

сионным методом с индуктивно связанной плазмой (АЭС-ИСП) на спектрометре iCAP 6500 DUO (Thermo Scientific, США) и масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) на приборе Xseries II (Thermo Scientific, США).

В предыдущих исследованиях [2] предложен способ сжигания УК в режиме кипящего слоя при температуре 1200 °С с концентрированием галлия в зольном остатке до 0,8 масс. %, в среднем 0,4 масс. %, со степенью извлечения в золу ~90 %.

Недостатком такого способа переработки является образование высокоупорных зол, в которых галлий инкапсулирован в стеклообразную фазу. Кроме того, для выщелачивания галлия из золы был предложен способ его сплавления с щелочными металлами. На практике, тем более в промышленном масштабе, реализация такого способа затруднительна.

Поэтому в данной работе предложено проводить сжигание УК при более низкой температуре 900 °С, при которой образуется значительно меньше количество стеклообразной фазы.

Выщелачивание галлия из полученной золы проводили растворами с содержанием NaOH от 50 до 200 г/л при температурах от 25 до 80 °С в течение 2 ч. Установлено, что в ходе выщелачивания образуются галлийсодержащие растворы, которые пригодны для извлечения галлия галловой алюминией. Определено, что степень извлечения Ga на галламе алюминия составляет 90 %.

Предлагаемый подход к переработке углеродного концентрата, помимо извлечения Ga, позволяет в 10 раз сократить его объём как одного из самых масштабных отходов алюминиевого производства, как следствие, снизить техногенную нагрузку на окружающую среду.

Исследования проведены на оборудовании Центра коллективного пользования СФУ.

Список литературы

1. Патент № 2585566 Российская Федерация, МПК C22B 7/100 (2006.01), СПК C22B 7/00 (2018.08). Способ переработки угольной пены электролитического производства: № 2018121206: заявл. 07.06.2018: опубл. 07.06.2019 / Пингин В. В., Жердев А. С., Богданов Ю. В., Павлов С. Ю., Груцинский А. А., Рожнев А. Н., Малышкин А. В.; заявитель РУСАЛ. – 9 с.
2. Шиманский А. Ф., Лосев В. Н., Буйко О. В., Ясинский А. С., Казанцев Я. В., Еромасов Р. Г. Перспективы утилизации углеродного концентрата – техногенного продукта переработки угольной пены алюминиевого электролизера // Экология и промышленность России, 2021. – Т. 25. – № 11. – С. 12–17.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ РОЗЕНА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ИЗОТЕРМ ЭКСТРАКЦИИ УРАНА В СИСТЕМЕ $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2\text{--HNO}_3\text{--ТБФ}$

А. О. Ушаков^{1,2}, М. Д. Носков², А. В. Муслимова²

Научный руководитель – д.х.н., профессор отделения ядерно-топливного цикла И. И. Жерин¹

¹Томский политехнический университет
634034, г. Томск, пр. Ленина, 30

²Северский технологический институт НИЯУ МИФИ
636036, г. Северск, Томской обл., пр. Коммунистический, 65, su96.su96.su96@mail.ru

В настоящее время экстракция входит в число наиболее распространенных процессов атомной промышленности и находит широкое применение в технологиях разделения и очистки урана от примесей. Одним из направлений совершенствования экстракционной технологии является математическое моделирование.

В связи с тем, что определение концентрации целевых компонентов, извлеченных в ор-

ганическую фазу, является одной из ключевых задач при проведении моделирования экстракционного процесса, использование подходящей адекватной математической модели для построения изотерм экстракции предоставит возможность рассчитать параметров, которые оказывают непосредственное влияние на протекание экстракционного процесса и его эффективность.

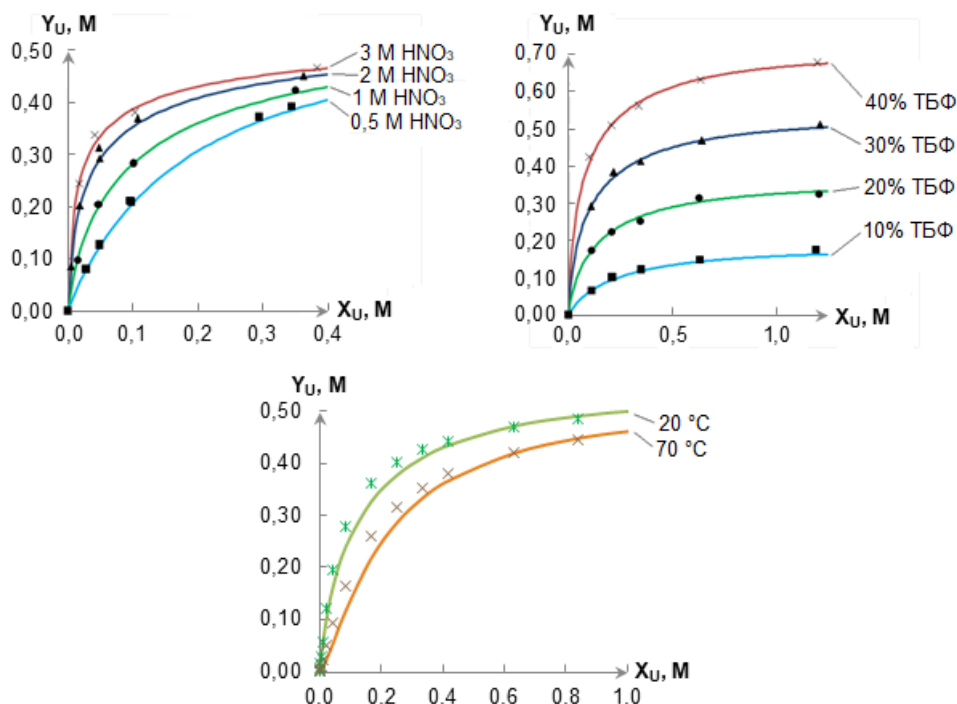


Рис. 1. Изотермы экстракции урана

а – изотермы экстракции урана, построенные для концентрации трибутилфосфата в 30 %; б – изотермы экстракции урана, построенные для концентрации азотной кислоты в 1 М; в – изотермы экстракции урана, построенные для концентрации азотной кислоты в 1 М и концентрации трибутилфосфата равной 30 % при различной температуре. (Метки на графиках – экспериментальные данные)

В ходе данной работы с помощью математической модели Розена А.М. [1] построены и проанализированы изотермы экстракции урана в экстракционной системе $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2\text{--HNO}_3\text{--ТБФ}$ при изменении концентраций азотной кислоты и трибутилфосфата.

$$\left\{ \begin{array}{l} y = \frac{1}{2} \left(L_0 - \frac{\sqrt{1 + 8FL_0} - 1}{4F} \right) \\ F = \frac{f_U}{(1 + f_H)^2} \\ f_U = \tilde{k}_U x_U (2x_U + x_{\text{HNO}_3})^2 \\ \tilde{k}_U = e^{4,8 - 5,77(x_{\text{HNO}_3} + 2x_U)^{0,5} + 4,17(x_{\text{HNO}_3} + 2x_U)^{-0,712}(x_{\text{HNO}_3} + 2x_U)^{1,5}} \\ f_H = 0,2x_{\text{HNO}_3} (2x_U + x_{\text{HNO}_3}) \end{array} \right. \quad (1)$$

где y – содержание урана в органической фазе, моль/л; x_U – содержание урана в водной фазе, моль/л; x_{HNO_3} – содержание кислоты в водной фазе, моль/л; L_0 – начальная концентрация экстрагента, моль/л.

На основе системы уравнений (1) и экспериментальных данных о равновесных значениях концентрации урана [2] построены изотермы экстракции урана (рис. 1).

В ходе сравнительного анализа изотерм экстракции (рис. 1.) было установлено наличие незначительных отклонений данных, полученных с использованием модели Розена А. М. от экспериментальных. Дополнительные расчеты с использованием критерия Фишера подтвердили адекватность модели в заданных условиях.

Список литературы

1. Розен А. М. Термодинамика экстракционных равновесий уранилнитрата // *Атомная энергия*, 1957. – Т. 2. – № 5. – С. 445–458.
2. Николотова З. И., Карташова Н. А. Экстракция нейтральными органическими соединениями. *Справочник по экстракции*. – М.: Атомиздат, 1976. – 598 с.