

**В.П. СОКОЛОВА**, канд. техн. наук  
(Украина, Кривой Рог, Национальная металлургическая академия Украины,  
Криворожский металлургический факультет)

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАТИОННОЙ ФЛОТАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД РЕГУЛИРОВАНИЕМ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ РАЗДЕЛА "ЖИДКОСТЬ – ВОЗДУХ" ЭЛЕКТРОЛИТОМ**

Автором настоящей статьи установлено, что флотация железных руд катионными собирателями протекает более эффективно при использовании минерализованных шахтных вод с повышенным содержанием электролита хлорида натрия. В частности, полупромышленные испытания технологии магнитно-флотационного дообогащения концентрата ОАО "СевГОК" показали, что при использовании минерализованной технической воды СевГОКа, содержащей порядка 7400 мг/л хлорид-ионов расход катионного собирателя Лилафлот Д817М сокращается в 2,7 раза (с 240 до 90 г/т) по сравнению с флотацией на водопроводной воде, содержащей ионов  $Cl^-$  на уровне 100 мг/л, при равных технологических показателях. Массовая доля железа в концентрате составила при этом 70,6...70,3%, выход концентрата от операции флотации – 80,1...80,5%. Значительное уменьшение расхода реагента обусловлено резким возрастанием пенообразования в соленой воде. Экспериментальными исследованиями также установлено, что при флотации тонковкрапленных гематитовых кварцитов одного из месторождений Казахстана ацилированными аминокислотами на воде с содержанием ионов  $Cl^-$ , равном 1205 мг/л и ионов  $Na^+$  – 972 мг/л, выход концентрата увеличивается на 1,8...3,1%, массовая доля железа в концентрате при этом возрастает на 0,6%. С увеличением концентрации хлорид-ионов в воде, начиная с 700 мг/л, выход концентрата и массовая доля железа возрастают. При этом заметно увеличивается пенообразование [1].

Обзор ранее выполненных исследований по влиянию электролитов, в том числе хлорида натрия, на показатели флотации железных руд показал, что хлорид натрия позволяет изменить флотируемость оксидов, силикатов и кварца олеатом натрия. С увеличением расхода  $NaCl$  флотируемость мартита возрастает, магнетита – увеличивается незначительно, кварца – снижается. Авторы объясняют этот факт таким образом: "изучение сорбции жирнокислотного собирателя после электролитной обработки минералов показало, что количество закрепившегося реагента на силикатах уменьшается, а на окислах остается практически той же". При флотации катионным реагентом АНП-14 влияние хлорида натрия на показатели флотации авторами не обнаружено [2].

В связи с установленными фактами автором настоящей статьи проведены аналитические и экспериментальные исследования с целью:

– выявить причины повышения пенообразования при флотации катионными собирателями при повышенном содержании хлорид-ионов в воде, объяснить механизм данного явления;

## **Флотация**

– определить зависимость показателей флотации железосодержащих продуктов от концентрации хлорид-иона в воде.

Свойства флотационных пен являются определяющим параметром флотационного процесса и определяются многими факторами, в том числе адсорбционными. В результате проведенных аналитических исследований установлено, что электролиты увеличивают пенообразование растворов мицеллообразующих ПАВ (МПАВ), диссоциирующих в воде алкилбензолсульфонатов натрия, гидрохлоридов алифатических аминов. Пенообразующая способность растет с увеличением концентрации электролита и достигает максимума при образовании мицелл в объеме раствора. Упомянутый выше катионный реагент Лилафлот Д 817М является катионным коллоидным ПАВ.

Рассмотрим влияние хлористого натрия на поверхностные и пенообразующие свойства гидрохлоридов алифатических аминов (гидрохлорида додециламина и гидрохлорида тетрадециламина), исследованное в работах [3, 4].

Известно, что появление устойчивой пены в растворах МПАВ соответствует объемной концентрации предельной адсорбции МПАВ ( $C_m$ ), при которой на поверхности раздела фаз жидкость-газ образуется практически насыщенный адсорбционный слой. Исследованиями [4] установлено уменьшение величины  $C_m$  с увеличением концентрации противоионов (ионов  $Cl^-$ ). Зависимость  $C_m$  от концентрации противоионов ( $C_i$ ) описывается уравнением, аналогичным зависимости растворимости и ККМ от концентрации растворенного вещества  $C$ :

$$\lg C_m = -A \lg C_i + B.$$

По изотермам поверхностного натяжения растворов и с помощью уравнения Ленгмюра авторами работы [4] были найдены значения работы адсорбции и рассчитано число метиленовых групп, перешедших при адсорбции из водной фазы в воздух. Определено, что с возрастанием концентрации противоионов все большее число метиленовых групп переходит в воздух. В растворах гидрохлорида додециламина, например, при концентрации хлорида натрия 2 моль/л в водной фазе остается только полярная часть молекул. Отмечено, что с возрастанием числа метиленовых групп, перешедших из одной фазы в другую, уменьшается объемная концентрация ПАВ  $C_m$ , при которой наступает насыщение адсорбционного слоя.

Итак, изменение пенообразующих свойств ПАВ в присутствии электролитов связано с концентрацией ПАВ в растворе ( $C_m$ ), при которой на поверхности раздела фаз жидкость-газ достигается предельная адсорбция. В случае ионогенных ПАВ величина  $C_m$  уменьшается с повышением концентрации противоионов (электролитов). При этом возрастание устойчивости пены связано с повышением концентрации противоиона  $Cl^-$  и обусловлено уменьшением концентрации ПАВ (Лилафлота Д817М, в частности), при которой достигается предельная адсорбция на границе газ-жидкость. При этом под действием иона  $Cl^-$  полярная группа собирателя Лилафлота (катион) вытесняется в водную фазу, а неполярная – из водной фазы в воздух.

Таким образом, повышение пенообразования при флотации катионными собирателями в присутствии электролита хлорида натрия обусловлено изменением физико-химических свойств адсорбционных слоев, формируемых ПАВ на границе раздела "жидкость – воздух". Такое изменение вызвано вытеснением аполярной группы ПАВ под действием хлорид-ионов из водной фазы в воздух, а полярной группы – в водную фазу. В результате этого уменьшается объемная концентрация предельной адсорбции ПАВ, при которой на поверхности раздела жидкость-газ образуется насыщенный адсорбционный слой. Это объясняет увеличение пенообразования и уменьшение расхода ПАВ, что обуславливает повышение эффективности флотации. Кроме того, сосредоточение в водной фазе полярных групп реагента способствует увеличению его адсорбции на твердой фазе.

Для определения зависимостей показателей флотации железосодержащих продуктов от концентрации хлорид-иона в воде экспериментальные исследования выполнялись с использованием концентрата текущего производства ОАО "СевГОК", оборотной минерализованной воды СевГОКа, модельных растворов хлорида натрия [5].

Массовая доля железа общего в исходном концентрате составила 65,7%. Химический состав воды приведен в таблице. Модельные растворы хлорида натрия готовились путем растворения соответствующего количества поваренной соли в водопроводной воде. В экспериментах использовались растворы следующих концентраций хлорид-ионов, г/л: 2, 5, 8, 11.

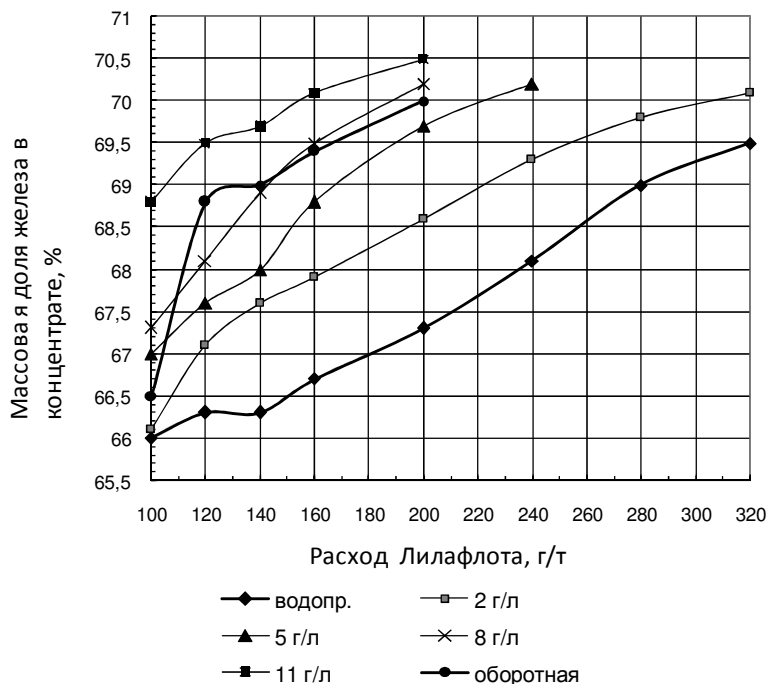
Химический состав воды

Вода	Компоненты, мг/л							Жесткость, мг-экв/л
	pH	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	
Оборотная СевГОКа	7,0	430	370	6120	702	11000	1840	52,5
Водопроводная (Днепровская)	7,5	52	22	89	4,5	62	106	4,4

Флотационные опыты проводились в открытом цикле в лабораторной флотомашине 240Фл-А со съемными камерами. В качестве реагента-собирателя, выполняющего также роль вспенивателя, использовался Лилафлот Д817М.

Проведенными экспериментами с использованием растворов хлорида натрия различной концентрации установлено влияние концентрации хлорид-ионов во флотационной воде на качество концентрата при различных расходах лилафлота (рисунок).

Для получения концентрата с массовой долей железа 69,5% при флотации на водопроводной воде необходимый расход собирателя составил 320 г/т, при концентрации хлорид-ионов в воде 2 г/л – 250 г/т, при 5 г/л – 190 г/т, при 8 г/л – 160 г/т, при 11 г/л – 120 г/т (рисунок). То есть с увеличением концентрации хлорид-ионов при флотации значительно (в 1,3...2,7 раза) уменьшается расход собирателя, необходимый для получения высококачественного концентрата.



Зависимость качества концентрата отхода лилафлота  
При разных концентрациях хлорид-иона

Массовая доля железа в камерных продуктах флотации увеличивается с повышением концентрации хлорид-ионов при постоянном расходе собирателя. Так, массовая доля железа в концентрате составляет 69,5...70,1% при концентрации хлорид-ионов 11 г/л и расходе лилафлота, соответственно, 120-160 г/т. Камерный продукт флотации на водопроводной воде при аналогичном расходе реагента содержит всего 66,3...66,7% железа.

Интересно отметить, что наиболее близкие показатели характерны для условий флотации на оборотной воде СевГОКа (концентрация хлорид-ионов 11 г/л) и модельном растворе с концентрацией хлорид-ионов 8 г/л (рисунок). В то же время, содержание железа в пенных продуктах, полученных при флотации на воде с концентрацией хлорид-ионов 11 г/л, при одних и тех же расходах лилафлота выше, чем при флотации на минерализованной воде с тем же содержанием хлорид-ионов.

Это, вероятно, обусловлено влиянием других ионов, присутствующих в минерализованной воде и связывающих ионы хлора. Можно предположить непосредственную роль в этом ионов жесткости.

Для определения состава пенных продуктов, полученных при флотации с использованием различной воды, выполнены химический анализ и рентгеноструктурный на дифрактометре "Дрон-4" анализ пенных продуктов флотации при расходе лилафлота 120 г/т. Результаты рентгеноструктурного анализа данного продукта свидетельствуют о присутствии в них, наряду с магнетитом, гематитом, кварцем,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{MgCl}_4$ . Значительное количество этих соединений в пенном продукте определило снижение массовой доли желе-

за в нем при флотации на минерализованной воде СевГОКа.

Образование выше названных хлорсодержащих веществ при флотации в минерализованной воде объясняет практически одинаковый эффект при использовании мягкой воды с содержанием хлорид-ионов 8 г/л и при использовании жесткой воды с содержанием хлорид-ионов 11 г/л. Частичное связывание хлорид-ионов ионами жесткости частично снижает эффективность действия электролита.

### *Выводы*

1. Автором статьи экспериментально установлено, что флотация железных руд катионными собирателями протекает более эффективно при использовании минерализованной воды с повышенным содержанием электролита хлорида натрия, что обусловлено повышенным пенообразованием.

2. Аналитическими исследованиями показано, что повышение пенообразования при флотации железных руд катионными собирателями с повышением концентрации электролита хлорида натрия обусловлено уменьшением концентрации реагента, при которой достигается предельная адсорбция на поверхности раздела жидкость-газ (соответствующая насыщению сорбционного слоя), что вызвано вытеснением неполярной группы катионного собирателя под действием электролита из водной фазы в воздух, а полярной группы – в водную фазу.

3. Экспериментальными исследованиями установлено:

– с повышением концентрации хлорид-ионов в воде массовая доля железа в концентрате увеличивается при постоянном расходе собирателя; при получении высококачественных магнетитовых концентратов (69,5% и более) расход катионного собирателя значительно уменьшается в присутствии электролита;

– при флотации на минерализованной воде в присутствии ионов жесткости происходит образование соединений хлора и высаживание их на поверхности пенных продуктов, что несколько снижает эффективность действия хлорид-ионов.

4. Исследования будут продолжены в направлении изучения флотации железосодержащих продуктов в присутствии хлорида натрия при использовании других катионных собирателей.

### **Список литературы**

1. Соколова В.П. Физико-химические аспекты повышения эффективности флотации железорудных продуктов при использовании минерализованных вод // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн зб. – 2007. – Вып. 31(72). – С. 60-65.

2. Уваров В.С., Аллилуев Н.И., Харламов В.С. Применение электролитов для получения высококачественных железных концентратов // Изв. ВУЗов. Горный ж-л. – 1973. – №8. – С. 168-171.

3. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества: Свойства и применение. – Л.: Химия, 1981. – 304 с.

4. Майофис А.Д., Сквирский Л.Я., Абрамзон А.А. О пенообразующей способности поверхностно-активных веществ. Влияние неорганических электролитов // Коллоидный жур-

## **Флотація**

---

нал. – 1976. – №2, т.38. – С. 378-386.

5. Соколова В.П. Исследование влияния хлорид-ионов на получение высококачественных железных концентратов // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн зб. – 2008. – Вып. 35(76). – С.117-123.

© Соколова В.П., 2012

*Надійшла до редколегії 29.01.2012 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*