УДК 621.039.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛЕЙ РАДИЯ С КОНСТРУКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

© 2021 г. П. С. Буткалюк, И. Л. Буткалюк*, С. В. Томилин, А. С. Куприянов, Р. Г. Абдуллов, А. А. Колобова, К. В. Ротманов

> Научно-исследовательский институт атомных реакторов, 433510, Димитровград Ульяновской обл., Западное шоссе, д. 9 *e-mail: butkaluk-il@yandex.ru

Получена 27.12.2019, после доработки 27.12.2019, принята к публикации 12.02.2020

Исследовано взаимодействие Ra(NO₃)₂ и RaCO₃ с металлическими Fe, Ni, Cr, Ti. Экспериментальные образцы изготавливали путем нанесения водно-спиртовых суспензий солей радия на подложки из соответствующих металлов с последующим упариванием и прокаливанием в течение 7–14 ч при температуре 800°С. Согласно результатам рентгенофазового анализа, при совместном прокаливании Ra(NO₃)₂ и RaCO₃ с металлическими Fe, Ni, Cr, Ti происходит образование смешанных оксидов состава RaMO_x, где M = Fe, Cr, Ti, Ni.

Ключевые слова: радий, реакторное получение изотопов, смешанные оксиды.

DOI: 10.31857/S0033831121030072

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в НИИАР ведется разработка технологии получения медицинских альфа-излучателей путем облучения ²²⁶Ra в исследовательском реакторе СМ [1]. Для облучения радия используют смесь метаплюмбата радия (RaPbO₃ со структурой кубического перовскита [2]) с оксидом свинца PbO, упакованную в оболочку из нержавеющей стали. После растворения облученного материала в НСООН отмечается присутствие в растворе высоких концентраций солей железа, никеля и хрома, в том числе изотопов 60 Co, 59 Fe и 51 Cr, которые затрудняют выделение и очистку полезных продуктов активации радия. Было выдвинуто предположение, что возможной причиной этого является взаимодействие солей радия с компонентами нержавеющей стали с образованием соединений общей формулой Ra_vM_vO_z, которые затем растворяются в муравьиной кислоте. Ранее нами был установлен факт взаимодействия смеси RaCO₃/PbCO₃ с материалом тигля из нержавеющей стали с образованием фазы, аналогичной BaCrO₄, а также факт образования фазы, аналогичной фазе BaPtO_{2.38}, при прокаливании RaCO₃/PbCO₃ в платиновом тигле [2]. Между тем, эксперименты по прокаливанию Ra(NO₃)₂ с нержавеющей сталью не позволили однозначно определить фазовый состав полученной смеси [3].

Исходя из этих данных, можно предположить, что соли радия при высокой температуре взаимодействуют с отдельными компонентами нержавеющей стали с образованием смешанных оксидов. Целью работы был поиск новых соединений радия, относящихся к классу смешанных оксидов, которые могут образовываться на поверхности компактных образцов переходных металлов Fe, Ni, Ti, Cr (как основных компонентов нержавеющей стали).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Материалы и методы. В данной работе использовали азотную кислоту квалификации ос.ч., нитрат бария и карбонат аммония х.ч., квалификация остальных реактивов была не ниже ч.д.а. Взвешивание аликвот и навесок проводили при помощи аналитических весов Ohaus PA64C, погрешность взвешивания составляла ± 0.2 мг.

Подложки для прокаливания солей бария и радия изготавливали из стали СтЗ (Fe \geq 97, C 0.14–0.22, Si 0.15–0.3, Mn 0.4–0.65%), металлического никеля НПЗ (Ni > 99.3, Fe \leq 0.15, Si \leq 0.15, Mg \leq 0.1, Mn \leq 0.2, Cu \leq 0.15, S \leq 0.015, C \leq 0.15%), металлического титана ВТ1-0 (Ti \geq 98.61, Fe \leq 0.18, C \leq 0.07, Si \leq 0.1, N \leq 0.4, O \leq 0.12, H \leq 0.01%). Они представляли собой диски диаметром от 9 мм с зеркально отполированной поверхностью.

Подложку из металлического хрома получали электролитическим осаждением хрома из раствора, полученного растворением 7.5 г СгО₃ в 30 мл 2.5 г/л H_2SO_4 , на металлическую медную пластину толщиной 2 мм из электротехнической меди (Cu \geq 99.93, Bi \leq 0.002, Se \leq 0.002, Te \leq 0.002, Sb \leq 0.0004, Fe \leq 0.001, S \leq 0.0015, Ag \leq 0.0025, O \leq 0.04%). Нанесение осуществляли в течение 30 ч до толщины слоя хрома в 1.5 мм.

Измерение pH растворов проводили при помощи pH-метра HANNA-HI 2210 со стеклянными электродами Hi 1131B (Hanna Instruments). Калибровку pH-метра осуществляли при помощи стандартных буферных растворов с pH 9.18, 6.86 и 4.01 (ООО «Химтитры»).

Содержание бария в растворе определяли с использованием радиоактивного изотопа ¹³¹Ва (производства НИИАР) с известной удельной активностью. Объемную активность ¹³¹Ва определяли методом гамма-спектрометрического анализа при помощи полупроводникового гамма-спектрометра с коаксиальным Ge–Li детектором типа ДГДК-В150 (энергетическое разрешение 3.0 кэВ по линии 1.3 МэВ). Для градуировки спектрометра использовали образцовые радиоактивные растворы. Расшифровку гамма-спектров проводили в полуавтоматическом режиме при помощи стандартного программного обеспечения фирмы «ГринСтар».

Содержание ²²⁶Ra определяли с помощью альфаспектрометра на основе кремниевых PIPSдетекторов ПДПА-1К (ОАО «ИФТП», Дубна, Россия) и амплитудного анализатора импульсов АЦП-8К-И2. Образцы (источники) для измерения активности альфа-излучения ²²⁶Ra готовили нанесением 10–25 мкл анализируемого раствора на подложку из

РАДИОХИМИЯ том 63 № 3 2021

нержавеющей стали с последующим упариванием и прокалкой на электроплитке с открытой спиралью для отгонки ²²²Rn. Перед измерением альфа-спектра подготовленный образец выдерживали в течение 1.5 ч, что необходимо для снижения активности короткоживущих дочерних продуктов распада ²²²Rn. Для градуировки спектрометров использовали образцовые спектрометрические альфа-источники (ОСАИ).

Содержание нерадиоактивных примесей в препаратах 226 Ra(NO₃)₂ определяли методом атомно-эмиссионного анализа с использованием установки, представляющей собой искровой источник возбуждения спектров ИВС-28, смонтированный внутри радиационно-защитного бокса, и спектрограф ИСП-1, соединенный с этим источником при помощи оптического выхода.

Рентгенограммы образцов снимали на дифрактометре ДРОН-7-Муthen (медное излучение с Niфильтром, алмазный стандарт) и интерпретировали с использованием базы дифракционных данных PDF-2 и комплекса программ PDWin.

Исследование взаимодействия солей бария с конструкционными материалами. Предварительные эксперименты проводили с использованием бария в качестве имитатора радия. Изначальная методика эксперимента предполагала нанесение солей радия и бария в виде растворимых солей и медленного упаривания. В случае карбонатов это должны были быть растворы гидроксидов соответствующих элементов, которые должны были бы на воздухе превратиться в карбонаты: $M(OH)_2 + CO_2 = MCO_3 + H_2O.$

Первые же эксперименты показали непригодность данного подхода к решению поставленной задачи. Вследствие краевых эффектов испарение капель на подложках с высокой теплопроводностью происходит с краев более интенсивно [4]. Следствием этого является образование областей с локальным пресыщением и образование там зародышей, рост которых приводит к крайне неравномерному распределению солей в образующемся пятне. На рис. 1, а показан результат испарения капли, содержащей 4 мг бария в виде нитрата в 200 мкл воды, на металлической подложке диаметром 16 мм. Как видно из рисунка, соли бария образуют кольцо на краях подложки, при этом в центре кристаллы



Рис. 1. Нанесение $Ba(NO_3)_2$ на металлические подложки: (а) из водного раствора, (б) из суспензии в 80%-ном этаноле.

практически отсутствуют. Такое неравномерное распределение нежелательно для проведения рентгеновской дифрактометрии образцов, поэтому были проведены работы по выяснению условий создания равномерного слоя солей на подложке. Наилучшие результаты были получены при осаждении нитрата бария из водно-спиртового раствора, промывке полученных кристаллов 95%-ным этанолом и нанесении спиртовой суспензии на подложку (рис. 1, б).

ВаСО₃ получали смешиванием 1 мл раствора нитрата бария с концентрацией 3.8 мг Ва/мл и 3 мл раствора $(NH_4)_2CO_3$ с концентрацией 4 моль/л. Выпавший осадок промывали тремя порциями бидистиллированной воды объемом по 3 мл каждая и наносили на подложку из 200 мкл водной суспензии.

Ва(NO₃)₂ получали добавлением к 0.5 мл раствора нитрата бария с концентрацией 3.8 мг/мл 2 мл 95%-ного этанола. Жидкость над осадком декантировали, и на подложку наносили получившуюся суспензию осадка нитрата бария.

Полученные образцы высушивали на воздухе и прокаливали в шахтной печи в следующем режиме: 150°С – 1 ч, 400°С – 1 ч, 800°С – 7–12 ч.

Очистка радия. Для экспериментов с радием использовали аликвоты от фракций ²²⁶Ra, выделенных ранее из облученных радиевых мишеней [1]. Изначально образцы радия были загрязнены примесями Ba, Ca, Na, Si, Cr, Ni, Fe и содержали макроколичества нитрата свинца. Было проведено три эксперимента с использованием ²²⁶Ra, при этом очистку проводили во всех случаях по одной схеме. Очистку проводили в несколько этапов. На первом этапе проводили совместное осаждение нитрата радия с нитратом свинца из 15.6 моль/л HNO₃ по методике, аналогичной описанной в работе [5]. К 50 мл

раствора нитрата радия (~10 мг) в 7 моль/л HNO₃ добавляли (в качестве носителя) 500 мг Pb(NO₃)₂, затем добавляли 50 мл 15.6 моль/л HNO₃. Полученный раствор упаривали до объема 75 мл, охлаждали в течение 4 ч. Затем добавляли 25 мл 15.6 моль/л HNO₃. Операции упаривания, охлаждения и добавления кислоты повторяли еще 4 раза. Полученный осадок, содержащий нитраты радия и свинца, отделяли от раствора декантацией и промывали тремя порциями 15.6 моль/л HNO₃. Полученный осадок Ra(NO₃)₂/Pb(NO₃)₂ растворяли в 50 мл бидистиллированной воды и проводили осаждение хлорида свинца добавлением 5 мл 10 моль/л HCl. Маточный раствор декантировали, упаривали досуха.

Второй этап включал хроматографическую очистку радия от свинца и щелочноземельных элементов на двух колонках с катионообменной смолой BioRad AG 50×8. Соли радия растворили в 40 мл ацетатно-аммиачного буферного раствора с концентрацией 1 моль/л и рН 4.5 и концентрацией ЭДТА 0.025 моль/л. Для контроля очистки радия к препарату перед подачей на колонку добавляли раствор, содержащий ¹³¹Ва(NO₃)₂ с ~4 × 10⁶ Бк. Через хроматографическую колонку объемом 2 см³ с сорбентом BioRad AG 50 × 8 пропускали 40 мл полученного раствора. Далее колонку промывали 40 мл ацетатно-аммиачного буферного раствора с концентрацией 1 моль/л и рН 4.5 и концентрацией ЭДТА 0.02 моль/л. Барий и радий элюировали ацетатно-аммиачным буферным раствором с рН 8.0 и концентрацией ЭДТА 0.01 моль/л. Элюент собирали фракциями. Контрольное элюирование радия проводили раствором ЭДТА с концентрацией 0.02 моль/л и рН 9.5. Затем фракции, содержащие ²²⁶Ra и не содержащие ¹³¹Ba объединяли, подкисляли 1 моль/л ацетатно-аммиачным буферным раствором с рН 4.5 из расчета 4 мл буферного раствора на каждые 10 мл раствора ²²⁶Ra. Пропускали полученный раствор через хроматографическую колонку объемом 2 см³ с сорбентом BioRad AG 50×8 . Промывали колонку 30 мл ацетатно-аммиачного буферного раствора с концентрацией 1 моль/л и рН 4.5 и концентрацией ЭДТА 0.02 моль/л. Затем промывали 10 мл ацетатно-аммиачного буферного раствора с концентрацией 1 моль/л и pH 4.5, 10 мл бидистиллированной воды, 80 мл 0.5 моль/л HNO₃. Радий элюировали 40 мл 8 моль/л HNO₃. Полученный раствор упаривали досуха и растворяли в 0.01 моль/л HNO₃.

Наносимая соль	Материал подложки	Фазовый состав			
Ba(NO ₃) ₂	Железо	Набор слабых рефлексов орторомбической фазы BaFe ₂ O ₄ . Имеется набор сильных рефлексов, часть которых близка к моноклинной фазе Ba ₂ Fe ₂ O ₅			
BaCO ₃	Железо	ВаСО ₃ орторомбический, Fe ₂ O ₃ гексагональный; следовые количества гексагональных фаз BaFe ₂ O ₄ и BaFeO _{3-x}			
$Ba(NO_3)_2$	Никель	Ni кубический, NiO кубический; часть слабых рефлексов орторомбической и гексагональной модификаций BaCO ₃			
BaCO ₃	Никель	ВаСО ₃ орторомбический, Ni кубический, NiO кубический			
Ba(NO ₃) ₂	Хром	ВаСгО ₄ орторомбический; возможно, присутствуют ВаСг ₂ О ₄ , ВаСО ₃ орторомбический (следы), Ва ₃ СиО ₄ ромбоэдрический			
BaCO ₃	Хром	ВаСО ₃ орторомбический, ВаСгО ₄ орторомбический; возможно, присутствует ВаСг ₂ О ₄			
Ba(NO ₃) ₂	Титан	ТіО ₂ тетрагональный, ВаТіО ₃ тетрагональный либо орторомбический, ВаСО ₃ орторомбический в следовых количествах			
BaCO ₃	Титан	ТіО ₂ тетрагональный, ВаТіО ₃ тетрагональный, ВаСО ₃ орторомбический			

Таблица 1. Исследование взаимодействия BaCO₃, Ba(NO₃)₂ с металлическими Fe, Ni, Cr, Ti

Исследование взаимодействия солей радия с конструкционными материалами. $Ra(NO_3)_2$ на подложки наносили из водно-спиртовой суспензии $Ra(NO_3)_2$, которую получали добавлением 1 мл 95%-ного этанола к 200 мкл раствора $Ra(NO_3)_2$ (~2 мг²²⁶Ra) с последующим высушиванием на воздухе и прокаливанием в шахтной печи при температуре 800°C в течение 7–14 ч.

 $RaCO_3$ получали добавлением к 200 мкл раствора $Ra(NO_3)_2$, содержащего ~2 мг ²²⁶Ra, 1 мл раствора 4 моль/л (NH_4)₂ CO_3 с последующей промывкой осадка тремя порциями 95%-ного этанола по 1 мл. Затем полученную спиртовую суспензию $RaCO_3$ наносили на металлические подложки с последующим высушиванием и прокаливанием осадка в шахтной печи при температуре 800°C в течение 7–14 ч.

Все операции проводили в радиационнозащитном печаточном боксе, препараты перед снятием дифрактограммы покрывали двумя слоями цапон-лака для предотвращения распыления.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование взаимодействия бария с конструкционными материалами. Полученные ба-

РАДИОХИМИЯ том 63 № 3 2021

риевые образцы анализировали методом рентгеновской дифрактометрии с использованием дифрактометра ДРОН-7. Результаты представлены в табл. 1.

Из полученных данных видно, что при прокаливании солей бария со сталью Ст3 помимо рефлексов, характерных для стали Ст3 и оксидов железа, на дифрактограммах наблюдаются рефлексы смешанных оксидов, содержащих барий: BaFeO₃ и ВаFe₂O₄. Дополнительно для образца, полученного нанесением Ba(NO₃)₂ из спиртовой суспензии, имеется набор сильных рефлексов, часть которых близка рефлексам моноклинной фазы Ba₂Fe₂O₅. Прокаливание как нитрата, так и карбоната бария с металлическими хромом и титаном приводит к образованию хромата ВаСгО₄ и титаната бария Ва-TiO₃ соответственно. В то же время реакция с металлическими никелем в данных условиях не протекает, и барий присутствует только в форме карбоната ВаСО₃.

Очистка радия. Эксперименты с радием проводили в разное время, было получено и охарактеризовано три порции очищенного радия, характеристики которых, согласно результатам атомно-эмиссионного анализа, представлены в табл. 2.

Общее содержание металлических примесей в образцах радия не превышало 5.7, 0.8 и 2.25% от

Компонент	Номер препарата				
Romioneni	1	2	3		
	Масса, мг				
²²⁶ Ra	8.2	14.45	12.43		
	Масса примесей, мкг				
Ba	52	5.5	12		
Ca	148	44	260		
Cr	<4	<5.5	<4		
Fe	28	<16.5	8		
Ni	<4	<5.5	<4		
Pb	20	<16.5	<12		
Pt	5.6	<16.5	<4		
Si	200	_	_		

Таблица 2. Характеристики препаратов очищенного 226 Ra(NO₃)₂

массы радия для первого, второго и третьего образцов радия соответственно, при этом примесь бария как ближайшего аналога радия составила 0.6, 0.04 и 0.1% соответственно.

Первая порция была использована для эксперимента по прокаливанию Ra(NO₃)₂ с железом, вторая – для прокаливания RaCO₃ с железом и RaCO₃ и Ra(NO₃)₂ с никелем, третья – для исследования взаимодействия RaCO₃ и Ra(NO₃)₂ с хромом и титаном.

Результаты рентгенофазового анализа радиевых образцов представлены в табл. 3 и на рис. 2–8.

При прокаливании солей радия на подложках из металлического никеля присутствует группа рефлексов, по положению близких к таковым для $BaNiO_3$; их можно интерпретировать как $RaNiO_3$. Так же были обнаружены отдельные рефлексы, относящиеся к фазе, аналогичной BaO_2 (вероятно RaO_2), которая может играть роль промежуточного соединения в механизме окисления поверхности металлов. Увеличение устойчивости пероксида при переходе от бария к радию является возможной причиной более высокой химической активности солей радия в реакциях с металлическим никелем.

Анализ дифракционных картин обоих образцов радия с хромом позволил установить, что они одинаковы в отношении присутствия основной фазы, которую, очевидно, можно трактовать как фазу радия с хромом. Дополнительные, не основные фазы – это хром и его оксиды. В базе дифракционных данных PDF-2 имеется один набор с данными для RaCrO₄ (№ 00-027-0488); тем не менее, при близком наборе линий экспериментальные данные и данные для RaCrO₄ заметно различались по угловому положению рефлексов. Заметно лучшее совпадение полученных данных было с орторомбической фазой BaCrO₄ (№ 00-015-0376). По угловому положению полученные рефлексы занимали промежуточное положение между литературными данными для RaCrO₄ и BaCrO₄. После отделения рефлек-

Наносимая соль ²²⁶ Ra	Материал подложки	Фазовый состав		
Ra(NO ₃) ₂	Металлическое железо	Fe ₂ O ₃ гематит; набор рефлексов, которые можно отнести к фазам-аналогам		
		ВаFeO _{3-х} (тетрагональная и гексагональная)		
RaCO ₃	Металлическое железо	Fe ₂ O ₃ тригональный, Fe кубический, RaCO ₃ ; фаза-аналог кубического		
		BaFeO _{3-x}		
$Ra(NO_3)_2$	Металлический никель	Ni кубический, NiO кубический; фаза-аналог BaO ₂ тетрагональная;		
		фаза-аналог BaNiO _x орторомбическая		
RaCO ₃	Металлический никель	Фаза-аналог ВаСО ₃ орторомбическая; Ni кубический, NiO кубический;		
		фаза-аналог BaNiO _x орторомбическая		
$Ra(NO_3)_2$	Металлический хром	RaCrO ₄ орторомбический; возможно присутствие Cr ₂ O ₃ ; Cr кубический		
RaCO ₃	Металлический хром	$RaCrO_4$; возможно присутствие Cr_2O_3		
$Ra(NO_3)_2$	Металлический титан	Фаза, близкая к кубическому ВаТіО ₃ ; возможно присутствие Ra(NO ₃) ₂		
572		кубического, а также оксидов титана		
RaCO ₂	Металлический титан	ТіО ₂ тетрагональный. RaCO ₂ орторомбический: неизвестная фаза состава		
5		АВО ₃ близкая по параметрам к CeAlO ₃		
	1			

Таблица 3. Исследование взаимодействия RaCO₃, Ra(NO₃)₂ с металлическими Fe, Ni, Cr, Ti



Рис.2. Дифрактограмма препарата, полученного прокаливанием Ra(NO₃)₂ на подложке из металлического железа.



Рис. 4. Дифрактограмма препарата, полученного прокаливанием Ra(NO₃)₂ на подложке из металлического никеля.



Рис. 3. Дифрактограмма препарата, полученного прокаливанием RaCO₃ на подложке из металлического железа.



Рис. 5. Дифрактограмма препарата, полученного прокаливанием RaCO₃ на подложке из металлического никеля.



Рис. 6. Дифрактограмма препарата, полученного прокаливанием Ra(NO₃)₂ на подложке из металлического хрома.

255



Рис. 7. Дифрактограмма препарата, полученного прокаливанием Ra(NO₃)₂ на подложке из металлического титана.



Рис. 8. Дифрактограмма препарата, полученного прокаливанием RaCO3 на подложке из металлического титана.

сов металлического Cr и его оксидов был выделен оставшийся набор рефлексов, предположительно основной фазы. Рефлексы были идентифицированы по аналогии с литературными данными BaCrO₄, и методом наименьших квадратов были уточнены параметры кристаллической решетки в орторомбической сингонии, пространственная группа *Pnma* (табл. 4 и 5). Совпадение экспериментальных и вычисленных межплоскостных расстояний вполне удовлетворительное.

Структура орторомбического $BaCrO_4$ относится к структурному типу орторомбического $BaSO_4$ (минерал барит), где Ва имеет координационное число 12. Исходя из ионных радиусов Ba^{2+} и Ra^{2+} , равных соответственно 1.61 и 1.70 Å, и числа формульных единиц в ячейке, можно ориентировочно оценить прирост объема элементарной ячейки при переходе от бариевого к радиевому соединению. Вычисленный прирост составляет 12.5 Å³. Экспериментальный прирост для полученной нами фазы составляет 15.7 Å³. В то же время этот прирост для $RaCrO_4$ (00–027–0488), по данным PDF-2, составляет 24.6 Å³, что выглядит несколько завышенным. Завышенные значения параметров кристаллической решетки в данном случае могли быть следствием экспериментальных погрешностей при рентгенографировании фотометодом в камере диаметром 57.3 мм.

На рентгенограмме, полученной при прокаливании нитрата радия на титановой подложке, выделяется набор из 14 отражений, хорошо совпадающих с набором для кубической фазы, близкой к составу Ra-TiO₃, с параметром кубической решетки $a = 8.236 \pm 0.002$ Å и пространственной группой F3m3m.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что соли радия при температуре 800°С на воздухе реагируют с отдельными компонентами нержавеющей стали с образованием смешанных оксидов состава RaCrO₄, RaFeO_{3-x}, RaTiO₃ и RaNiO_x. Таким образом, образование данных сое-

Номер линии	Интенсивность, %	20 _{эксп} , град	$d_{_{ m ЭКСП}}$, Å	$d_{ m pacч}$, Å	hkl
1	25	22.03	4.021	4.026	111
2	6	22.47	3.942	3.933	201
3	9	23.78	3.729	3.728	002
4	56	24.87	3.569	3.565	210
5	26	25.66	3.461	3.459	102
6	42	27.62	3.220	3.216	211
7	14	30.31	2.940	2.940	112
8	4	31.11	2.867	2.852	301
9	100	32.04	2.786	2.793	020
10	4	34.71	2.578	2.577	212
11	22	37.53	2.390	2.400	103
12	24	39.49	2.276	2.278	221
13	10	40.51	2.222	2.235	022
14	13	40.79	2.207	2.205	113
15	12	41.08	2.193	2.190	203
16	4	42.02	2.145	2.139	410
17	8	45.31	1.997	1.996	321
18	8	46.72	1.940	1.936	303
19	3	49.29	1.845	1.855	412
20	5	49.78	1.828	1.829	313
21	6	51.51	1.770	1.773	131
22	12	52.58	1.737	1.737	114
23	15	52.94	1.726	1.733	421
24	13	54.47	1.681	1.694	403
25	5	56.09	1.637	1.640	132
26	5	56.39	1.629	1.621	413
27	6	57.77	1.593	1.591	323
28	2	60.48	1.528	1.529	124
29	3	62.14	1.491	1.490	033
30	3	63.13	1.470	1.470	224
31	4	64.01	1.452	1.452	404
32	3	66.21	1.409	1.405	414
33	6	67.02	1.394	1.392	040
34	4	67.85	1.379	1.376	215
35	2	69.35	1.353	1.352	432
36	3	71.69	1.314	1.314	504
37	3	75.80	1.253	1.253	433
38	5	81.38	1.181	1.181	441

Таблица 4. Расчет межплоскостных расстояний и индицирование рефлексов фазы RaCrO_{4.}

РАДИОХИМИЯ том 63 № 3 2021

Соединение	Номер набора PDF-2	<i>a</i> , Å	b, Å	<i>c</i> , Å	<i>V</i> , Å ³
BaCrO ₄	00-015-0376	9.105	5.541	7.343	370.5
	00-035-0642	9.112	5.541	7.343	370.8
RaCrO ₄	00-027-0488	9.300	5.620	7.560	395.1
RaCrO ₄ , экспериментальные		9.260 ± 0.001	5.5870 ± 0.0003	7.4644 ± 0.0007	386.2
данные					

Таблица 5. Параметры кристаллической решетки изоструктурных фаз BaCrO₄ и RaCrO₄

динений возможно также при реакции солей радия с оболочками мишеней, выполненными из нержавеющей стали. Этот факт хорошо согласуются с ранее полученными данными о высокой скорости выщелачивания компонентов из стальных оболочек облученных радиевых мишеней. Появление в облученном радии значимых количеств продуктов его взаимодействия с материалом оболочки необходимо учитывать при разработке технологии переработки облученных радиевых мишеней.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Kuznetsov R.A., Butkalyuk P.S., Tarasov V.A., Baranov A.Yu., Butkalyuk I.L. // Radiochemistry. 2012. Vol. 54, N 4. P. 383–387.
- Butkalyuk P.S., Butkalyuk I.L., Kuznetsov R.A., Tomilin S.V. // Radiochemistry. 2013. Vol. 55, N 1. P. 41–45.
- Буткалюк И.Л., Буткалюк П.С., Томилин С.В. // Изв. Самарск. науч. центра РАН. 2013. Т. 15, № 4–5. С. 1053–1057.
- Бараш Л.Ю. Испарение и динамика лежащей на подложке капли: Дис. ... к.ф.-м.н. М.: Ин-т теор. физики им. Л.Д. Ландау, 2009. 74 с.
- Кузнецов Р.А., Тарасов В.А., Романов Е.Г. и др. // Изв. Самарск. науч. центра РАН. 2014. Т. 16, № 6. С. 136–141.