

СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ РОДИЯ (III) ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ХЛОРИДНЫХ РАСТВОРОВ В ПРИСУТСТВИИ ХЛОРИДА ОЛОВА (II)

© 2016 г. А.А. Сусоева, А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, М.А. Михайленко

Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет) (СПбГТИ (ТУ))

Представительство в России компании «Purolite Ltd.», г. Москва

Статья поступила в редакцию 03.04.15 г., доработана 20.05.15 г., подписана в печать 25.05.15 г.

Изучено влияние добавок хлорида олова (II) на сорбцию родия (III) на ионите с изотиомочевинными функциональными группами Purolite S920, слабоосновном анионите Purolite S985 и сильноосновном анионите Purolite A500. Установлено, что введение SnCl_2 приводит к существенному повышению селективности всех опробованных ионитов к Rh(III) и скорости сорбции Rh(III) на ионитах S985 и S920. Определена оптимальная дозировка SnCl_2 (0,01 моль/л), при которой коэффициенты распределения Rh(III) при сорбции на всех опробованных ионитах достигают максимальных значений. Показано, что в процессе пропускания многокомпонентного хлоридного раствора состава, г/л: 0,2 Rh(III); 72,9 HCl; 53,5 NH_4Cl ; 2,7 Al(III); 1,23 Fe(III); 5,9 Sn(IV) – с добавкой SnCl_2 через ионит с изотиомочевинными функциональными группами Purolite S920 достигается практически количественное извлечение Rh(III). Десорбция Rh(III) из насыщенного ионита Purolite S920 подкисленным раствором тиомочевины протекает не полно, не более чем на 60 %.

Ключевые слова: родий (III), хлорид олова (II), растворы, извлечение, сорбция, десорбция, иониты, селективность, кинетика.

Сусоева А.А. – студентка-дипломница кафедры технологии редких элементов и наноматериалов на их основе СПбГТИ (ТУ) (190013, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, 26). E-mail: nuse4ka1211@yandex.ru.

Блохин А.А. – докт. техн. наук, профессор кафедры технологии редких элементов и наноматериалов на их основе СПбГТИ (ТУ). E-mail: blokhin@list.ru.

Мурашкин Ю.В. – канд. хим. наук, доцент этой кафедры. E-mail: murashkin-1@mail.ru.

Михайленко М.А. – канд. хим. наук, рук-ль направления гидрометаллургии представительства в России компании «Purolite Ltd.» (113096, г. Москва, Люсиновская ул., 36). E-mail: purolite_mm@co.ru.

Для цитирования: Сусоева А.А., Блохин А.А., Мурашкин Ю.В., Михайленко М.А. Сорбционное извлечение родия (III) из многокомпонентных хлоридных растворов в присутствии хлорида олова (II) // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2016. No. 5. С. 35–41. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2016-5-35-41.

Susoyeva A.A., Blokhin A.A., Murashkin Yu.V., Mikhaylenko M.A.

Sorptive recovery of rhodium (III) from multicomponent chloride solutions in presence of tin (II) chloride

The paper studies the effect of tin (II) chloride additive agents on the sorption of rhodium (III) on ion-exchange resin Purolite S920 with isothiuronium functional groups, weak base anion-exchange resin Purolite S985, and a strong-base anion-exchange resin Purolite A500. It is found that introduction of SnCl_2 leads to a substantial improving of selectivity of all tested ion-exchange resins to Rh(III), and increases sorption rate on ion-exchange resins S985 and S920. The paper determines the optimum dosage of SnCl_2 (0,01 mol/l), at which partition coefficients of Rh(III) during adsorption on all tested ion-exchange resins reach maximum values. It is shown that quantitative recovery of Rh(III) is achieved in practice during flowing of the multicomponent chloride solution composed of, g/l: 0,2 Rh(III); 72,9 HCl; 53,5 NH_4Cl ; 2,7 Al(III); 1,23 Fe(III); 5,9 Sn(IV) with addition of SnCl_2 , through the ion-exchange resin Purolite S920 with isothiuronium functional groups. Desorption of Rh(III) from the saturated ion-exchange resin Purolite S920 with the use of an acidified thiourea solution is not full, no more than 60 %.

Keywords: rhodium (III), tin (II) chloride, solutions, recovery, sorption, desorption, ion-exchange resins, selectivity, kinetics.

Susoyeva A.A. – student, Department of technology of rare elements and nanomaterials on their base, St. Petersburg State Technological Institute (Technical University) (StPSTI (TU)) (190013, St. Petersburg, Moscow av., 26). E-mail: nuse4ka1211@yandex.ru.

Blokhin A.A. – Dr. Sci. (Tech.), prof., Department of technology of rare elements and nanomaterials on their base, StPSTI (TU). E-mail: blokhin@list.ru.

Murashkin Yu.V. – Cand. Sci. (Chem.), associate prof., Department of technology of rare elements and nanomaterials on their base, StPSTI (TU). E-mail: murashkin-1@mail.ru.

Mikhaylenko M.A. – Cand. Sci. (Chem.), hydrometallurgy manager, representative office of «Purolite Ltd.» in Russia (113096, Moscow, Lyusinovskaya str., 36). E-mail: purolite_mm@co.ru.

Citation: *Susoyeva A.A., Blokhin A.A., Murashkin Yu.V., Mikhaylenko M.A.* Sorbtsionnoe izvlechenie rodiya (III) iz mnogokomponentnykh khloridnykh rastvorov v prisutstvii khlorida olova (II). *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya*. 2016. No. 5. P. 35–41. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2016-5-35-41.

Введение

Родий принадлежит к числу металлов платиновой группы (МПП), извлечение которых из растворов сложного состава, в частности из отработанных аффинажных растворов, из растворов, образующихся в ходе гидрометаллургической переработки отслуживших свой срок автомобильных катализаторов, вызывает особые затруднения [1]. Даже применение такого в целом избирательного метода извлечения ионов металлов, как сорбция на хелатообразующих ионитах, не обеспечивает глубокого извлечения родия из хлоридных растворов сложного состава [2, 3]. Обусловлено это, по всей вероятности, кинетической инертностью аквахлоридных комплексов родия (III), в виде которых он присутствует в производственных солянокислых растворах.

Повысить лабильность соединений Rh(III) в растворах и, тем самым, их реакционную способность можно путем введения в растворы хлорида олова (II), при взаимодействии с которым МПП, включая Rh(III), образуют оловогалогенидные комплексы, отличающиеся высокой лабильностью. Во внутреннюю координационную сферу таких комплексов входят ионы SnCl_3^- [4]. Этот прием (введение в растворы хлорида олова (II)) получил широкое распространение в аналитической химии МПП, в том числе родия, для их предварительного концентрирования, главным образом с помощью методов жидкостной экстракции [5]. Имеются публикации, в которых рассматривается возможность экстракционного извлечения Rh(III) в виде его комплексов с хлоридом олова (II) и для решения технологических задач [6–8]. Значительно меньше работ посвящено исследованию влияния добавок SnCl_2 на извлечение Rh(III) с помощью ионообменных сорбентов [9–11]. Так, в работах [9, 10] на примере сорбции Rh(III) на нескольких сильно- и слабоосновных анионитах, а также модифицированном хитозане из солянокислых растворов показано, что в присутствии SnCl_2 коэффициенты распределения Rh(III) заметно по-

вышаются, а в работе [11] рассмотрен механизм сорбции оловохлоридных комплексов родия на кремнеземе, содержащем ковалентно закрепленные N-(2,6-диметил-4-метилентрифенилфосфонийхлорид)-N'-пропилтиомочевинные группы.

Целью настоящей работы являлась оценка возможности повышения глубины извлечения родия (III) из многокомпонентных хлоридных растворов путем сорбции его на некоторых ионитах с различными функциональными группами в виде комплексов с хлоридом олова (II).

Методика исследований

Были опробованы образцы следующих промышленных ионитов: ионит Purolite S920 как представитель хелатообразующих ионитов с изотиомочевинными функциональными группами, в целом проявляющих выраженную избирательность к МПП [12]; слабоосновный анионит Purolite S985 с вторичными и первичными аминогруппами, который, по данным [3], среди ряда ионообменных смол с различными функциональными группами показал наиболее высокую избирательность к родию при сорбции из многокомпонентных хлоридных растворов; сильноосновный анионит Purolite A500/2788, относящийся к сильноосновным анионитам, способным к сорбции хлоридных (и аквахлоридных) комплексов МПП по чисто анионообменному механизму.

Головной раствор хлорида олова (II) с концентрацией 200 г/л готовили путем растворения навески соли квалификации ХЧ в 6 М растворе соляной кислоты.

Эксперименты проводили в статических и динамических условиях.

Во всех случаях растворы после введения SnCl_2 выдерживали на водяной бане при температуре 45 °С в течение 0,5 ч для перевода родия (III) в форму «красного» комплекса, охлаждали, после чего приводили в контакт с ионитами.

В экспериментах, проводимых в статических условиях, навески ионитов помещали в колбы и приводили в контакт с родийсодержащим раствором заданного состава, содержимое колб перемешивали в шейкере «Memmert ONE 14» при комнатной температуре в течение 72 ч (времени, как показали предварительные опыты, достаточном для установления равновесия). По истечении указанного времени растворы отделяли от ионитов и проводили их анализ на родий (III). По изменению концентрации Rh(III) с учетом навески ионита и объема раствора рассчитывали значения массовой емкости ионитов (мг родия/г сухого ионита), которые затем, с учетом удельного объема ионитов, пересчитывали на объемную емкость (мг родия/мл набухшего ионита). Коэффициенты распределения Rh(III) определяли как отношение объемной емкости ионита по родию (III) к равновесной концентрации последнего в растворе.

Кинетику сорбции Rh(III) изучали по методу ограниченного объема. В стакан вводили родийсодержащий раствор объемом 50 мл. Стакан помещали в термостат. Затем в стакан вводили навески ионитов по 0,5 г в пересчете на сухую массу ионита и включали мешалку. Через определенные промежутки времени отбирали пробы раствора, которые анализировали на Rh(III). Суммарный объем отобранных проб не превышал 6 % от общего объема раствора.

Опыты в динамических условиях проводили в колонке, содержащей 7 мл ионита (S920), при соотношении высоты слоя ионита и внутреннего диаметра колонки, равном 10 : 1. Средняя скорость пропускания раствора при сорбции и десорбции S920 составляла ~7 мл/ч (1 уд. об./ч). Пробы раствора отбирали на выходе колонны и анализировали на Rh(III).

Для оценки концентрации Rh(III) использовали фотоколориметрический метод анализа, основанный на измерении оптической плотности растворов, содержащих соединения, которые образуются при взаимодействии родия (III) с хлоридом олова (II) и иодид-ионом [13]. При определении Rh(III) в тиомочевинных растворах пробы предварительно обрабатывали царской водкой для разложения тиомочевины.

Результаты и их обсуждение

Полнота превращения ионов металлов в форму тех или иных комплексов определяется прежде всего концентрацией свободного лиганда, в дан-

ном случае хлорида олова (II). Действительно, если ионит будет проявлять повышенную избирательность к оловохлоридным комплексам родия (III), то понятно, что чем выше будет концентрация введенного SnCl₂, тем лучше должен будет сорбироваться Rh(III), — пока он, наконец, полностью не перейдет в форму координационно насыщенного оловохлоридного комплекса. Согласно [14], родий в хлоридных растворах способен образовывать с хлоридом олова (II) не только комплексы, в которых родий находится в степени окисления III, типа [Rh(SnCl₃)_nCl_{6-n}]³⁻, где *n* может принимать значения от 1 до 5 в зависимости от количества введенного SnCl₂, среди которых наиболее устойчивым является комплекс [Rh(SnCl₃)₃Cl₃]³⁻, но и комплекс родия (I) состава [Rh(SnCl₃)₅]⁴⁻, образующийся и преобладающий в растворах с мольным соотношением [Sn] : [Rh] ≥ 6 : 1.

В связи с этим на начальном этапе проведения данной серии исследований было изучено влияние количества вводимого SnCl₂ на сорбцию родия (III) на выбранных ионитах из растворов с постоянной концентрацией HCl, составляющей 2, 4 и 6 моль/л. Полученные результаты показали, что концентрация HCl в рассмотренном интервале ее концентраций не оказывает существенного влияния на ход зависимостей коэффициентов распределения Rh(III). На рис. 1 приведены данные о влиянии хлорида олова (II) на коэффициенты распределения родия (III) при сорбции на выбранных ионитах из растворов с концентрацией соляной кислоты 4 моль/л. Их анализ показывает, что коэффициенты распределения Rh(III) на всех опро-

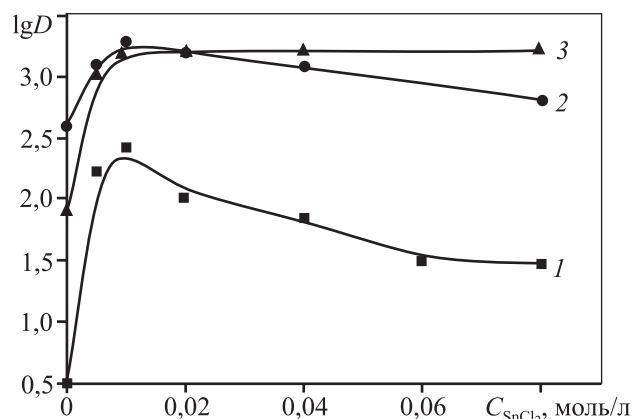


Рис. 1. Зависимость коэффициентов распределения родия (III) при сорбции на анионитах A500 (1), S985 (2), S920 (3) от концентрации SnCl₂ из 4 М соляной кислоты
Концентрация Rh(III) в исходном растворе – 1,4 ммоль/л

бованных ионитах более или менее резко повышаются при введении в растворы SnCl_2 . Особенно ярко эта тенденция проявляется при сорбции Rh(III) на сильноосновном анионите А500, а также на ионите с изотиомочевинными группами S920. Максимальных значений коэффициенты распределения Rh(III) для всех опробованных ионитов достигают при концентрации SnCl_2 , равной 0,01 моль/л, т.е. при мольном отношении $\text{Rh} : \text{SnCl}_2 = \sim 1 : 7,1$. При дальнейшем росте концентрации вводимого хлорида олова (II) способность к сорбции родия (III) анионитов А500 и S985 начинает снижаться, причем более резко — сильноосновного анионита А500, в то время как хелатообразующего ионита S920 — остается на том же уровне.

Представлялось, что причиной снижения способности анионитов к сорбции Rh(III) может явиться возникновение в растворах хлорида олова (IV), главным образом вследствие частично-го окисления хлорида олова (II) растворенным кислородом в ходе контактирования растворов с ионитами при интенсивном перемешивании, сопровождающемся аэрацией растворов, а также, возможно, окисление хлорида олова (II) при образовании оловохлоридного комплекса $[\text{Rh}(\text{SnCl}_5)]^{4-}$ [14]. Естественно, при увеличении количества вводимого хлорида олова (II) должна повышаться концентрация в растворе хлорида олова (IV). Хлорид олова (IV) в солянокислых растворах присутствует в виде анионного комплекса SnCl_6^{2-} , имеющего высокое сродство к анионитам [15], и, тем самым, способен конкурировать за анионообменную сорбцию с оловохлоридными комплексными анионами родия (III). Как следует из рис. 2, присутствие хлорида олова (IV) в большей степени сказывается на сорбции анионных комплексов Rh(III) с хлоридом олова (II) на сильноосновном анионите А500, сорбция ионов на котором может осуществляться исключительно по анионообменному механизму, в меньшей степени — на анионите S985, который, по нашему мнению, сорбирует родий, хотя бы частично, за счет образования координационных связей между родием (III) и аминогруппами анионита.

Отсутствие влияния хлорида олова (IV) на сорбцию родия (III) на ионите S920 позволяет предполагать, что этот ионит сорбирует Rh(III) , находящийся в растворе в виде комплексов с хлоридом олова (II), в основном по механизму комплексообразования, по-видимому, с образованием смешанно-лигандных комплексов, в состав которых

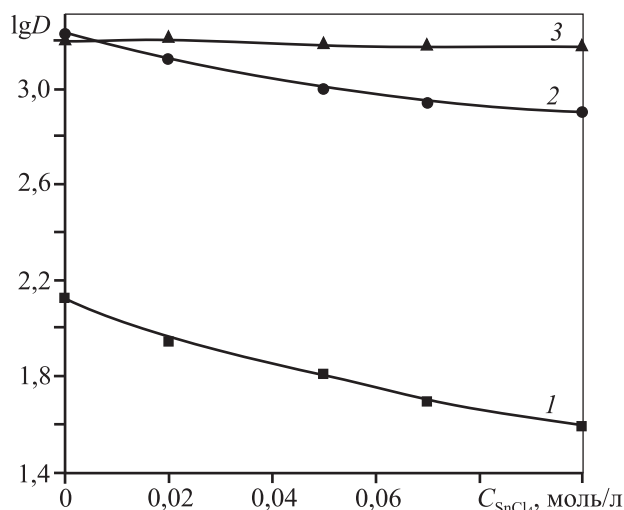


Рис. 2. Зависимость коэффициента распределения Rh(III) при сорбции на анионитах А500 (1), S985 (2), S920 (3) от концентрации хлорида олова (IV) из 4 М соляной кислоты в присутствии 0,02 моль/л хлорида олова (II) Концентрация Rh(III) в исходном растворе — 1,4 ммоль/л

входят одновременно ионы SnCl_3^- и изотиомочевинные группы ионита [11].

Введение в растворы хлорида олова (II) сказывается не только на равновесии, но и на кинетике сорбции родия (III). Были проведены сравнительные эксперименты по изучению кинетики сорбции Rh(III) на ионитах S985 и S920 при наличии SnCl_2 и в его отсутствие. Кинетику сорбции Rh(III) исследовали из 4 М раствора соляной кислоты с концентрацией родия 1,4 ммоль/л при $t = 25^\circ\text{C}$. Один из растворов был с добавкой хлорида олова (II) (0,02 моль/л), а другой — без нее. Полученные данные приведены на рис. 3.

Видно, что введение в раствор хлорида олова (II) приводит не только к повышению селективности ионитов S985 и S920 к Rh(III) , но и к увеличению скорости его сорбции. Так, на анионите S985 родий (III) в отсутствие SnCl_2 вначале сорбируется с высокой скоростью, но при достижении степени равновесия $\sim 0,8$ скорость процесса заметно уменьшается. По-видимому, это связано с различиями скоростей сорбции гексахлоридных и аквахлоридных комплексов родия (III), в виде которых он находится в растворе в отсутствие хлорида олова (II). При наличии SnCl_2 родий (III) на этом анионите практически полностью сорбируется за 1 ч. В заметно большей степени добавка хлорида олова (II) приводит к повышению скорости сорбции родия (III) на ионите S920 с изотиомочевинными группами.

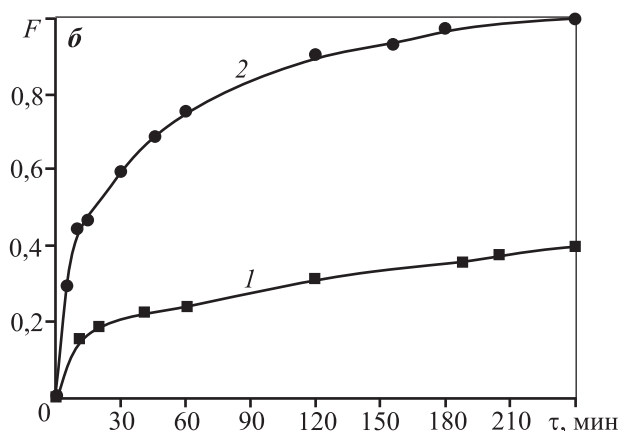
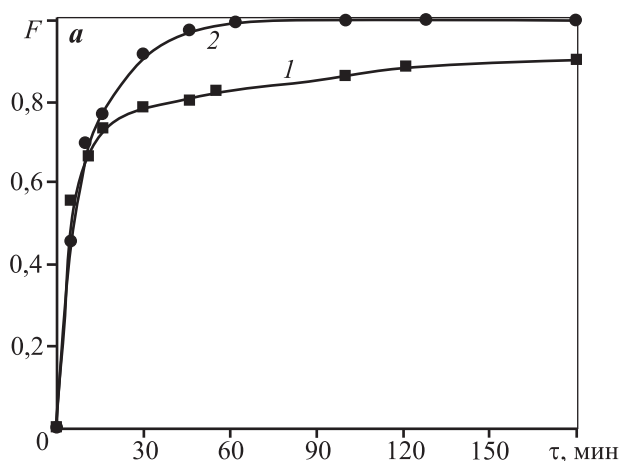


Рис. 3. Зависимость от времени степени достижения равновесия при сорбции родия (III) из 4 М соляной кислоты на анионите S985 (а) и ионите S920 (б) в отсутствие (1) и в присутствии (2) 0,02 моль/л хлорида олова (II)
Скорость вращения мешалки – 300 об/мин

На завершающей стадии работы были выполнены эксперименты по сорбционному извлечению Rh(III) на изотиомочевинном ионите S920 в динамических условиях из модельного раствора состава, г/л: 0,2 Rh(III); 72,9 HCl; 53,5 NH₄Cl; 2,7 Al(III); 1,23 Fe(III); 5,9 Sn(IV), в который, с учетом расхода на восстановление Fe(III), был введен хлорид олова (II) в количестве 0,04 моль/л. Десорбцию Rh(III) проводили, как это рекомендовано в [12], раствором состава: 50 г/л тиомочевины, 1 моль/л HCl при $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Выходная кривая сорбции родия (III) на ионите S920 в присутствии хлорида олова (II) приведена на рис. 4, там же представлена выходная кривая его десорбции.

Было установлено, что даже при использовании миниатюрной колонки с загрузкой ионита всего 7 мл наблюдается глубокое извлечение родия (III) —

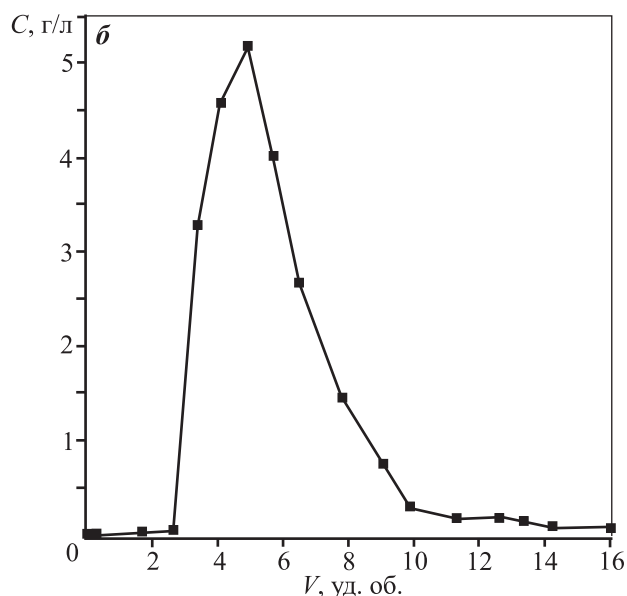
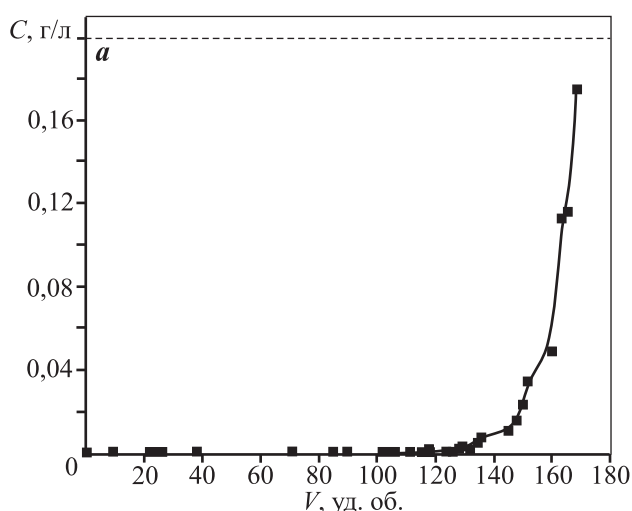


Рис. 4. Выходные кривые сорбции (а) и десорбции (б) родия (III)

его содержание в сорбате не превышает значения, соответствующего пределу его обнаружения использованным методом анализа (0,5 мг/л). Таким образом, степень извлечения Rh(III) составила не менее 99 %. Напомним, что ранее [3] было выявлено, что при сорбции Rh(III) в динамических условиях на ионите S985 в отсутствие хлорида олова (II) из раствора близкого состава степень его извлечения не превышала 90 %. Проскок родия (III) наступил лишь после пропускания 130 удельных объемов раствора. Выходная кривая сорбции Rh(III) имеет весьма крутой ход: полная динамическая обменная емкость ионита по родию оказалась равной 33,4 мг Rh(III)/мл набухшего ионита; емкость до проскока — 30,2 мг Rh(III)/мл набухшего ионита, что составляет ~90 % от полной дина-

мической обменной емкости. Ионит, насыщенный родием, приобрел красно-коричневый цвет.

При десорбции родия (III) подкисленным раствором тиомочевины наблюдается существенное его концентрирование в десорбате. Максимальная концентрация Rh(III) в десорбате достигает ~5,2 г/л, что превышает его содержание в рабочем растворе, подаваемом на сорбцию, в 26 раз. Однако десорбция родия (III) подкисленным раствором тиомочевины протекает не полно: общее количество десорбированного Rh(III) (20,3 мг/мл ионита) не превышает 60 % от количества сорбированного Rh(III). Ионит после обработки раствором тиомочевины заметно посветлел, но не обесцветился полностью и остался окрашенным в светло-коричневый цвет. Отсюда следует, что необходимо подыскать иной, более эффективный состав десорбирующего раствора и другие условия десорбции.

Выводы

1. На примере ионита с изотиомочевинными функциональными группами Purolite S920, слабо-основного анионита Purolite S985 и сильноосновного анионита Purolite A500 установлено, что введение добавок хлорида олова (II) приводит к резкому повышению селективности и скорости сорбции родия (III).

2. Показано, что в процессе пропускания многокомпонентного хлоридного раствора с добавкой хлорида олова (II) через ионит с изотиомочевинными функциональными группами Purolite S920 достигается практически количественное извлечение родия (III).

3. Десорбция Rh(III) из насыщенного ионита Purolite S920 подкисленным раствором тиомочевины протекает не полно.

Литература

1. *Benguereel E., Demopoulos G., Harris G.O.B.* Speciation and separation of rhodium (III) from chloride solutions: A critical review // *Hydrometallurgy*. 1996. Vol. 40. Iss. 1—2. P. 135—152.
2. *Блохин А.А., Гельман Г.Е., Клеандров В.Т., Мурашкин Ю.В.* Сорбционное извлечение платиновых металлов из отработанного электролита процесса электроаффинирования золота // *Драг. камни. Драг. металлы*. 2008. No. 11. С. 170—173.
3. *Блохин А.А., Воронина С.Н., Мурашкин Ю.В., Михайленко М.А., Медведский Н.Л.* Сорбционное извлечение родия из многокомпонентных солянокислых растворов // *Хим. технология*. 2012. No. 9. С. 543—547.
4. *Антонов П.Г., Кукушкин Ю.Н., Ануфриев В.И., Васильев Л.Н., Коновалов Л.В.* Комплексы родия (III) с тригалогенидами олова (II) // *Журн. неорганической химии*. 1979. Т. 24. No. 2. С. 419—425.
5. *Петрухин О.М., Мясоедова Г.В., Малофеева Г.И.* Химические методы разделения и концентрирования // *Аналитическая химия металлов платиновой группы: Сб. обзор. ст. / Под ред. Ю.А. Золотова, Г.М. Варшал, В.М. Иванова*. М.: Едиторал УРСС, 2003. Гл. 5. С. 140—195.
6. *Demopoulos G.P., Benguerel E., Harris G.* Recovery of rhodium: Pat. 5201942 A (USA). 1993.
7. *Alam M., Inoue K.* Extraction of rhodium from other platinum group metals with Kelex 100 from chloride media containing tin // *Hydrometallurgy*. 1997. Vol. 46. Iss. 3. P. 373—382.
8. *Sun P., Li M.* Separation of Ir(IV) and Rh(III) from chloride solutions by solvent extraction // *Hydrometallurgy*. 2011. Vol. 105. Iss. 3—4. P. 334—340.
9. *Alam M., Inoue K., Yoshizuka K., Ishibashi H.* Adsorptive separation of rhodium (III) using Fe(III)-templated oxine type of chemically modified chitosane // *Sep. Sci. Technol.* 1998. Vol. 33. Iss. 5. P. 655—666.
10. *Alam M., Inoue K., Yoshizuka K.* Ion exchange adsorption of rhodium (III) from chloride media on some anion exchangers // *Hydrometallurgy*. 1998. Vol. 49. Iss. 2—3. P. 213—217.
11. *Лосев В.Н., Кудрина Ю.В., Трофимчук А.К.* Особенности взаимодействия хлоридных и оловохлоридных комплексов родия и иридия с N-(2,6-диметил-4-метилентрифенилфосфонийхлорид)-N'-пропилтиомочевинными группами, ковалентно закрепленными на поверхности кремнезема // *Журн. неорганической химии*. 2005. Т. 50. No. 6. С. 961—966.
12. *Warshawsky A., Fieberg M.B., Michalik P., Murphy T.C., Ras Y.B.* The separation of platinum group metals (PGM) in chloride media by isothioronium resins // *Separ. Purific. Methods*. 1980. Vol. 9. Iss. 2. P. 209—265.
13. *Марченко З., Бальцежак М.* Методы спектрофотометрии в УФ и видимой областях в неорганическом анализе. М.: Бинум. Лаборатория знаний, 2009.
14. *Moriyama H., Aoki T., Shinoda S., Saito Y.* Tin-119 fourier-transform nuclear magnetic resonance study of rhodium-tin complexes formed in aqueous hydrochloric acid solutions of RhCl₃ and SnCl₂ // *J. Chem. Soc. Dalton Trans.* 1981. Iss. 2. P. 639—644.
15. *Мархол М.* Ионообменники в аналитической химии. М.: Мир, 1985.

Reference

1. *Benguereel E., Demopoulos G., Harris G.O.B.* Speciation and separation of rhodium (III) from chloride solutions: A critical review. *Hydrometallurgy*. 1996. Vol. 40. Iss. 1–2. P. 135–152.
2. *Blokhin A.A., Gelman G.E., Kleandrov V.T., Murashkin Yu.V.* Sorbtionnoe izvlechenie platinovykh metallov iz otrabotannogo elektrolita protsessa elektrorafinirovaniya zolota [Sorption recovery of platinum metals from the spent electrolyte of gold electrolytic process]. *Dragotsennyye kamni. Dragotsennyye metally*. 2008. No. 11. P. 170–173.
3. *Blokhin A.A., Voronina S.N., Murashkin Yu.V., Mikhaylenko M.A., Medvedskii N.L.* Sorbtionnoe izvlechenie rodiya iz mnogokomponentnykh solyanokislykh rastvorov [Sorption recovery of rhodium from multicomponent hydrochloric acid solutions]. *Khimicheskaya tekhnologiya*. 2012. No. 9. P. 543–547.
4. *Antonov P.G., Kukushkin Yu.N., Anufriev V.I., Vasil'ev L.N., Konovalov L.V.* Kompleksy rodiya (III) s trigalogenidami olova (II) [Complexes of rhodium (III) with tin trihalides (II)]. *Zhurnal neorganicheskoi khimii*. 1979. T. 21. No. 2. P. 419–425.
5. *Petrukhin O.M., Myasoedova G.V., Malofeeva G.I.* Khimicheskie metody razdeleniya i kontsentrirvaniya [Chemical methods of separation and concentration]. In: *Analiticheskaya khimiya metallov platinovoi gruppy [Analytical chemistry of platinum metals group]*. Eds. Yu.A. Zolotov, G.M. Varshal, V.M. Ivanov. Moscow: Editoroal URSS, 2003. Chapter. 5. P. 140–195.
6. *Demopoulos G.P., Benguerel E., Harris G.* Recovery of rhodium: Pat. 5201942 A (USA). 1993.
7. *Alam M., Inoue K.* Extraction of rhodium from other platinum group metals with Kelex 100 from chloride media containing tin. *Hydrometallurgy*. 1997. Vol. 46. Iss. 3. P. 373–382.
8. *Sun P., Li M.* Separation of Ir(IV) and Rh(III) from chloride solutions by solvent extraction. *Hydrometallurgy*. 2011. Vol. 105. Iss. 3–4. P. 334–340.
9. *Alam M., Inoue K., Yoshizuka K., Ishibashi H.* Adsorptive separation of rhodium (III) using Fe(III)-templated oxine type of chemically modified chitosane. *Sep. Sci. Technol.* 1998. Vol. 33. Iss. 5. P. 655–666.
10. *Alam M., Inoue K., Yoshizuka K.* Ion exchange adsorption of rhodium (III) from chloride media on some anion exchangers. *Hydrometallurgy*. 1998. Vol. 49. Iss. 2–3. P. 213–217.
11. *Losev V.N., Kudrina Yu.V., Trofimchuk A.K.* Osobennosti vzaimodeystviya khloridnykh i olovokhloridnykh kompleksov rodiya i iridiya s N-(2,6-dimetil-4-metilntrifenilfosfoniikhlorid)-N'-propiltiomochevinnymi gruppami, kovalentno zakreplennymi na poverkhnosti kremneze-ma [Features of interaction of chloride and tin chloride complexes of rhodium and iridium with N-(2,6-dimetil-4-metilntrifenilfosfoniikhlorid)-N'-propiltiouria groups, covalently attached to a silica surface]. *Zhurnal neorganicheskoi khimii*. 2005. T. 50. No. 6. P. 961–966.
12. *Warshawsky A., Fieberg M.B., Michalik P., Murphy T.C., Ras Y.B.* The separation of platinum group metals (PGM) in chloride media by isothioronium resins. *Separ. Purific. Methods*. 1980. Vol. 9. Iss. 2. P. 209–265.
13. *Marchenko Z., Bal'tsezhak M.* Metody spektrofotometrii v UF i vidimoi oblastiakh v neorganicheskom analize [Methods of spectrophotometry in the UV and visible regions in inorganic analysis]. Moscow: Binom. Laboratoriya znanii, 2009.
14. *Moriyama H., Aoki T., Shinoda S., Saito Y.* Tin-119 fourier-transform nuclear magnetic resonance study of rhodium-tin complexes formed in aqueous hydrochloric acid solutions of RhCl₃ and SnCl₂. *J. Chem. Soc. Dalton Trans.* 1981. Iss. 2. P. 639–644.
15. *Markhol M.* Ionoobmenniki v analiticheskoi khimii [Ion exchangers in analytical chemistry]. Moscow: Mir, 1985.