

УДК 622.765.4

**СОБИРАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ И ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ
ФИЗИЧЕСКОЙ ФОРМЫ СОРБЦИИ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ
ВО ФЛОТАЦИОННОМ ПРОЦЕССЕ**

С. А. Кондратьев, И. И. Бакшеева, Д. В. Семьянова

*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) карбоновых кислот. Выполнено сопоставление скоростей растекания и поверхностного давления ряда жирных кислот с их собирательной активностью. Установлено, что увеличение длины углеводородного фрагмента карбоновых кислот до определенного предела приводит к повышению собирательной способности, что коррелирует с высокой скоростью растекания их производных форм по поверхности воды. Найдена причина уменьшения собирательной активности короткоцепочечных собирателей. Показано, что критерием, адекватно характеризующим собирательную активность жирных кислот, может служить мощность поверхностного потока пленки ДС-форм реагента. Определены показатели флотации при наличии смешанного покрытия, представленного химической и физической формами сорбции, и покрытия, содержащего только химическую форму сорбции. Выявлены причины снижения извлечения ценного компонента и повышения качества концентрата в отсутствие физической формы сорбции реагента на минеральной поверхности.

Флотация, карбоновые кислоты, химическая и физическая формы сорбции, поверхностное давление

DOI: 10.15372/FTPRI20170617

Считается, что собирательная способность и селективность действия реагентов-собирателей зависит от особенностей их сорбции на границе раздела “минерал–жидкость”. По имеющимся литературным данным [1, 2], сорбционное покрытие минерала состоит из двух слоев: нижнего с химически закрепившимся реагентом и верхнего, представленного олеатом кальция, натрия и нейтральными молекулами карбоновой кислоты или ионно-молекулярными комплексами. Аналогично в [3] показано, что адсорбционное покрытие поверхности апатита в растворе олеата имеет несколько слоев. Данные слои можно аппроксимировать двумя: нижним, хорошо организованным, с плотной упаковкой молекул и гидрофобным взаимодействием углеводородных фрагментов и верхним с неорганизованным, хаотичным расположением молекул. Измерения гидрофобности обработанной минеральной поверхности показали, что ее максимальное значение достигается при плотности сорбции, равной одному монослою.

В [4–7] ряде работ установлена связь собирательной способности карбоновых кислот с поверхностным давлением в пленке на границе раздела “газ–жидкость”. Отмечается высокая флотуемость минералов при рН 7–8, что рядом авторов связывается с образованием высоко-

коактивных по отношению к границе раздела “газ–жидкость” ионно-молекулярных ассоциатов [4, 5]. Предполагается, что их кинетические особенности обеспечивают быструю гидрофобизацию минеральной поверхности.

В [7] изучалась флотация кальцийсодержащих минералов апатита, кальцита и флюорита олеатом натрия. Показано, что флотируемость минералов коррелирует с минимальным поверхностным натяжением на границе раздела “газ–жидкость”. Минимальное значение поверхностного натяжения растворов реагента, содержащих апатит и флюорит, отмечено в нейтральной области рН, а для раствора реагента с кальцитом минимум поверхностного натяжения сместился в щелочную область. Согласно представлениям авторов работы, высокое содержание ионов кальция снижает концентрацию дифильных форм реагента в области низких и средних значений рН. Предположено, что димеры олеатов металлов, олеата металла с молекулярной формой кислоты, молекул кислоты могут оказать влияние на свойства границы раздела “газ–жидкость”. Объясняя высокую флотируемость минералов при низком значении поверхностного натяжения раствора реагента, авторы указывают на синергетический эффект адсорбции поверхностно-активных форм флотационного реагента. Высокое поверхностное натяжение на границе раздела “минерал–жидкость” приведет к увеличению динамического контактного угла и прочности закрепления минеральной частицы. Низкое значение поверхностного натяжения раствора, по мнению авторов статьи, всего лишь показатель наличия в пульпе активных форм флотационного реагента, гидрофобизирующих минеральную поверхность.

В [8] приводится зависимость извлечения флюорита от рН. В щелочной области флотируемость этого минерала сохраняется высокой до рН 12. Экспериментальные данные не соответствуют выводам [4, 5] и [7]. В [9] экспериментально доказано, что требуемая концентрация кислот для 50%-го извлечения минерала снижается с уменьшением рН раствора. В кислой среде расход реагента может снизиться в 100 раз, но время кондиционирования пульпы должно быть увеличено. Наиболее качественное разделение доломита и магнезита достигнуто при использовании лауриновой кислоты в кислой среде (рН 3), т. е. при малом расходе реагента. Получен продукт с содержанием СаО менее 1% и магнезита ~45%. Установлено, что минимальное количество собирателя (карбоновых кислот) требуется в слабокислой среде. В щелочной среде необходимое количество собирателя увеличивается на порядок, а флотация короткоцепочечными карбоновыми кислотами полностью подавляется.

Корреляционная связь поверхностного давления в пленке реагента с флотируемостью кварца получена и для катионных реагентов [10]. В [11] показано, что комбинация адсорбции ионно-молекулярных ассоциатов аминов на поверхности минералов и высокого поверхностного натяжения “свежих пузырьков” благоприятна для достижения высоких флотационных показателей. Использование пузырьков с пониженным поверхностным натяжением привело к снижению показателей флотации минерала.

Выявлена зависимость собирательной способности диалкилдитиофосфатов от их динамической активности по отношению к границе раздела “газ–жидкость” [12]. Как для карбоновых кислот и аминов, показано, что с увеличением скорости понижения поверхностного натяжения раствора собирательная способность диалкилдитиофосфатов увеличивается. В качестве одного из критериев оценки собирательной силы реагента в [12] предложено использовать динамическое поверхностное натяжение.

Механизм работы активных по отношению к границе раздела “газ–жидкость” форм флотационного реагента, позволяющий объяснить связь поверхностного давления раствора собирателя с флотируемостью, предложен для карбоновых кислот, аминов и дитиофосфатов в [13–15]. Согласно предложенному механизму, часть сорбционного покрытия минеральной поверхности

в момент прорыва прослойки жидкости, разделяющей минеральную частицу и пузырек, переходит на поверхность последнего. Количество собирателя, перешедшего на границу раздела “газ – жидкость”, зависит от его поверхностной активности, плотности сорбции на минерале и прочности связи с ним. Эта часть сорбционного слоя, закрепившегося на гидрофобизированной поверхности, и является ДС-формой собирателя.

Градиент поверхностного натяжения и соотношение энергетических взаимодействий между молекулами реагента в пленке или с диполями воды определяет скорость растекания десорбируемых с минерала производных форм реагента. 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”. За счет высокой скорости растекания десорбируемые формы (ДС-формы) собирателя захватывают в свое движение прилегающие слои жидкой прослойки и удаляют ее. В результате кинетическое ограничение образованию флотационного контакта, представленное прослойкой жидкости между минеральной частицей и пузырьком, снимается.

В работе [16] показано, что для формирования флотационного агрегата важна локальная величина поверхностного давления, кратковременно образовавшегося в момент прорыва прослойки, и скорость растекания производных форм реагента. Предложен критерий “мощность поверхностного потока”, характеризующий собирательную способность ДС-форм карбоновых кислот. Под мощностью поверхностного потока в данном сечении подразумевают полную энергию, которую проносит поток через это сечение в единицу времени. Критерий позволяет учесть помимо величины поверхностного давления скорость растекания пленки десорбируемых форм реагента по поверхности воды.

Повышение флотиремости при выделении из раствора соединений “металл – собиратель” объясняется необходимостью повышения гидрофобности минеральной поверхности и не связывается с кинетикой образования флотационного контакта. То, что закрепление на гидрофобизированной минеральной поверхности выделившихся из раствора соединений “металл – собиратель” происходит в результате уравнивания полярностей граничащих сред — минерала и раствора — и не может увеличить гидрофобность, игнорируется. Авторы цитируемых работ остаются в рамках термодинамических представлений об элементарном акте флотации и не рассматривают его кинетику. Основная цель их исследований — дать объяснение высокой флотиремости на основе повышения гидрофобности минеральной поверхности в установленном диапазоне рН раствора. Поэтому ими рассматриваются возможные механизмы сорбции реагента или его производных продуктов на минерале в зависимости от рН. Изменение гидрофобности минеральной поверхности позволяет определить энергию флотационной системы до и после образования флотационного агрегата, т. е. выполнить термодинамический анализ вероятности образования и устойчивости флотационного контакта. Но, как показано в [3], максимальная гидрофобность достигается при плотности сорбции, равной одному монослою. Последующие слои не повышают ее.

Целью настоящей работы — раскрытие связи длины углеводородного фрагмента, поверхностного давления и скорости растекания производных форм насыщенной карбоновой кислоты с ее собирательной активностью и избирательностью извлечения.

МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Определение скорости растекания ДС-форм карбоновых кислот по поверхности воды осуществлялось на установке, представляющей собой кювету с водой (рис. 1). Кювета устанавливалась под камерой, которая могла записывать видеофайл растекания поверхностно-активных

по отношению к границе раздела “газ–жидкость” производных форм карбоновых кислот. Съемка проводилась скоростной камерой Casio EXLIM EX-F1. Видео записывалось со скоростью 300 кадров/с. Определялась скорость растекания гексановой, октановой, декановой, додекановой, тетрадекановой, гексадекановой, олеиновой кислот и продуктов нестехиометрического взаимодействия олеиновой кислоты с хлоридом кальция. Для образования олеатов кальция использовался CaCl_2 (ГОСТ 450-77). В экспериментах применялась дистиллированная вода. Изменение рН дозировалось HCl и NaOH .

Эксперименты по флотации выполнялись в лабораторной флотационной машине ФМП-Л1 объемом 0.75 л.

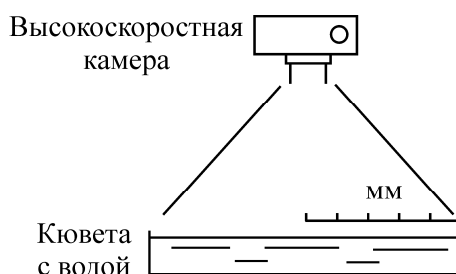


Рис. 1. Установка по определению скорости растекания производных форм карбоновых кислот по поверхности воды

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Определены поверхностное натяжение и поверхностное давление карбоновых кислот (C_8 – C_{14}). Расчеты поверхностного натяжения растворов карбоновых кислот проводились на тензиометре LAUDA MPT C (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Поверхностное натяжение и поверхностное давление растворов карбоновых кислот

Кислота	Поверхностное натяжение, мН/м	Поверхностное давление π , мН/м	Концентрация C_M , моль/л
Октановая	70.4	2.3	$4.8 \cdot 10^{-3}$
Декановая	69.2	3.5	$1.0 \cdot 10^{-3}$
Тетрадекановая	64.5	1.7	$7.0 \cdot 10^{-4}$

Скорость растекания гомологического ряда насыщенных карбоновых кислот определялась для двух значений рН воды в кювете: 7 (рис. 2а) и 10 (рис. 2б). Начальная скорость растекания олеиновой кислоты и диолеата кальция оценивалась при рН 9.5 (рис. 3).

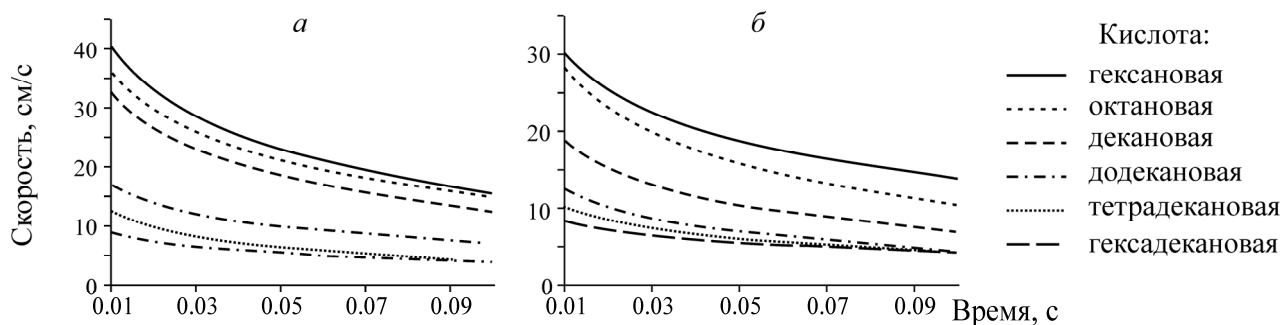


Рис. 2. Скорость растекания карбоновых кислот по поверхности воды в зависимости от времени: а — рН 7; б — рН 10

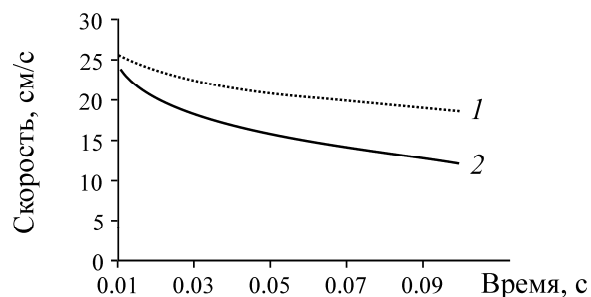


Рис. 3. Скорость растекания олеиновой кислоты (1) и диолеата кальция (2) по поверхности воды в зависимости от времени

Показано, что скорость растекания продуктов взаимодействия карбоновых кислот с солями кальция сопоставима со скоростью растекания кислот. Получены экспериментальные доказательства возможности растекания карбоновых кислот по границе раздела “газ–жидкость” и вычислена скорость растекания их гомологов.

Выполнена флотация флюоритовой руды Ярославского горно-обогатительного комбината. Химический состав руды:

Состав	CaF ₂	CaCO ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Содержание, %	24.39	9.15	29.62	16.03	11.65	4.53	3.22	1.62

Крупность флотируемого материала: (–) 44 мкм 88 %. Использовались следующие реагенты-собиратели: октановая, декановая, додекановая и тетрадекановая кислоты. Расход кислот указан в табл. 2. В качестве депрессора кальцита применялось жидкое стекло, его расход составил 1500 г/т. Для пенообразования использовался реагент Т-80 (при использовании тетрадекановой кислоты). Флотация проводилась при рН 8.3.

ТАБЛИЦА 2. Результаты флотации руды Ярославского горно-обогатительного комбината карбоновыми кислотами, %

Номер опыта	Продукт	Выход	Содержание CaF ₂	Извлечение CaF ₂	Примечание
1	Пенный	34.7	34.24	64.2	Октановая кислота — 4 000 г/т. Время флотации 16 мин
	Камерный	65.3	10.17	35.8	
	Итого	100	18.52	100	
2	Пенный	47.5	41.43	81.1	Декановая кислота — 4 000 г/т. Время флотации 16 мин
	Камерный	52.5	8.75	18.9	
	Итого	100	24.28	100	
3	Пенный	30.23	41.2	61.2	Додекановая кислота — 700 г/т. Время флотации 21 мин
	Камерный	69.77	11.3	38.8	
	Итого	100	20.34	100	
4	Пенный	18.83	29.59	29.5	Тетрадекановая кислота — 1 000 г/т, Т-80 — 100г/т. Время флотации 26 мин
	Камерный	81.17	16.39	70.5	
	Итого	100	18.88	100	

Эксперименты с рудой Нижне-Березовского месторождения. Химический состав флюоритовой руды приведен в табл. 3. Для флотации использовался материал крупностью – 74 мкм 65 %, в качестве собирателей — декановая и додекановая кислоты. Их расход указан в табл. 4. Время флотации во всех экспериментах 5 мин. Флотация проводилась при рН 8, изменение рН достигалось применением бикарбоната натрия. В качестве депрессора кальцита служило жидкое стекло, его расход составил 200 г/т. Пенообразователь не использовался. Удаление

физической формы сорбции кислот с минеральной поверхности выполнялось с применением этилового спирта. Согласно экспериментальным данным [14], этиловый спирт легко удаляет молекулы олеиновой кислоты и практически не удаляет хемосорбированный олеат. В связи с этим после промывки исходной руды этиловым спиртом на минеральной поверхности предположительно находится только химическая форма сорбции реагента. Расход спирта составил 200 мл на 200 г руды.

ТАБЛИЦА 3. Химический состав пробы руды Нижне-Березовского месторождения

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	CaF ₂
45.75	22.25	10.42	3.68	3.31	1.98	0.53	33.3
Si	Ca	Al	Fe	K	Na	Mg	F
21.39	15.90	5.51	2.57	2.74	1.47	0.32	16.25

Эксперимент показал, что высокие показатели флотации достигаются только при наличии на минеральной поверхности физической и химической форм сорбции реагента (табл. 4). Извлечение флюорита с одной формой сорбции собирателя (химической) существенно ниже извлечения флюорита, содержащего обе формы сорбции реагента (химическую и физическую, закрепившуюся по гидрофобному механизму). В табл. 4 представлены средние по сериям результаты флотации по стандартной схеме и с отмывкой физической формы сорбции.

ТАБЛИЦА 4. Показатели флотации флюоритовой руды без промывки материала после агитации с реагентом и с промывкой спиртом после агитации, %

Номер опыта	Продукт	Выход	Содержание CaF ₂	Извлечение CaF ₂	Примечание
1	Пенный	27.04	72.5	80.0	Декановая кислота, 600 г/т
	Камерный	72.96	6.72	20.0	
	Итого	100	24.51	100	
2	Пенный	35.64	72.19	94.5	Декановая кислота, 800 г/т
	Камерный	64.36	2.34	5.5	
	Итого	100	27.23	100	
3	Пенный	37.1	71.02	97.1	Декановая кислота, 3 000 г/т
	Камерный	62.9	1.27	2.9	
	Итого	100	27.15	100	
4	Пенный	25.5	83.86	76.8	Декановая кислота, 800 г/т Отмывка спиртом
	Камерный	74.5	8.65	23.2	
	Итого	100	27.67	100	
5	Пенный	21.9	61.5	52.7	Додекановая кислота, 400 г/т
	Камерный	78.1	15.5	47.3	
	Итого	100	25.57	100	
6	Пенный	41.3	66.0	98.8	Додекановая кислота, 600 г/т
	Камерный	58.7	0.54	1.2	
	Итого	100	27.57	100	
7	Пенный	43.6	65.25	98.9	Додекановая кислота, 800 г/т
	Камерный	56.4	0.56	1.1	
	Итого	100	28.76	100	
8	Пенный	16.8	74.7	46.51	Додекановая кислота, 800 г/т Отмывка спиртом
	Камерный	83.8	17.35	53.49	
	Итого	100	26.99	100	

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Определена зависимость собирательной активности кислот от длины их углеводородной цепи (табл. 2). При увеличении длины углеводородного фрагмента более 12 атомов углерода собирательная активность кислот снижается [6]. 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 форме линзы. Короткоцепочечный собиратель — октановая кислота — также показал сравнительно низкое извлечение.

Экспериментально установлено, что в нейтральной области рН олеиновая кислота растекается по поверхности воды со скоростью 9–40 см/с в зависимости от длины углеводородной цепи (рис. 1). Повышение рН до 10 привело к снижению скорости растекания кислот. Следовательно в нейтральной области рН карбоновые кислоты обладают большей собирательной активностью и с большей скоростью удаляют кинетическое ограничение образованию флотационного контакта. Полученный результат подтверждается выводами [4, 5, 7].

Учитывая полученные экспериментальные результаты и данные [6], можно предположить, что легко десорбируемые производные формы октановой, декановой и додекановой кислот в момент образования флотационного контакта могут увлечь жидкость и удалять ее из прослойки, разделяющей минеральную частицу и пузырек газа. Удаление жидкости из прослойки тетрадекановой, гексадекановой и октадекановой кислотами затруднено по причине низкой скорости их растекания или отсутствия растекания по поверхности воды.

В области длин углеводородного фрагмента 8–14 атомов углерода наблюдается корреляционная связь скорости растекания кислот с извлечением полезного компонента за исключение хорошо растворимой октановой кислоты (табл. 2). В связи с высокой растворимостью ее сорбция на минеральной поверхности незначительна. Градиент поверхностного натяжения, образовавшийся в момент прорыва прослойки, сравнительно мал. По данным табл. 1 поверхностное давление раствора октановой кислоты меньше поверхностного давления декановой кислоты, поэтому мощность поверхностного потока ее растекающихся форм меньше мощности потока декановой кислоты. По этой причине собирательная активность короткоцепочечных жирных кислот, вне зависимости от их скорости растекания, снижается. Согласно [2, 3], покрытие минеральной поверхности является многослойным. В данном случае верхний слой минерального покрытия представлен небольшим количеством физически сорбированного короткоцепочечного собирателя.

Значение градиента поверхностного натяжения может быть увеличено при использовании пузырьков с высоким поверхностным натяжением или “свежих” пузырьков, что соответствует экспериментальным данным [11].

В табл. 4 представлены средние по сериям результаты флотации по стандартной схеме и с отмывкой физической формы сорбции. Из результатов флотации следует, что после отмывки физически сорбированного реагента наблюдается снижение извлечения (с 94.5 до 76.8 % в случае декановой и с 98.9 до 46.51 % в случае додекановой кислоты). Согласно предложенному механизму флотации, собирательными свойствами преимущественно обладает физическая форма сорбции. Ее удаление снизило извлечение флюорита.

Избирательность извлечения требуемого компонента в основном определяется химически сорбированным собирателем. Удаление физически сорбированного собирателя привело к повышению качества с 72.19 до 83.86 % при флотации декановой кислотой и с 65.25 до 74.7 % для

додекановой кислоты. Результаты флотации руды Нижне-Березовского месторождения являются подтверждением предложенного механизма работы физически сорбированного собирателя. Удаление неселективно работающей формы сорбции понизило извлечение флюорита, но подняло содержание полезного компонента в концентрате.

Высокая флотируемость флюорита в щелочной области рН, установленная в [8], может быть связана с образованием диолеатов кальция или ассоциатов диолеата кальция с анионами кислоты. Флюорит относится к классу умеренно растворимых минералов и поэтому катионы кальция в растворе могут взаимодействовать с анионами олеиновой кислоты с образованием поверхностно активных по отношению к границе раздела “газ–жидкость” форм. Образовавшиеся производные формы выделяются на гидрофобизированной минеральной поверхности и могут выполнять функцию ДС-форм реагента. Экспериментально показано, что продукты взаимодействия олеиновой кислоты с хлоридом кальция растекаются по поверхности воды со скоростью 20–26 см/с (рис. 3) и могут выполнять функцию снятия кинетического ограничения образованию флотационного контакта. В данном случае одна форма физически сорбируемого собирателя (димеры олеиновой кислоты) заменяется другой формой — ассоциатами “анион олеиновой кислоты–диолеат кальция”.

Низкая концентрация кислот, требуемая для 50%-го извлечения минерала, наблюдается в кислой области рН раствора [9]. В кислой среде расход реагента может снизиться в 100 раз. Причина заключается в выделении на минеральной поверхности молекулярной, активной по отношению к границе раздела “газ–жидкость” формы собирателя при низких концентрациях реагента и низком значении рН. В щелочной области расход должен быть увеличен на порядок для формирования физически связанного с минеральной поверхностью слоя собирателя. Подавление флотации при использовании короткоцепочечных карбоновых кислот в щелочной области обязано слабой сорбции реагента в анионной форме. В таком виде собиратель обладает активностью по отношению к границе раздела “газ–жидкость” только при достаточной длине углеводородной цепи.

ВЫВОДЫ

Установлена корреляционная связь собирательной активности карбоновых кислот со скоростью растекания их производных форм по поверхности воды и поверхностным давлением их растворов.

Корреляционная связь скорости растекания производных форм насыщенных карбоновых кислот и их собирательной активности нарушается для короткоцепочечных кислот. Снижение собирательной активности этих кислот обусловлено снижением поверхностного давления. Показано, что корреляционная связь поверхностного давления растворов карбоновых кислот с их собирательной активностью нарушается для длинноцепочечных кислот.

Предложен критерий, адекватно отражающий собирательную активность жирных кислот: мощность поверхностного потока равна произведению поверхностного давления пленки кислоты на скорость ее растекания по границе раздела “газ–жидкость”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Теория** и технология флотации руд / под общ. ред. О. С. Богданова. — М.: Недра, 1980. — С. 432.
2. **Sivamohan R., de Donato P., Cases J. M.** Adsorption of oleate species at the fluorite-aqueous solution interface, *Langmuir*, 1990, Vol. 6. — P. 637–644.

3. Mielczarski J. A., Cases J. M., Bouquet E., Barres O., Delon J. F. Nature and structure of adsorption layer on apatite contacted with oleate solutions 1. Adsorption and fourier transform infrared reflection studies, *Langmuir*, 1993, Vol. 9. — P. 2370–2382.
4. **Kulkarni R. D., 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.
5. **Kulkarni R. D., Somasundaran P.** Flotation chemistry of hematite/oleat system, *Colloids and Surfaces*, 1980, Vol. 1. — P. 387–405.
6. **Quast K.** Flotation of hematite using C6–C18 saturated fatty acids, *Minerals Engineering*, 2006, Vol. 19. — P. 582–597.
7. **Pugh R., Stenius P.** Solution chemistry studies and flotation behaviour of apatite calcite and fluorite minerals with sodium oleate collector, *International Journal of Mineral Processing*, 1985, Vol. 15. — P. 193–218.
8. **Полькин С. И.** Обогащение руд и россыпей редких и благородных металлов. — Изд. 2-е. — М.: Недра, 1987. — С. 428.
9. **Bleier A., Goddard E. D., Kulkarni R. D.** Adsorption and critical flotation conditions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 1977, Vol. 59. — P. 490–504.
10. **Finch J. A., Smith G. W.** Dynamic superficial tension of alkaline dodecylamine solutions, *Journal of Colloid and Interface Science*, 1973, Vol. 45. — P. 81–91.
11. **Zhivankov G. V., Ryaboy V. I.** Collective properties and surface activity of higher air floats, *Obogashchenie rud – Ore Dressing Treatment*, 1985, No. 3. — P. 13–16.
12. **Kondratyev S. A.** Estimation of reagents-collectors flotation activity, *Obogashchenie rud – Ore Dressing Treatment*, 2010, Vol. 4. — P. 24–30.
13. **Kondratyev S. A.** Estimation of reagents-collectors flotation activity, *Obogashchenie rud – Ore Dressing Treatment*, 2010, Vol. 4. — P. 24–30.
14. **Kondratyev S. A.** Activity and Selectivity of Carboxylic Acids as Flotation Agents, *Journal of Mining Science*, 2012, Vol. 48. — P. 1039–1046.
15. **Predali J. J.** Flotation of carbonates with salts of fatty acids: role of pH and the alkyl chain, *Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy, Section C. Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 1969, Vol. 78. — P. 140–147.
16. **Kondratyev S. A., Semyanova D. V.** A revisit of selection the efficiency criterion for flotation reagents of fatty acids class, *Eurasian mining*, 2017, No. 1. — P. 24–29.
17. **Abramov A. A.** Method for quantitative determination of the sorption forms of solvents on mineral surfaces, *Journal of Mining Science*, 1968, Vol. 4, No. 4. — P. 384–389.

Поступила в редакцию 1/XI 2017