

центрации выше свободной энергии мицеллообразования при определенной температуре и длине оксиэтилированной цепи (ср. табл. 2 и 4, где приведены термодинамические характеристики процесса адсорбции).

Ранее было указано [6], что свободная энергия мицеллообразования и работа адсорбции молекул ПАВ с подвижной алифатической частью близки друг к другу. Жесткий же гидрофобный радикал не позволяет плотно упаковываться неполярным частям молекул рассматриваемых ПАВ в сферических мицеллах, которые образуются в точке ККМ.

1. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества: Справочник. Л.: Химия, 1979.—376 с.
2. Петров А. А., Позднышев Г. Н. Коллоидно-химические свойства неионогенных поверхностно-активных веществ.—Коллоид. журн., 1966, 28, № 6, с. 858—864.
3. Кофанов В. И., Клименко Н. А. Хроматографический анализ неионогенных поверхностно-активных веществ типа оксиэтилированных жирных спиртов.—Завод. лаб., 1977, № 6, с. 668—670.
4. Батунер Л. М., Позин М. Е. Математические методы в химической технике.—Л.: Госхимиздат, 1968.—822 с.
5. Практикум по коллоидной химии латексов и поверхностно-активных веществ / Под ред. Р. Е. Неймана.—М.: Высш. школа, 1972.—175 с.
6. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества.—Л.: Химия, 1981.—304 с.
7. Каковский И. А. Изучение физико-химических свойств некоторых органических флотационных реагентов и их солей с ионами тяжелых цветных металлов.—Тр. Ин-та горного дела АН СССР, 1956, т. 3, с. 355—389.

Институт коллоидной химии и химии воды  
им. А. В. Думанского АН УССР  
Ленинградский технологический институт

Поступила  
29 апреля 1982 г.

УДК 541.18.043

## ИССЛЕДОВАНИЕ УКРУПНЕНИЯ ЧАСТИЦ В СИСТЕМАХ ГЛИНА — МИНЕРАЛ — НАСЫЩЕННЫЙ СОЛЕВОЙ РАСТВОР

Б. М. Курилко, А. И. Лопушанская, С. И. Радин, Т. С. Слипенюк, В. П. Руди

При переработке полиминеральных руд Прикарпатья существенное значение имеет интенсификация процессов разделения глинисто-солевых суспензий. Однако выбор оптимальных условий проведения таких процессов ограничен из-за того, что недостаточно изучены особенности налипания частиц глины на минералы. Процессы слипания частиц при турбулентном потоке суспензии были изучены в работах [1, 2]. Предлагаемая в них методика основывается на измерении фототока, прошедшего или отраженного от движущихся частиц суспензий. Это применимо при исследовании систем, содержащих относительно крупные частицы ( $>5$  мкм), так как они в состоянии покоя быстро седimentируют и точное определение оптических характеристик невозможно [3].

Цель настоящей работы — количественно изучить процессы налипания высокодисперсных частиц гидрослюдистой глины на относительно крупные частицы минералов галита ( $\text{NaCl}$ ), полигалита ( $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) и лангбейнита ( $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$ ) в зависимости от дисперсности и концентрации последних. Дисперсионной средой служил насыщенный солевой раствор по отношению к исследуемым минералам следующего состава, %:  $\text{MgSO}_4$  8,06;  $\text{MgCl}_2$  4,37;  $\text{KCl}$  6,29;  $\text{NaCl}$  14,10. Благодаря полученным данным можно выбрать оптимальные технологические режимы при переработке полиминеральных руд.

Для исследований были выбраны следующие фракции минералов, мкм: 15—40 (I), 40—50 (II), 50—250 (III). Размеры частиц гидрослюдистой глины — в пределах до 20 мкм, причем максимум распределения приходится на  $2,0 \div 0,2$  мкм [4]. Естественно, крупные частицы минера-

лов с налипшими на них частицами глины будут ускоренно седиментировать. Оставшиеся частицы глины будут образовывать высокодисперсную взвесь, концентрацию которой можно оценить, используя явление прохождения света через мутные среды [3].

В исследуемых нами системах турбулентный поток создавался с помощью магнитной мешалки ММ-3 в течение 3—4 мин, что позволяло устанавливать равновесие между процессами образования и разрушения двойных агрегатов [2]. После этого систему переводили в состоя-

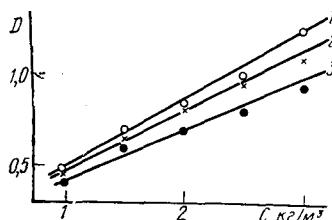


Рис. 1. Концентрационная зависимость оптической плотности глинистой суспензии в насыщенном солевом растворе при времени седиментации, мин: 1—1; 2—4; 3—12.

ние покоя и определяли излучение при  $\lambda=540$  нм при помощи мутномера М-101 с кварцевой кюветой толщиной 1 см. Крупные частицы минерала с налипшими на них частицами глины быстро седиментировали, и оставшаяся высокодисперсная фракция (взвесь) обусловливалась определяемые значения фототока. В величину оптической плотности  $D=\lg i_0/i$ , где  $i_0$ ,  $i$  — фототок при прохождении света через насыщенный солевой раствор и суспензию соответственно, вносила вклад в случае полигалита и лангбейнита взвешенная фракция минералов, образующаяся в результате их диспергирования в жидкой среде. Согласно правилу аддитивности оптических плотностей находили  $D_{\text{гл}}$ , обусловленную частицами глины. Экспериментальные исследования проводили при температуре 18°.

Для выбора оптимальной концентрации глины строили концентрационную зависимость оптической плотности системы глина — насыщенный солевой раствор (рис. 1). Линейная область зависимости описывается соотношением  $D=k \cdot C$ , где  $k$  — коэффициент экстинции;  $C$  — весовая концентрация глины (обязательно должна лежать на линейном участке, что и обусловило выбор концентрации глины  $C_0=2,5 \text{ кг}/\text{м}^3$ ). Зависимость  $D$  от  $C$  приведена для ряда времен седиментации; при этом угловой коэффициент  $k$  уменьшается с увеличением  $t_{\text{сед}}$ , что связано с изменением процентного соотношения между фракциями глины. Концентрацию глины, оставшуюся во взвешенном состоянии, определяли для нескольких времен седиментации, так как это позволяет найти среднюю величину искомой концентрации глины, а следовательно, повышает точность ее определения.

В ряде работ взаимодействие двух индивидуальных частиц, приводящих к их слипанию, характеризовалось понятием коэффициента захвата [5, 6]. Однако использовать величины коэффициента захвата для исследуемых нами систем не представляется возможным, поскольку имеют место факторы, связанные с движением и взаимодействием большого числа частиц. Нам кажется, что эффективность взаимодействия глина — минерал целесообразнее оценивать по величине изменения концентрации глины в зависимости от концентрации минерала. Для этого введем понятие величины коэффициента налипания  $K=\frac{\Delta C}{M_0}$ , где  $M_0$  — концентрация минерала;  $\Delta C=C_0-C$  — изменение концентрации глины. Величина  $KM_0$ , характеризующая количество захваченной глины минералом, стремится с увеличением концентрации последнего к своему насыщению, равному в условиях опыта  $2,5 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Концентрацию минерала, при которой захвачена вся находящаяся в суспензии глина, назовем критической, то есть  $M_{0\text{крит}}$ . До начала насыщения ( $M_{0\text{крит}}$ ) зависимость между величинами  $KM_0$  и  $M_0$  линейна, что объясняется симбат-

ной взаимосвязью между свободной поверхностью адсорбента и вероятностью адсорбции на ней частиц [7]. Этот процесс характеризуется угловым коэффициентом  $K_{\text{аф}}$ , который назовем эффективным коэффициентом налипания. Величина  $K_{\text{аф}}$  определена для всех минералов в зависимости от наиболее вероятных размеров частиц исследуемых фракций (рис. 2). Из полученных данных видно, что чем выше дисперсность минерала при данной весовой концентрации, тем больше удельная поверхность. Это способствует повышению вероятности эффективных

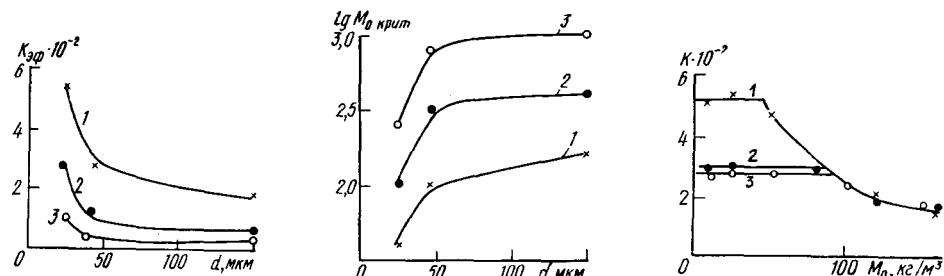


Рис. 2. Зависимость эффективного коэффициента налипания от их дисперсности: 1 — полигалит; 2 — лангбейнит; 3 — галит.

Рис. 3. Зависимость критической концентрации минералов от их дисперсности: 1 — полигалит; 2 — лангбейнит; 3 — галит.

Рис. 4. Зависимость коэффициента налипания глины от концентрации минерала: 1 — для полигалита (фракция — 40 мкм); 2 — полигалита (фракция +40—50 мкм); 3 — лангбейнита (фракция — 40 мкм).

взаимодействий частиц глина — минерал. Дальнейшее увеличение размеров частиц минералов несколько уменьшает величину  $K$ , по-видимому, за счет большей разницы в размерах частиц глина — минерал, приводящей к проявлению гидродинамических эффектов [2]. Действительно, крупные частицы минералов создают так называемую «раннюю турбулентность» [4], ухудшая тем самым реализацию контактного взаимодействия частиц. При этом захват минералом всей находящейся в суспензии глины происходит при более высоких концентрациях, что ведет к росту  $M_{0, \text{крит}}$  в ряду увеличения крупности частиц (рис. 3). Величина  $M_{0, \text{крит}}$  зависит также от химического состава минералов. Следовательно, критические концентрации минералов  $M_{0, \text{крит}}$  могут служить критерием эффективности захвата глины суспензией минерала.

Для лангбейнита и полигалита коэффициент налипания выше, чем для галита. По-видимому, наблюдаемые явления связаны с различной природой поверхностного слоя частиц минералов. Действительно, полигалит и лангбейнит даже в насыщенном солевом растворе образуют взвешенную фракцию, то есть наблюдается процесс их частичного диспергирования. Это можно объяснить тем, что данные минералы находятся в виде мелких зерен [8]. Под действием дисперсионной среды некоторые мелкие зерна отрываются и переходят во взвешенное состояние, а на месте отрыва у частиц имеются полярные ненасыщенные связи, которые, по-видимому, способствуют эффективному контактному взаимодействию с частицами глины, то есть их налипанию, что в свою очередь уменьшает  $M_{0, \text{крит}}$ .

Исследование налипания глины на минерал в области концентраций  $M_0 > M_{0, \text{крит}}$  показало, что величина коэффициента налипания  $K = \frac{2,5}{M_0}$  изменяется по гиперболическому закону (рис. 4), причем, начиная с концентрации  $M_{0, \text{крит}}$ , величина  $K$  практически не зависит от природы и размеров частиц минералов.

Нами исследованы бинарные минеральные суспензии (см. таблицу). Для них  $K$  вычисляли по формуле:  $K = \frac{\Delta C}{M_{0,1} + M_{0,2}}$ , где  $M_{0,1}, M_{0,2}$  — кон-

центрации минералов в рассматриваемых системах;  $\Delta C$  — изменение концентрации глины. Учитывая, что в бинарной системе глина взаимодействует с частицами обоих минералов, можно считать, что экспериментально определяемый коэффициент налипания зависит от вклада каждого минерала в отдельности, то есть  $K_{\text{расч}} = A K_A + B K_B$ , где  $A, B$  — доля минерала  $A$  и  $B$  в их суммарной концентрации;  $K_A, K_B$  — коэффициенты налипания для данных минералов при концентрации, равной их суммарной. Как видно из таблицы, экспериментально определенные и расчетные величины коэффициента налипания мало отличаются. Это говорит об индифферентности минералов относительно друг друга в процессах контактных взаимодействий с частицами глины.

Величина коэффициента налипания  $K$  для систем минерал—глина—насыщенный солевой раствор (фракция минералов—40 мкм)

Галит	Концентрация, кг/м <sup>3</sup>		$K_{\text{эксп}} \cdot 10^{-2}$	$K_{\text{расч}} \cdot 10^{-2}$
	Полигалит	Лангбейнит		
50	25	—	1,30	1,90
50	50	—	1,10	1,40
50	100	—	0,90	1,24
50	—	50	1,80	1,72
50	—	100	1,12	1,10
50	—	150	1,02	1,03
—	50	25	2,92	2,90
—	50	50	2,05	2,00
—	50	100	1,22	1,40

В рассматриваемых нами системах количество частиц высокодисперсной фракции глины было значительно больше, чем число крупных частиц минералов. Следовательно, вероятность соударений частиц глины — минерал была высокой и частицы глины имели возможность эффективно участвовать во взаимодействиях с частицами минералов. Дальнейшее увеличение концентрации глины приводило бы к эффектам, связанным со взаимодействием частицы глины (глина — минерал), и, кроме того, сказывалось бы сильное взаимодействие частиц глины между собой.

Таким образом, введенный нами коэффициент налипания может характеризовать эффективность налипания частиц глины на минералы. Зависимость коэффициента налипания от дисперсности и природы поверхности частиц позволяет выбрать оптимальные условия проведения технологического процесса переработки полиминеральных руд.

1. Дерягин Б. В., Самыгин В. Д., Лившиц А. К. Изучение флокуляции частиц минералов при турбулентном режиме. — Коллоид. журн., 1964, 26, № 2, с. 179—185.
2. Самыгин В. Д., Барский А. А., Ангелова С. М. О механизме взаимной флокуляции частиц различной крупности. — Коллоид. журн., 1968, 30, № 4, с. 581—586.
3. Эдельман Л. И., Соминский Д. С. К оценке агрегативной устойчивости суспензий. — Коллоид. журн., 1959, 21, № 1, с. 126—131.
4. Бабенков Е. Д. Очистка воды коагулянтами. — М.: Наука, 1977.—355 с.
5. Смирнов Л. П., Дерягин Б. В. О безинерционном электростатическом осаждении частиц аэрозоля на сфере, обтекаемой вязким потоком. — Коллоид. журн., 1967, 29, № 3, с. 400—411.
6. Дерягин Б. В., Смирнов Л. П. О безинерционном осаждении на сфере частиц из потока жидкости под действием сил притяжения Ван-дер-Ваальса. — В кн.: Исследования в области поверхностных сил. — М.: Наука, 1967, с. 188—206.
7. Руди В. П., Слипенюк Т. С., Орынек М. В. Исследование адсорбции катионных ПАВ на латексе поливинилхлорида методом ИК-спектроскопии. — Коллоид. журн., 1982, 64, № 2, с. 363—365.
8. Флотационные реагенты / Под ред. В. А. Кремера. — М.: Наука, 1974.—240 с.

Черновицкий государственный университет  
Калушский филиал ВНИИГ

Поступила  
18 мая 1982 г.