

УДК 66.067.8

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОФЛОТАЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ Pb(II) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ В ПРИСУТСТВИИ ИОНОВ Al(III) И Fe(III) В КАЧЕСТВЕ КОАГУЛЯНТОВ

Ю.О. Малькова*, В.А. Бродский, В.А. Колесников

(Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, кафедра технологии неорганических веществ и электрохимических процессов; *e-mail: juli.malkova@mail.ru)

Проведено исследование влияния растворимости, среднего гидродинамического диаметра d_{av} и электрокинетического потенциала ζ частиц малорастворимых соединений Pb(II), Al(III), Fe(III) и Zn(II) на эффективность их совместного извлечения из водных растворов методами электрофлотации и фильтрации в диапазоне pH 5–12. Высокая эффективность электрофлотационного извлечения Pb(II) обусловлена сорбцией ионов и дисперсной фазы Pb(II) на дисперсной фазе Al(III), Fe(III) и Zn(II). Размер дисперсной фазы многокомпонентных систем усреднен по сравнению с размером дисперсной фазы индивидуальных соединений. Максимальный размер частиц дисперсной фазы в системе Al(III) – Zn(II) – Pb(II) проходит через экстремум при pH 8,0 и составляет 36 мкм, в системе Fe(III) – Zn(II) – Pb(II) этот параметр достигает 46 мкм при pH 9,0. Значение ζ -потенциала дисперсной фазы исследованных систем варьирует от –2 до –9 мВ для всех систем в интервале pH 7–9. Эффективность очистки сточных вод от соединений Pb(II) и сопутствующих металлов методом электрофлотации достигает 95–97% в интервале pH 8–9. Фильтрация растворов позволяет повысить степень извлечения до 99% и выше.

Ключевые слова: электрофлотация, Al(III), Fe(III), Zn(II), Pb(II), электрокинетический потенциал, гидродинамический диаметр, степень извлечения.

Свинец и цинк широко применяют во многих отраслях промышленности, в том числе в гальванохимической отрасли, при изготовлении аккумуляторных батарей, нанесении функциональных и защитных покрытий, в металлургии, машиностроении и металлообработке. В результате происходит интенсивное загрязнение окружающей среды ионами Pb(II) и Zn(II), а также сопутствующими химическими элементами [1]. В процессе утилизации отработанных аккумуляторов образуются свинец- и цинксодержащие соединения, растворимые в почвах и воде, что приводит к попаданию ионов Pb(II) и Zn(II) в поверхностные и подземные воды [2]. Малорастворимые соединения Al(III) и железа(III) используются как коагулянты в процессе очистки сточных вод от ионов и соединений более токсичных металлов, позволяя повысить эффективность их извлечения из водных растворов различными методами за счет образования коллоидно-дисперсных флококомплексов с нейтрализованным зарядом поверхности [3, 4].

Известна процедура извлечения гидролизированных форм элементов, в том числе тяжелых

металлов, на неорганических гидроксидах и в процессе образования осадков гидроксидов «матричных» компонентов – Al(III) и Fe(III). Метод применяется в радиохимии и аналитической химии как способ концентрирования микро- и макрокомпонентов [5, 6].

Ионы свинца и цинка крайне токсичны по сравнению с другими тяжелыми металлами. Для рыбохозяйственных водоемов значения предельно допустимой концентрации ионов Pb(II) и Zn(II) составляют 0,006 и 0,01 мг/л соответственно, ионов Al(III) и Fe(III) – 0,04 и 0,1 мг/л соответственно [7]. Таким образом, выделение малорастворимых соединений свинца и цинка совместно с малорастворимыми соединениями алюминия и железа из водных растворов представляет актуальную задачу.

Одним из перспективных современных методов очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов считается метод электрофлотации. Он характеризуется высокой эффективностью, низкими энергозатратами и высокой скоростью процесса очистки. Метод чувствителен к составу среды и физико-химическим характери-

кам дисперсной фазы, подлежащей удалению из воды.

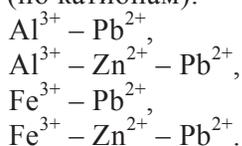
Протекание электрофлотационного процесса возможно только в том случае, если загрязняющие компоненты, присутствующие в растворе, находятся в форме малорастворимых соединений или сорбируются в процессе флотации на других малорастворимых соединениях, присутствующих в растворе. Поэтому формирование дисперсной фазы малорастворимых соединений металлов в сточных водах представляет собой одну из основных стадий, определяющих успешность протекания электрофлотационного процесса [6]. Один из самых простых и эффективных способов перевода ионов металлов, находящихся в водных растворах, в форму малорастворимых соединений – их выделение в виде гидроксидов путем регулирования pH растворов щелочью.

Проведенные ранее исследования показали, что у многих оксидов и гидроксидов в области pH 7–11 заряд частиц (электрокинетический, ζ-потенциал) стремится к нулю. Такая область называется изоэлектрической, в ней может осуществляться наиболее полное удаление частиц твердой фазы методом электрофлотации [8, 9]. Известно, что pH среды оказывает влияние на растворимость и размер как оксидов, так и гидроксидов, а также на эффективность протекания коагуляционных процессов в целом и образование устойчивых флотокомплексов [9, 10].

Цель настоящей работы – поиск путей повышения эффективности электрофлотационного извлечения ионов и малорастворимых соединений Pb(II) из водных растворов в присутствии малорастворимых соединений Al(III), Fe(III) и Zn (II), а также оценка влияния физико-химических характеристик дисперсной фазы на эффективность протекания процесса электрофлотации.

Методика экспериментов

Объектом исследования служили растворы, содержащие ионы тяжелых металлов: Al(III), Fe(III), Zn(II) и Pb(II). Исследованы двух- и трехкомпонентные системы следующего состава (по катионам):



Суммарная исходная концентрация металлов в исследованных растворах (C_{Σ}) составляла 50 мг/л.

Соотношение металлов (по массе) было следующим:

$$\begin{aligned} [\text{Me}^{n+}_1] : [\text{Me}^{n+}_2] &= 1:1, \\ [\text{Me}^{n+}_1] : [\text{Me}^{n+}_2] : [\text{Me}^{n+}_3] &= 1:1:1. \end{aligned}$$

Для сравнения использовали растворы, содержащие ионы Al^{3+} и Fe^{3+} в концентрации 50 и 100 мг/л. В качестве добавки, повышающей электропроводность растворов, использовали 0,01 М раствор Na_2SO_4 , что позволило провести процесс электрофлотации. Влияние анионов на процесс электрофлотационной очистки изучали в растворах NaCl , NaNO_3 и Na_2SO_4 в диапазоне концентраций 1–100 г/л.

Корректировку значений pH в растворах осуществляли добавлением щелочи (NaOH). Контроль значений pH проводили с помощью иономера «И-160 МИ».

Процесс электрофлотационного извлечения малорастворимых соединений металлов проводили в непроточном аппарате объемом 0,5 л с нерастворимыми электродами. Анод – титановая пластина с оксидным рутениево-титановым покрытием (ОРТА), катод – сетка из нержавеющей стали. Объемная плотность тока, при которой осуществляли процесс электрофлотации составляла 0,4 А/л. Для фильтрации растворов использовали фильтры марки «синяя лента» с диаметром пор 2–3 мкм.

Степень извлечения металлов из водных растворов α (%) рассчитывали как отношение разницы между исходным и конечным содержанием металла в растворе к исходному содержанию (суммарно в дисперсной и ионной формах):

$$\alpha = [(C_0 - C_t) / C_0] \cdot 100\%.$$

Массовую концентрацию металлов в растворах измеряли по стандартизованной методике на атомно-абсорбционном спектрометре «КВАНТ-АФА». Размер частиц дисперсной фазы (средний гидродинамический диаметр (d_{av} , мкм) определяли измерением корреляционной функции отклонения интенсивности рассеянного света и интегральной интенсивности рассеяния с помощью лазерного анализатора «Photocor Compact Z». Электрокинетический потенциал частиц (ζ , мВ) определяли на основании результатов измерений электрофоретической подвижности частиц в жидкости, проведенных с помощью анализатора «Photocor Compact Z».

Экспериментальная часть

На первом этапе работы исследовали влияние pH среды на физико-химические характеристики

дисперсной фазы малорастворимых соединений Pb(II), Zn(II), Al(III) и Fe(III).

Проведены исследования влияния pH среды на растворимость соединений Pb(II), Zn(II), Al(III) и Fe(III) методом фильтрации. Установлено, что максимальное полное образование дисперсной фазы в растворах, содержащих ионы Zn^{2+} и Pb^{2+} , происходит в интервале pH 7–11. Причем ионы цинка на 98% переходят в форму малорастворимых соединений при pH 10, а ионы свинца при pH 11. Остаточная концентрация ионов металлов в растворе составляет 1,2 и 0,75 мг/л соответственно. Ионы Al^{3+} на 99% переходят в форму малорастворимых соединений уже при pH 5, но наиболее полный переход наблюдается при pH 7 (99,94%). Остаточная концентрация алюминия в фильтрате не превышает 0,026 мг/л. Увеличение pH до 9 и выше приводит к резкому повышению растворимости дисперсной фазы алюминия, что можно объяснить амфотерными свойствами гидроксида Al(III), т.е. воздействие щелочи в интервале pH 9–12 на свежесозаженный гидроксид Al(III) приводит к образованию хорошо растворимых алюминатов ($[Al(OH)_4]^-$) [11].

Минимальное значение остаточной концентрации Fe^{3+} наблюдается в интервале pH 5–9 и колеблется в интервале 0,4–0,5 мг/л, т.е. ионы Fe^{3+} на 99% переходят в форму малорастворимых соединений.

Данные о растворимости дисперсной фазы металлов позволяют выявить интервал pH, в котором их совместное извлечение будет протекать наиболее полно. Этот интервал pH составляет 7,0–8,0 и 8,0–9,0 для систем, содержащих ионы Al^{3+} и Fe^{3+} соответственно.

Следует заметить, что эффективность процесса электрофлотации зависит не только от остаточной концентрации ионов металлов в растворе, но и от размера частиц дисперсной фазы, который, согласно [6], находится в зависимости от заряда поверхности частиц и максимален в области, близкой к электронейтральной.

В связи с этим проведены исследования влияния pH среды на значения ζ -потенциала дисперсной фазы на примере двух- и трехкомпонентных систем Al(III) – Pb(II), Al(III) – Zn(II) – Pb(II) и Fe(III) – Pb(II), Fe(III) – Zn(II) – Pb(II). Для сравнения приведены кривые зависимости ζ от pH для индивидуальных соединений Al(III) и Fe(III) (рис. 1).

В многокомпонентных системах, содержащих Al(III), с повышением pH от 4 до 6 происходит перезарядка частиц дисперсной фазы, ζ -потенциал уменьшается с $(+3) \div (0)$ мВ (pH 4) до $(-2) \div (-4)$ мВ (pH 6). При pH > 9 наблюдается резкое уменьшение электрокинетического потенциала, значение которого достигает $-(15-22)$ мВ. Можно предположить, что характер кривых, представленных на рис. 1, а, в области pH 4–9 определяется свойствами дисперсной фазы малорастворимых соединений Al(III), на которых сорбируются ионы и дисперсная фаза малорастворимых соединений Zn(II) и Pb(II). В области pH 10–12 дисперсная фаза в соответствии с данными о растворимости представлена соединениями Zn(II) и Pb(II). Заряд дисперсной фазы возникает в результате сорбции алюмината ($[Al(OH)_4]^-$), образующегося при растворении гидроксида Al(III) и гидроксид-ионов OH^- на дисперсной фазе соединений Zn(II) и Pb(II).

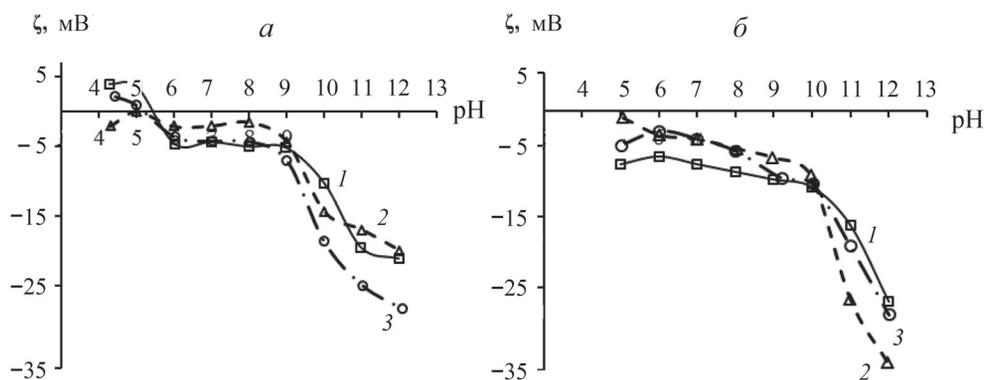


Рис. 1. Зависимость ζ -потенциала малорастворимых соединений Al^{3+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} (а) и Fe^{3+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} (б) в составе многокомпонентных систем от pH раствора: 1 – однокомпонентные системы Me(III); 2 – двухкомпонентные системы Me(III) – Pb(II); 3 – трехкомпонентные системы Me(III) – Zn(II) – Pb(II)

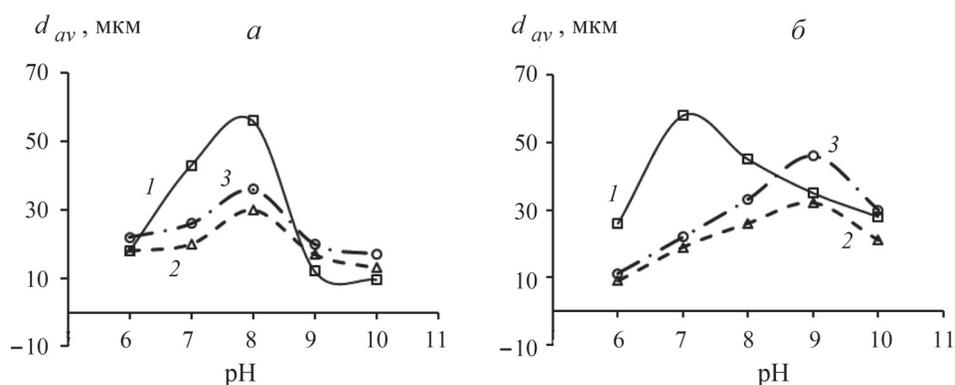


Рис. 2. Зависимость среднего гидродинамического диаметра d_{av} малорастворимых соединений Al^{3+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} (а) и Fe^{3+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} (б) в составе многокомпонентных систем от pH раствора: 1 – однокомпонентные системы Me(III); 2 – двухкомпонентные системы Me(III) – Pb(II); 3 – трехкомпонентные системы Me(III) – Zn(II) – Pb(II)

В многокомпонентных системах, содержащих Fe(III) в интервале pH 5–10 происходит постепенное снижение значений ζ -потенциала до -10 мВ. При $pH > 10$ значения электрокинетического потенциала резко снижаются до $-(25-35)$ мВ, что может быть обусловлено вытеснением ионов SO_4^{2-} , сорбированных на поверхности малорастворимых соединений, накапливающимися в растворе ионами OH^- .

Следует отметить, что поведение кривых зависимости ζ от pH в случае многокомпонентных систем, содержащих ионы Al(III) и Fe(III), характерно для систем, содержащих индивидуальные соединения Al(III) и Fe(III).

Проведено исследование влияния pH среды на значения среднего гидродинамического диаметра частиц дисперсной фазы двух- и трехкомпонентных систем Al(III) – Pb(II), Al(III) – Zn(II) – Pb(II) и Fe(III) – Pb(II), Fe(III) – Zn(II) – Pb(II). Для сравнения приведены кривые зависимости d_{av} от pH для индивидуальных соединений Al(III) и Fe(III) (рис. 2).

Показано, что максимальный размер частиц дисперсной фазы многокомпонентных систем, содержащих гидроксиды Al(III) и Pb(II), достигает 24 мкм, а для систем, содержащих Al(III), Zn(II) и Pb(II), этот показатель равен 36 мкм. Экстремум на кривых $d_{av} = f(pH)$ соответствует экстремуму кривой, характеризующей размер индивидуальных соединений Al(III), и наблюдается при pH 8,0. В системе, содержащей гидроксиды Fe(III) и Pb(II) и системе, содержащей гидроксиды Fe(III), Zn(II) и Pb(II), максимальный размер дисперсной фазы d_{cp} достигает 32 и 46 мкм соответственно при pH 9,0. Причем наиболее крупные частицы малорастворимых соединений Fe(III) наблюдаются

при pH 7,0. Полученные данные коррелируют с данными о минимальной растворимости. Можно сделать вывод, что размер дисперсной фазы многокомпонентных систем усреднен по сравнению с размером дисперсной фазы индивидуальных соединений металлов, так как максимальный размер индивидуальных соединений Pb(II) не превышает 15 мкм, а для Zn(II) этот показатель достигает 150 мкм и более в областях pH, соответствующих значениям минимальной растворимости.

На втором этапе работы проведены исследования по электрофлотационному извлечению ионов Pb(II) в широком диапазоне концентраций (5–100 мг/л) в присутствии малорастворимых соединений алюминия и железа в интервале pH 6–7. Полученные данные представлены в табл. 1. При выбранных значениях pH наблюдаются минимальная растворимость и максимальный размер дисперсной фазы малорастворимых соединений Al(III) и Fe(III), свинец находится в растворе в ионной форме. Таким образом, извлечение свинца из исследуемых растворов обусловлено сорбцией его ионов на малорастворимых соединениях Al(III) и Fe(III).

Показано, что с повышением концентрации ионов Pb(II) увеличивается степень их извлечения, достигая своего максимума при эквивалентном соотношении ионов Pb(II), Al(III) и Fe(III) в растворе. Следует отметить, что в выбранном узком интервале pH наиболее полно ионы Pb(II) извлекаются из водных растворов в присутствии малорастворимых соединений Fe(III), степень извлечения достигает 94%. Степень извлечения Al(III) и Fe(III) достигает 95% и более независимо от содержания свинца в растворах.

Т а б л и ц а 1

Зависимость степени извлечения и остаточной концентрации ионов Pb(II) в водных растворах от их исходной концентрации и природы коагулянта

$C_{\text{исх.}}(\text{Pb(II)}), \text{ мг/л}$	Fe(III), 100 мг/л		Al(III), 100 мг/л	
	степень извлечения Pb(II) $\alpha, \%$	$C_{\text{ост.}}(\text{Pb(II)}), \text{ мг/л}$	степень извлечения Pb(II) $\alpha, \%$	$C_{\text{ост.}}(\text{Pb(II)}), \text{ мг/л}$
5	54	2,3	59	2,9
10	73	2,7	59	2,7
20	85	3	64	7,2
40	90	4	72	11,2
50	92	4	72	14
100	94	6	76	24

Изучен процесс электрофлотационной очистки водных растворов от малорастворимых соединений Al(III), Fe(III) Pb(II) и Zn(II) в составе двух- и трехкомпонентных систем в интервале pH 4–12. Наиболее показательны данные, полученные для трехкомпонентных систем Al(III) – Zn(II) – Pb(II) и Fe(III) – Zn(II) – Pb(II) (рис. 3).

Показано, что в общем случае кривые электрофлотационного извлечения Pb(II), повторяют кривые электрофлотационного извлечения Al(III) и Fe(III). Это актуально как для двух, так и для трехкомпонентных систем. В системе Al(III) – Zn(II) – Pb(II) в интервале pH 5–8 кривая электрофлотационного извлечения Pb(II) повторяет кривую извлечения Al(III). При дальнейшем повышении pH, как было отмечено

выше, гидроксид Al(III) переходит в форму растворимого алюмината ($[\text{Al}(\text{OH})_4]^-$), в результате чего кривая извлечения Pb(II) начинает повторять кривую электрофлотационного извлечения Zn(II).

В системе Fe(III) – Zn(II) – Pb(II) эффективное извлечение Pb(II) в слабокислой области pH обусловлено сорбцией его ионов на дисперсной фазе малорастворимых соединений Fe(III), в нейтральной и щелочной областях – сорбцией малорастворимых соединений свинца малорастворимыми соединениями Fe(III) и Zn(II), что значительно повышает эффективность электрофлотационного извлечения Pb(II).

На завершающем этапе исследований проведено изучение влияния макрокомпонентов, в

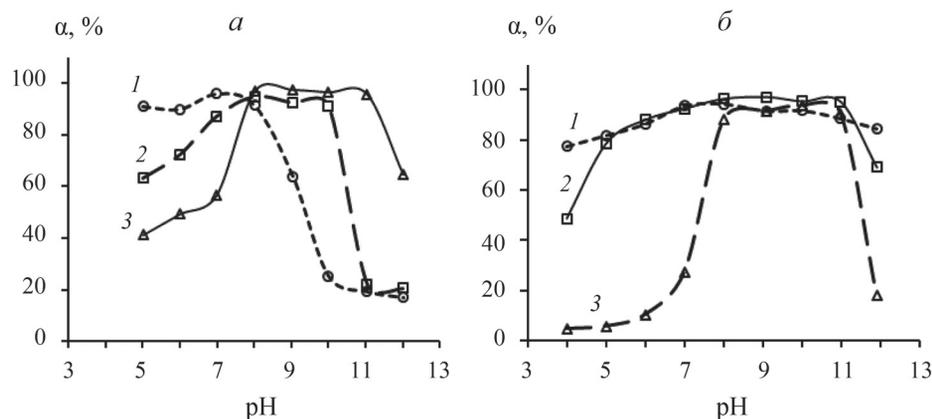


Рис. 3. Влияние pH на степень извлечения металлов в составе трехкомпонентных систем Al(III) – Zn(II) – Pb(II) (а) и Fe(III) – Zn(II) – Pb(II) (б): 1 – степень извлечения Me(III), 2 – степень извлечения Pb(II), 3 – степень извлечения Zn(II)

Т а б л и ц а 2

Зависимость степени извлечения и остаточной концентрации ионов Pb(II) в водных растворах в от способа обработки раствора (электрофлотация, электрофлотация с фильтрацией) и наличия сопутствующих ионов Al(III), Fe(III), Zn(II)

Способ обработки, сопутствующий ион	pH _{опт.}	Время обработки*, мин	Степень извлечения Pb(II) (α), %	C _{ост.} (Pb(II)), мг/л
Электрофлотация, Al(III)	8,0	10–15	94	1,665
Электрофлотация, Fe(III)	9,0	5–8	96	1,06
Электрофлотация, Al(III)–Zn(II)	8,0	8–10	95	0,935
Электрофлотация, фильтрация, Fe(III)	9,0	5–8	97	0,811
Электрофлотация, фильтрация, Al(III)	8,0	10–15	97,2	0,779
Электрофлотация, Fe(III)–Zn(II)	9,0	5–8	97,2	0,50622
Электрофлотация, фильтрация, Fe(III)–Zn(II)	9,0	5–8	99,5	0,09438
Электрофлотация, фильтрация, Al(III)–Zn(II)	8,0	8–10	99,7	0,053

*Обработка методом электрофлотации.

частности ионов Cl^- , NO_3^- и SO_4^{2-} на эффективность извлечения малорастворимых соединений Al(III), Fe(III) и Zn(II). Как показали проведенные исследования, эффективность извлечения ионов и малорастворимых соединений свинца определяется эффективностью извлечения малорастворимых соединений сопутствующих металлов, так как ионы и дисперсная фаза малорастворимых соединений Pb(II) сорбируются на крупных частицах малорастворимых соединений сопутствующих металлов.

Показано, что при концентрации Fe(III) до 100 мг/л и при концентрации фоновых солей до 10 г/л эффективность извлечения дисперсной фазы Fe(III) достигает 98% (pH 8–9). При повышении концентрации фоновых солей до 100 г/л, а концентрации Fe(III) до 300 мг/л степень извлечения железа из раствора Na_2SO_4 практически не изменяется и достигает 90–95%. Степень извлечения железа из раствора NaCl не превышает 80%. Извлечение дисперсной фазы в присутствии нитрат-ионов практически невозможно, степень извлечения составляет не более 10%.

Сравнительное исследование электрофлотационной активности малорастворимых соединений алюминия в присутствии ионов SO_4^{2-} и

NO_3^- (концентрация фоновых солей 1 г/л) в области pH 7–8 показало, что степень извлечения Al(III) достигает 98%. Степень извлечения алюминия из растворов хлорида натрия значительно ниже, наблюдается остаточная концентрация не менее 17 мг/л при исходной 100 мг/л. Фильтрация раствора показала, что остаточная концентрация алюминия в ионной форме составляет 11 мг/л, что превосходит остаточную концентрацию алюминия в растворе, содержащем сульфат-ионы, более чем в 10 раз. Это различие обусловлено образованием хорошо растворимого хлоридного комплекса алюминия.

Эффективность электрофлотационного извлечения малорастворимых соединений цинка в меньшей мере зависит от природы фоновых солей. Присутствие анионов SO_4^{2-} с концентрацией до 1 г/л не влияет на процесс электрофлотационного извлечения – степень извлечения Zn(II) в интервале pH 9–10 достигает 99%, повышение концентрации сульфат-ионов до 10 г/л ведет к снижению степени извлечения до 80% и замедлению скорости процесса в 1,5–2 раза.

Сходным образом проявляет себя дисперсная фаза малорастворимых соединений цинка в присутствии хлорид-ионов. Повышение

концентрации ионов Cl^- с 1 до 10 г/л приводит к снижению степени извлечения от 99 до 85%. В присутствии ионов NO_3^- при концентрации до 1 г/л остаточная концентрация ионов цинка составляет 7 мг/л, а при 10 г/л – не менее 18 мг/л, что соответствует степени извлечения 80%.

Снижение эффективности электрофлотационного извлечения малорастворимых соединений металлов в присутствии ионов Cl^- и NO_3^{2-} можно объяснить их участием в электродных процессах. При электролизе NaNO_3 происходит катодное восстановление нитрат-иона NO_3^- до нитрит-иона NO_2^- , что существенно снижает выход по току газообразного H_2 , который является активным флотирующим агентом. В процессе электрофлотации в растворе электролита NaCl при $\text{pH} > 9$ на аноде выделяется газообразный хлор, который снижает выход по току газообразного кислорода и растворяется с образованием хлорноватистой кислоты.

Обсуждение результатов

В результате обобщения полученных данных удалось выявить способ обработки, позволяющий максимально эффективно извлекать ионы Pb(II) из водных растворов (табл. 2). Установлено, что максимально полное извлечение ионов Pb(II) достигается в трехкомпонентных системах $\text{Al(III)} - \text{Zn(II)} - \text{Pb(II)}$ и $\text{Fe(III)} - \text{Zn(II)} - \text{Pb(II)}$ методом электрофлотации с последующей фильтрацией. Однако нужно отметить, что с технологической точки зрения извлечение ионов Pb(II) совместно с

ионами Al(III) и Zn(II) возможно в крайне узкой области pH , что обусловлено амфотерными свойствами малорастворимых соединений Al(III) . Эффективность извлечения сопутствующих свинцу металлов несколько выше, чем в исследованных ранее авторами индивидуальных системах, что можно объяснить коагуляционными эффектами.

Показано, что малорастворимые соединения свинца способны извлекаться из водных растворов путем образования коллоидно-дисперсных систем с малорастворимыми соединениями сопутствующих металлов – Al(III) , Fe(III) и Zn(II) , способных к активной агрегации. В то же время установлено, что введение ионов Pb(II) в растворы, содержащие как ионы Al(III) , Fe(III) , так и совместно ионы Al(III) и Zn(II) , а так же Fe(III) и Zn(II) , в общем случае приводит к резкому снижению среднего гидродинамического диаметра частиц дисперсной фазы во всем интервале pH , т.е. затрудняет процесс коагуляции.

Показана взаимосвязь между составом раствора, pH среды и значениями электрокинетического потенциала и среднего гидродинамического диаметра дисперсной фазы малорастворимых соединений металлов на примере Al(III) , Fe(III) , Zn(II) и Pb(II) .

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Соглашения о предоставлении субсидии № 14.574.21.0169 от 26 сентября 2017 г., уникальный идентификатор работ (проекта) RFMEFI57417X0169.

Конфликта интересов нет.

Дополнительных материалов нет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янин Е.П. // Ресурсосберегающие технологии. 2002. № 18. С. 3.
2. Громова И.В., Гарипова Р.Р., Какуркин Н.П. // Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т. XXVI. № 8 (137). С. 58.
3. Tzoupanos N.D., Zouboulis A.I. Coagulation–flocculation processes in water/wastewater treatment: the application of new generation of chemical reagents. 6th IASME/WSEAS international conference on heat transfer, thermal engineering and environment (HTE'08) Rhodes, Greece, 2008. P. 309.
4. Bratby J. Coagulation and Flocculation in Water and wastewater Treatment. L., Seattle, 2006.
5. Цизин Г.И. // Журнал аналитической химии. 2011. Т. 66. № 11. С. 1135.
6. Zolotov Yu.A., Tsysin G.I., Morosanova E.I., Dmitrienko S.G. // Russian Chemical Reviews. 2005. Vol. 74. N 1. P. 37 (DOI: 10.1070/RC2005v074n01A-BEN000845).
7. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М., 1999.
8. Колесников В.А., Ильин В.И., Капустин Ю.И. и др. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий / под ред. В.А. Колесникова. М., 2007.
9. Brodskiy V.A., Gaydukova A.M., Kolesnikov V.A., Il'in V.I. // Russian journal of physical chemistry B. 2017. Vol. 11. N 4. P. 273 (DOI: 10.1134/S1990793117040145).
10. Brodskiy V.A., Gaydukova A.M., Kolesnikov V.A. // Russian Journal of Applied Chemistry. 2015. Vol. 88.

N 9. P. 1446 (DOI: 10.1134/S1070427215090104).
11. Atlas of Eh-pH diagrams. Intercomparison of thermodynamic databases. National Institute of Advanced

Industrial Science and Technology Research Center for Deep Geological Environments. Naoto TAKENO. May 2005.

Поступила в редакцию 10.09.2019
Получена после доработки 12.10.2019
Принята к публикации 14.11.2019

INCREASE OF LEAD (II) IONS ELECTROFLOTATION EXTRACTION EFFICIENCY FROM WATER SOLUTIONS IN THE PRESENCE OF IONS OF ALUMINIUM (III) AND IRON(III) AS A COAGULANT

Yu.O. Malkova*, V.A. Brodskiy, V.A. Kolesnikov

*(D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Department of technology of inorganic substances and electrochemical processes; *e-mail: jui77_77@mail.ru)*

The research studied the effects of solubility, disperse features (Z average diameter d_{av} , and charge (ζ -potential) of the particles of heavy-metal slightly soluble compounds exemplified by aluminum (III), iron(III), zinc(II) and plumbum(II) hydrates related to efficiency of their removal from aqueous solutions in the composition by means of electroflotation and filtration within a pH-range 5–12. High efficiency of electroflotation-based Pb(II) removal from aqueous solutions is determined by sorption of ions and the dispersed Pb(II) phase on the Al(III) and Zn(II) dispersed phase. The size of the disperse phase of multi-component systems is averaged compared to that of individual compounds. The maximum particle size of the dispersed phase of multi-component systems comprising Al(III) and Pb(II) hydroxides reaches 24 μm , Al(III), Zn(II) and Pb(II) hydroxides – 36 μm within the pH 8,0, Fe(III), Zn (II) and Pb(II) hydroxides – 46 μm within the pH 9,0. The same is true for averaging the electrokinetic potential which falls within the range of $-(2-9)$ mV for all studied systems within the pH range 7–9. The research showed that the efficiency of removal of plumbum (II) and accompanying metals compounds from wastewater through electroflotation reaches 90% to 97% within the pH range 7.5–8.5. Further filtration of solutions allows to increase removal to 99% and more.

Key words: electroflotation, aluminum(III), iron (III), zinc(II), plumbum(II), electrokinetic potential, particle size, removal efficiency.

Сведения об авторах: Малькова Юлия Олеговна – вед. инженер кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева (jui77_77@mail.ru); Бродский Владимир Александрович – доцент кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева, канд. хим. наук (vladimir_brodsky@mail.ru); Колесников Владимир Александрович – зав. кафедрой технологии неорганических веществ и электрохимических процессов РХТУ им. Д.И. Менделеева, профессор, докт. техн. наук (tnv-i-ep@yandex.ru).