

УДК 622.765.4

РОЛЬ ФИЗИЧЕСКОЙ ФОРМЫ СОРБЦИИ ВО ФЛОТАЦИОННОМ ПРОЦЕССЕ

С. А. Кондратьев, Е. А. Бурдакова

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: kondr@misd.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Рассмотрена собирательная способность десорбируемых форм (ДС-формы) ксантогенатов. Под ДС-формами реагента понимаются формы, способные перейти с минеральной частицы на пузырек, т. е. на границу раздела “газ–жидкость” в момент прорыва прослойки, разделяющей указанные объекты взаимодействия. Определены показатели флотации при наличии смешанного покрытия, представленного химической и физической формами сорбции, и покрытия, содержащего только химическую форму сорбции. Найдены скорости растекания продуктов взаимодействия этилового и бутилового ксантогенатов с нитратом свинца по поверхности воды. Выполнено сопоставление скоростей растекания с собирательной способностью указанных реагентов. Установлено, что увеличение длины углеводородного фрагмента приводит к повышению собирательной способности реагента и скорости растекания его производных форм по поверхности воды.

Флотация, ксантогенаты, химическая и физическая формы сорбции, критерий выбора реагента собирателя, поверхностное давление

Считается, что собирательная способность и селективность действия реагентов-собирателей зависят от особенностей их сорбции на границе раздела “минерал–жидкость”. Установлена связь собирательной способности реагентов, карбоновых кислот с поверхностным давлением в пленке на границе раздела “газ–жидкость” [1–3]. Корреляционная связь поверхностного давления в пленке реагента с флотируемостью кварца получена для катионных реагентов [4]. Показано, что комбинация адсорбции ионно-молекулярных ассоциатов аминов на поверхности минералов и высокого поверхностного натяжения “свежих” пузырьков благоприятна для достижения высоких флотационных показателей, а использование пузырьков с пониженным поверхностным натяжением приводит к их снижению [5].

В [6] представлена зависимость собирательной способности диалкилдитиофосфатов от их динамической активности по отношению к границе раздела “газ–жидкость”. Как и для карбоновых кислот и аминов, с увеличением скорости понижения поверхностного натяжения раствора собирательная способность диалкилдитиофосфатов растет. В качестве одного из критериев оценки собирательной силы реагента предложено рассматривать его динамическое поверхностное натяжение.

Механизм работы активных по отношению к границе раздела “газ–жидкость” форм флотационного реагента, позволяющий объяснить связь поверхностного давления раствора собирателя с флотуруемостью, предложен для карбоновых кислот, аминов и дитиофосфатов в [7–9]. Согласно этому механизму, часть сорбционного покрытия минеральной поверхности в момент прорыва прослойки жидкости, разделяющей минеральную частицу и пузырек, переходит на поверхность последнего. За счет высокой скорости растекания десорбируемые формы реагента захватывают в свое движение прилегающие слои жидкой прослойки и удаляют их.

Количество собирателя, перешедшего на границу раздела “газ–жидкость”, зависит от его поверхностной активности и плотности сорбции на минерале. Эту часть сорбционного слоя, закрепившегося на гидрофобизированной поверхности, будем рассматривать как ДС-форму реагента.

Скорость растекания десорбируемых с минерала производных форм реагента определяется градиентом поверхностного натяжения и соотношением энергетических взаимодействий между молекулами реагента в пленке и молекулами реагента с диполями воды. Согласно правилу Гаркинса, если энергия взаимодействия молекул реагента с диполями воды превышает энергию взаимодействия молекул между собой, то десорбируемые формы реагента растекаются по поверхности раздела “газ–жидкость”. В этом случае наблюдается “прилипание” пленки к водной подложке. Длинноцепочечные реагенты (карбоновые кислоты с длиной углеводородной цепи более 12 атомов углерода) вследствие когезии углеводородных фрагментов растекаются слабо и не увлекают воду в свое движение. При попадании на границу раздела “газ–жидкость” ДС-формы длинноцепочечного реагента находятся на ней в виде линзы и не могут повлиять на удаление воды из прослойки. Величина градиента поверхностного натяжения может быть увеличена при использовании пузырьков с высоким поверхностным натяжением или “свежих” пузырьков, что соответствует экспериментальным данным [5].

Сульфгидрильные собиратели (ксантогенаты) не обладают заметной активностью по отношению к границе раздела “газ–жидкость”, и связь поверхностного давления раствора собирателя с флотуруемостью не наблюдается. Согласно [7–9], предполагается, что часть сорбционного покрытия слабо связана с минеральной частицей и активна по отношению к границе раздела “газ–жидкость”. Только в этом случае возможно удаление жидкости из прослойки ДС-формами собирателя.

Возможность перехода активных форм реагента на поверхность пузырька предусматривает их десорбцию с минеральной поверхности после локального прорыва прослойки. В ряде работ доказана возможность относительно легкого удаления части сорбционного слоя. Так, в [10] показано, что сорбционное покрытие сфалерита в растворе ксантогената представлено двумя формами: слабо фиксированной и удаляемой при промывке водой и формой, которая может быть удалена только пиридином.

В [11] ИК-спектроскопией установлено, что продукт, сформировавшийся при взаимодействии этилового ксантогената калия с галенитом, характеризуется как этиловый ксантогенат свинца. Часть его легко удаляется промывкой ацетоном, что указывает на слабую связь ксантогената свинца с минеральной поверхностью. На минеральной поверхности остается количество ксантогената, приблизительно соответствующее одному условному монослою собирателя вне зависимости от общего количества, присутствующего до промывки. Следовательно, на галените находятся производные продукты ксантогената, способные десорбироваться с минеральной поверхности, и они не являются диксантогенидами.

Образование многослойного покрытия сфалерита при обработке растворами ацетата свинца и этилового ксантогената калия установлено ИК-спектроскопией [12]. Верхний слой представлен молекулярным ксантогенатом свинца PbX_2 . Максимальное его количество в сорбционном слое

отмечено через 15 мин после обработки. Затем содержание молекулярного ксантогената свинца в сорбционном слое снижается, что указывает на его слабую связь с нижним слоем химически закрепившегося на минеральной поверхности ксантогената.

Для поиска форм флотационного реагента, придающих минералу флотационно активное состояние, большое значение имеют работы по применению солей тяжелых металлов-активаторов. Осадки, выделившиеся на минеральную поверхность, можно рассматривать как слабо связанную с минералом часть сорбционного покрытия. Собирательное действие этилового ксантогената свинца, образовавшегося в объеме раствора при флотации галенита, исследовалось в [13]. Экспериментальные работы показали, что флотация галенита происходит при малых расходах ксантогената, значительная часть которого может связываться находящимися в растворе ионами свинца. Использование в качестве собирателя продуктов взаимодействия $Pb(CH_3COO)_2$ и этилового ксантогената калия привело к сравнительно высокому извлечению галенита (табл. 1). Данные свидетельствуют о высокой собирающей способности продуктов взаимодействия ксантогената с водной вытяжкой минерала. В [13] показано, что связывание ксантогената в жидкой фазе раствора не является непроизводительным расходом собирателя. Считается, что осадки — продукты взаимодействия ксантогената с ионами тяжелых металлов — дополнительно гидрофобизируют флотируемый минерал. Но закрепление периметра контакта трех агрегатных состояний на слабо связанном с минералом слое осадков не может способствовать прочному закреплению частицы на пузырьке.

ТАБЛИЦА 1. Флотация галенита продуктами взаимодействия $Pb(CH_3COO)_2$ и этилового ксантогената калия [13], %

Собиратель и условия его приготовления	Извлечение при флотации	Сорбция ксантогената от исходной
Этиловый ксантогенат калия, 50 г/т	91.75	68.3
Тонкодисперсный этиловый ксантогенат свинца (приготовлен сливанием $Pb(CH_3COO)_2$ и этилового ксантогената калия — 50 г/т). Образовавшийся осадок вместе с равновесным раствором переносится в камеру флотомашин	75.9	64.4
Грубодисперсный этиловый ксантогенат свинца (приготовлен сливанием растворов $Pb(CH_3COO)_2$ и этилового ксантогената калия — 50 г/т). Укрупнение мицелл образовавшегося осадка достигалось длительным перемешиванием	10.4	—
Тонкодисперсный этиловый ксантогенат свинца (приготовлен добавлением 50 г/т этилового ксантогената калия к водной вытяжке галенита, объем 160 мл)	91–93.5	71.0

Предположение о дополнительной гидрофобизации минеральной поверхности осадками вызывает сомнение из-за их слабой связи с подложкой. Представляется целесообразным изучить собирающую способность слабо связанных с минеральной поверхностью ДС-форм сульфидрильных собирателей ввиду их широкого применения при флотации сульфидных руд.

В задачу настоящей работы входит определение доли физически сорбируемых форм ксантогенатов в суммарной собирающей способности реагента и оценка их значений для пенной флотации. Ставится также цель найти скорости растекания производных форм этилового и бутилового ксантогенатов по границе раздела “газ–жидкость” и возможности выполнения ими функции удаления жидкости из прослойки путем сопоставления скорости растекания с собирающей способностью указанных реагентов.

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Определение скорости растекания ДС-форм ксантогенатов по поверхности воды осуществлялось на установке, представляющей собой кювету с дистиллированной водой (рис. 1). Кювета устанавливалась под камерой, которая могла записывать видеофайл растекания поверхностно-активных по отношению к границе раздела “газ–жидкость” производных форм этилового и бутилового ксантогенатов. Съемка проводилась камерой Evercam 4000-16-C со скоростью 10 000 кадров/с и разрешением 1280×304. Определялась скорость растекания продуктов нестехиометрического взаимодействия этилового и бутилового ксантогенатов (ГОСТ 7927-75) с азотнокислым свинцом (ГОСТ 4236-77, ч.д.а.). Изменение рН выполнялось дозированием HCl и NaOH.

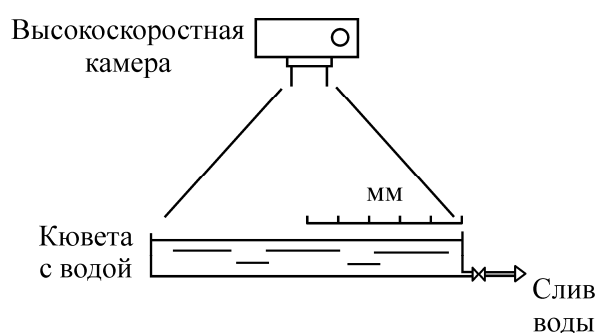


Рис. 1. Установка по определению скорости растекания производных форм ксантогенатов по поверхности воды

В контрольном и экспериментальном опытах исследовалась флотируемость свинцово-цинковой руды Горевского месторождения (Красноярский край). Ее химический состав и содержание (%) представлены ниже:

Pb	Zn	S	SiO ₂	TiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	CO ₂	MnO
6.5	6.2	4.27	38.62	0.12	20.73	1.7	1.40	13.3	1.55

Содержание соединений MgO, P₂O₅, K₂O, Na₂O меньше 1%. Флотация свинцово-цинковой руды осуществлялась в лабораторной флотационной машине ФМП-Л1 объемом 0.75 л. Крупность флотируемого материала – 0.075 мм составила 85%. Использовались этиловый, бутиловый и амиловый ксантогенаты. Расход реагентов 100 г/т руды. В качестве депрессора цинка выбран цинкат натрия (Na₂ZnO₂) — расход 1500 г/т, для пенообразования — реагент Flotanol 10 г/т. Физическая форма сорбции ксантогенатов удалялась с минеральной поверхности с помощью гексана, расход которого составил 500 мл на 300 г руды. Для флотации руды Горевского месторождения осадками применялся нитрат свинца (Pb(NO₃)₂, ГОСТ 4236-77).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

На установке определялась скорость растекания продуктов взаимодействия этилового и бутилового ксантогенатов с азотнокислым свинцом по поверхности воды. Такие продукты готовились путем взаимодействия азотнокислого свинца с ксантогенатом при мольном соотношении 1 : 10, 1 : 50 и 1 : 100. Концентрация этилового и бутилового ксантогенатов — 1·10⁻¹ моль/л. На рис. 2а приведена скорость движения фронта растекающейся пленки, сформированной продуктами взаимодействия этилового ксантогената с азотнокислым свинцом, в зависимости от времени, а на рис. 2б — продуктами взаимодействия бутилового ксантогената с азотнокислым свинцом при указанных мольных соотношениях исходных компонентов.

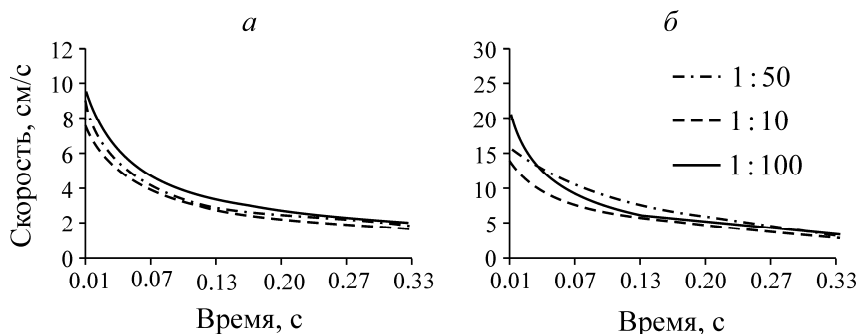


Рис. 2. Зависимость скорости растекания производных форм взаимодействия нитрата свинца с этиловым (а) и бутиловым (б) ксантогенатом на поверхности воды от времени

С целью определения доли физически сорбируемых форм ксантогенатов в суммарной сорбительной способности реагента проведены эксперименты по флотации свинцово-цинковой руды Горевского месторождения по стандартной (при наличии физической и химической форм сорбции) и опытной схеме (с удалением физической формы сорбции). Время флотации 3 мин, рН пульпы во время флотации 7.5. Удаление физической формы сорбции реагента с минеральной поверхности осуществлялось методом отмывки гексаном (рис. 3). В опытной схеме после агитации руды с реагентом выполнялись ее декантация и промывка твердого остатка гексаном. Расход гексана составил 500 мл на 300 г руды, продолжительность отмывки 6 мин.



Рис. 3. Опытная схема подготовки свинцово-цинковой руды к флотации с удалением десорбируемой части минерального покрытия

В табл. 2 представлены результаты флотации по стандартной схеме и с отмывкой физической формы сорбции реагента гексаном.

ТАБЛИЦА 2. Показатели флотации свинцово-цинковой руды без промывки материала после агитации с реагентом и с промывкой гексаном после агитации, %

Продукт	Выход γ	Содержание β		Извлечение ϵ		Собиратель, 100 г/т
		Pb	Zn	Pb	Zn	
Пенный	21.1	20.7	19.7	70.5	69.8	Бутиловый ксантогенат
Камерный	78.9	2.32	2.3	29.5	30.2	
Исходный	100	6.2	6.0	100.0	100.0	
Пенный	13.5	13.9	6.3	30.4	14.2	Бутиловый ксантогенат, удаление ДС-форм
Камерный	86.5	5.0	5.9	69.6	85.8	
Исходный	100.0	6.2	6.0	100.0	100.0	
Пенный	14.5	26.6	13.16	62.2	32.0	Амиловый ксантогенат
Камерный	85.5	2.7	4.8	37.8	68.0	
Исходный	100.0	6.2	6.0	100.0	100.0	
Пенный	13.9	11.3	6.5	25.4	15.2	Амиловый ксантогенат, удаление ДС-форм
Камерный	86.1	5.4	5.9	74.6	84.8	
Исходный	100.0	6.2	6.9	100.0	100.0	
Пенный	15.1	23.1	18.8	56.0	47.4	Этиловый
Камерный	84.9	3.2	3.7	44.0	52.6	
Исходный	100.0	6.2	6.0	100.0	100.0	
Пенный	8.9	11.0	6.2	15.7	9.2	Этиловый, удаление ДС-форм
Камерный	91.1	5.7	6.0	84.3	90.8	
Исходный	100.0	6.2	6.0	100.0	100.0	

Проведена флотация руды Горевского месторождения осадками, в качестве которых использовались продукты взаимодействия рассмотренных ксантогенатов и нитрата свинца. Осадки готовились смешением указанных химических соединений в эквимольных концентрациях. Полученная эмульсия подавалась в коллективную Pb–Zn флотацию. Исходная концентрация ксантогенатов для приготовления продуктов взаимодействия составила 3 %, Na_2S подавался в измельчение с расходом 300 г/т, пенообразователь Flotanol — 10 г/т. Время флотации 3 мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Получены экспериментальные доказательства возможности растекания производных форм ксантогенатов по границе раздела “газ–жидкость” и определена скорость их растекания по поверхности воды. Установлено, что скорость растекания продуктов взаимодействия ксантогенатов с солями свинца сопоставима со скоростью растекания ассоциатов карбоновых кислот. Сравнение скоростей растекания производных форм, полученных при смешении нитрата свинца с этиловым и бутиловым ксантогенатами, показывает, что продукты реакции последнего имеют большую скорость растекания по поверхности воды (рис. 2). Следовательно, его активные по отношению к границе раздела “газ–жидкость” ДС-формы могут оказать большее влияние на скорость удаления жидкости из прослойки, что находится в соответствии с практикой флотации. Известно, что бутиловый ксантогенат обладает большей собирательной способностью, чем этиловый. Результаты флотации руды Горевского месторождения подтверждают этот факт (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3. Результаты флотации руды Горевского месторождения с применением осадков продуктов взаимодействия собирателей и нитрата свинца при добавлении их в коллективную Pb–Zn флотацию, %

Продукт	Выход γ	Содержание β		Извлечение ϵ		I	Собиратель, 100 г/т
		Pb	Zn	Pb	Zn		
Пенный	19.33	19.74	20.58	77.16	70.41	106.75	Флотация осадками продуктов взаимодействия бутилового ксантогената с нитратом свинца
Камерный	80.67	1.40	2.07	22.84	29.59		
Исходный	100.00	4.64	5.65	100.00	100.00		
Пенный	14.00	28.39	10.16	77.03	25.00	152.03	Флотация осадками продуктов взаимодействия амилового ксантогената с нитратом свинца
Камерный	86.00	1.38	4.95	22.97	75.00		
Исходный	100.00	5.16	5.68	100.00	100.00		
Пенный	27.52	16.68	15.98	82.13	75.97	106.16	Флотация осадками продуктов взаимодействия этилового ксантогената с нитратом свинца
Камерный	72.48	1.373	1.92	17.87	24.03		
Исходный	100.00	5.59	5.79	100.00	100.00		
Пенный	22.67	17.91	19.19	78.59	78.12	100.47	Флотация (базовый опыт) бутиловый ксантогенат
Камерный	77.33	1.431	1.58	21.41	21.88		
Исходный	100.00	5.17	5.57	100.00	100.0		
Пенный	20.67	20.31	17.28	78.6	61.16	117.44	Флотация (базовый опыт) амиловый ксантогенат
Камерный	79.33	1.44	2.863	21.4	38.84		
Исходный	100.00	5.34	5.84	100.00	100.00		
Пенный	21.48	18.42	19.60	73.93	76.27	97.66	Флотация (базовый опыт) этиловый ксантогенат
Камерный	78.52	1.62	1.67	26.07	23.73		
Исходный	100.00	4.87	5.52	100.00	100.00		

С течением времени скорость растекания производных форм ксантогенатов снижалась, что особенно наглядно проявилось при приближении концентраций компонентов смеси к эквимолярному соотношению. На рис. 4 показана скорость растекания продуктов взаимодействия этилового и бутилового ксантогенатов с нитратом свинца при мольном соотношении 1 : 10.

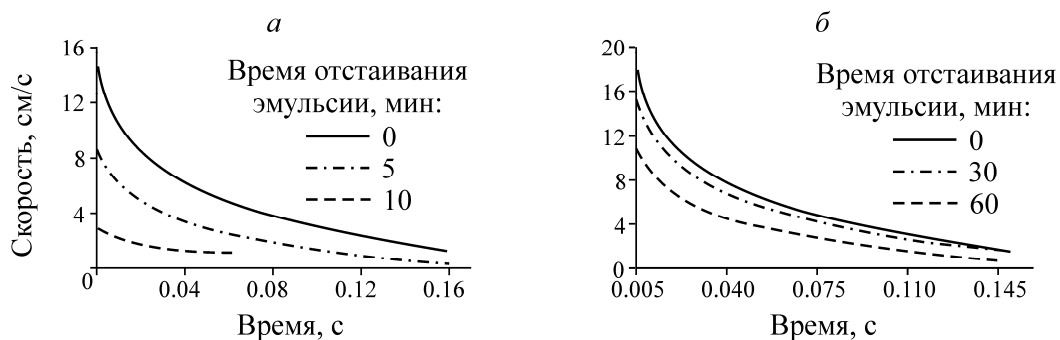


Рис. 4. Зависимость скорости растекания производных форм этилового (а) и бутилового (б) ксантогенатов на поверхности воды от времени и “старения” раствора. Концентрация ксантогената $1 \cdot 10^{-1}$ моль/л. Съемка 10 000 кадров/с

Видно, что эмульсия, помещенная на поверхность воды непосредственно после ее приготовления, в начальный момент имеет скорость ~ 15 см/с (рис. 4а). После пятиминутного отстаивания скорость растекания снизилась до 8.3 см/с, через 10 мин составила не более 3 см/с. Аналогичные результаты получены и для скорости растекания производных форм бутилового ксантогената (рис. 4б).

Понижение скорости растекания продуктов взаимодействия обусловлено укрупнением ассоциатов в растворе. Полученные данные соответствуют результатам флотации галенита грубодисперсным этиловым ксантогенатом свинца (табл. 1) [13].

Из табл. 2 следует, что отсутствие в сорбционном слое физической формы сорбции приводит к значительному ухудшению показателей флотации: при использовании бутилового ксантогената извлечение падает с 70.48 до 30.37%, амилового и этилового ксантогенатов — с 62.18 до 25.4 и с 56.04 до 15.73 соответственно. Аналогично уменьшилось извлечение цинка в пенный продукт.

Согласно результатам флотации, физическая форма сорбции составляет значительную долю в суммарной собирательной способности флотационного реагента. Основным компонентом физической формы сорбции является продукт, полученный от нестехиометрического взаимодействия ксантогената со свинцом. Удаление физической формы сорбции привело к снижению флотиремости требуемого компонента в 2–4 раза. В [14] доказана возможность десорбции продуктов взаимодействия ксантогенатов с нитратом свинца на границу раздела “газ–жидкость” и возможность увлечения ими жидкости из прослойки. Можно предположить, что собирательное действие указанных продуктов заключается в удалении жидкости из прослойки, разделяющей минеральную частицу и пузырек газа. Таким образом, показано, что ДС-формы, представленные продуктами взаимодействия ксантогената с ионами свинца, выполняют собирательную функцию в образовании флотационного контакта в соответствии с механизмом, изложенным в [7–9].

Роль физической формы сорбции для флотации можно проследить на примере флотации свинцово-цинковой руды продуктами взаимодействия нитрата свинца с ксантогенатами (табл. 3). В камеру флотационной машины подавался продукт взаимодействия в пересчете 100 г ксантогената на тонну руды.

Параметры флотации руды Горевского месторождения осадками, полученными от взаимодействия ксантогенатов с нитратом свинца, превышают таковые, достигнутые при использовании одного ксантогената (табл. 3). Время флотации 3 мин. Эмульсия, подаваемая во флотацию в виде непрозрачного раствора желто-зеленого цвета, представлена микрокаплями, основу которых составляют ионно-молекулярные ассоциаты “ксантогенат свинца–анион ксантогената”. Указанные ассоциаты обладают высокой скоростью растекания по поверхности воды (рис. 2).

Значение физической формы сорбции отражено в [14, 15]. Ответ на вопрос, какой продукт на минеральной поверхности ответственен за флотацию, можно найти в работе [15], где установлено, что в отсутствие активирующих ионов для флотации сфалерита необходимо осаждение ксантогената цинка, который сорбируется на сфалерит в две стадии. Первоначально происходит хемосорбция реагента. Затем на углеводородных фрагментах хемосорбированного реагента фиксируется ксантогенат цинка. Подтверждением образования на минерале новой фазы физически закрепившегося ксантогената цинка служат ИК-спектрометрические и электрокинетические измерения. Величина ζ -потенциала минеральной поверхности, контактировавшей с гексилловым ксантогенатом, находится между ζ -потенциалами сфалерита и гексиллового ксантогената цинка. Доказательством влияния физической формы сорбции на флотиремость минералов является параллельность линий $-\lg(X^-)^2$ и $-\lg[(Zn^{2+})(X^-)^2]$, выполненных в зависимости от длины углеводородной цепи ксантогената. Необходимость дополнительного выделения ксантогената цинка на минеральную поверхность связывается с недостаточной гидрофобизирующей способностью хемосорбированного ксантогенат иона. Молекулярный ксантогенат цинка становится дополнительным гидрофобизатором минеральной поверхности [15].

В [16] убедительно обоснована ведущая роль физической формы сорбции. В ней установлена возможность флотации природного халькопирита одним пенообразователем (полипропилен гликоль и амиловый спирт). Флотация особенно эффективна для частиц среднего размера. Следовательно, гидрофобность минеральной поверхности и величина краевого угла сравнительно малы. Флотация проводилась в трубке Халлимонта, поэтому исключалось влияние пенообразования на флотуемость минерала. Отмечается, что трудно представить себе, каким образом молекулы пенообразователя, подаваемые в малых дозах, увеличивают гидрофобность минеральной поверхности. Согласно предложенному механизму [7–9], гидрофобность халькопирита не увеличивалась. Природная гидрофобность халькопирита позволяет закрепиться на его поверхности молекулам пенообразователя по правилу уравнивания полярностей. Гидрофобность минеральной поверхности после закрепления пенообразователя снижалась незначительно. После прорыва прослойки жидкости, разделяющей минеральную частицу и пузырек газа, пенообразователь попадал на границу раздела “газ–жидкость” и осуществлял функцию снятия кинетического ограничения образованию флотационного контакта. В результате периметр контакта трех агрегатных состояний устойчиво закреплялся на ребрах частицы. Учитывая сравнительно низкую гидрофобность минерала, основное влияние в удалении жидкости из прослойки оказала физическая форма сорбции реагента. В данном случае природной гидрофобности минерала достаточно для закрепления пенообразователя.

Приведенный пример доказывает, что на минеральной поверхности находятся активные по отношению к границе раздела “газ–жидкость” и легко десорбируемые с нее молекулы пенообразователя. В данном примере молекулы выполняют функцию ассоциатов при флотации олеиновой кислотой, базовой основой которых являются соединения “анион кислоты–молекула кислоты”.

Из практики флотации известно, что присутствие значительного количества растворимых солей, способных связать собиратель, ухудшает флотацию. В работе [13] утверждается, что падение показателей флотации вызвано коагулирующим действием избытка катионов на образующиеся коллоидные труднорастворимые соединения.

В наших экспериментах укрупнение осадка привело к падению скорости его растекания по поверхности воды и его способности к удалению жидкости из прослойки (рис. 4). Снижение влияния физической формы сорбции реагента вызвало падение флотуемости.

ВЫВОДЫ

Приведенный обзор показал, что при флотации ксантогенатами сорбционное покрытие минеральной поверхности представлено химически закрепившимися анионами, на углеводородных фрагментах которых по правилу уравнивания полярностей закрепляются ионно-молекулярные ассоциаты. Верхний слой покрытия слабо связан с минеральной подложкой и может быть удален, например, промывкой ацетоном.

Установлено, что продукты взаимодействия ксантогенатов с нитратом свинца растекаются по поверхности воды со скоростью 15–20 см/с. Указанные продукты при флотации руд, содержащих галенит, могут выполнять функцию удаления жидкости из прослойки между пузырьком и минеральной частицей.

Эксперименты по флотации свинцово-цинковой руды продемонстрировали, что удаление физической формы сорбции собирателя привело к падению извлечения свинца в концентрат в 2–4 раза. Физическая форма сорбции представлена продуктами взаимодействия ксантогената с ионами свинца. Из полученных данных следует, что доля физической формы сорбции составляет более 50 % от суммарной собирательной способности реагента-собирателя.

Старение эмульсии, представленной продуктами взаимодействия ксантогенатов с нитратом свинца, привело к снижению скорости ее растекания по воде и, как следствие, падению собираемых свойств реагента.

Уменьшение собирающей способности ксантогенатов при длине углеводородной цепи более 7–9 атомов, возможно, связано с падением скорости растекания их физической формы сорбции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Kulkarni R. D. and Somasundaran P.** Kinetics of oleate adsorption at the liquid/air interface and its role in hematite flotation, *AIChE, Symposium series*, 1975, Vol. 71. — P. 124–133.
2. **Kulkarni R. D. and Somasundaran P.** Flotation chemistry of hematite/oleat system, *Colloids and Surfaces*, 1980, Vol. 1. — P. 387–405.
3. **Quast K.** Flotation of hematite using C6–C18 saturated fatty acids, *Minerals Engineering*, 2006, Vol. 19. — P. 582–597.
4. **Bleier A., Goddard E. D., and Kulkarni R. D.** Adsorption and critical flotation conditions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 1977, Vol. 59. — P. 490–504.
5. **Finch J. A. and Smith G. W.** Dynamic superficial tension of alkaline dodecylamine solutions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 1973, Vol. 45. — P. 81–91.
6. **Zhivankov G. V. and Ryaboy V. I.** Collective properties and surface activity of higher air floats, *Obogashchenie rud. — Ore Dressing Treatment*, 1985, No. 3. — P. 13–16.
7. **Кондратьев С. А.** Оценка собирающей силы дитиофосфатов и ее связь с селективностью извлечения полезного компонента // *Обогащение руд.* — 2010. — № 4. — С. 24–30.
8. **Кондратьев С. А.** Оценка активности и селективности действия карбоновых кислот, используемых в качестве флотационных реагентов // *ФТПРПИ.* — 2012. — № 6. — С. 116–125.
9. **Кондратьев С. А., Мошкин Н. П.** Оценка собирающей силы флотационного реагента // *ФТПРПИ.* — 2015. — № 1. — С. 137–144.
10. **Плаксин И. Н., Анфимова Е. А.** Изучение взаимодействия ксантогенатов с поверхностью сульфидных минералов // *Труды ИГД АН СССР.* — 1954. — Т. 1. — С. 225–235.
11. **Greenler R. G.** An infrared investigation of xanthate adsorption by lead sulfide, *Journal of Physical Chemistry*, 1962, Vol. 66. — P. 879–883.
12. **Popov S. R., Vucinic D. R., Strojek J. W., and Denca A.** Effect of dissolved lead ions on the ethylxanthate adsorption on sphalerite in weakly acidic media, *Int. Journal of Mineral Processing*, 1989, Vol. 27. — P. 51–62.
13. **Богданов О. С., Поднек А. К., Хайнман В. Я., Янис Н. А.** Вопросы теории и технологии флотации // *Труды института “Механобр”.* — Л.: Механобр, 1959. — Вып. 124. — С. 392.
14. **Кондратьев С. А., Мошкин Н. П., Коновалов И. А.** Оценка собирающей способности легко десорбируемых форм ксантогенатов // *ФТПРПИ.* — 2015. — № 4. — С. 164–173.
15. **Fuerstenau M. C., Clifford K. L., and Kuhn M. C.** The role of zinc –xanthate precipitation in sphalerite flotation, *Int. Journal of Mineral Processing*, 1974, Vol. 1. — P. 307–318.
16. **Heyes G. W. and Trahar W. J.** The natural floatability of chalcopyrite, *Int. Journal of Mineral Processing*, 1977, Vol. 4. — P. 317–344.

Поступила в редакцию 27/IV 2017