

УДК: 542.61:546,72:542:742.732+535.343

**ЭКСТРАКЦИЯ ВИСМУТА ДИГЕКСИЛСУЛЬФОКСИДОМ
ИЗ АЗОТНОКИСЛЫХ РАСТВОРОВ**

© Н. Г. Афзалетдинова*, Ю. И. Муринов

*Уфимский институт химии УФИЦ РАН
Россия, Республика Башкортостан, 450054 г. Уфа, пр. Октября, 69.**Email: hisam@anrb.ru*

Изучена экстракция висмута(III) из 1 моль/л раствора азотной кислоты дигексилсульфоксидом. Найдены оптимальные условия извлечения и установлено, что висмут(III) при времени контакта фаз 5 мин. экстрагируется по координационному механизму. Методом сдвига равновесия было оценено количество молекул дигексилсульфоксида, входящих в состав извлекаемого соединения, которое оказалось равным 3. Рассчитаны концентрационные константы реакции экстракции и оценены термодинамические параметры. Экстрагируемый комплекс состава $Vi(NO_3)_3L_3$ выделен и охарактеризован методами ИК, ЯМР 1H и ^{13}C спектроскопии и элементным анализом. Реэкстракция висмута(III) из органической фазы осуществляется практически нацело 3 моль/л раствором HNO_3 при соотношении $O:B = 1:2$ за одну ступень и за две ступени – при $O:B=1:1$.

Ключевые слова: висмут(III), дигексилсульфоксид, экстракция, азотнокислая среда, извлекаемый комплекс, реэкстракция.

Введение

Висмут и его соединения находят широкое применение в различных отраслях современной промышленности: в металлургии, в ядерных технологиях, в химической промышленности и медицине. Возрастающее потребление висмута вызывает необходимость более рационального использования, как висмут содержащего сырья, так и содержащих его концентратов и технологических растворов [1].

Прогресс в этой области определяется наличием эффективных экстрагентов. Диалкилсульфоксиды были впервые применены при разделении палладия(II) от некоторых металлов платиновой группы А. В. Николаевым, с сотрудниками в 1967 г. [2]. Сато с соавт. рассмотрели извлечение железа [3] из растворов HCl . Экстракционные методы извлечения, разделения и концентрирования цветных металлов приобретают все большее значение в гидрометаллургии. Авторами работ [4–5] были исследованы в качестве экстрагентов бромалкановая и аминокдодецилфосфониевая кислоты. В работе [6] была изучена экстракция висмута(III) 2-октил-аминопиридином из сукцинатных растворов. Работа [7] посвящена экстракции висмута из азотнокислых растворов триоктилметиламмоний нитратом и 4-метил-N-н-октиланилином.

Настоящая работа посвящена изучению экстракции висмута(III) из азотнокислых сред одним из представителей индивидуальных сульфоксидов – дигексилсульфоксидом (ДГСО).

Экспериментальная часть

Растворы висмута готовили растворением высококислотного оксида висмута (марка ВМО) в азотной кислоте (1:1) [9] с последующим разбавлением дистиллированной водой до необходимых концен-

траций по HNO_3 и по висмуту(III) (оксид висмута производится в ИНХ СО РАН, г. Новосибирск). Концентрацию $Vi(III)$ в растворах определяли комплексонометрическим титрованием. В качестве экстрагента при изучении экстракции Vi применяли растворы дигексилсульфоксида марки «ч» (ДГСО, L) в толуоле (АО «Олайнский химический завод БИОЛАР» г. Олайн; ОАО «Завод ХРК» г. Старая Купавна). Для сравнительной оценки экстракционной способности при изучении влияния концентрации азотной кислоты на коэффициент распределения висмута(III), в качестве экстрагентов сравнения, использовали растворы трибутилфосфата (ТБФ, $C_4H_9O)_3PO$) и 1-[2-(2,4-дихлорфенил)-4-пропил-1,3-диоксолан-2-ил]-1H-1,2,4 триазола (ПК, $C_{15}H_{17}Cl_2O_2$) в толуоле. Чистоту реагентов (не менее 98%) контролировали по спектрам ЯМР 1H , ^{13}C и данным элементного анализа. Растворы экстрагентов готовили по навеске. Во всех опытах время установления экстракционного равновесия не превышало 5 мин. Концентрацию азотной кислоты в исходных растворах определяли титрованием 0.5...1.0 моль/л раствором KOH (индикатор – метилоранж). Экстракцию проводили при комнатной температуре (20 ± 0.5 °C) в термостатированных ячейках при соотношении водной и органической фаз 1:1. Разделение фаз после перемешивания было четким, и происходило в течение 1 мин после завершения контакта.

Электропроводность экстрактов измеряли в ацетоне на кондуктометре типа ОК 102/1 фирмы Radelkis.

ИК-спектры экстрактов и экстрагируемого комплекса были записаны на спектрофотометре IR Prestige-21 (Fourier Spectrophotometer Shimadzu) в области $4000-400$ cm^{-1} в вазелиновом масле. ЯМР 1H и ^{13}C спектры ДГСО и экстрагируемого комплекса регистрировали на спектрометре Bruker

AM-500 (500.13 МГц) растворитель – дейтерохло-роформ.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлено влияние концентрации азотной кислоты на коэффициент распределения висмута(III) ($D_{\text{Bi(III)}}$) между водной и органической фазами при извлечении его растворами дигексилсульфоксида, трибутилфосфата и 1-[2-(2,4-дихлорфенил)-4-пропил-1,3-диоксолан-2-ил]-1Н-1,2,4-триазола в толуоле. Как видно из рисунка с увеличением концентрации азотной кислоты в растворе до 1.0 моль/л происходит возрастание извлечения висмута(III). Максимум извлечения наблюдается при экстракции из 1.0 моль/л раствора азотной кислоты. Из полученных экспериментальных результатов видно, что наиболее эффективным экстрагентом является дигексилсульфоксид, на примере которого были выполнены все исследования по экстракции висмута.

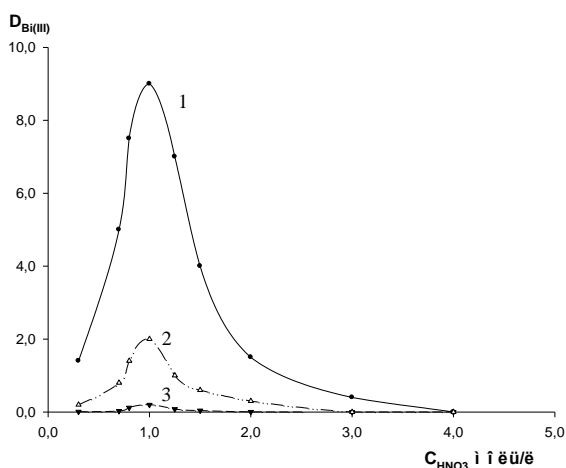


Рис.1. Влияние экстрагентов на коэффициент распределения висмута в зависимости от концентрации азотной кислоты в растворах. ($C_{\text{эк}} = 0.5$ моль/л, $C_{\text{Bi(III)}} = 0.01$ моль/л) 1 – дигексилсульфоксида; 2 – трибутилфосфата; 3 – пропиконазола (разбавитель – толуол, время контакта фаз 5 мин.).

Предварительными опытами было изучено влияние времени контакта фаз на установление экстракционного равновесия при извлечении Bi(III) дигексилсульфоксидом при комнатной температуре ($20 \pm 0.5^\circ\text{C}$). Было найдено, что для установления экстракционного равновесия требуется время контакта фаз равное 5 мин ($C_{\text{дгсо}} = 0.5$ моль/л, $C_{\text{Bi(III)}} = 0.01$ моль/л, $C_{\text{HNO}_3} = 1.0$ моль/л).

Для подтверждения механизма экстракции нитрата висмута ДГСО было изучено влияние концентрации ионов водорода при постоянной ионной силе раствора, равной 1.0 ($C_{\text{дгсо}} = 0.3$ и 0.5 моль/л в толуоле, $C_{\text{Bi(III)}} = 0.05$ и 0.02 моль/л, C_{HNO_3} варьировали от 0 до 1.0 моль/л, C_{NaNO_3} – от 1.0 до 0 моль/л). Тангенс угла наклона линейной в логарифмических координатах зависимости $\lg D = f(\lg[\text{H}^+])$ равен ну-

лю, что позволяет сделать предположение об извлечении висмута(III) в нейтральной форме $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ (рис. 2).

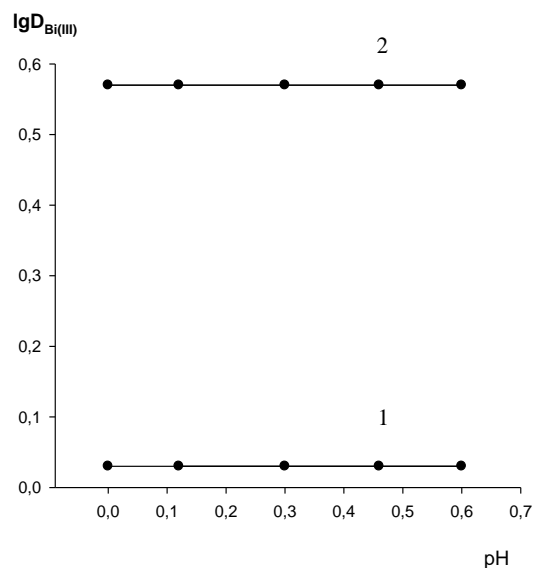


Рис.2. Зависимость коэффициента экстракции висмута(III) дигексилсульфоксидом от концентрации водородных ионов: 1 – $C_{\text{дгсо}} = 0.5$ моль/л, $C_{\text{Bi(III)}} = 0.02$ моль/л; 2 – $C_{\text{дгсо}} = 0.3$ моль/л, $C_{\text{Bi(III)}} = 0.05$ моль/л; $I = 1$.

В работах [10–11] рассмотрены формы нахождения висмута(III) в исследуемом интервале концентраций азотной кислоты (0.5–2 моль/л).

Изучение влияния концентрации нитрата натрия (рис. 3) на $D_{\text{Bi(III)}}$ из 1 моль/л HNO_3 , при $C_{\text{L}} = 0.5$ моль/л, показало, что с ростом концентрации нитрат ионов в растворах ($C_{\text{Bi(III)}} = 0.05$ моль/л) экстракция увеличивается благодаря высаливающему влиянию нитрат-ионов.

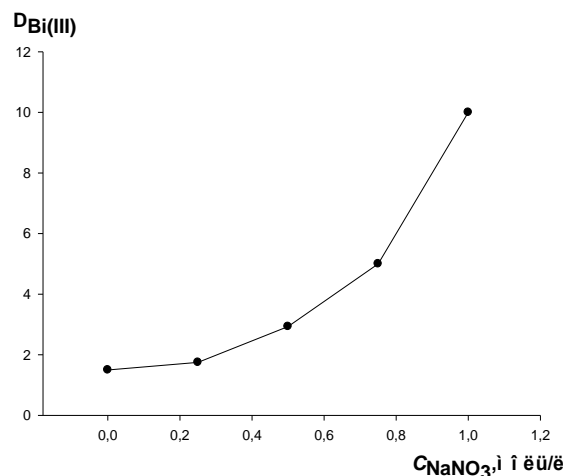


Рис. 3. Влияние концентрации нитрата натрия на $D_{\text{Bi(III)}}$ растворами ДГСО в толуоле из 1М раствора HNO_3 ($C_{\text{дгсо}} = 0.5$ моль/л; $C_{\text{Bi(III)}} = 0.05$ моль/л).

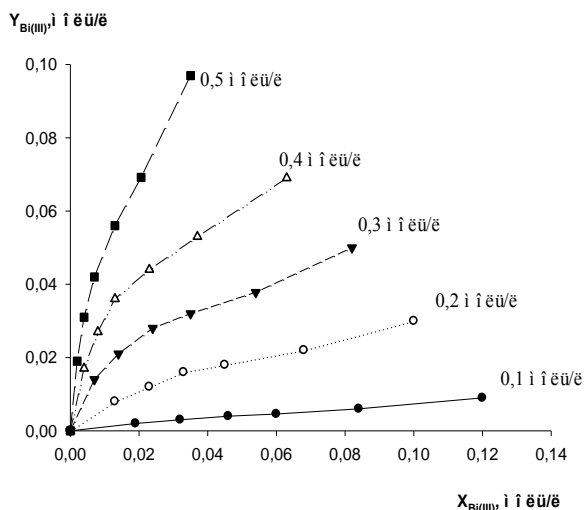


Рис. 4. Изотермы экстракции висмута(III) из 1М раствора азотной кислоты растворами ДГСО в толуоле.

На рис. 4 представлены изотермы экстракции висмута(III) из 1.0 моль/л азотной кислоты. Методом сдвига равновесия было оценено количество молекул дигексилсульфоксида, входящих в состав извлекаемого соединения, которое оказалось равным 3 (рис. 5). На рис. 6 представлены изотермы экстракции висмута(III) в логарифмической форме при $C_{\text{HNO}_3} = 1.0$ моль/л. Из зависимости, представленной на рис.6 следует, что извлекаемое соединение переходит из водной фазы в органическую в мономерной форме.

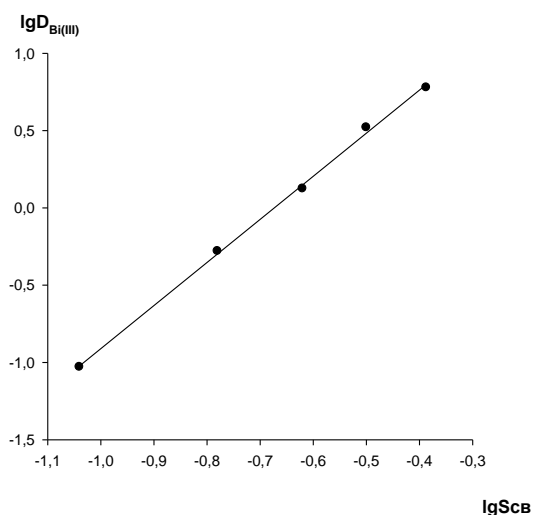
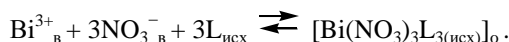


Рис.5. Зависимость коэффициента распределения висмута от равновесной концентрации экстрагента. $C_{\text{Bi(III)}} = 0.01$ моль/л.

На основании полученных результатов экстракцию висмута(III) дигексилсульфоксидом можно представить следующим уравнением:



Концентрационная константа экстракции вычисляется по уравнению:

$$K_{\text{конц}} = \frac{[\text{Bi}(\text{NO}_3)_3\text{L}_{3(\text{исх})}]_{\text{о}}}{[\text{Bi}^{3+}]_{\text{в}}([\text{NO}_3^-]_{\text{в}})^3[\text{L}_{\text{исх}}]_{\text{о}}^3} = \frac{Y_{\text{Bi}^{3+}}/X_{\text{Bi}^{3+}}}{[\text{L}_{\text{исх}} - 3Y_{\text{Bi}^{3+}}]_{\text{о}}^3}, \text{ (моль/л)}^{-3},$$

где $Y_{\text{Bi}^{3+}}$ и $X_{\text{Bi}^{3+}}$ – равновесные концентрации висмута в органической и водной фазах соответственно, $L_{\text{исх}}$ исходная концентрация экстрагента.

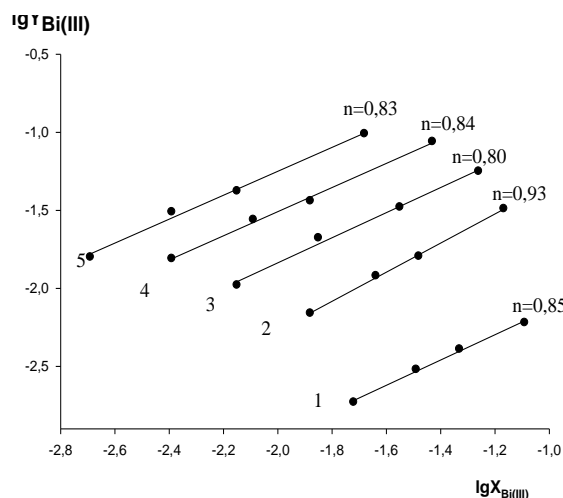


Рис.6. Изотермы экстракции висмута(III) из 1М HNO_3 растворами ДГСО в толуоле в логарифмических координатах; $C_{\text{ДГСО}}$, моль/л: 1 – 0.1; 2 – 0.2; 3 – 0.3; 4 – 0.4; 5 – 0.5.

Рассчитанные значения концентрационных констант экстракции висмута(III) приведены в табл. 1. Среднее значение $K_{\text{конц}} = 119 \pm 10$. Вероятная погрешность определения концентрационных констант экстракции вычислена с коэффициентом Стьюдента 2.78 для доверительной вероятности 0.95 с числом степеней свободы $n = 4$ [12].

Для подтверждения координации ДГСО с висмутом по атому кислорода сульфоксидной группы были записаны ИК спектры экстрагента и его извлекаемого комплекса. В ИК спектре экстрагента полоса поглощения валентных колебаний $\nu(\text{S}=\text{O})$ группы наблюдается в форме интенсивной полосы при 1016 см^{-1} , а в экстрагируемом комплексе висмута с ДГСО – при 929 см^{-1} , смещаясь на 87 см^{-1} в низкочастотную область, что также подтверждает наше предположение о вхождении молекул сульфоксида во внутреннюю координационную сферу иона висмута с координацией по атомам кислорода сульфоксидной группы [13–15].

Таблица 1

Распределение и концентрационные константы экстракции висмута(III) при извлечении растворами дигексилсульфоксида в толуоле

Исходная концентрация ДГСО, моль/л	Равновесная концентрация висмута(III), моль/л		~K, (моль/м) ⁻³
	X _{В(III)}	Y _{В(III)}	
0.5	0.002	0.019	109.3
	0.004	0.031	115.0
	0.007	0.042	114.7
	0.013	0.056	117.7
	0.021	0.069	133.0
0.4	0.004	0.017	100.5
	0.008	0.027	104.0
	0.013	0.036	110.8
	0.022	0.044	103.9
	0.037	0.038	102.3
0.3	0.007	0.014	116.9
	0.014	0.021	112.8
	0.033	0.016	131.9
	0.035	0.032	107.5
	0.054	0.038	107.7
0.2	0.013	0.008	112.8
	0.023	0.012	118.2
	0.033	0.016	138.0
	0.045	0.018	128.5
	0.068	0.021	120.1
0.1	0.019	0.002	123.5
	0.032	0.003	123.9
	0.004	0.004	127.9
	0.046	0.049	131.6
	0.060	0.006	134.5
	0.081	~	~

K_{ср.}=119±10

В ИК спектре комплекса [Bi(NO₃)₃L₃] в гексахлор-1,3-бутадиене для группы NO₃⁻ имеются полосы валентных колебаний, характерные для симметрии C_{2v}: ν_{ас}(NO₂) при 1466 см⁻¹, ν_с(NO₂) при 1270 и 1258 см⁻¹ (расщепленная полоса поглощения) и ν(NO) при 1022 см⁻¹ [16]. При сравнении спектра ЯМР ¹³C ДГСО со спектром экстрагируемого комплекса висмута(III) из 1.0 моль/л раствора HNO₃ следует, что наибольшие изменения химических сдвигов испытывают сигналы атома углерода в положении 6 в область слабого поля с 52.1 м.д. в ДГСО до 51.11 в извлекаемом комплексе (Δ = -1.10 м.д.) (табл. 2).

Из интерпретации изменений химических сдвигов сигналов протонов в положении 6 в спектре ЯМР ¹H экстрагента (2.5 м.д.) и комплекса (2,89 м.д.), следует, что наибольшие изменения (Δ = - 0.39 м.д.), испытывают сигналы протонов метиленовых групп в этом положении. Такие изменения в спектрах ЯМР ¹³C и ¹H подтверждают наше предположение о координации висмута(III) к молекуле экстрагента посредством атома кислорода сульфоксидной группы. Экстрагируемый комплекс состава Bi(NO₃)₃L₃ был получен в

условиях насыщения при экстракции висмута(III) из раствора с содержанием азотной кислоты 1.0 моль/л, O:B=1:1, промыт гексаном и водой от возможного избытка экстрагента и родия(III), а затем высушен при комнатной температуре. Комплекс представлял собой белое кристаллическое соединение с Tпл.=71–72°C, растворимое в обычных органических растворителях за исключением алканов.

Таблица 2

Химические сдвиги сигналов атомов углерода (м.д.) в спектрах ЯМР ¹³C дигексилсульфоксида и его комплекса с висмутом(III)

Атомы C	Соединения	
	L	Bi(NO ₃) ₃ L ₃
1		13.94
Δ	13.77	Δ=-0.14
2		22.27
Δ	22.20	Δ=-0.07
3		22.38
Δ	22.39	Δ=0.01
4		28.42
Δ	28.24	Δ=-0.22
5		31.27
Δ	31.19	-0.08
6		51.11
Δ	52.21	-1.10

Кондуктометрические измерения электропроводности как экстрактов висмута(III) с ДГСО, так и экстрагируемого комплекса в среде безводного ацетона показали, что они не являются электролитами, что подтверждает выше изложенное. Молярная электропроводность (λ) 1.5·10⁻³ моль/л раствора экстрагируемого комплекса Bi(NO₃)₃L₃ в безводном ацетоне, составляла 1.4 Ом⁻¹ см² моль⁻¹, что свидетельствовало об извлечении нейтрального соединения, не являющегося электролитом.

По результатам элементного анализа состав комплекса соответствовал Bi(NO₃)₃L₃ (M =1049), соотношение металл: азот: лиганд равно 1:3:3). Вычисленные значения элементного состава комплекса и найденные совпали между собой.

Изучение влияния температуры на извлечение висмута(III) раствором ДГСО в толуоле в интервале температур от 20 до 50°C показало (рис. 7), что экстракционная способность ДГСО с ростом температуры уменьшается, то есть реакция экстракции является экзотермической. Коэффициент корреляции равен r = 0.96.

Из зависимости lgD = f(1/T) вычислено значение энтальпии экстракции: ΔH = -2.3R tga = -4.575 · 1.89 = -8.6 ккал/моль, ΔG = -RT lnK = -1.982·298 · 4.78 = -2.8 ккал/моль, ΔS = (ΔH - ΔG)/T = (-8.6 + 2.8)/298 = -5.8/298 = -19.46 кал/град.

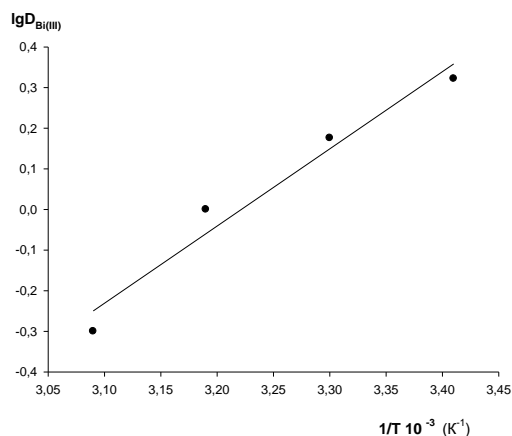


Рис. 7. Влияние температуры на коэффициент распределения висмута: $C_{\text{HNO}_3} = 1$ моль/л; $C_{\text{Bi(III)}} = 0.05$ моль/л; $C_{\text{ДГСО}} = 0.5$ моль/л.

Отрицательное значение свободной энергии Гиббса указывает на самопроизвольное протекание экстракции. Отрицательное значение теплового эффекта экстракции указывает на экзотермический характер процесса. Извлечение висмута(III) осуществляется за счет энтропийного фактора.

Реэкстракцию висмута(III) из органической фазы, содержащей $Y_{\text{Bi(III)}} = 0.039$ моль/л (полученной при экстракции из раствора с концентрациями $C_{\text{Bi(III)исх}} = 0.052$ моль/л, $C_L = 0.4$ моль/л, $C_{\text{HNO}_3} = 1$ моль/л) проводили 3М раствором азотной кислоты при комнатной температуре и времени контакта фаз 5 мин.

При соотношении О:В = 1:1 реэкстракция осуществляется в две ступени на 99.5% (0.038 моль/л). При соотношении О:В = 1:2 реэкстракция Bi(III) завершается за одну ступень на 99% (0.038 моль/л).

Следует отметить, что нефтяные сульфоксиды, состоят преимущественно из циклических структур, из которых наибольшую активность по экстракционной способности проявляет сульфоксид 3-октилтиофана, с содержанием от 45 до 52%. Содержание алифатических сульфоксидов C_{8-20} составляет 6% от общего состава.

При сравнении концентрационных констант экстракции висмута(III) дигексилсульфоксидом ($K_{\text{конц}} = 119 \pm 10$) с данными по экстракции висмута(III) растворами нефтяных сульфоксидов в *o*-ксилоле (HCO) из 1 моль/л HNO_3 ($K_{\text{конц}} = 270 \pm 11$) [17] следует, что исследованный нами дигексилсульфоксид незначительно уступает по экстракционным свойствам нефтяным сульфоксидам.

Вычисленные ранее [13] заряды на атомах кислорода и серы для дигексилсульфоксида $q(\text{S}) = 1.26$ и $q(\text{O}) = -0.97$ и сульфоксида 3-октилтиофана $q(\text{S}) = 1.34$ и $q(\text{O}) = -1.08$ согласуются друг с другом. Заряд на атоме кислорода у циклического сульфоксида более отрицательный, благодаря чему

соединение обладает большей экстракционной способностью. Константы экстракции висмута(III) одного порядка и близки между собой.

Выводы

Таким образом, в исследованной нами экстракционной системе при времени контакта фаз 5 мин и концентрации азотной кислоты 1.0 моль/л ионы висмута(III) извлекаются в форме $\text{Bi(NO}_3)_3 \cdot \text{L}_3$. На основании полученных данных ЯМР ^1H , ^{13}C и ИК спектров экстрагируемого комплекса висмута(III) с ДГСО подтверждено предположение о вхождении молекул экстрагента во внутреннюю координационную сферу иона металла. Координация экстрагента осуществляется посредством атома кислорода сульфоксидной группы. Рассчитаны концентрационные константы и определены термодинамические характеристики реакции. Реэкстракция висмута(III) из органической фазы осуществляется практически полностью 3М раствором HNO_3 при соотношении О:В = 1:2 за одну ступень и за две ступени – при О:В = 1:1.

Работа выполнена по теме госзадания «Комплексообразование моно- и полидентатных сера-азоторганических соединений с ионами металлов и фармаконами» №АААА-А17-117011910033-1.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стеблевская Н. И., Медков М. А., Белобелецкая М. В., Смольков А. А., Молчанов В. П. // Вестник ДВО РАН. 2006. №5 С. 38–46.
2. Николаев А. В., Торгов В. Г., Гильберг Е. Н. и др. // Изв. Сиб. Отд. Акад. Наук СССР. Сер. Хим. Наук. 1967. №6 (14). С. 120–129.
3. Sato T., Ishikawa I., Sato K., Noguchi Yosh. ISEC 2002. P. 366–370. Kiyoshi Sawada, Yoichi Kikuchi and Tsuyoshi Sonara // Analyt. Sci. 1995. V. 11. № 5. P. 711–713.
4. Morel P. S., Patil R. J. // RASAYAN J. Chem. 2012. V. 5. №2. P. 15–159.
5. ISSN: 0974-1496 | CODEN: RJCABP.
6. Yoshio Moriva, Mikio Sugai, Shin-ichi Nakata, Nobuaki Ogiwa // Analyt. Sci. 2001. V. 17. P. 297–300.
7. Medjahed B., Kaid H., Amine M. D., D. Villemin // Intern. J. of Nonferrous Metallurgy. 2012. №1. P. 59–64.
8. Chandrashekar P. Mane and Mansing A. // J. Chinese Chemical Society. 2008, V. 55. Is. 4. P. 807–817.
9. Бусев А. И. Аналитическая химия висмута. М.: изд-во АН СССР. 1953. 382 с.
10. Юхин Ю. М., Михайлов Ю. И. Химия висмутовых соединений и материалов. Новосибирск: изд-во СО РАН. 2001. 360 с.
11. Puigdomenech, "HYDRA (Hydrochemical Equilibrium-Constant Database) and MEDUSA (Make Equilibrium Diagrams Using Sophisticated Algorithms) Programs," Royal Institute of Technology, Sweden. URL: <http://www.kemmi.se/medusa>
12. Васильев В. П. Аналитическая химия в двух частях. Гравиметрический и титриметрический методы анализа. Т. 1. М.: изд-во высшая школа. 2015. 369 с.
13. Афзалетдинова Н. Г., Муринов Ю. И. // Журн. неорганической химии. 2011. Т. 56. №7. С. 1212–1221.
14. Афзалетдинова Н. Г., Ибатов Е. Р., Муринов Ю. И. // Журн. неорганической химии. 2006. Т. 51. №7. С. 1044–1049.
15. Афзалетдинова Н. Г., Рямова Л. М., Муринов Ю. И., Кунакова П. В. // Журн. неорганической химии. 2006. Т. 51. №7. С. 1139–1145.
16. Nakamoto K. Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds in inorganic Chemistry, John Wiley & Sons, 6th Edition. 2009. 432 p.
17. Никитин Ю. Е., Афзалетдинова Н. Г., Муринов Ю. И. // Журн. неорганической химии. 1975. Т. 20. №7. С. 1950–1953.

Поступила в редакцию 23.05.2018 г.

EXTRACTION OF BISMUTH BY DIGEXILSULPHOXIDE FROM NITRIC ACID SOLUTIONS

© N. G. Afzaletdinova*, Yu. I. Murinov

*Ufa Institute of Chemistry, Ufa Federal Research Center of RAS
69 Oktyabrya Avenue, 450054 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

**Email: hisam@anrb.ru*

Bismuth and its compounds are widely used in various branches of modern industry: in metallurgy, in nuclear technologies, in chemical industry, and in medicine. Due to increasing consumption, there is a need for more rational use of bismuth containing raw materials, concentrates, and technological solutions. The progress in this area is determined by the presence of effective extractants, such as individual sulfoxides. The authors of the article studied the extraction of bismuth(III) from nitric acid solution (1 mol/l) with dihexyl sulfoxide. It was found that the phase contact time of five minutes is required to reach the extraction equilibrium. To confirm the mechanism of extraction of bismuth nitrate DGSO, the authors studied the influence of the concentration of hydrogen ions at a constant ionic strength of the solution equal to 1.0. The tangent of the slope of the straight line is 0, which assumes possibilities for extraction of bismuth(III) in the neutral form $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$. The recovered $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot \text{L}_3$ complex was isolated and then characterized by IR, NMR¹H and ¹³C spectroscopy, and elemental analysis. Coordination of the extractant was carried out by means of an oxygen atom of the sulfoxide group. The concentration constants of bismuth (III) extraction reaction with dihexylsulfoxide were calculated. Bismuth (III) was re-extracted from the organic phase almost entirely with HNO_3 solution (3 mol/l). The re-extraction was carried out in one step at the ratio of O:R = 1:2 and in two steps at the ratio of O:R = 1:1.

Keywords: bismuth(III), dihexylsulfoxide, nitric acid medium, extractable complex, extraction.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Steblevskaya N. I., Medkov M. A. Vestnik DVO RAN. 2006. No. 5 Pp. 38–46.
2. Nikolaev A. V., Torgov V. G., Hilbert E. H. i dr. Izv. Sib. Otd. Akad. Nauk SSSR. Ser. Khim. Nauk. 1967. No. 6 (14). Pp. 120–129.
3. Sato T., Ishikawa I., Sato K., Noguchi Yosh. ISEC 2002. Pp. 366–370. Kiyoshi Sawada, Yoichi Kikuchi and Tsuyoshi Sonara. Analyt. Sci. 1995. Vol. 11. No. 5. Pp. 711–713.
4. Morel P. S., Patil R. J. RASAYAN J. Chem. 2012. Vol. 5. No. 2. Pp. 15–159.
5. ISSN: 0974-1496 | CODEN: RJCABP.
6. Yoshio Moriva, Mikio Sugai, Shin-ichi Nakata, Nobuaki Ogwa. Analyt. Sci. 2001. Vol. 17. Pp. 297–300.
7. Medjahed B., Kaid H., Amine M. D., D. Villemin. Intern. J. of Nonferrous Metallurgy. 2012. No. 1. Pp. 59–64.
8. Chandrashekhara P. J. Chinese Chemical Society. 2008. Vol. 55. Is. 4. Pp. 807–817.
9. Busev A. I. Analiticheskaya khimiya vismuta [Analytical chemistry of bismuth]. Moscow: izd-vo AN CCCP. 1953.
10. Yukhin Yu. M., Mikhailov Yu. I. Khimiya vismutovykh soedinenii i materialov [Chemistry of bismuth compounds and materials]. Novosibirsk: izd-vo SO RAN. 2001.
11. Puigdomenech, "HYDRA (Hydrochemical Equilibrium-Constant Database) and MEDUSA (Make Equilibrium Diagrams Using Sophisticated Algorithms) Programs," Royal Institute of Technology, Sweden. URL: <http://www.ke-mmi.se/medusa>
12. Vasil'ev V. P. Analiticheskaya khimiya v dvukh chastyakh. Gravimetricheskii i titrimetricheskii metody analiza. Vol. 1 [Analytical chemistry in two parts. Gravimetric and titrimetric methods of analysis. Vol. 1]. Moscow: izd-vo vysshaya shkola. 2015.
13. Afzaletdinova N. G., Murinov Yu. I. Zhurn. neorgan. khimii. 2011. Vol. 56. No. 7. Pp. 1212–1221.
14. Afzaletdinova N. G., Ibatova E. R., Murinov Yu. I. Zhurn. neorgan. khimii. 2006. Vol. 51. No. 7. Pp. 1044–1049.
15. Afzaletdinova N. G., Ryamova L. M., Murinov Yu. I., Kunakova R. V. Zhurn. neorgan. khimii. 2006. Vol. 51. No. 7. Pp. 1139–1145.
16. Nakamoto K. Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds in inorganic Chemistry, John Wiley&Sons. 6th Edition. 2009.
17. Nikitin Yu. E., Afzaletdinova N. G., Murinov Yu. I. Zhurn. neorgan. khimii. 1975. Vol. 20. No. 7. Pp. 1950–1953.

Received 23.05.2018.