

УДК 662.613+66.097.5+66.081.312.32

Микросферические носители и сорбенты для процессов, протекающих в агрессивных средах

М. В. ПАНКОВА¹, Е. В. ФОМЕНКО², Н. Н. АНШИЦ^{1,2}, Т. А. ВЕРЕЩАГИНА², А. Г. АНШИЦ^{1,2}

¹Сибирский федеральный университет,
проспект Свободный, 79, Красноярск 660041 (Россия)

E-mail: pankovamv@mail.ru

²Институт химии и химической технологии Сибирского отделения РАН,
ул. К. Маркса, 42, Красноярск 660049 (Россия)

E-mail: fom@icct.ru

(Поступила 21.10.09; после доработки 29.01.10)

Аннотация

В результате аэродинамического разделения фракции немагнитных ценосфер получены и охарактеризованы однородные узкие фракции, различающиеся по химическому составу, насыпной плотности (0.195–0.396 г/см³), среднему диаметру (133–153 мкм), толщине (3.1–7.6 мкм) и пористости оболочки глобул. Установлены закономерности взаимосвязи состава и морфологии глобул. После обработки продуктов аэродинамического разделения реагентом на основе плавиковой кислоты получен микросферический носитель с доступным внутренним объемом и порами размером 1–5 мкм. На его основе получен микросферический сорбент с активным компонентом триизобутилфосфинсульфидом для селективного извлечения палладия в широком диапазоне концентраций (3.6–360 мг/л) из агрессивных сред.

Ключевые слова: ценосферы, микросферический носитель, сорбент

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно в качестве носителей катализаторов и сорбентов используются различные неорганические и органические материалы: силикагель [1–4], оксид алюминия различных модификаций [2, 5–9], кизельгур [2], сополимеры стирола и дивинилбензола [10], волокнистая и гранулированная целлюлоза [11], полиакрилонитрил [12] и др. В агрессивных средах (пульпах, кислых технологических растворах, жидких радиоактивных отходах) к носителям предъявляются дополнительные требования, такие как повышенная механическая прочность, кислотостойкость, радиационная устойчивость, что ограничивает возможность использования традиционных носителей.

В качестве перспективных носителей сорбционно-активных компонентов для процессов, протекающих в агрессивных средах, могут

применяться полые алюмосиликатные микросферы энергетических зол – ценосферы [13–15], которые характеризуются наличием внутренней полости, термостабильностью, кислотостойкостью, высокой прочностью и регулярной пористостью стеклокристаллической оболочки и тем самым выгодно отличаются от традиционно предлагаемых носителей.

Цель настоящей работы – получение микросферических носителей с перфорированной оболочкой регулируемой толщины и пористости, а также селективного сорбента на их основе для процессов, протекающих в агрессивных средах.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Получение микросферических носителей

При создании на основе ценосфер современных функциональных материалов с прог-

нозируемыми свойствами, в том числе носителей и сорбентов для процессов, протекающих в агрессивных средах, необходимо детальное исследование физико-химических свойств используемого сырья, промежуточных и конечных продуктов на каждой стадии их получения. В связи с этим каждая фракция ценосфер была охарактеризована стандартным набором параметров, включающим средний диаметр глобул D_{cp} , распределение по размерам, содержание глобул определенного морфологического типа, кажущуюся толщину оболочки (δ), плотность материала ρ_{mat} , насыпную плотность $\rho_{нас}$, химический состав.

Средний диаметр глобул, распределение по размерам и содержание разных морфологических типов ценосфер в каждой фракции определяли методом оптической микроскопии с помощью программы Msphere. Исходными данными для расчета служили цифровые снимки не менее 5000 частиц.

Кажущуюся толщину оболочки ценосфер δ рассчитывали по формуле

$$\delta = 0.5D_{cp} \left(1 - \sqrt[3]{1 - \rho_{нас} / (0.6\rho_{mat})} \right) \quad (1)$$

Плотность материала оболочки ($\rho_{mat} = 2.45 \text{ г/см}^3$) определяли на основании термодинамических расчетов макрокомпонентного состава.

Определение насыпной плотности $\rho_{нас}$ осуществляли как среднее арифметическое трех-пяти измерений по стандартным методам, описанным в работах [16, 17].

Химический состав исходной фракции и выделенных узких фракций ценосфер, включающий содержание оксидов кремния, алюминия, железа, кальция, магния, калия, натрия, титана, марганца, серы, а также потери при прокаливании, определяли по стандартной методике [18].

Структуру поверхности и морфологию оболочки ценосфер изучали с помощью растровой электронной микроскопии на электронном микроскопе JSM-6460 LV (Jeol) с ускоряющим напряжением 25 кВ и разрешением до 40 нм.

Для получения носителей в качестве сырья использовали фракцию немагнитных ценосфер НМ-М-1А размером $(-0.16+0.125)$ мм и насыпной плотностью 0.33 г/см^3 , выделенную по схеме [15] из концентрата ценосфер от сжигания кузнецких углей на Московской ТЭЦ-22. На рис. 1 приведена стандартная ха-

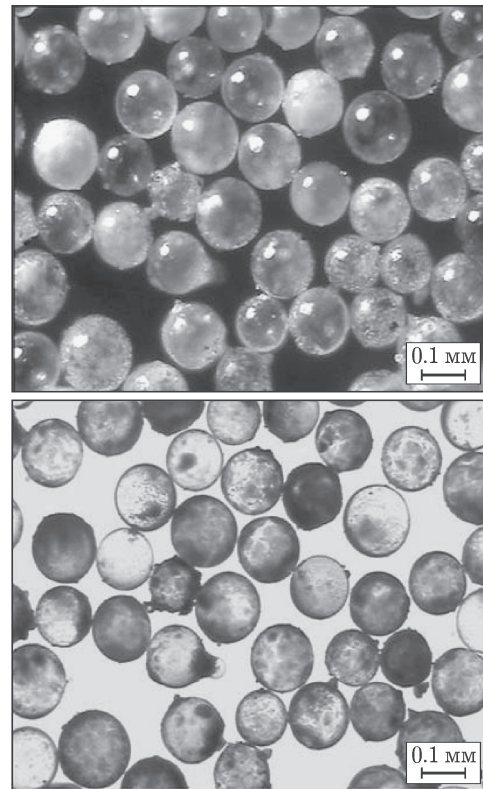


Рис. 1. Характеристика исходной фракции НМ-М-1А $(-0.16+0.125)$ мм ($\rho_{нас} = 0.33 \text{ г/см}^3$) по данным оптической микроскопии (N – количество частиц).

актеристика этой фракции. С помощью оптической микроскопии в исходной фракции ценосфер идентифицировано три морфологических типа глобул (рис. 2): “прозрачные” – ценосферы с тонкой сплошной оболочкой и гладкой поверхностью; “серые” – гладкие сферы с пористой оболочкой различной толщины; “белые” – частицы с высокопористой оболочкой и рельефной поверхностью.

Для получения микросферических носителей из трех установленных морфологических

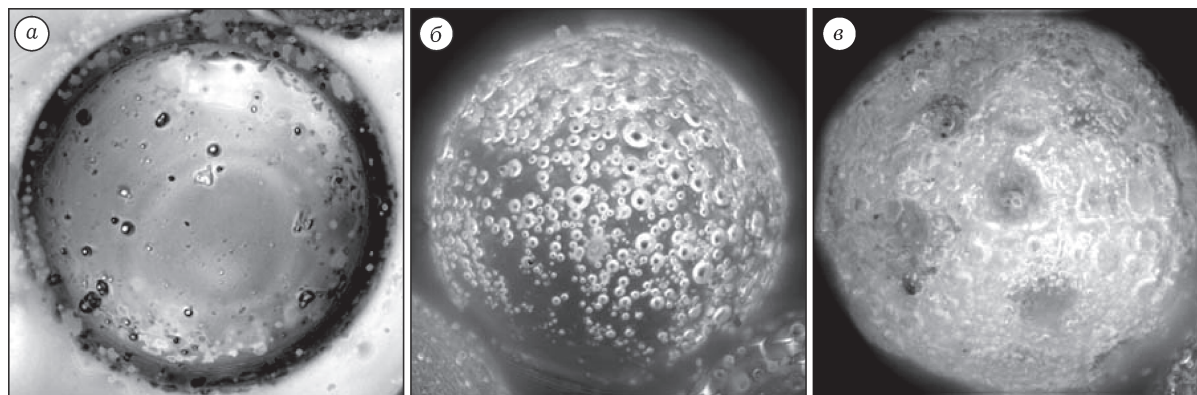


Рис. 2. Морфологические типы ценосфер по данным оптической микроскопии (отраженный свет): а – “прозрачные”, б – “серые”, в – “белые”.

типов ценосфер интерес представляют частицы с пористой оболочкой “серого” типа. Дополнительная обработка таких глобул реагентом на основе плавиковой кислоты приводит к удалению с поверхности ценосфер стеклокристаллической наноразмерной (30–50 нм) пленки [14, 19, 20]. В результате пористая структура, сформированная газовыми включениями, становится открытой, обеспечивает доступность внутреннего объема глобул, где локализуется высокоспецифичный активный компонент сорбента.

Для выделения морфологически однородной фракции ценосфер с максимальным содержанием глобул с пористыми оболочками проводили аэродинамическое разделение исходного сырья ($\rho_{\text{нас}} = 0.33 \text{ г/см}^3$) по методике, описанной в работе [21]. Путем аэродинамического разделения, основанного на уносе частиц с определенными характеристиками движущимся потоком воздуха, исходные ценосферы разделены на узкие фракции, отличающиеся насыпной плотностью, толщиной оболочки, средним диаметром и содержанием “серых” глобул.

Выбранную после аэродинамического разделения узкую фракцию ценосфер насыпной плотностью 0.396 г/см^3 , содержащую 91 об. % пористых глобул, обрабатывали реагентом на основе плавиковой кислоты по методике, описанной в работе [19], следующим образом. Навеску ценосфер помещали в полипропиленовый стакан и в течение 15 мин при периодическом перемешивании обрабатывали травильным раствором (в 100 мл раствора содержалось $3.7 \text{ г NH}_4\text{F}$ и 10 мл раствора HCl с кон-

центрацией 12 моль/л). Объемное соотношение твердая фаза : жидкость составляло 1 : 5. По окончании обработки ценосферы разделялись на два слоя: нижний ($\text{HF}_{\text{низ}}$), в котором внутренний объем ценосфер был заполнен раствором, и верхний ($\text{HF}_{\text{верх}}$). Оба продукта промывали дистиллированной водой до отрицательной качественной реакции на хлорид-ион с раствором 0.1 М нитрата серебра и сушили в сушильном шкафу при $(100 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы. Потери при травлении составили 12.7 мас. %. Для получения сорбента в качестве микросферического носителя использовали перфорированный продукт $\text{HF}_{\text{низ}}$.

Получение сорбента для извлечения палладия из агрессивных сред

Применение ценосфер в качестве носителя активного компонента показано на примере получения микросферического сорбента для извлечения палладия из кислых технологических растворов, пульп, а также жидких радиоактивных отходов.

В качестве активного компонента использован органический экстрагент триизобутилфосфинсульфид (ТИБФС, Cyanex-471X), который селективен в отношении ионов Pd^{2+} , Ag^+ и Au^{3+} в присутствии других платиновых металлов, а также ряда цветных металлов, включая Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} . Наряду с этим ТИБФС способен к обратимой сорбции палладия и потому может использоваться многократно [10]. Органический экстрагент ТИБФС (химическая формула $\text{C}_{12}\text{H}_{27}\text{PS}$) представляет собой белый кристаллический поро-

шок и имеет следующие свойства: удельный вес (при 22 °С) 0.91 г/см³; температура плавления 58–59 °С; растворимость (при 24 °С) 43 мг/л. Введение активного компонента осуществляли путем осаждения экстрагента из пересыщенного спиртового раствора во внутренней полости перфорированных ценосфер (НФ_{низ}). Навеску перфорированных ценосфер помещали в делительную воронку, которую откачивали водоструйным насосом до остаточного давления 8.0 кПа и выдерживали при этом разрежении в течение 30 мин. После этого в воронку снизу путем засасывания подавали горячий (50 °С) спиртовой раствор ТИБФС, в 100 мл которого содержалось 40 г ТИБФС. Полученные продукты оставляли в растворе на 24 ч, затем отфильтровывали, промывали дистиллированной водой и сушили на воздухе при (20±5) °С в течение 1 сут [19].

Количество введенного в ценосферы экстрагента оценивали методом инфракрасной спектроскопии с использованием ИК-Фурье-спектрометра Vector 22 (Bruker). В качестве аналитической выбрана полоса поглощения (п.п.) валентных колебаний связи P=S 579 см⁻¹, величина которой непосредственно зависит от концентрации ТИБФС.

Сорбционные характеристики полученного микросферического сорбента определяли в статических условиях на модельных растворах азотнокислого палладия при 23 °С. Навеску сорбента (примерно 0.1 г) помещали в пробирку с 10 мл раствора азотнокислого палладия, закрывали пробкой и перемешивали в течение всего процесса сорбции. Концентрацию палладия в растворе определяли спектрофо-

тометрическим методом с нитрозо-R-солью (1-нитрозо-2,3,6-нафтолдисульфонатом натрия) на спектрофотометре Spekol 20 (Carl Zeiss) при длине волны 510 нм и длине кюветы 1 см [22].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика микросферических носителей

Особенности морфологии и минерально-фазового состава ценосфер определяют перспективность получения на их основе микросферических носителей и сорбентов для процессов, протекающих в агрессивных средах. Благодаря наличию внутренней полости, высокой прочности стеклокристаллической оболочки, термостабильности и кислотостойкости ценосферы можно рассматривать как механически прочные и устойчивые микроконтейнеры для локализации активного компонента во внутреннем объеме носителя.

Получение микросферических носителей осуществляется в две стадии: 1) аэродинамическое разделение ценосфер на узкие фракции с определенной толщиной и пористостью оболочки; 2) кислотное травление, обеспечивающее доступность внутреннего объема глобул.

В зависимости от состава ценосфер можно получить микросферический пористый носитель с определенной толщиной оболочки разной степени пористости. Перспективными носителями активных компонентов сорбентов для агрессивных сред являются пористые ценосферы, относящиеся к морфологическому типу “серые” (см. рис. 2). Для выделения морфологически однородных продуктов с вы-

ТАБЛИЦА 1

Физико-химические свойства исходного сырья и продуктов аэродинамического разделения

Номер фракции	Скорость потока воздуха, м/с	Выход, мас. %	Физические характеристики			Объемная доля морфологических типов, % по данным оптической микроскопии		
			$\rho_{нас}$, г/см ³	$D_{ср}$, мкм	δ , мкм	“Прозрачные”	“Серые”	“Белые”
Исходная	–	–	0.330	146	5.9	19	74	7
1	0.13	1.5	0.195	133	3.1	45	51	4
2	0.17	4.5	0.229	140	3.8	50	42	8
3	0.21	7.1	0.268	141	4.6	34	65	1
4	0.26	16.7	0.306	144	5.4	36	63	1
5	0.30	30.4	0.356	149	6.5	9	87	4
6	0.34	27.5	0.396	153	7.6	5	91	4

ТАБЛИЦА 2

Химический состав исходной фракции и продуктов аэродинамического разделения различной плотности

Насыпная плотность, г/см ³	Массовая доля, %												
	п.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SUM
	<i>Исходная фракция</i>												
0.330	0.56	66.28	25.49	2.80	1.57	0.92	0.27	0.47	1.52	0.12	н/о	0.22	100.22
	<i>Узкие фракции аэродинамического разделения</i>												
0.268	0.64	64.08	26.42	2.94	1.06	1.25	0.10	0.49	2.55	0.05	0.07	н/о	99.65
0.306	0.72	65.16	25.34	3.43	0.91	1.35	0.12	0.41	2.38	0.10	0.05	н/о	99.97
0.356	н/о	65.72	24.34	3.73	1.12	1.20	0.15	0.46	2.59	0.08	0.05	н/о	99.44
0.396	1.24	65.80	22.30	3.83	0.98	2.45	0.14	0.41	2.26	0.08	0.09	н/о	99.58

Примечание. н/о – не обнаружено.

соким содержанием ценосфер с пористой оболочкой исходную фракцию ценосфер ($\rho_{\text{нас}} = 0.33 \text{ г/см}^3$) подвергали дополнительному аэродинамическому разделению. В результате получено шесть продуктов с определенной насыпной плотностью от 0.195 до 0.396 г/см³. Анализ физико-химических характеристик полученных фракций показал, что с увеличением насыпной плотности продуктов разделения средний диаметр глобул возрастает от 133 до 153 мкм, толщина оболочки ценосфер – от 3.1 до 7.6 мкм, объемная доля частиц с пористыми оболочками, определяемая в оптической микроскопии как количество “серых” глобул, – от 51 до 91 % (табл. 1). На основании данных физико-химического анализа узких фракций аэродинамического разделения (табл. 2) подтверждена взаимосвязь химического состава и морфологии глобул [15]. Зависимость толщины оболочки продуктов разделения от содержания Al₂O₃ в составе ценосфер описывается уравнением линейной регрессии: $\delta = 24.2 - 0.7[\text{Al}_2\text{O}_3]$ коэффициент корреляции –0.99. Так, с уменьшением содержания Al₂O₃ от 26.42 до 22.30 мас. % толщина оболочки глобул увеличивается с 4.6 до 7.6 мкм. При этом, по данным оптической микроскопии, содержание ценосфер с пористыми оболочками (морфологический тип “серые”) увеличивается от 65 до 91 об. % (см. табл. 1, 2).

Методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) для продуктов аэродинамического разделения подтверждено наличие ценосфер со сплошной и пористой оболочкой. В качестве примера на рис. 3 приведены РЭМ-снимки разрушенных глобул двух фракций с различной насыпной плотностью, химическим

составом, толщиной и пористостью оболочки. По данным РЭМ, толщина оболочки ценосфер фракции с плотностью 0.306 г/см³ в среднем составляет 5 мкм, а толщина ценосфер с плотностью 0.396 г/см³ увеличивается до 10 мкм, что хорошо согласуется со значениями кажущейся толщины оболочки (см. табл. 1).

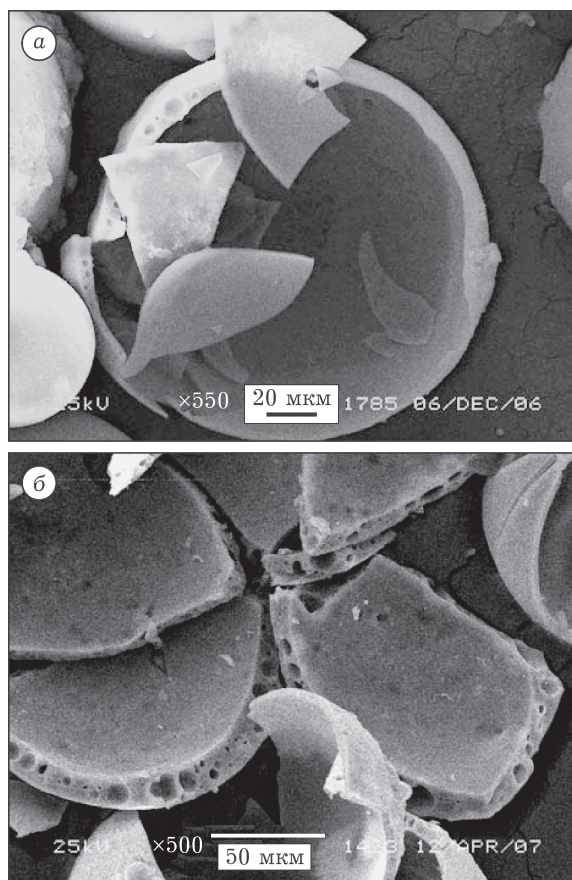
Рис. 3. РЭМ-снимки разрушенных глобул продуктов аэродинамического разделения. $\rho_{\text{нас}}$, г/см³: 0.306 (а), 0.396 (б).

ТАБЛИЦА 3

Характеристики продуктов травления реагентом на основе HF

Продукт травления	Выход, мас. %	Физические характеристики				Объемная доля морфологических типов, %, по данным оптической микроскопии		
		$\rho_{\text{нас}}$, г/см ³	$D_{\text{ср}}$, мкм	δ , мкм	$S_{\text{уд}}$, м ² /г	“Прозрачные”	“Серые”	“Белые”
Исходная узкая фракция		0.396	153	7.6		5	91	4
HF _{низ}	64.7	0.367	152	6.9	0.4	6	89	5
HF _{верх}	22.6	0.355	153	6.7	0.3	3	93	4

Для получения микросферических носителей выбрана однородная узкая фракция ценосфер с насыпной плотностью 0.396 г/см³, характеризующаяся высоким выходом (27.5 мас. %) и содержащая 91 об. % пористых частиц “серого” типа со средним диаметром глобул 153 мкм и кажущейся толщиной оболочки 7.6 мкм. Следует также отметить, что для повышения выхода целевой фракции до 58 мас. % можно объединить продукты с насыпной плотностью 0.356 и 0.396 г/см³, контрольные характеристики которых различаются незначительно.

Для удаления поверхностной пленки и, тем самым, достижения доступности внутреннего объема и открытой пористости стеклокристаллической оболочки выбранная узкая фракция ценосфер обработана реагентом на основе плавиковой кислоты по методике, описанной в работе [19]. Характеристики продуктов травления приведены в табл. 3. Видно, что в результате такой обработки уменьшаются

насыпная плотность и толщина оболочки глобул продуктов травления, что связано с удалением наноразмерной пленки и неоднородностью поверхности. Низкие значения удельной поверхности (0.3–0.4 м²/г) ценосфер после травления свидетельствуют об отсутствии на поверхности микро- и мезопор. Изучение морфологии оболочки перфорированных ценосфер методом РЭМ выявило наличие сквозных транспортных макропор диаметром 1–5 мкм (рис. 4).

Таким образом, в результате аэродинамического разделения узкой фракции ценосфер и последующего кислотного травления получен и охарактеризован методами физико-химического анализа морфологически однородный пористый носитель с доступным внутренним объемом и транспортными порами с размером 1–5 мкм, который может быть использован для получения сорбентов, устойчивых в агрессивных средах.

Характеристика микросферического сорбента

В зависимости от решаемой задачи на основе перфорированных ценосфер могут быть получены микросферические сорбенты с различным активным компонентом, включая как неорганические ионообменники, так и органические экстрагенты [23, 24]. В последние годы перфорированные ценосферы используются в качестве носителей при создании сорбентов для очистки жидких радиоактивных отходов [25–27]. Полученные на основе ценосфер и молибдофосфата аммония (АМФ) сорбенты эффективно улавливают ¹³⁷Cs, как в статических, так и динамических условиях, из кислых жидких отходов переработки ОЯТ

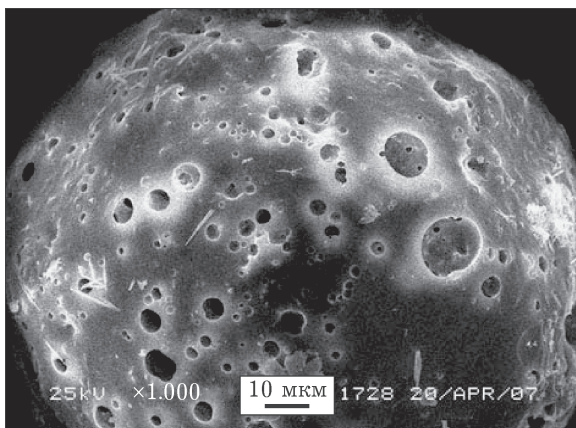


Рис. 4. РЭМ-изображение перфорированных (HF_{низ}) ценосфер.

[25–27]. Неорганические сорбенты, такие как ферроцианиды переходных металлов и фосфаты циркония, локализованные во внутренней полости ценосфер, позволяют улавливать ^{137}Cs из радиоактивных отходов и решить проблему фиксации ^{137}Cs в структуре устойчивых каркасных алюмосиликатов и фосфатов с образованием минералоподобных соединений, пригодных для долговременного захоронения в гранитоидах [23].

Задача селективного извлечения палладия из пульп, кислых технологических растворов и жидких радиоактивных отходов чрезвычайно сложна ввиду неустойчивости традиционных носителей активных компонентов в агрессивных средах. Так, твердые экстрагенты (ТВЭКС) для извлечения из растворов палладия, серебра и ртути в режиме экстракционной хроматографии получают нанесением триизобутилфосфинсульфида на органический носитель на основе сополимеров стирола и дивинилбензола [10] или силикагель [3]. Такие ТВЭКС эффективно извлекают серебро, палладий, ртуть из водных растворов, однако не могут быть использованы для извлечения указанных компонентов в агрессивных средах.

В качестве сорбционно-активного компонента микросферического сорбента для извлечения палладия из кислых растворов, пульп и жидких радиоактивных отходов использован органический экстрагент триизобутилфосфинсульфид (ТИБФС, Суанех-471Х), который помещали во внутренний объем перфорированных ценосфер. Содержание активного компонента в полученном сорбенте, по данным ИК-Фурье-спектроскопии, составило 33 мас. %.

Изучение адсорбционных характеристик полученных микросферических сорбентов проводили на модельных растворах в статических условиях. Так, временная зависимость сорбции палладия ($C_{\text{Pd}} = 120$ мг/л; $C_{\text{HNO}_3} = 0.5$ моль/л; $\tau = 0.5, 1, 1.5, 3, 24$ ч) указывает на установление максимальной емкости сорбента уже после 3 ч сорбции. Кислотно-основная зависимость сорбции палладия ($C_{\text{Pd}} = 120$ мг/л; $\tau = 3$ ч; $C_{\text{HNO}_3} = 0.1, 0.5, 1, 2, 4$ моль/л) свидетельствует об устойчивости полученного сорбента во всем диапазоне концентраций азотной кислоты с максимальным значением сорбции из 0.5 М раствора.

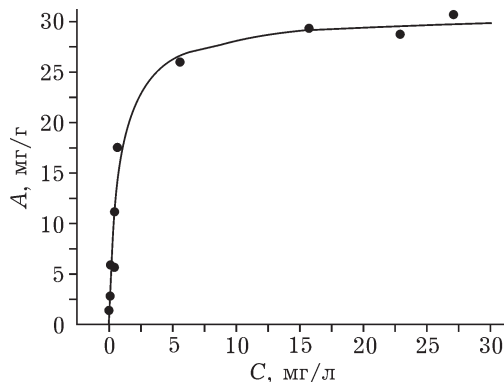


Рис. 5. Изотерма сорбции палладия (раствор палладия $C_{\text{HNO}_3} = 0.5$ моль/л, $\tau = 3$ ч).

Изотерма сорбции палладия ($C_{\text{Pd}} = 3.6\text{--}360$ мг/л) (рис. 5) соответствует процессу сорбции из разбавленных растворов и может быть описана либо уравнением Лэнгмюра:

$$A = \frac{A_m K C}{1 + K C}$$

либо уравнением Фрейндлиха:

$$A = K C^{1/n}$$

Для проверки применимости каждой модели к экспериментальным данным эмпирические уравнения Лэнгмюра и Фрейндлиха преобразовывали в линейную форму:

$C/A = 1/A_m K + C/A_m$ и $\lg A = \lg K + 1/n \lg C$ соответственно. Получение прямой линии в координатах $C/A - C$ с коэффициентом корреляции 0.99 указывает на подчинение экспериментальной изотермы сорбции модели Лэнгмюра (рис. 6).

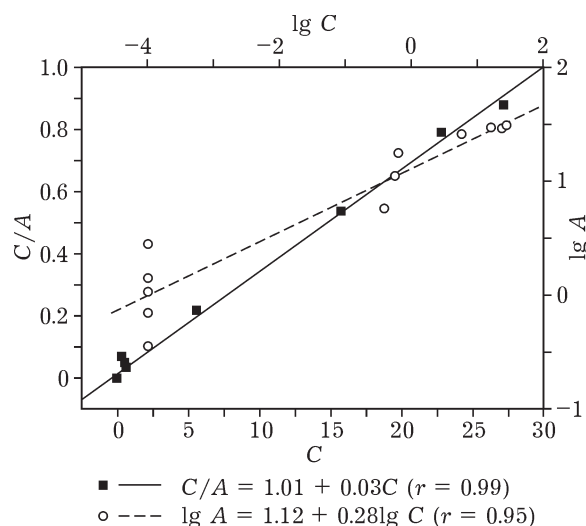


Рис. 6. Изотерма сорбции палладия, построенная в координатах линейной формы уравнений Лэнгмюра и Фрейндлиха.

Рассчитанные по модели Лэнгмюра константа равновесия сорбции ($K = 1.17$ л/мг) и предельная сорбция ($A_m = 30.8$ мг/г сорбента), а также высокий коэффициент распределения ($K_D = 8.1 \cdot 10^6$ мл/г) позволяют прогнозировать удовлетворительные равновесные и динамические параметры процесса сорбции в области низких концентраций палладия (1–10 мг/л). Динамическая сорбция палладия из раствора 0.5 М HNO_3 ($C_{\text{Pd}} = 9.6$ мг/л) составила 29 мг/г сорбента и показала наступление 10 % проскока после пропускания 1100 колоночных объемов раствора палладия. Кроме того, 1000-кратный избыток катионов Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} и Fe^{3+} не препятствует сорбции палладия и не приводит к снижению сорбционной емкости полученного сорбента.

Для десорбции палладия использовали азотнокислые растворы тиомочевин (1 моль/л), которые обеспечивали 96 % извлечение палладия при его абсолютном концентрировании в 13 раз.

Таким образом, показана принципиальная возможность применения морфологически однородной узкой фракции перфорированных ценосфер с оболочкой регулируемой толщины и пористости в качестве носителя активного компонента с целью получения высокоэффективного сорбента для извлечения палладия из агрессивных сред.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате аэродинамического разделения фракции немагнитных ценосфер НМ-М-1А с размером ($-0.16+0.125$) мм ($\rho_{\text{нас}} = 0.33$ г/см³) получены и методами физико-химического анализа охарактеризованы узкие фракции с различными насыпной плотностью, химическим составом, средним диаметром, толщиной и пористостью оболочки глобул. Установлено, что с увеличением насыпной плотности ценосфер от 0.195 до 0.396 г/см³ возрастают средний диаметр (от 133 до 153 мкм) и кажущаяся толщина оболочки глобул (от 3.1 до 7.6 мкм). Кроме того, с уменьшением содержания Al_2O_3 отмечено увеличение количества глобул с пористыми оболочками (до 91 об. %).

На основе морфологически однородной фракции ценосфер, содержащей 91 об. % частиц с пористыми оболочками, путем кислот-

ного травления получен макропористый носитель с доступным внутренним объемом и порами размером 1–5 мкм, который был использован для получения высокоэффективного (сорбционная емкость 30.8 мг/г) микросферического сорбента с активным компонентом (триизобутилфосфинсульфидом) для извлечения палладия в широком диапазоне концентраций (3.6–360 мг/л) из агрессивных сред.

Работа выполнена при финансовой поддержке Сибирского отделения РАН (Интеграционный проект № 12) и Международного научно-технического центра (проект МНТЦ № 3535).

Авторы благодарят сотрудника Института катализа им. Г. К. Борескова СО РАН А. Н. Саланова за помощь в проведении микроскопических исследований структуры поверхности и морфологии оболочек ценосфер и сотрудницу Института химии и химической технологии СО РАН Н. И. Павленко за помощь в проведении ИК-Фурье-спектроскопии и интерпретации данных ИК-спектров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Химия привитых поверхностных соединений / под ред. Г. В. Лисичкина. М.: Физматлит, 2003.
- 2 Технология катализаторов / под ред. И. П. Мухленова. 3-е изд., перераб. Л.: Химия, 1989.
- 3 Singh R., Khwaja A. R., Gupta B., Tandon S. N. // Talanta. 1999. Vol. 48. P. 527–535.
- 4 Пат. 6046131 США, 2000. С. 13.
- 5 Кацобашвили Я. Р., Куркова Н. С. Формовка микросферических и шариковых адсорбентов и катализаторов на основе активной окиси алюминия. М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1973.
- 6 Золотовский Б. П., Буянов Р. А., Бухтиярова Г. А., Тарабан Е. А., Муринов В. И., Грунвальд В. Р., Демин В. В. // Журн. прикл. химии. 1997. № 70. С. 299–305.
- 7 Пат. 2148017 РФ, 2000. С. 7.
- 8 Пат. 2163886 РФ, 2001. С. 6.
- 9 Пат. 2185880 РФ, 2002. С. 5.
- 10 Dakshinamoorthy A., Kumar T., Nandy K. K., Iyer R. H., Mathur J. N., Manohar S. B. // J. Radioanal. Nucl. Chem. 2000. Vol. 245, No. 3. P. 595–598.
- 11 Пат. 2111050 РФ, 1998. С. 6.
- 12 Tranter T. J., Herbst R. S., Todd T. A., Olson A. L., Eldredge H. B. // Adv. Env. Res. 2002. Vol. 6. P. 107–121.
- 13 Верещагина Т. А., Аншиц Н. Н., Зыкова И. Д., Саланов А. Н., Третьяков А. А., Аншиц А. Г. // Химия уст. разв. 2001. Т. 9, № 3. С. 379–391.
- 14 Верещагина Т. А., Аншиц Н. Н., Максимов Н. Г., Верещагин С. Н., Баюков О. А., Аншиц А. Г. // Физика и химия стекла. 2004. Т. 30, № 3. С. 334–344.
- 15 Anshits N. N., Mikhailova O. A., Salanov A. N., Anshits A. G. // Fuel. 2010. Vol. 89. P. 1849–1862.
- 16 ГОСТ 16190–70*. С. 4.
- 17 ГОСТ 26565–85. С. 7.
- 18 ГОСТ 5382–91. С. 95.
- 19 Пат. 2262383 РФ, 2005. С. 10.

- 20 Аншиц Н. Н., Верещагина Т. А., Баюков О. А., Сала-нов А. Н., Аншиц А. Г. // Физика и химия стекла. 2005. Т. 31, № 3. С. 410–422.
- 21 Верещагин С. Н., Куртеева Л. И., Аншиц А. Г. // Химия уст. разв. 2008. Т. 16, № 5. С. 529–536.
- 22 Гинзбург С. И., Езерская Н. А., Прокофьева И. В., Федоренко Н. В., Шленская В. И., Бельский Н. К. Аналитическая химия платиновых металлов. М.: Наука, 1972.
- 23 Панкова М. В., Верещагина Т. А., Фоменко Е. В., Аншиц А. Г. // Сорбционные и хроматографические процессы. 2006. № 6. С. 1236–1241.
- 24 Панкова М. В., Фоменко Е. В., Аншиц А. Г. // Современные наукоемкие технологии. 2008. № 6. С. 69–70.
- 25 Tranter T. J., Vereshchagina T. A., Anshits A. G., Fomenko E. V., Aloy A. S., Sapozhnikova N. V. // Mater. Res. Soc. 2004. Vol. 824. P. 601–606.
- 26 Tranter T. J., Vereshchagina T. A., Utgikar V. // Solv. Extract. Ion Exchange. 2009. Vol. 27. P. 199–218.
- 27 Tranter T. J., Vereshchagina T. A., Utgikar V. // Ibid. P. 219–243.