

УДК 546.791.027*238:547.233

О. В. Перлова, А. А. Ширькалова

Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,
кафедра физической и коллоидной химии,
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина
Одесский национальный медицинский университет,
кафедра медицинской химии,
пер. Валиховский, 2, Одесса, 65082, Украина

ФЛОТОЭКСТРАКЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ УРАНА(VI) ИЗ РАЗБАВЛЕННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В ПРИСУТСТВИИ ДОБАВОК ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Установлены основные закономерности извлечения соединений урана(VI) методом флотоэкстракции из сульфатных, нитратных и карбонатных растворов в присутствии добавок электролитов с помощью тонкоэмульгированного раствора триалкиламина в уайт-спирите. Показано, что в присутствии электролитов степень флотоэкстракционного извлечения урана уменьшается на 10—15 %, область оптимальных pH сужается и смещается в область, близкую к нейтральной, оптимальный расход собирателя существенно уменьшается, а константа скорости процесса возрастает в 1,5—2 раза. Опыты по извлечению соединений урана из карбонатных и сульфатных модельных растворов показали высокую эффективность флотоэкстракционного метода.

Ключевые слова: уран, флотоэкстракция, триалкиламин, уайт-спирит.

В настоящее время значительно возросло загрязнение окружающей среды ураном и его соединениями. Отходы уранового производства по существу можно подразделить на две группы: отходы рудников (шахтные воды) и отходы заводов по переработке уранового сырья [1]. Помимо основного загрязнителя — урана — технологические растворы содержат различные электролиты [2], содержание которых варьируется в широких пределах, но чаще всего не превышает 400 мг/дм³. Состав электролитов весьма разнообразен как по природе, так и по величине зарядов входящих в них ионов [2]. Это обуславливает необходимость поиска эффективных методов извлечения урана из содержащих электролиты водных растворов с целью их очистки и концентрирования урана.

Ранее [3—5] было показано, что для извлечения соединений урана(VI) из водных растворов целесообразно использовать метод флотоэкстракции, сочетающий в себе достоинства как экстракции, так и флотации. Метод флотоэкстракции позволяет интенсифицировать процесс извлечения урана: расширить область оптимальных pH, уменьшить расход ПАВ, улучшить кинетические характеристики процесса по сравнению с методом осадительной флотации [3—5].

Материалы и методы исследования

Объектами исследования служили нитратные, сульфатные и карбонатные растворы урана(VI), приготовленные из химически чистой соли $UO_2(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ и содержащие 50 мг ($2,1 \cdot 10^{-4}$ моль) металла в литре.

Концентрация нитрат-, сульфат- и бикарбонат-ионов в растворах составляла 0,02 моль/дм³. При выборе основных объектов исследования перечисленных выше растворов мы исходили из того, что с подобными растворами часто приходится сталкиваться в практике очистки разбавленных технологических растворов и сточных вод уранодобывающей промышленности [2, 6—7] после сернокислотного или содового выщелачивания урановых руд, а также после экстракционного извлечения урана из осветленных растворов. Концентрация анионов в растворах варьируется в широких пределах (в зависимости от состава урановой руды и технологической схемы ее переработки): от 0,001 до 0,1 моль/дм³ и в среднем составляет 0,02 моль/дм³. Формы нахождения урана в нитратных, сульфатных и карбонатных растворах, рассчитанные нами [5] для исходной концентрации урана $2,1 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³ и исходной концентрации анионов 0,02 моль/дм³ с учетом одновременного протекания реакций комплексообразования и гидролиза, менялись в зависимости от pH и состава раствора. Установлено [5], что уран находился в растворах либо в виде анионных сульфатных и карбонатных комплексов уранила, либо в виде катионных гидроксокомплексов уранила, либо в виде нейтральных сульфатных и гидроксокомплексов уранила.

Зная формы нахождения урана в водных растворах, можно сознательно выбирать реагенты, эффективные для флотоэкстракционного извлечения соединений урана из растворов различного ионного состава при различных pH. Эти реагенты должны содержать в своем составе полярные группы, способные взаимодействовать как с анионными, так и с катионными комплексами уранила. Учитывая вышесказанное, в качестве флотационного реагента предлагается использовать раствор триалкиламина в уайт-спирите.

Триалкиламин (ТАА) способен реагировать с анионными сульфатными и карбонатными комплексами уранила, поскольку представляет собой [8] технический продукт, являющийся смесью третичных (70 % по массе), вторичных (25 % по массе) и первичных (5 % по массе) алифатических аминов, содержащих в алкильной цепи 7—9 атомов углерода. Использование ТАА как доступного технического ПАВ позволит существенно снизить стоимость извлечения соединений урана из водных растворов по сравнению с индивидуальными катионными ПАВ (первичными, вторичными и третичными алифатическими аминами). В работе использовали ТАА со средней молекулярной массой 360 г/моль и ККМ $2,5 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³.

Уайт-спирит, с одной стороны, является растворителем (разбавителем) ТАА, а с другой стороны, способен взаимодействовать с катионными комплексами уранила, так как в его состав в качестве примесей входят органические кислоты, в основном нафтеновые кислоты и фенолы [9—11]. Выбор уайт-спирита был обусловлен также тем, что он является доступным, недорогим реагентом, менее летучим и менее токсичным по сравнению с керосином [9—11], который широко используется в практике жидкостной экстракции в качестве разбавителя. В работе использовали уайт-спирит с ТУ 2411-036-00151688-2004.

В качестве примера было изучено влияние добавок нитратов натрия, кальция и алюминия, а также хлорида, сульфата и ортофосфата калия на эффективность процесса флотоэкстракционного извлечения соединений урана. Добавки электролитов в виде 0,5 % растворов вводили в растворы урана до прибавления к ним реагента.

Реагент вводили в растворы урана(VI) в виде тонкоэмульгированного 0,1 % раствора в количествах, соответствующих молярным соотношениям

ТАА:U от 0,1:1 до 2,5:1. После введения реагента в растворы урана(VI) системы подвергали ультразвуковому диспергированию, затем устанавливали необходимое значение pH.

Эмульгирование растворов ТАА в уайт-спирите в урансодержащих растворах осуществляли с помощью ультразвукового диспергатора УЗНД-2Т с частотой стриктора 44 кГц в течение 15—20 мин. Флотационную обработку эмульсий осуществляли на установке для флотации путем пропускания через раствор диспергированного пористым материалом воздуха, описанной в [5]. Эмульсии в процессе флотации периодически анализировали на содержание в них урана(VI). Анализ осуществляли фотоколориметрически по стандартной методике [12] с использованием в качестве реагента арсеназо III. Об эффективности процесса флотации судили по степени извлечения урана

$$\alpha = \frac{C_p^0 - C_p}{C_p^0} \cdot 100, \quad (1)$$

где C_p^0 и C_p — концентрация урана(VI) в эмульсии (растворе) соответственно до и после флотации.

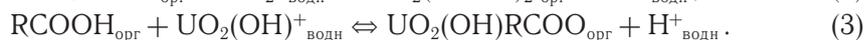
Результаты исследования и их анализ

Проведенные исследования подтвердили сделанное предположение о возможности использования тонкоэмульгированного раствора ТАА в уайт-спирите в качестве эффективного реагента для флотоэкстракционного извлечения соединений урана из нитратных, сульфатных и карбонатных растворов (табл. 1—4) в присутствии добавок электролитов.

При объяснении полученных результатов учитывали, что механизм влияния добавок электролитов на эффективность процесса флотации сложен и обусловлен действием (чаще противоположным) целого ряда факторов [13]: конкуренцией между извлекаемыми ионами и ионами, входящими в состав электролитов, за полярные группы ПАВ; изменением величины и знака электрокинетического потенциала флотируемых частиц и пузырьков воздуха; влиянием на ККМ ПАВ, растворимость флотируемых частиц и пр.

Показано, что концентрация введенного электролита (при данных условиях опытов) не оказывает существенного влияния на эффективность извлечения урана(VI) (табл. 1). Из табл. 1 следует, что в случае извлечения урана из карбонатных растворов присутствие электролитов оказывает более существенное влияние на эффективность процесса, чем в случае сульфатных растворов.

Поскольку уран(VI) находится в исходном карбонатном растворе с pH 4 в виде катионов UO_2^{2+} и $[UO_2(OH)]^+$, можно полагать, что происходит в основном катионообменная экстракция этих ионов с нефтяными кислотами $RCOOH$, входящими в состав уайт-спирита, по механизмам (2) и (3) и последующее флотационное извлечение «нагруженных» капель экстрагента:



При этом ионы Ca^{2+} и Al^{3+} могут оказывать конкуренцию урансодержащим катионам при взаимодействии с нефтяными кислотами,

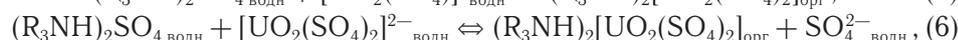
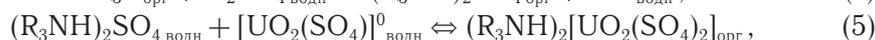
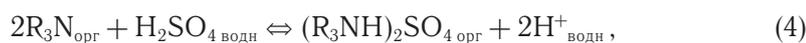
что приводит к уменьшению степени флотоэкстракционного извлечения урана(VI).

Таблица 1

Влияние природы и концентрации электролитов на степень флотоэкстракционного извлечения урана(VI) из его исходных карбонатных и сульфатных растворов (мольное соотношение компонентов ТАА:U = 1:1, pH 4)

С электролита, мг/дм ³	Электролит			Электролит		
	KCl	K ₂ SO ₄	K ₃ PO ₄	NaNO ₃	Ca(NO ₃) ₂	Al(NO ₃) ₃
Карбонатные растворы						
0	87	87	87	87	87	87
50	87	82	79	87	70	74
100	87	79	70	87	58	65
150	87	79	63	87	47	56
200	83	79	59	83	46	56
400	85	79	50	84	46	56
Сульфатные растворы						
0	65	65	65	65	65	65
50	65	64	66	65	72	66
100	66	67	67	66	68	67
150	65	64	68	66	63	68
200	64	65	70	65	59	57
400	65	62	70	64	50	52

В случае извлечения урана(VI) из сульфатных растворов с pH 4, вероятно, имеет место как анионообменная экстракция сульфатных комплексов уранила с сульфатами ТАА [14]:



так и катионообменная экстракция ионов UO_2^{2+} и $UO_2(OH)^+$ с нефтенными кислотами, входящими в состав уайт-спирита, по схемам (2) и (3).

В присутствии $NaNO_3$, $Ca(NO_3)_2$ и $Al(NO_3)_3$ конкурирующего влияния со стороны их ионов нет, т.к. катионы, входящие в состав этих солей, будут реагировать не с аминогруппами ТАА, а с карбоксильными группами нефтяных кислот по механизмам (2) и (3). Только этим фактом можно объяснить наблюдаемое уменьшение pH среды после флотации. Однако в присутствии $Ca(NO_3)_2$ и $Al(NO_3)_3$ степень флотоэкстракционного извлечения урана(VI) увеличивается, по-видимому, в результате уменьшения электрокинетического потенциала капель эмульсий, увеличения устойчивости образующихся комплексов, уменьшения растворимости сублатов. В присутствии же K_2SO_4 и K_3PO_4 анионы этих солей (SO_4^{2-} и $H_2PO_4^-$ при

pH 4) могут взаимодействовать с аминогруппами ТАА и тем самым создавать конкуренцию анионным комплексам уранила. Очевидно, этот фактор не является определяющим, т. к. степень извлечения урана не только не уменьшается, а даже несколько возрастает.

Значение pH среды оказывает существенное влияние на эффективность процесса извлечения урана методом флотоэкстракции из различных сред в присутствии 400 мг/дм³ Al(NO₃)₃ или K₃PO₄ (табл. 2). При извлечении урана данным методом из карбонатных растворов pH среды оказывает более сильное влияние на эффективность процесса в присутствии 400 мг/дм³ Al(NO₃)₃ ($\Delta\alpha \sim 40\%$), чем в присутствии 400 мг/дм³ K₃PO₄ ($\Delta\alpha \sim 10\%$). Последнее можно объяснить тем, что фосфат-ионы, присутствующие в растворе в виде H₂PO₄⁻ и HPO₄²⁻, оказывают приблизительно одинаковое конкурирующее влияние урансодержащим ионам при различных pH.

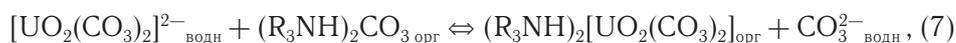
Напротив, различные гидролитические формы иона Al³⁺ (pH < 4,5 — Al³⁺; pH 4,5—6,5 — Al(OH)²⁺, Al(OH)₂⁺; pH 6,5—7,5 — Al(OH)₃; pH > 7,5 — Al(OH)₄⁻) [15] оказывают конкуренцию урансодержащим ионам, реагируя в кислой среде с карбоксильными группами нафтеновых кислот, а в щелочной — с аминогруппами ТАА. Кроме того, гидроксид алюминия способен к образованию гидроксид-гидрокарбонатных соединений алюминия [16]. В результате этого концентрация HCO₃⁻ и CO₃²⁻ уменьшается, что приводит в свою очередь к уменьшению устойчивости карбонатных комплексов уранила.

При извлечении урана методом флотоэкстракции из сульфатных растворов в присутствии Al(NO₃)₃ и K₃PO₄ в области значений pH 2—6 эффективность извлечения урана мало зависит от природы присутствующего в растворе электролита, в то время как при увеличении pH от 6 до 10 уран(VI) лучше извлекается в присутствии Al(NO₃)₃. Наблюдаемое различие с карбонатными растворами можно объяснить иными формами нахождения урана(VI) в сульфатных растворах. В данном случае Al(OH)₄⁻ не будет оказывать конкурирующего действия при pH > 7,5, поскольку при этом pH уран находится в растворе в виде гидроксида уранила UO₂(OH)₂, способного взаимодействовать с карбоксильными группами по донорно-акцепторному механизму [17].

При извлечении урана(VI) из нитратных растворов при pH < 6 наблюдается картина, аналогичная извлечению урана из карбонатных растворов, а при pH > 6 прослеживается аналогия с извлечением урана из сульфатных растворов.

Сопоставление величин pH, оптимальных для извлечения урана методом флотоэкстракции из различных сред в присутствии и отсутствии электролитов (табл. 2), показало, что в присутствии электролитов область оптимальных pH сужается и смещается в область, близкую к нейтральной. Степень извлечения урана из различных сред в присутствии электролитов при оптимальном pH немного меньше (на 10—15%), чем в их отсутствии.

При увеличении количества вводимого ТАА от 0,05 до 1 моль ТАА/моль U в карбонатный раствор урана(VI) в присутствии электролитов (табл. 3) степень извлечения урана из растворов с pH 6 непрерывно возрастает. Это связано, очевидно, с тем, что уран при pH 6 находится в виде анионных карбонатных комплексов, взаимодействующих с аминогруппами ТАА по механизму (7):



Флотэкстракционное извлечение соединений урана(VI)

поэтому увеличение количества последних благоприятно сказывается на эффективности процесса в отсутствии и присутствии электролитов.

Таблица 2

Влияние значения pH среды на степень флотэкстракционного извлечения урана(VI) в отсутствии и присутствии добавок электролитов (мольное соотношение компонентов ТАА:U = 1:1)

pH	Без электролита	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ $C = 400 \text{ мг/дм}^3$	K_3PO_4 $C = 400 \text{ мг/дм}^3$
Нитратные растворы			
2	57	58	67
4		55	62
5	91	56	74
6	99	90	93
7		89	76
8	84	70	73
10	91	69	67
Сульфатные растворы			
2	60	42	48
4	65	50	70
5	75	65	69
6	97	80	82
7	95	78	75
8	92	73	60
10	95	68	52
Карбонатные растворы			
2	85	25	51
4	85	56	49
5	75	62	52
6	62	70	57
7	58	42	50
8	55	22	47
10	48	22	45

Наличие в растворе электролитов по-разному влияет на степень извлечения урана в зависимости от природы электролита. Степень извлечения урана из карбонатных растворов в присутствии K_3PO_4 ниже, чем в присутствии $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ во всем интервале расхода флотационного реагента.

В присутствии $400 \text{ мг/дм}^3 \text{ Al}(\text{NO}_3)_3$ наблюдается небольшое (2—12 %) увеличение эффективности процесса, по-видимому, вследствие сжатия двойного электрического слоя, уменьшения электрокинетического потенциала капель эмульсий и снижения энергетического барьера отталкива-

Влияние количества (q) ТАА, введенного в растворы урана, на степень флотоэкстракционного извлечения урана в присутствии и отсутствии электролита (рН 6)

моль ТАА/моль U	Без электролита	Al(NO ₃) ₃ C = 400 мг/дм ³	K ₃ PO ₄ C = 400 мг/дм ³
Нитратные растворы			
0,05	90	98	99
0,10	92	95	94
0,25	95	89	93
0,50	97	90	93
1,00	99	90	92
Сульфатные растворы			
0,05	—	57	64
0,10	—	59	67
0,25	63	78	73
0,50	65	79	80
1,00	97	80	82
Карбонатные растворы			
0,05	—	52	47
0,10	50	52	49
0,25	52	55	50
0,50	55	57	52
1,00	62	70	55

ния между каплями эмульсии и пузырьками воздуха в процессе флотоэкстракции.

Напротив, в присутствии 400 мг/дм³ K₃PO₄ степень флотоэкстракционного извлечения урана незначительно падает по сравнению с аналогичным процессом в отсутствие электролитов. На наш взгляд, это можно объяснить конкуренцией между гидрофосфат- и дигидрофосфат-ионами и карбонатными комплексами уранила за аминогруппы ТАА.

Увеличение количества ТАА, введенного в сульфатные растворы урана(VI), содержащие добавки солей, также приводит к увеличению степени извлечения урана(VI). В данном случае достижение максимально возможной при данных условиях опыта степени извлечения урана(VI) наблюдается уже при небольших количествах введенного ТАА: 0,25 моль ТАА/моль U в присутствии K₃PO₄ и 0,5 моль ТАА/моль U в присутствии Al(NO₃)₃.

В случае извлечения урана методом флотоэкстракции из нитратных растворов максимальная степень извлечения урана имеет место при минимальных (0,05 моль ТАА/моль U) количествах введенного ТАА, а затем незначительно уменьшается. Найденная зависимость имеет большое практическое значение, так как позволяет извлекать уран из нитратных

растворов с помощью тонкоэмульгированного раствора ТАА в уайт-спирите практически нацело при минимальном расходе ПАВ.

Эффективность извлечения урана(VI) данным методом из сульфатных и нитратных растворов при всех расходах реагента в присутствии 400 мг/дм^3 K_3PO_4 выше, чем в присутствии такого же количества $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$. Это связано с формами нахождения урана в сульфатных и нитратных растворах с pH 6 и, следовательно, с механизмом процесса. В данных случаях уран извлекается преимущественно по механизму (3) в виде гидроксокомплексов $[\text{UO}_2\text{OH}]^+$, а гидроксокомплексы алюминия оказывают им конкурирующее действие.

Время (t_{min}), необходимое для достижения максимально возможных при данных условиях опыта степеней извлечения урана (α_{max}) из нитратных растворов в присутствии электролитов, составляет 300 с, из сульфатных растворов — 900 с, а из карбонатных — 600 или 1200 с в зависимости от добавленного электролита (табл. 4).

Таблица 4

Кинетические характеристики процесса флотоэкстракционного извлечения урана(VI) в отсутствие и присутствии добавок электролитов (мольное соотношение компонентов ТАА: U = 1: 1, pH 6)

Характеристика водной фазы		t_{min} , с	α_{max} , %	$K \cdot 10^3$, с^{-1}
Анион	Электролит ($C = 400 \text{ мг/дм}^3$)			
NO_3^-	—	300	97	9,33
	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	300	89	11,2
	K_3PO_4	300	93	13,00
SO_4^{2-}	—	600	97	4,5
	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	900	82	8,00
		600	83	10,0
CO_3^{2-}	—	600	62	3,0
	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	1200	70	5,6
	K_3PO_4	600	59	5,8

Кинетика процесса извлечения урана(VI) методом флотоэкстракции с помощью тонкоэмульгированных растворов ТАА в уайт-спирите из водных растворов в присутствии электролитов описывается уравнением, аналогичным уравнению реакции первого порядка

$$\ln C = \ln C_0 - K \cdot t,$$

где C и C_0 — концентрация (моль/дм³) урана в эмульсии (растворе) соответственно в начальный момент времени и в момент времени t ; K — константа скорости флотоэкстракционного процесса, с^{-1} .

Значения констант скорости, найденные путем графического решения данного уравнения, приведены в табл. 4. Из табл. 4 следует, что во всех случаях константа скорости процесса извлечения урана(VI) методом флотоэкстракции из различных сред в присутствии электролитов выше, чем

в их отсутствии. Кроме того, процесс флотации протекает быстрее, если раствор содержит добавку $400 \text{ мг/дм}^3 \text{ K}_3\text{PO}_4$, т. е. флотоагрегаты, образующиеся в системе в присутствии K_3PO_4 , несколько более активны, чем в присутствии $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$. В целом можно констатировать, что с кинетической точки зрения более целесообразно извлекать уран с помощью предлагаемого реагента из нитратных растворов в присутствии K_3PO_4 .

В заключение отметим, что флотоэкстракционный метод был испытан нами при извлечении соединений урана из модельных растворов, имитирующих шахтные карбонатные воды и содержащих [3], мг/дм^3 : $\text{U} - 7$, $\text{Cl}^- - 140$, $\text{NaHCO}_3 - 462$, $\text{Ca}^{2+} - 10$, $\text{Mg}^{2+} - 65$, $\text{SO}_4^{2-} - 40$, а также из модельных растворов, имитирующих технологические растворы, образующиеся при сернокислотном вскрытии «бедных» урановых руд и содержащие [3], г/дм^3 : $\text{U} - 0,1$, $\text{Ca}^{2+} - 0,5$, $\text{Mg}^{2+} - 0,5$, $\text{Fe} - 0,5$, $\text{Al} - 2$, $\text{SO}_4^{2-} - 15$. Флотационную обработку осуществляли на пневматической флотационной установке при pH 4 (карбонатные модельные растворы) и pH 6 (сульфатные модельные растворы), расходе собирателя 1 моль ТАА/моль урана (70 мг/дм^3), времени флотации 600 с. Испытания показали, что методом флотоэкстракции из карбонатных модельных растворов за одну операцию уран может быть извлечен практически нацело — на 99 %, что соответствует остаточной концентрации урана $0,07 \text{ мг/дм}^3$, а из сульфатных модельных растворов — за одну операцию на 48 %, а за две последовательные операции — на 98 %, что соответствует остаточной концентрации урана 2 мг/дм^3 .

Литература

1. Урановые шахты Кировоградщины: зона для избранных // Экономические известия. — 2007. — 12 дек. — Режим доступа : <http://kirovograd.rks.kr.ua/daily/kirovograd/2007/12/12/kirovograd-uran/-42k>
2. Гидрометаллургическая переработка уранорудного сырья / Скороваров Д. И., Смирнов Ю. В., Ефимова З. И. [и др.] ; под ред. Д. И. Скороварова. — М. : Атомиздат, 1979. — 280 с.
3. Менчук В. В. Физико-химические закономерности флотационного выделения уран- и торийсодержащих анионов из разбавленных карбонатных и сернокислых растворов с помощью катионных поверхностно-активных веществ: дис. ... канд. хим. наук : 02.00.11 / Василий Васильевич Менчук. — Одесса, 1983. — 161 с.
4. Нилова О. В. Фосфорсодержащие ПАВ как флотационные собиратели ионов урана, тория и лантана : дис. ... канд. хим. наук : 11.00.11 / Нилова Ольга Владимировна. — Одесса, 1993. — 164 с.
5. Перлова О. В. Флотоэкстракционное выделение урана(VI) с помощью тонкомульгированных растворов триалкиламина в уайт-спирите / О. В. Перлова, А. А. Ширыкалова // Химия и технология воды. — 2008. — Т. 30, № 3. — С. 385—400.
6. Громов В. В. Введение в химическую технологию урана. — М.: Атомиздат, 1978. — 336 с.
7. Мосинец В. Н. Безотходная технология добычи радиоактивных руд / Мосинец В. Н., Авдеев О. К., Мельниченко В. М. — М. : Энергоатомиздат, 1987. — 258 с.
8. Поверхностно-активные вещества: справочник / Под ред. А. А. Абрамзона, Г. М. Гаевого. — Л. : Химия, 1979. — 376 с.
9. Товарные нефтепродукты, свойства и применение. Справочник / Под ред. В. М. Школьниковой. — М. : Химия, 1978. — 472 с.
10. Дринберг С. А., Ицко Э. Ф. Растворители для лакокрасочных материалов: Справ. пособие. — Л. : Химия, 1986. — 208 с.

11. Итинская Н. И., Кузнецов Н. А. Топливо, масла и технические жидкости. — М. : Агропромиздат, 1989. — 304 с.
12. Марков В. К. Уран. Методы его определения / Марков В. К., Верный Е. А., Виноградов А. В. — М. : Атомиздат, 1964. — 503 с.
13. Скрылев Л. Д., Сазонова В. Ф. Коллоидно-химические основы защиты окружающей среды от ионов тяжелых металлов. Ионная флотация : учебное пособие / Л. Д. Скрылев, В. Ф. Сазонова. — Киев : УМК ВО, 1982. — 215 с.
14. Справочник по геотехнологии урана / Под ред. Д. И. Скороварова. — М.: Энергоатомиздат, 1997. — 672 с.
15. Назаренко В. А. Гидролиз ионов металлов в разбавленных растворах / Назаренко В. А., Антонович В. П., Невская Е. М. — М. : Атомиздат, 1979. — 192 с.
16. Лидин Р. А. Химические свойства неорганических веществ: Учебное пособие для вузов / Лидин Р. А., Молочко В. А., Андреева Л. Л. — [5-е изд.]. — М. : Химия, 2008. — 480 с.
17. Perlova O. V. Mechanism and thermodynamic of ionic surfactants adsorption on some f-metals hydroxides / O. V. Perlova, V. F. Sazonova, A. A. Shirykalova // Theoretical and Experimental Studies of Interfacial Phenomena and their Technological Application : Ukrainian-Polish Symposium, September 15—18, 2003 : Program and Proceedings. — Lublin, Poland, 2003. — P. 176—178.

О. В. Перлова, А. О. Ширикалова

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
кафедра фізичної й колоїдної хімії,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65026, Україна
Одеський національний медичний університет,
кафедра медичної хімії,
пров. Валіховський, 2, Одеса, 65082, Україна

**ФЛОТОЭКСТРАКЦИЙНЕ ВИЛУЧЕННЯ СПОЛУК УРАНА(VI)
ІЗ РОЗБАВЛЕНИХ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ
У ПРИСУТНОСТІ ДОБАВОК ЕЛЕКТРОЛІТІВ**

Резюме

Встановлено основні закономірності вилучення сполук урану(VI) методом флотоекстракції із сульфатних, нітратних і карбонатних розчинів у присутності добавок електролітів за допомогою тонкоемульгованого розчину триалкіламіну в уайт-спіриті. Показано, що в присутності електролітів ступінь вилучення сполук урану зменшується на 10—15 %, область оптимальних рН звужується та зміщується ближче до нейтральної, оптимальна витрата збирача суттєво зменшується, а константа швидкості зростає в 1,5—2 рази. Випробування з вилучення сполук урану з карбонатних і сульфатних модельних розчинів показали високу ефективність флотоекстракційного методу.

Ключові слова: уран, флотоекстракція, триалкіламін, уайт-спірит.

O. V. Perlova, A. A. Shirykalova

I. I. Mechnikov Odessa national university,
Department of Physical and Colloidal Chemistry,
Dvoryanskaya st., 2, Odessa, 65026, Ukraine
Odessa national Medical University,
Department of Medical Chemistry, Valihovskiy lane, 2,
Odessa, 65082, Ukraine

**URANIUM(VI) FLOTOEXTRACTION ISOLATION
FROM DILUTE AQUEOUS SOLUTIONS
WITH ELECTROLYTE ADDITIONS PRESENCE**

Summary

Purposefulness of the uranium(VI) flotoextraction isolation from their diluted nitrate, sulphate and carbonate solutions in the presence of electrolyte additions using the thin-emulsified solution of the trialkylamine in white spirit has been found. It has been shown that in the presence of electrolyte additions uranium compound isolation degree decreased by 10—15%, optimal pH range got narrow and displaced to neutral medium, the collector optimal consumption decreased considerably, rate constants increased into 1,5—2 times. High efficiency of the uranium(VI) flotoextraction isolation has been showed by tests carried out on carbonate and sulfate model solutions.

Key words: uranium, flotoextraction, trialkylamine, white spirit.