РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 736 600**(13) **C1**

(51) МПК
G21G 4/08 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G21G 4/08 (2020.02)

(21)(22) Заявка: **2019120525, 02.07.2019**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.07.2019

Дата регистрации:
19.11.2020

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **02.07.2019**

(45) Опубликовано: **19.11.2020** Бюл. № **32**

Адрес для переписки:
620002, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, ФГАОУ ВО "УРФУ" имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Центр интеллектуальной собственности, Маркс Т.В.

(72) Автор(ы):
Семенищев Владимир Сергеевич (RU),
Рычков Владимир Николаевич (RU),
Кириллов Евгений Владимирович (RU),
Кириченко Ирина Витальевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2635206 C1, 09.11.2017. RU 2513206 C1, 20.04.2014. RU 2432632 C2, 27.10.2011. DE 202006020604 U1, 02.04.2009. EP 2056303 A1, 06.05.2009. CA 2255573 C, 17.12.2002.**

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО ГЕНЕРАТОРА АКТИНИЯ-228

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу получения радионуклидного генератора актиния-228. В качестве сорбента актиния-228 используют твердый экстрагент, содержащий в качестве активного компонента моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты, а в качестве элюента используют раствор неорганической кислоты с pH 0,8-1,2. На подготовительном этапе происходит отделение от тория комплексованием его с ЭДТА и селективной сорбцией из полученного раствора радия и актиния на сорбенте, содержащем MnO_2. Дальнейшая выдержка сорбента, содержащего MnO_2, насыщенного актинием и радием, их элюирование хлористоводородной кислотой, упаривание позволяют получить продуктивный раствор, который можно использовать для сорбции актиния-228. Техническим результатом является получение более чистого радионуклидного генератора актиния-228 с хорошей воспроизводимостью при увеличении степени извлечения актиния и уменьшении затрат на осуществление способа. 5 ил.

RU 2736600 C1

RU 2736600 C1

Концентрация тория в исходном растворе, г/дм^3	Избыток ЭДТА	pH раствора	Степень сорбции тория, %	Степень сорбции радия, %	Степень сорбции актиния, %	Удельная активность актиния, Бк/дм^3
0,05	2	6	0,01	99	99	195
0,1	2	6	0,01	99	99	390
1	1	6	процесс не идет из-за гидролиза тория			
1	2	2	0,01	5	28	3900
1	2	4	0,01	89	93	3900
1	2	6	0,01	98	96	3900
1	2	8	0,01	99	99	3900
1	2	10	процесс не идет из-за гидролиза тория			
1	3	6	0,01	98	99	3900
1	4	6	процесс не идет из-за растворение сорбента, содержащего MnO_2			
5	2	6	0,02	99	98	19500
10	2	6	0,03	97	97	39000
12	2	6	процесс не идет из-за гидролиза тория			

Фигура 1

RU 2736600 C1

RU 2736600 C1

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 736 600**(13) **C1**

(51) Int. Cl.
G21G 4/08 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
G21G 4/08 (2020.02)

(21)(22) Application: **2019120525, 02.07.2019**

(24) Effective date for property rights:
02.07.2019

Registration date:
19.11.2020

Priority:
(22) Date of filing: **02.07.2019**

(45) Date of publication: **19.11.2020** Bull. № **32**

Mail address:
620002, Sverdlovskaya obl., g. Ekaterinburg, ul. Mira, 19, FGAOU VO "URFU" imeni pervogo Prezidenta Rossii B.N. Eltsina, Tsentr intellektualnoj sobstvennosti, Marks T.V.

(72) Inventor(s):
Semenishchev Vladimir Sergeevich (RU),
Rychkov Vladimir Nikolaevich (RU),
Kirillov Evgenij Vladimirovich (RU),
Kirichenko Irina Vitalevna (RU)

(73) Proprietor(s):
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin (RU)

RU 2736600 C1

(54) METHOD OF PRODUCING ACTINIUM-228 RADIONUCLIDE GENERATOR

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to method of producing actinium-228 radionuclide generator. Solid extractant is used as actinium-228 sorbent which contains mono-2-ethylhexyl ether of 2-ethylhexylphosphonic acid as an active component, and an inorganic acid solution with pH of 0.8–1.2 is used as the eluent. At the preparatory stage, thorium is separated from the thorium by complexing it with EDTA and selective sorption from the obtained solution of radium and actinium on a sorbent containing MnO_2. Further holding of the sorbent containing MnO_2 saturated with actinium and radium, their elution with hydrochloric acid, evaporation enables to obtain a productive solution which can be used for sorption of actinium-228.

EFFECT: technical result is obtaining a cleaner radionuclide actinium-228 generator with good reproducibility while increasing the degree of actinium extraction and reducing the cost of implementing the method.

1 cl, 5 dwg

RU 2736600 C1

Концентрация тория в исходном растворе, г/дм^3	Избыток ЭДТА	pH раствора	Степень сорбции тория, %	Степень сорбции радия, %	Степень сорбции актиния, %	Удельная активность актиния, Бк/дм^3
0,05	2	6	0,01	99	99	195
0,1	2	6	0,01	99	99	390
1	1	6	процесс не идет из-за гидролиза тория			
1	2	2	0,01	5	28	3900
1	2	4	0,01	89	93	3900
1	2	6	0,01	98	96	3900
1	2	8	0,01	99	99	3900
1	2	10	процесс не идет из-за гидролиза тория			
1	3	6	0,01	98	99	3900
1	4	6	процесс не идет из-за растворение сорбента, содержащего MnO_2			
5	2	6	0,02	99	98	19500
10	2	6	0,03	97	97	39000
12	2	6	процесс не идет из-за гидролиза тория			

Фигура 1

RU 2736600 C1

RU 2736600 C1

Изобретение относится к области радиохимии и может быть использовано в химической технологии и аналитической химии.

Актиний-228 в радиохимической практике используется в качестве удобного короткоживущего гамма-излучающего трассера для изучения актиния, а также в радиохимическом анализе актиния-227 для определения химического выхода аналита.

Известен способ получения радионуклидного генератора актиния-228 сорбционного типа, в котором в качестве сорбента используют сильнокислотный катионит (А.Н. Несмеянов Радиохимия. М.: Химия, 1978. — 560 с.). Способ включает растворение старой соли тория-232, выделение актиния-228 из полученного раствора соли тория, путем предварительного отделения от радия-228 соосаждением радия с хлоридом бария, от тория-232 экстракцией тория на трибутилфосфате, с дальнейшим концентрированием актиния-228 из продуктивного раствора на сорбенте. Дальнейшее элюирование актиния-228 из сорбента осуществляют с использованием в качестве элюента раствора лактата аммония.

Использование старой соли тория-232 является единственным практически реализуемым вариантом для получения радионуклидного генератора актиния-228, что обусловлено естественным накоплением актиния-228 при радиоактивном распаде тория-232 по цепочке: «торий-232 → радий-228 → актиний-228 → торий-228 → радий-224…». Период полураспада радия-228 составляет 5,75 лет, поэтому его существенные активности имеются лишь в солях тория после выдержки в течение как минимум 5 – 10 лет.

Недостатком способа является использование для концентрирования, в качестве сорбента, универсального сильнокислотного катионита, который способен сорбировать большинство ионов металлов. Поэтому при концентрировании совместно с актинием-228 сорбируются и остатки радия-228, тория-232 не отделенные вышеперечисленными методами, а также часть других катионов, которые входили в состав старой соли тория-232. Кроме того, использование в качестве элюента лактата аммония (аммонийная соль молочной кислоты) приводит к тому, что после элюирования получается раствор лактата актиния, который, для дальнейшего использования, необходимо дополнительно очищать от анионов молочной кислоты с переводом в более технологичные соляно-серно-азотнокислые среды. К еще одному недостатку можно отнести многостадийность осуществления способа, связанную с использованием осадительных операций, операций фильтрации и жидкостной экстракции, что приводит к увеличению затрат на осуществление способа и его недостаточной воспроизводимости, а также к значительным потерям актиния-228.

Изобретение направлено на решение технической проблемы, связанной с получением загрязненного радионуклидного генератора актиния-228 вследствие использования универсального сильнокислотного катионита, а также с большими потерями актиния, обусловленными многостадийностью операций, в том числе связанными с использованием нетехнологичного элюата.

В основу изобретения положена задача простого и воспроизводимого получения радионуклидного генератора актиния-228.

При этом, техническим результатом заявляемого изобретения является получение более чистого радионуклидного генератора актиния-228 при увеличении степени извлечения актиния и уменьшении затрат на осуществление способа.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в способе получения радионуклидного генератора актиния-228, согласно изобретению, проводят растворение старой соли тория-232, отделением из полученного раствора тория-232 и радия-228 и

концентрирование актиния-228 из продуктивного раствора на сорбенте, используя в качестве элюента раствор лактата аммония, отличающийся тем, что соль тория-232 растворяют до концентрации по торию в интервале 0,1-10 г/дм3, далее в полученный раствор вводят ЭДТА с 2-3-кратным молярным избытком по отношению к торию-232 и поддерживают pH раствора соли тория-232 на уровне 4 – 8, отделение от тория-232 проводят путем совместной сорбции актиния-228 и радия-228 из полученного раствора на сорбенте, содержащем MnO2, при этом тоий-232 остается в растворе, чем достигается его отделение, а насыщенный актинием-228 и радием-228 сорбент, содержащий MnO2 выдерживают в течение как минимум 40 дней, после чего актиний-228 и радий-228 с сорбента, содержащего MnO2, десорбируют раствором хлористоводородной кислоты с концентрацией 0,5-1 моль/дм3, с получением раствора десорбции, содержащего актиний-228 и радий-228, который далее упаривают до влажных солей и растворяют в хлористоводородной кислоте до pH =1,8-2,2 с получением продуктивного раствора из которого концентрируют актиний-228 с одновременным отделением от радия-228 на сорбенте представляющем из себя твердый экстрагент, содержащий в качестве активного компонента моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты, а в качестве элюента используют раствор неорганической кислоты с pH=0,8-1,2..

Интервал концентрации тория в растворе после растворения соли тория-232 определяет наиболее оптимальную его концентрацию для дальнейшего эффективного получения радионуклидного генератора актиния-228. Так, уменьшение концентрации тория в растворе менее 0,1 г/дм^3 не позволит получить радионуклидный генератор актиния-228 необходимой удельной активности из-за очень незначительной концентрации актиния в растворе. Превышение концентрации тория в растворе более 10 г/дм^3 будет приводить к его нестабильному поведению на следующих операциях связанному с гидролизом и образованием осадков гидроксида тория.

Заданный молярный избыток натриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА), вводимый в раствор соли тория, необходим для комплексования тория с данной кислотой для исключения его гидролиза на следующих операциях. Уменьшение молярного избытка ЭДТА менее 2 не позволит закомплексовать весь торий, находящийся в растворе, что будет приводить к его гидролизу и выпадению в осадок на следующих операциях. А это, в свою очередь, не позволит дальше вести весь процесс. Увеличение молярного избытка ЭДТА более 3 приведет к увеличению свободной ЭДТА, что на дальнейшей операции совместной сорбции актиния-228 и радия-228 будет приводить к растворению сорбента, содержащего MnO_2.

Интервал pH, определенный для совместной сорбции актиния-228 и радия-228 на сорбенте, содержащем MnO_2 характеризуется тем, что при pH менее 4 резко снижается степень извлечения как актиния-228, так и радия-228. При pH более 8 начинают разрушаться комплексные соединения тория с ЭДТА, торий начинает гидролизоваться и выпадать в осадок, что приводит к полной остановке процесса.

Время выдержки сорбента не менее 40 суток обусловлена тем, что за данный период распадается весь радий-224 и его дочерние изотопы. Радий-224 так же является продуктом распада тория-232, и он так же концентрируется на сорбенте, содержащем MnO_2, совместно с актинием-228 и радием-228. Период полураспада радия-224 около 3,6 суток. Для его полного распада необходимо не менее 10 периодов полураспада. Таким образом, за счет выдержки сорбента, содержащего MnO_2 отделяют радий-224.

После выдержки, сорбента, содержащего MnO_2, актиний-228 и радий-228, десорбируют

раствором хлористоводородной кислоты с концентрацией 0,5-1 моль/дм^3, с получением раствора десорбции, содержащего актиний-228 и радий-228. Использование хлористоводородной кислоты с концентрацией более 1 моль/дм^3 будет приводить к растворению сорбента, содержащего MnO_2, с концентрацией менее 0,5 моль/дм^3 к неполной десорбции актиния-228 и радия-228.

Далее, путем упаривания раствора десорбции, содержащего актиний-228 и радий-228 и последующего растворение влажных солей в растворе хлористоводородной кислоты, получают продуктивный раствор с pH =1,8-2,2, который направляют на концентрирование актиния-228 твердым экстрагентом, содержащим в качестве активного компонента моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты.

Использование для концентрирования актиния-228 твердого экстрагента, содержащего в качестве активного компонента моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты позволяет селективно выделить при pH =1,8-2,2 актиний-228 из продуктивного раствора. Моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты проявляет повышенную избирательность к редкоземельным элементам и, соответственно, к актинию, как аналогу редкоземельного элемента лантана. Предлагаемый, для извлечения актиния-228, интервал pH позволяет, как эффективно отделиться от радия-228, так и иметь сорбенту наибольшую емкость по актинию. Концентрирование актиния-228 при более низком значении pH будет приводить к снижению емкости сорбента по актинию. Концентрирование актиния-228 при более высоком значении pH будет приводить к увеличению сорбции радия-228 и других элементов.

Использование в качестве элюента неорганической кислоты (соляная, серная, азотная) позволяет получать раствор, готовый для дальнейшего технологического и аналитического применения. Выбранный интервал pH для элюирования актиния-228 отвечает наиболее низкой емкости сорбента по актинию. Дополнительное понижение значения pH будет приводить к перерасходу кислоты на выполнение операции элюирования, при этом эффективность элюирования повышаться не будет. Превышение значения pH элюента, более обозначенного, будет приводить к уменьшению эффективности элюирования актиния.

Сущность изобретения поясняется фигурами, на которых изображено:

- фиг. 1 - таблица, изменение степени сорбции тория, радия и актиния и удельная активность актиния в зависимости от концентрации тория в растворе, содержания ЭДТА и pH растворов, по примеру 1;
- фиг. 2 - таблица, влияние времени выдержки сорбента, содержащего MnO_2 на соотношение активностей радия-224 и радия-228 в сорбенте, по примеру 2;
- фиг. 3 - таблица, влияние концентрации хлористоводородной кислоты в растворе десорбции на степень десорбции радия и актиния, по примеру 3;
- фиг. 4 - таблица, влияние pH продуктивного раствора на степень извлечения радия и актиния, по примеру 4;
- фиг. 5 - таблица, влияние концентрации хлористоводородной кислоты, а также серной и азотной кислот на степень элюирования актиния, по примеру 5.

Осуществление заявляемого способа подтверждается следующими примерами.

Пример 1. Несколько навесок старой соли тория-232 растворяют в хлористоводородной кислоте, при этом берут разную навеску старой соли тория-232, что бы при его растворении концентрация тория в растворах составляла 0,05, 0,1, 1, 5,

10, 12 г/дм^3. Раствор соли тория с концентрацией 1 г/дм^3 готовится в большем количестве и сначала делится на три равные части. В полученные растворы добавляют ЭДТА с 2-х кратным молярным избытком. В дополнительные части раствора с концентрацией тория 1 г/дм^3 добавляют, кроме того, эквимолярное соотношение ЭДТА, 3-х, 4-х кратный молярный избыток ЭДТА. Полученный раствор соли тория с концентрацией тория 1 г/дм^3 и 2-х кратным избытком ЭДТА дополнительно делят на пять равных частей и каждую часть корректируют щелочным агентом до pH 2, 4, 6, 8, 10. У растворов соли тория с различной концентрацией тория и 2-х кратным молярным избытком ЭДТА, а также у растворов соли тория с концентрацией тория 1 г/дм^3 и эквимолярным, 3-х и 4-х кратным избытком ЭДТА корректируют до pH 6. Все растворы с откорректированными pH приводят в контакт с расчётным количеством сорбента, содержащего MnO_2. Полученные после сорбции растворы отделяют от сорбента, содержащего MnO_2 и анализируют на содержание тория, радия, а также измеряют удельную активность сорбента, содержащего MnO_2 для оценки степени сорбции актиния.

Пример 1 показывает изменение степени сорбции тория радия и актиния и удельной активности актиния в зависимости от концентрации тория в растворе, содержания ЭДТА и pH растворов. Из примера 1 видно, что наилучшего концентрирования актиния, на сорбенте, содержащем MnO_2 и при этом эффективного отделения от тория при сорбции актиния из раствора тория, удается добиться при концентрации тория в растворе в интервале от 0,1 до 10 г/дм^3, избытка ЭДТА в интервале 2-3, pH раствора в интервале 4-8.

Пример 2. Навеску старой соли тория растворяют в хлористоводородной кислоте, с получением раствора соли тория с концентрацией 1 г/дм^3. В полученный раствор добавляют ЭДТА с 2-х кратным молярным избытком, корректируют pH до 6, приводят в контакт с расчётным количеством сорбента, содержащего MnO_2. Насыщенный радием и актинием сорбент, содержащий MnO_2, измеряют на гамма-спектрометре сразу, а также через 5, 10, 20, 30, 40, 50 суток, и делают вывод о соотношении активностей радия-224 и радия-228 в сорбенте, содержащем MnO_2.

Пример 2 показывает влияние времени выдержки сорбента, содержащего MnO_2 на соотношение активностей радия-224 и радия-228 в сорбенте. Время выдержки 40 и более суток позволяет практически полностью отделиться от радия-224 и продуктов его распада.

Пример 3. Навеску старой соли тория растворяют в хлористоводородной кислоте, с получением раствора тория с концентрацией 1 г/дм^3. В полученный раствор добавляют ЭДТА с 2-х кратным молярным избытком, корректируют pH до 6, приводят в контакт с расчётным количеством сорбента, содержащего MnO_2. Насыщенный радием и актинием сорбент, содержащий MnO_2, выдерживают 40 суток. После чего сорбент, содержащий MnO_2, делят на 4 части и десорбируют расчётным количеством хлористоводородной кислоты различной концентрации. Полученные растворы анализируют на содержание актиния и радия. По результатам анализа рассчитывают степень десорбции.

Пример 3 показывает, что наиболее эффективной десорбции радия и актиния можно добиться при использовании хлористоводородной кислоты с концентрацией 0,5-1 моль/

дм^3.

Пример 4. Навеску старой соли тория растворяют в хлористоводородной кислоте, с получением раствора тория с концентрацией 1 г/дм^3. В полученный раствор добавляют ЭДТА с 2-х кратным молярным избытком, корректируют pH до 6, приводят в контакт с расчётным количеством сорбента, содержащего MnO_2. Насыщенный радием и актинием сорбент, содержащий MnO_2, выдерживают 40 суток, десорбируют расчётным количеством хлористоводородной кислоты с концентрацией 1 моль/дм^3. Полученный раствор упаривают до влажных солей, которые делят на пять частей и далее растворяют в воде с корректировкой pH 1, 1,8, 2,2, 2,5, 3, с получением продуктивного раствора. Полученные продуктивные растворы приводят в контакт с расчётным количеством сорбента - твердый экстрагент, содержащий в качестве активного компонента моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты. Растворы отделяют от сорбента и анализируют на содержание актиния и радия для расчёта степени извлечения.

Пример 4 показывает, что наиболее эффективной сорбции актиния и, соответственно отделения от радия, на сорбенте, содержащем в качестве активного компонента моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты, можно добиться при использовании продуктивного раствора с pH = 1,8-2,2.

Пример 5. Навеску старой соли тория растворяют в хлористоводородной кислоте, с получением раствора тория с концентрацией 1 г/дм^3. В полученный раствор добавляют ЭДТА с 2-х кратным молярным избытком, корректируют pH до 6, приводят в контакт с расчётным количеством сорбента, содержащего MnO_2. Насыщенный радием и актинием сорбент, содержащий MnO_2, выдерживают 40 суток, элюируют расчётным хлористоводородной кислоты с концентрацией 1 моль/дм^3. Полученный раствор упаривают до влажных солей, растворяют в воде с корректировкой pH до 1,8, с получением продуктивного раствора. Полученный продуктивный раствор приводят в контакт с расчётным количеством сорбента - твердый экстрагент, содержащий в качестве активного компонента моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты. Насыщенный твердый экстрагент, содержащий в качестве активного компонента моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты делят на 7 частей и элюируют расчётным количеством хлористоводородной, серной и азотной кислот. Полученные элюаты анализируют на содержание актиния.

Пример 5 показывает, что наиболее эффективного элюирования актиния можно добиться при использовании элюата (хлористоводородная, серная, азотная кислота) с pH = 1,8-2,2.

(57) Формула изобретения

Способ получения радионуклидного генератора актиния-228, включающий растворение старой соли тория-232, отделение из полученного раствора тория-232, радия-228 и концентрирование актиния-228 из продуктивного раствора на сорбенте с последующим элюированием элюентом, отличающийся тем, что соль тория-232 растворяют до концентрации по торию в интервале 0,1-10 г/дм^3, далее в полученный раствор вводят ЭДТА с 2-3-кратным молярным избытком по отношению к торию-232 и поддерживают pH раствора соли тория-232 на уровне 4–8, отделение из полученного раствора тория-232 проводят путем совместной сорбции актиния-228 и радия-228 на сорбенте, содержащем MnO_2,при этом торий-232 остается в растворе, чем достигается

его отделение, а насыщенный актинием-228 и радием-228 сорбент, содержащий MnO_2, выдерживают в течение минимум 40 дней, после чего актиний-228 и радий-228 с сорбента, содержащего MnO_2, десорбируют раствором хлористоводородной кислоты с концентрацией 0,5-1 моль/дм^3 с получением раствора десорбции, содержащего актиний-228 и радий-228, который далее упаривают до влажных солей и растворяют в хлористоводородной кислоте до pH 1,8-2,2 с получением продуктивного раствора, из которого концентрируют актиний-228 с одновременным отделением от радия-228 на сорбенте, представляющем собой твердый экстрагент, содержащий в качестве активного компонента моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты, а в качестве элюента используют раствор неорганической кислоты с pH 0,8-1,2.

1

Концентрация тория в исходном растворе, г/дм^3	Избыток ЭДТА	pH раствора	Степень сорбции тория, %	Степень сорбции радия, %	Степень сорбции актиния, %	Удельная активность актиния, Бк/дм^3
0,05	2	6	0,01	99	99	195
0,1	2	6	0,01	99	99	390
1	1	6	процесс не идет из-за гидролиза тория			
1	2	2	0,01	5	28	3900
1	2	4	0,01	89	93	3900
1	2	6	0,01	98	96	3900
1	2	8	0,01	99	99	3900
1	2	10	процесс не идет из-за гидролиза тория			
1	3	6	0,01	98	99	3900
1	4	6	процесс не идет из-за растворение сорбента, содержащего MnO_2			
5	2	6	0,02	99	98	19500
10	2	6	0,03	97	97	39000
12	2	6	процесс не идет из-за гидролиза тория			

Фигура 1

Время выдержки, суток	Отношение активности радия-224 к активности радия-228
0	1
5	0,388
10	0,150
20	0,023
30	0,003
40	0,001
50	0,000

Фигура 2

Концентрация хлористоводородной кислоты, моль/дм^3	Степень десорбции радия, %	Степень десорбции актиния, %
0,1	56	34
0,5	98	91
1	99	97
2	процесс не идет из-за растворения сорбента, содержащего MnO_2	

Фигура 3

2

pH продуктивного раствора	Степень извлечения актиния, %	Степень извлечения радия, %
1	33	0,01
1,8	95	0,02
2,2	97	0,05
2,5	99	0,5
3	99	1,2

Фигура 4

pH элюата	Степень элюирования актиния, %
хлористоводородная кислота, pH = 0,5	99
хлористоводородная кислота, pH = 0,8	99
хлористоводородная кислота, pH = 1,2	97
хлористоводородная кислота, pH = 1,5	75
хлористоводородная кислота, pH = 2,0	46
серная кислота, pH = 1,2	98
азотная кислота, pH = 0,5	99

Фигура 5