

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор-директор ФТИ

\_\_\_\_\_ О.Ю. Долматов  
« \_\_ » \_\_\_\_\_ 2014 г.

**В.А. Карелин**

## **ЭКСТРАКЦИЯ ТРИБУТИЛФОСФАТОМ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
по курсу «Радиохимия» для студентов III курса,  
обучающихся по направлению 240501  
«Химическая технология материалов  
современной энергетики»

Издательство  
Томского политехнического университета  
2014

УДК 543.52:546.791  
ББК 00000  
А00

**Карелин В.А.**

А00 Экстракция трибутилфосфатом: методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Радиохимия» для студентов III курса, обучающихся по направлению 240501 «Химическая технология материалов современной энергетики» / В.А. Карелин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 13 с.

УДК 543.52:546.791  
ББК 00000

Методические указания рассмотрены и рекомендованы  
к изданию методическим семинаром кафедры  
ХТРЭ ФТИ  
«\_\_\_»\_\_\_\_\_ 2014 г.

Зав. кафедрой ХТРЭ ФТИ  
доктор технических наук, профессор \_\_\_\_\_ *А.Н. Дьяченко*

Председатель учебно-методической  
комиссии \_\_\_\_\_ *И.О. Фамилия*

*Рецензент*

Канд. хим. наук, доцент каф. ХТРЭ ФТИ ФГБОУ НИ ТПУ  
*Р.В. Оствальд*

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2014  
© Карелин В.А., 2014

## Содержание

1	Теоретические основы процесса .....	4
1.1	Общая характеристика экстракции .....	4
1.2	Классификация экстрагентов и механизмов экстракции соединений урана .....	4
2	Экспериментальная часть .....	8
2.1	Реактивы и посуда .....	8
2.2	Выполнение работы .....	8
3	Безопасность труда .....	11
	Библиография .....	12

## 1 Теоретические основы процесса

### 1.1 Общая характеристика экстракции

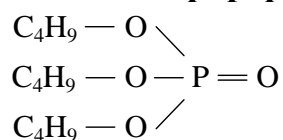
**Экстракция** – это извлечение какого-либо вещества из одной фазы в другую (от латинского *extrago* – вытягиваю, извлекаю). В более узком смысле можно говорить о жидкостной экстракции. **Жидкостная экстракция** – это процесс извлечения вещества из одной жидкой фазы (обычно водного раствора) в другую (обычно органическую). В настоящее время жидкостную экстракцию широко применяют в аналитической и препаративной химии, в физико-химических исследованиях, в технологии для извлечения и очистки цветных и редких металлов, в радиохимии и радиохимической технологии для разделения и очистки радиоактивных элементов и отдельных радионуклидов. Органическая фаза при экстракции может состоять из одного вещества, которое называют **экстрагентом** или может содержать разбавитель, а также другие добавки. Экстрагент образует с веществом, извлекаемым из водной фазы в органическую, **экстракционное соединение**. Как и экстрагент, экстракционное соединение мало растворимо в водной и хорошо растворимо в органической фазе. При этом извлекаемое вещество переходит из водной фазы в органическую. На практике органическая фаза чаще всего представляет собой многокомпонентный раствор, в котором кроме экстрагента (Э) и экстракционного соединения (ЭС) присутствует разбавитель, а иногда и другие компоненты. **Разбавитель** – инертный органический растворитель, используемый для растворения твердых экстрагентов, для повышения растворимости экстракционного соединения в органической фазе, а также для улучшения гидродинамических свойств органической фазы (уменьшения вязкости, изменения или увеличения плотности).

### 1.2 Классификация экстрагентов и механизмов экстракции соединений урана

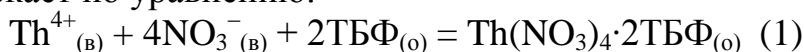
Рассмотрим экстрагенты и наиболее характерные для них механизмы по классификации, принятой в технологии [1].

#### **Первая группа – нейтральные экстрагенты.**

К этой группе экстрагентов относятся кислородсодержащие растворители: спирты, простые и сложные эфиры, альдегиды, кетоны и нейтральные фосфорорганические соединения. Например, нейтральным экстрагентом является **трибутиловый эфир фосфорной кислоты – трибутилфосфат (ТБФ)**:

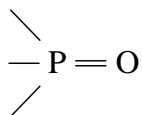


ТБФ способен экстрагировать четырех- и шестивалентные актиноиды из азотнокислых водных растворов. Например, экстракция четырехвалентного тория, протекает по уравнению:



Нижние индексы (в) и (о) обозначают водную и органическую фазы.

Образующееся по реакции (1) экстракционное соединение  $\text{Th}(\text{NO}_3)_4 \cdot 2\text{ТБФ}$  представляет собой координационное (комплексное) соединение, в котором электроно-донорный атом кислорода фосфорильной группы



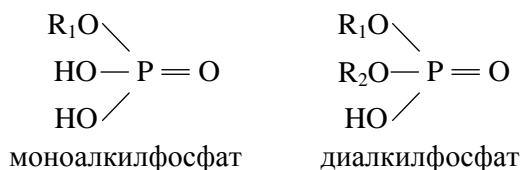
образует донорно-акцепторную связь с экстрагируемым металлом.

Образование такого экстракционного соединения рассматривают как процесс сольватации экстрагируемой соли металла экстрагентом.

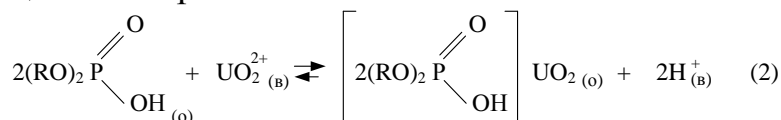
В реакции (1) образуется **дисольват нитрата тория с ТБФ**.

Рассмотренный **механизм экстракции** с образованием в органической фазе сольватов называется **сольватным или координационным**.

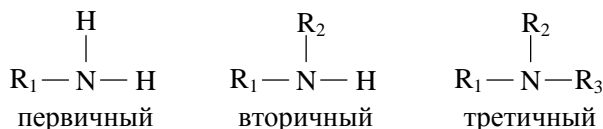
**2-я группа – органические кислоты**, например, ацетилацетон, теноилтрифторацетон, кислые алкилфосаты:



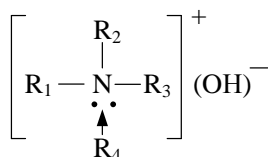
Экстракция урана экстрагентами 2-ой группы протекает по катионообменному механизму. В этом случае экстрагируемый металл в форме катиона переходит в органическую фазу, замещая водород органической кислоты, являющейся экстрагентом.



**3-я группа экстрагентов – органические амины**. Амины – это продукты замещения водорода в аммиаке на органические радикалы

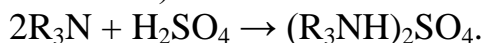


К аминам относятся такие **четвертичные аммониевые основания (ЧАО) и их соли**:

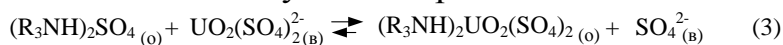


В аминах, как и в аммиаке, **азот имеет неподеленную пару электронов**, что обуславливает их **способность к образованию координационных соединений**.

Подобно аммиаку амины реагируют с кислотами, образуя соль амина (алкиламмония)



Соли аминов и служат экстрагентами:

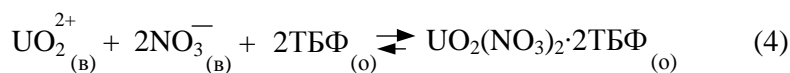


Этот механизм экстрагирования является по существу анионообменным и амины ведут себя подобно анионообменной смоле (только жидкой).

### 1.3 Экстракция нейтральными экстрагентами

Из нейтральных экстрагентов в химической технологии урана наибольшее распространение получил **трибутилфосфат**. ТБФ является эффективным экстрагентом для четырех- и шестивалентных актиноидов из азотнокислых водных растворов. ТБФ удовлетворительно экстрагирует тяжелые трехвалентные элементы при создании соответствующих условий и плохо или совсем не экстрагирует одно- и двухвалентные.

Экстракция азотнокислой соли уранила трибутилфосфатом протекает по уравнению:



Из уравнения видно, что ТБФ экстрагирует уранилнитрат в виде безводного сольвата с молекулярным соотношением нитрата к ТБФ, равным 1:2, т.е. в виде дисольвата нитрата уранила.

Реакцию экстрагирования урана можно охарактеризовать концентрационной константой равновесия, которая для реакции (4) имеет вид:

$$K_U = \frac{[UO_2(NO_3)_2 \cdot 2ТБФ]_{(о)}}{[UO_2^{2+}]_{(в)} \cdot [NO_3^-]_{(в)}^2 \cdot [ТБФ]_{(о)}^2} \cdot \frac{\gamma_{эс}}{\gamma_{\pm}^3 \cdot \gamma_{э}^2}, \quad (5)$$

где квадратные скобки обозначают равновесные концентрации соответствующих веществ;

$\gamma_{эс}$ ,  $\gamma_{э}$ ,  $\gamma_{\pm}$  – коэффициенты активности сольвата, экстрагента и средний коэффициент активности электролита.

С количественной стороны экстракция данного металла характеризуется коэффициентом распределения  $D$ , представляющим собой отношение общих (аналитических) концентраций металла в органической и водной фазах, находящихся в равновесии:

$$D = \frac{C_{U(о)}}{C_{U(в)}} = \frac{[UO_2(NO_3)_2 \cdot 2ТБФ]_{(о)}}{[UO_2^{2+}]_{(в)}}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (5) получаем **уравнение изотермы экстракции азотнокислого уранила трибутилфосфатом** (2):

$$D_U = K_U \cdot [NO_3^-]_{(в)}^2 \cdot [ТБФ]_{(о)}^2 \cdot \frac{\gamma_{\pm}^3 \cdot \gamma_{э}^2}{\gamma_{эс}}. \quad (7)$$

**Природа экстрагируемого соединения, экстрагента и температура оказывают влияние на коэффициент распределения через константу  $K$ .** Из уравнения изотермы экстракции видно, что коэффициент распределения представляет собой сложную функцию концентраций анионов и экстрагента, а также коэффициентов активности реагирующих веществ, и поэтому в общем случае является переменной величиной.

Зависимость  $D$  от концентрации  $UO_2(NO_3)_2$ , полученная экспериментально, показана на рис. 1.

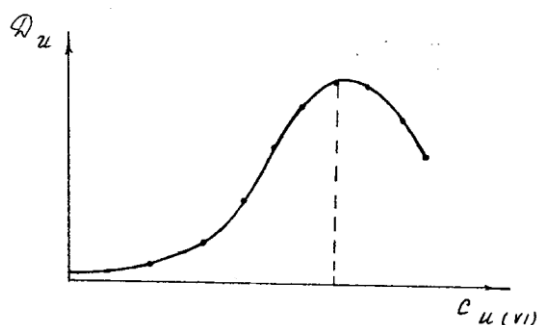


Рис. 1 – Зависимость коэффициента распределения урана от его концентрации в водной фазе при экстракции ТБФ

Изотермы экстракции отражают и влияние неэкстрагирующейся соли или кислоты с одноименным анионом. Такие соединения при введении их в экстракционную систему увеличивают коэффициенты распределения экстрагирующихся соединений и называются высаливателями.

При экстракции ТБФ нитратов актиноидов, лантаноидов в качестве высаливателей применяют азотную кислоту и неэкстрагируемые нитраты одно-, двух- и трехвалентных металлов (щелочных, щелочноземельных, Al, Fe и т.д.).

Как видно из уравнения (7) увеличение концентрации анионов  $\text{NO}_3^-$ , относящихся к высаливателю, приводит к увеличению коэффициента распределения  $D$ . Этот эффект вытекает из закона действующих масс и не зависит от индивидуальности высаливателя. Однако, экспериментально установлено, что  $D$  зависит от природы и концентрации катиона высаливателя, что объясняется его гидратацией. Чем больше гидратирован катион высаливателя, тем сильнее он увеличивает коэффициент распределения. Этот эффект обусловлен тем, что катион высаливателя в водном растворе понижает концентрацию свободной воды за счет собственной гидратации.

Сильными высаливателями для  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  являются  $\text{LiNO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ .

Коэффициент распределения  $D$  имеет важное значение с точки зрения технологии экстракционных процессов (1).

1 Чем выше коэффициент распределения, тем большее количество вещества можно извлечь за одну операцию (контакт) экстрагирования. Поэтому желательно иметь экстрагенты с высокими коэффициентами распределения. При коэффициенте распределения, равном 10, уже при одном контакте извлечение составляет 90 %. Однако и при сравнительно невысоком  $D$  можно добиться хорошего извлечения повторением операций экстрагирования. Даже для такого низкого коэффициента распределения, равного 1, за пять контактов можно получить 97 %-ное извлечение ( $0,50 + 0,25 + 0,125 + 0,063 + 0,032 = 0,97$  или 97 %).

2 Различия коэффициентов распределения ценного компонента и примесей позволяют эффективно их разделить в процессе экстракции.

3 Даже небольшое различие коэффициентов распределения двух химически близких веществ дает возможность разделять их экстракционным

**методом и селективно выделять их.** Например, экстракция дает возможность разделить близкие по свойствам U и Pu, Nb и Ta и т.п.

## 2 Экспериментальная часть

**Цель работы:** провести экстракционное извлечение урана (6+) из нитратного раствора трибутилфосфатом в синтине или бензине калоша с высаливателем и без высаливателя, определить коэффициент распределения урана, выяснить влияние высаливателя на величину коэффициента распределения.

### 2.1 Реактивы, посуда

- трибутилфосфат (ТБФ) – 20 мл.;
- синтин или бензин калоша – 25 мл.;
- натрия карбонат  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 10 %-ный раствор – 50 мл.;
- азотная кислота  $\text{HNO}_3$ , 10 %-ный раствор – 25 мл.;
- уранилнитрат  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ , 0,2 М раствор – 50 мл.;
- алюминий азотнокислый 40 %-ный раствор – 10 мл., приготавливается из кристаллогидрата  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ;
- колбы конические на 100 мл – 4 шт.;
- пробирки пластиковые на 10 мл. – 4 шт.;
- пробирки мерные на 10 мл. – 4 шт.;
- микропипетка – 1 шт.;
- делительные воронки на 100 мл – 3 шт.;
- цилиндры мерные объемом 10 и 50 мл – по 3 шт.;
- конические колбы объемом 100 мл – 2 шт.;
- конические колбы на 250 мл – 4 шт.;
- бюретка на 25 мл – 1 шт.;
- пипетки на 1 и 5 мл – по 5 шт.;
- штатив для бюретки – 1 шт.;
- плитка электрическая;
- ортофосфорная кислота, концентрированная ( $d = 1,6$  г/мл) – 15 мл.;
- соль Мора  $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , 10 % раствор в 0,5 н.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 5 мл.;
- азотная кислота, концентрированная – 1 мл.;
- мочевины  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , 10 % раствор – 20 мл.;
- дифениламиносульфонат натрия, 0,5 % раствор в 2 н.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  – 1 мл.;
- ванадат аммония  $\text{NH}_4\text{VO}_3$ , 0,042 н. раствор – 30 мл.;

### 2.2 Выполнение работы

2.2.1 При проведении экстракции ТБФ применяют легкий разбавитель – синтин или бензин калоша. Для этого в делительной воронке приготавливают органическую фазу (ОФ) – 30 или 40 %-ный об. раствор ТБФ в синтине или бензине калоша (по заданию преподавателя). Объем ОФ – 25 мл.

2.2.2 Раствор ТБФ в синтине или бензине калоша контактируют (энергично встряхивают) в делительной воронке с 10 %-ным раствором  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , соотношение



объемов 1:1. Разделяют водную и органическую фазы. Водную фазу сливают в отходы.

2.2.3 Раствор ТБФ в синтине или бензине калоша, обработанный содой, контактируют с 10 %-ным раствором  $\text{HNO}_3$ , соотношение объемов 1:1. Разделяют водную и органическую фазы. Водную фазу сливают в отходы.

2.2.4 Раствор ТБФ в синтине или бензине калоша промывают водой, соотношение объемов органической и водной фаз 1:1. Операцию промывки водой проводят дважды.

Подготовленную таким образом органическую фазу используют для экстракционного извлечения урана без высаливателя и с высаливателем.

#### 2.2.5 Экстракция без высаливателя.

2.2.5.1 Проводят экстракционное извлечение урана ТБФ из водного азотнокислого раствора уранилнитрата без высаливателя при соотношении объемов О:В = 1:2.

Для этого в пластиковую пробирку с притертой пробкой вносят 5 мл 20 %-ного раствора уранил-нитрата и 2,5 мл 30 %-ного раствора ТБФ в синтине или бензине калоша. Пробирку закрывают пробкой и встряхивают в течение 3 минут.

2.2.5.2 После расслаивания фаз верхний органический слой осторожно удаляют с помощью микропипетки в мерную пластиковую пробирку.

2.2.5.3 Органическую фазу сливают в специальную колбу для отходов, содержащих органические жидкости. Из водной фазы пипеткой в мерную пробирку отбирают 2 мл раствора на анализ.

#### 2.2.6 Экстракция с высаливателем.

2.2.6.1 Проводят экстракционное извлечение урана ТБФ из водного азотнокислого раствора уранилнитрата с высаливателем при соотношении объемов О:В = 1:2.

Для этого в пластиковую пробирку с притертой пробкой вносят 5 мл 20 %-ного раствора уранил-нитрата, 2,5 мл 30 %-ного раствора ТБФ в синтине или бензине калоша и 3 мл 40 %-ного  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ . Пробирку закрывают пробкой и встряхивают в течение 3 минут.

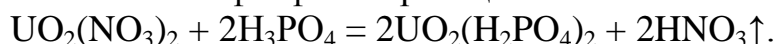
2.2.6.2 После расслаивания фаз верхний органический слой осторожно удаляют с помощью микропипетки в мерную пластиковую пробирку.

2.2.6.3 Органическую фазу сливают в специальную колбу для отходов, содержащих органические жидкости. Из водной фазы пипеткой в мерную пробирку отбирают 2 мл раствора на анализ.

2.2.7 Определяют концентрацию урана в пробах, отобранных из водных фаз с высаливателем и без высаливателя экспрессным **ферро-фосфатно-ванадатным методом** [3].

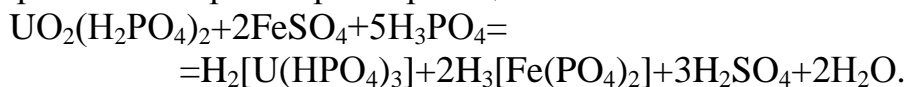
Этот метод основан на титровании  $\text{U}^{6+}$  ванадатом аммония  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  в присутствии индикатора – дифениламиносульфоната натрия.

Пробу анализируемого раствора  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$  сначала обрабатывают избытком ортофосфорной кислоты при кипячении для удаления азотной кислоты и перевода всего  $\text{U}^{6+}$  в кислый фосфат по реакции:



Присутствие в растворе азотной кислоты приведет в дальнейшем на операции восстановления урана к уничтожению (окислению) восстановителя.

После этого  $U^{6+}$  восстанавливают до  $U^{4+}$  железом (2+) в избытке горячего фосфорнокислого раствора по реакции:



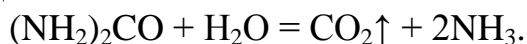
Избыток  $Fe(2+)$  и восстановленные примеси (Mo, As и др.) окисляют на холоду азотной кислотой до высших степеней окисления по реакции:



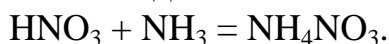
$U^{4+}$  в это время находится в растворе в виде прочного фосфатного комплекса и при температуре 15-20 °С не окисляется.

Далее избыточную азотную кислоту связывают мочевиной. Этот процесс протекает в две стадии.

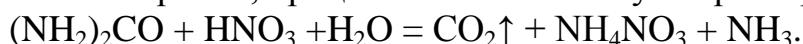
Вначале мочевина подвергается гидролизу в кислой и щелочной средах по реакции:



Затем выделившийся аммиак взаимодействует с азотной кислотой по реакции:

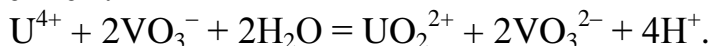


Таким образом, процесс описывается суммарной реакцией:



При неполном удалении азотной кислоты из раствора определения концентраций урана в анализируемом растворе будет заниженным. Признаком полного удаления  $HNO_3$  является отсутствие пузырьков выделяющегося газа.

Далее раствор  $U^{4+}$  титруют раствором ванадата аммония. Суммарная реакция окисления урана (4+) ионами ванадия (5+) в сильноокислых растворах выражается уравнением:



### **Последовательность операций при проведении анализа:**

2.2.7.1 Несколько миллилитров анализируемого раствора, содержащего от 25 до 100 мг  $U^{6+}$  помещают в коническую колбу на 250 мл и добавляют 15 мл концентрированной ортофосфорной кислоты.

2.2.7.2 Раствор нагревают до кипения и кипятят 4...6 минут (не более!!!), так как длительное кипячение приведет к пригоранию ортофосфорной кислоты на дне колбы.

2.2.7.3 Далее раствор охлаждают до 80...90 °С, разбавляют водой до 25 мл и тщательно перемешивают.

Затем добавляют 5 мл 10 % раствора соли Мора в 0,5 н. серной кислоте и снова тщательно перемешивают.

2.2.7.4 Полученный раствор нагревают до кипения на плитке и затем охлаждают до 15...20 °С.

2.2.7.5 Далее к раствору при энергичном перемешивании добавляют порциями по 0,2...0,3 мл концентрированной азотной кислоты до тех пор, пока не исчезнет появляющаяся вначале коричневая окраска. Исчезновение коричневой окраски указывает на окончание окисления  $Fe(2+)$ .

Цвет раствора становится таким, каким он был до приливания азотной кислоты.

2.2.7.6 После этого к раствору сразу же добавляют при тщательном перемешивании 15...20 мл 10 % раствора мочевины, 2...3 капли 0,5 % раствора дифениламиносульфоната натрия и титруют 0,042 н раствором ванадата аммония до появления устойчивой фиолетовой окраски.

2.2.7.7 При расчете количества  $U^{6+}$  в пробе принимают, что 1 мл раствора ванадата аммония соответствует 4,99 мг урана.

Концентрацию урана в исследуемом урансодержащем растворе рассчитывают по формуле:

$$C = \frac{4,99V_2 \cdot 1000}{V_1 \cdot 1000} = \frac{4,99V_2}{V_1}, \text{ г/л,}$$

где  $V_1$  – объем исходного урансодержащего раствора, мл;

$V_2$  – объем 0,042 н. раствора ванадата аммония, пошедшего на титрование, мл.

2.2.8 Вычисляют равновесные концентрации урана в органических фазах, используя при расчетах исходную концентрацию урана, равновесную концентрацию в водных фазах, а также равновесные объемы водной и органической фаз при экстракции с высаливателем и без него.

По закону эквивалентов для  $UO_2(NO_3)_2$ :

$$V_{(в)} \cdot N_{(в)} = V_{(о)} \cdot N_{(о)}, \quad (8)$$

где  $V_{(в)}$  и  $V_{(о)}$  – объемы водной и органической фаз уранил-нитрата, мл;

$N_{(в)}$  и  $N_{(о)}$  – концентрации уранил-нитрата в водной и органической фазах, мг-экв/мл.

Из уравнения (8) выразим  $N_{(о)}$ :

$$N_{(о)} = \frac{V_{(в)} \cdot N_{(в)}}{V_{(о)}}. \quad (9)$$

Величины  $V_{(в)}$ ,  $V_{(о)}$  и  $N_{(в)}$  из условий эксперимента известны.

В результате получают две величины концентрации  $UO_2(NO_3)_2$  – при проведении экстракции с высаливателем и без него  $N'_{(о)}$  и  $N''_{(о)}$ .

2.2.9 Вычисляют коэффициенты распределения  $D'$  и  $D''$  делением равновесной концентрации урана в органической фазе  $N'_{(о)}$  и  $N''_{(о)}$  на равновесную концентрацию урана в водной фазе при экстракции с высаливателем и без него:

$$D' = \frac{N'_{(о)}}{N_{(в)}}, \quad (10)$$

$$D'' = \frac{N''_{(о)}}{N_{(в)}}. \quad (11)$$

2.2.10 Для того, чтобы установить влияние высаливателя на экстракционное извлечение урана трибутилфосфатом необходимо сравнить коэффициенты распределения  $D'$  и  $D''$  с высаливателем и без него.

### 3 Безопасность труда

3.1. При работе с радиоактивными веществами необходимо надеть халат и резиновые перчатки.

3.2 Используемая в работе азотная кислота является сильным окислителем, при непосредственном контакте с кожей вызывает ожог. При ожогах кожи азотной кислотой необходимо промыть обожженное место струей воды, а затем промыть 2-3 % раствором гидрокарбоната натрия  $\text{NaHCO}_3$ .

3.3 Избегайте попадания раствора уранилнитрата и ТБФ на кожу так как соли урана особенно токсичны как легко растворимые и хорошо усваиваемые организмом соединения.

3.4 Не проводите работу возле электронагревательных приборов, так как трибутилфосфат имеет температуру вспышки  $163\text{ }^\circ\text{C}$ .

3.5 Все отходы радиоактивных веществ собирают в бутылку, имеющую надпись "Отходы", а отходы, содержащие ТБФ в синтине в бутылку с надписью "Органические вещества".

3.6 По окончании работы уберите рабочее место, вымойте руки с мылом, а затем приступайте к оформлению отчета.

### **Библиография**

1 Громов Б.В. Введение в химическую технологию урана. – М.: Атомиздат, 1978.

2 Николаев А.В., Афанасьев Ю.А. и др. Краткий курс радиохимии. – М.: Высшая школа, 1969.

3 Марков В.К., Виноградов А.В. и др. Уран, методы его определения. – М.: Атомиздат, 1960.

4 Копырин А.А., Карелин В.А., Карелин В.А. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива. М.: ЗАО «Издательство Атомэнергоиздат», 2006.

5 Жерин И.И., Амелина Г.Н. Основы радиохимии, методы выделения и разделения радиоактивных элементов: учебное пособие /Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 196 с.

6 Марков В.К., Виноградов А.В. и др. Уран, методы его определения. – М.: Атомиздат, 1960.

7 Глинка Н.Л. Общая химия. – М.: Интеграл-Пресс, 2005. – 728 с.

8 Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия: М: Высшая школа, 2001. – 373 с.

Учебное издание

КАРЕЛИН Владимир Александрович

## ЭКСТРАКЦИЯ ТРИБУТИЛФОСФАТОМ

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
по курсу «радиохимия» для студентов III курса,  
обучающихся по направлению 240501  
Химическая технология материалов  
современной энергетики»


**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 00.00.2013. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 2,7. Уч.-изд. л. 8,16.  
Заказ 000-13. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)