую трансмиссию. Высокое значение свободной удельной поверхности ( $900 \text{ м}^2/\text{г}$ ), по-видимому, будет определять высокую сорбционную способность гидроксиапатита по отношению к различным катионам.

Для исследования взаимодействия уранил-иона с гидроксиапатитом, сорбционный эксперимент проводили в широких диапазонах концентраций урана и при различных значениях pH. Фазовые изменения исследовались методами рентгенофазового анализа и просвечивающей электронной микроскопии. Для определения концентрации урана использовали метод жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии. Было установлено, что в области  $\text{pH} > 5$  наблюдается количественная сорбция урана при различных соотношениях твердой фазы к раствору и при различных общих концентрациях урана. При высоких концентрациях уранил-иона при  $\text{pH} \leq 5$  происходит частичное растворение гидроксиапатита с образованием гидрофосфата уранила, содержание которого увеличивается с увеличением концентрации радионуклида. Гидрофосфат кристаллизуется в наносостоянии, что доказано методами рентгенофазового анализа и электронной микроскопии и сорбируется на наногидроксиапатите в виде коллоидных частиц. При длительном выдерживании образовавшегося осадка гидрофосфата уранила происходит его перекристаллизация и ориентация частиц вдоль определенного кристаллографического направления пластин наногидроксиапатита.

Для определения сорбционной емкости гидроксиапатита была выбрана комплексная соль уранила - трикарбонато-уранилат калия  $\text{K}_4[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]$ , раствор которой имеет щелочную среду и не вызывает растворения гидроксиапатита. Построены изотермы сорбции при  $25^\circ$  и  $50^\circ\text{C}$ .

На основании полученных экспериментальных данных выработаны практические рекомендации по использованию гидроксиапатита в качестве сорбента или компонента противомиграционных барьеров в местах захоронения радиоактивных отходов.

**Литература**

1. Ковалев В.П., Мельгунов С.В., Пузанков Ю.М., Раевский В.П. Предотвращение неуправляемого распространения радионуклидов в окружающую среду. Новосибирск, изд. СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1996, 163 с.
2. Сапожников Ю. А., Алиев Р. А., Калмыков С. Н. Радиоактивность окружающей среды: Теория и практика: Учеб. пособие для вузов. (Методы в химии), 2006, М.: Бином. Лаборатория знаний

**Разработка сорбционного метода извлечения изотопов цезия из проб технологических продуктов на фосфомолибдате аммония**

**Шувалова Татьяна Александровна<sup>1</sup>, Логунов Михаил Васильевич<sup>2</sup>**  
Федеральное Государственное Унитарное Предприятие "Производственное  
Объединение "Маяк", Озерск, Россия  
E-mail: shuvalovat@mail.ru<sup>1</sup>

В процессе переработки облученного ядерного топлива (ОЯТ) аналитическая лаборатория завода РТ-1 осуществляет контроль качества получаемых промежуточных и конечных продуктов на всех этапах радиохимического производства. Персонал, осуществляющий подготовку и анализ проб технологических продуктов, подвергается значительным дозовым нагрузкам. Источником радиационных воздействий на персонал являются продукты, характеризующиеся высокими значениями мощности экспозиционной дозы (МЭД), основной вклад в которые вносят изотопы цезия [1]. Поэтому была поставлена задача по снижению облучения персонала в ходе подготовки и проведения анализа высокоактивных растворов.

Из всех известных методов извлечения цезия из кислых растворов наиболее приемлемым в условиях работы персонала в «горячих» камерах является сорбционный метод подготовки проб. Среди сорбентов, обладающих высокой радиационно-химической устойчивостью, а также селективными свойствами по отношению к изотопам цезия на фоне сложного солевого состава и высокой кислотности анализируемых растворов, был выбран сорбент фосфомолибдат аммония [2].

В лабораторных условиях был проведен синтез сорбента несколькими методами. Образцы сорбента были исследованы с помощью рентгенофазового анализа, согласно которому, полученные вещества идентифицированы как фосфомолибдат аммония. В ходе изучения сорбционных свойств сорбента в статических условиях было установлено, что повышение концентрации азотной кислоты до 4 моль/л практически не оказывает влияния на емкостные характеристики сорбента. Это позволяет проводить сорбцию из всех кислых растворов, подлежащих технологическому анализу.

В опытно-промышленных условиях сорбционный процесс извлечения цезия был реализован в динамическом режиме на стеклянных хроматографических колонках с сорбентом, рассчитанных на однократное использование. По результатам заводских экспериментов проведенных на растворах ОЯТ ВВЭР, величина мощности экспозиционной дозы фильтратов, была снижена в среднем от 6 до 10 раз, в зависимости от параметров загрузки сорбента. Согласно, гамма-спектрометрическому анализу активность, обусловленная изотопами цезия (цезий-134, цезий-137) уменьшилась на полтора - два порядка. На заключительном этапе работы провели процесс утилизации.

В работе показана принципиальная возможность снижения МЭД технологических проб перед анализом, что позволяет значительно уменьшить радиационное воздействие на персонал в ходе подготовки и проведении анализов высокоактивных растворов.

#### Литература

1. Гелис В.М., Чувелева Э.А. и др. Разработка методов выделения цезия-137 из растворов различного состава, образующихся после переработки облученного топлива / Четвертая Российская конференция по радиохимии "Радиохимия – 2003": сб. тез. – Озерск: Издательство ФГУП "ПО "Маяк", 2003. – С. 186.
2. Быховский Д.Н., Кузьмина М.А. и др. Использование гетерополиоксидов для выделения цезия из радиоактивных отходов различного происхождения / Четвертая Российская конференция по радиохимии "Радиохимия – 2003": сб. тез. – Озерск: Издательство ФГУП "ПО "Маяк", 2003. – С. 204-205.



**Исследование сорбции U(VI), Ce(III) и Nd(III) почвой из района хранилища радиоактивных отходов**

***Филиппов Марио Филиппов, Маслов Олег Дмитриевич, Божиков Господин Апостолов, Цэрэнпил Шурхуу, Густова Марина Владимировна, Миланов Милко Василев\****

*Лаборатория ядерных реакции им. Г. Н. Флерова, ОИЯИ, Дубна, Россия*

*\*- ПХРАО - Нови хан, Болгария*

*E-mail: mariofil@jinr.ru*

Глобальные загрязнения в результате ядерных взрывов, предприятия по добыче и переработке урана и тория, АЭС, предприятия по переработке ядерного топлива и хранилища радиоактивных отходов могут быть источниками радионуклидных загрязнений в почвах. Поэтому для территорий, где возможны радиоактивные загрязнения, проводятся эксперименты по определению коэффициентов распределения ( $K_d$ ) радионуклидов между водой и почвой, которые позволяют оценить их мобильность в почве.

Целью настоящей работы было определение коэффициентов распределения U(VI), Ce(III) и Nd(III) между почвой и водными растворами на образцах бурой лесной почвы, отобранных в районе хранилища радиоактивных отходов (РАО) в Болгарии.

Нуклид  $^{237}\text{U}$  ( $T_{1/2}=6,75$  дн.) и продукты деления урана  $^{143}\text{Ce}$  ( $T_{1/2}=33,039$  ч.),  $^{147}\text{Nd}$  ( $T_{1/2}=10,98$  дн.) были получены в реакции  $^{238}\text{U}(\gamma, n)$  при облучении мишени нитрата уранила гамма-квантами с  $E\gamma=24$  МэВ в течение 4 часов на электронном ускорителе - микротроне МТ-25 [1, 2].

Гамма-спектрометрические измерения образцов проведены с использованием многоканального амплитудного анализатора импульсов с HP Ge детектором разрешением 1,5 кэВ на линии 1,33 МэВ ( $^{60}\text{Co}$ ).

Коэффициенты распределения U(VI), Ce(III) и Nd(III) между почвой и раствором определены, исходя из значений радиоактивности нуклидов  $^{237}\text{U}$ ,  $^{143}\text{Ce}$  и  $^{147}\text{Nd}$  в растворе до и после сорбции.

Формы состояния шестивалентного урана, церия и неодима в растворе в диапазоне рН 1 - 7, рассчитаны с использованием программы "Speciation" [3].

Сорбционные характеристики U(VI), Ce(III) и Nd(III), полученные при исследовании, бурой лесной почвой из района хранилища РАО позволяют прогнозировать миграционное поведение урана, церия и неодима в почве при аварийных ситуациях и кислотных дождях.

**Литература**

1. Сабельников А. В., Маслов О. Д., Густова М. В. и др. (2006) // Радиохимия, Т.48, №2. С.168-171.
2. Густова М. В., Дмитриев С. Н., Маслов О. Д. и др. Способ получения радиоизотопа урана-237.// Патент №2262759 (заявка 2003133380/06, 18.11.2003 г.), Бюл. №29, 2005.
3. www.acadsoft.co.uk (Academic Software: Sol-Eq, Aqueous Solutions)