УДК 622.765

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СОБИРАТЕЛЕЙ И ДЕПРЕССОРОВ НА ФЛОТАЦИЮ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛОВ МИХАЙЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Шаповалов Н.А., Крайний А.А., Городов А.И., Макущенко И.С.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова, Белгород, e-mail: marina76@mail.ru

Целью работы являлось изучение влияния различных видов собирателей и депрессоров на флотацию общих отвальных хвостов (ООХ) Михайловского горно-обогатительного комбината (МГОК). В данной работе представлены основные характеристики общих отвальных хвостов Михайловского горно-обогатительного комбината. Методом БЭТ определена общая удельная поверхность ООХ. Изучен химический, минералогический и гранулометрический состав ООХ МГОКа. Рассмотрено влияние различных собирателей и депрессоров на флотацию ООХ. В результате проведенных исследований были рассчитаны коэффициенты эффективности флотации, что позволило выявить наиболее активные собиратели и депрессоры. Определены оптимальные концентрации реагентов во флотационной пульпе, что позволило подобрать оптимальный реагентный режим флотации ООХ МГОКа. Полученный реагентный режим может быть рекомендован для получения товарного железосодержащего продукта из окисленных кварцитов, состав которых близок к составу ООХ.

Ключевые слова: обратная катионная флотация, КПАВ, железистые кварциты, флотореагенты, высшие алифатические амины

STUDY OF THE INFLUENCE OF DIFFERENT KINDS OF COLLECTORS AND DEPRESSANT FLOTATION IRON-CONTAINING MINERALS MIKHAILOVSKY DEPOSIT

Shapovalov N.A., Krayniy A.A., Gorodov A.I., Makuschenko I.S.

Belgorodsky State Technological University Shukhov, Belgorod, e-mail: marina76@mail.ru

The purpose was to study the effect of different types of collectors and depressants on flotation tailings common Mikhailovsky ore-dressing plant. This paper presents the main characteristics of the general tailings Mikhailovsky ore-dressing plant. Determined by the BET total surface area of common tailings. The chemical, mineralogical and granulometric composition of common tailings Mikhailovsky ore-dressing plant. The influence of various collectors and depressants on flotation tailings general. The studies were designed flotation efficiency ratios, which revealed the most active collectors and depressants. The optimal concentrations of reagents in the flotation pulp, allowing to choose the optimal mode flotation reagent. The resulting reagent regime can be recommended for commercial iron product from oxidized quartzites, whose composition is close to that of the general tailings Mikhailovsky ore-dressing plant.

Keywords: reverse cationic flotation, cationic surfactants, ferruginous quartzite, flotation reagents, higher aliphatic amines

Широкоиспользуемые в России классические методы обогащения железосодержащих руд не позволяют обогащать попутно добываемые окисленные кварциты. Данный вид руды направляется сразу в отвал. Содержание железа (в основном это гематитовая фракция) в окисленных кварцитах может достигать 40%. В мировой практике [1] для обогащения магнетит-гематитовых руд используют комбинированные (магнитно-флотационные) методы обогащения. В результате мокрой магнитной сепарации (ММС) получаются ООХ и магнетитовая фракция. Флотационным методом обогащают как ООХ, так и окисленные кварциты, которые схожи по составу. Анализ технологических схем [2] показывает, что чаще всего при обогащении ООХ используют обратную катионную флотацию. В качестве собирателей, как правило, используют высшие алифатические амины или их смеси, а в роли депрессоров выступают реагенты, препятствующие прилипанию пузырьков воздуха к поверхности железосодержащих минералов. Целью данной работы является изучение влияния различных видов собирателей и депрессоров на флотацию ООХ МГОКа.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

– определены физико-химические характеристики ООХ МГОКа;

– в лабораторных условиях проведен подбор собирателей и депрессоров, установлен оптимальный реагентный режим флотации.

Химические, минералогические и гранулометрические характеристики исследуемых общих отвальных хвостов представлены в табл. 1, 2, 3.

Таблица 1

Химический состав общих отвальных хвостов в пересчете на оксиды, %

Fe_2O_3	FeO	SiO_2	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	Al_2O_3	P_2O_5	SO_3	CO_2	ППП
30,4±1	2,4±0,5	59,7±2	2,8±0,5	1,8±0,3	1,6±0,3	0,4±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,05±0,1	0,3±0,1	3,9±0,5

Таблица 2

Минералогический состав отвальных хвостов, %

Гематит	Магнетит	Гидроксиды железа	Силикаты	Рудные карбонаты	Нерудные карбонаты	Апатиты	Кварц	Прочие
26,2±1	1,1±0,3	3,9±0,5	16,2±0,7	5,7±0,5	2,2±0,3	0,5±0,1	43,6±2	0,7±0,1

Таблица 3

Гранулометрический состав отвальных хвостов, %

Класс крупности, мм	+1,2	-1,2+0,23	-0,23+0,16	-0,16+0,074	-0,074+0,044	-0,044	Итого
Выход, %	1,2	4,8	2,7	8,6	7,9	74,8	100

Общие отвальные хвосты МГОКа – это мелкодисперсные отходы; содержание гематита в хвостах свыше 26%, а кварца – порядка 43%. Модуль крупности значительно меньше единицы, около 84% частичек меньше 0,074 мм. Методом БЭТ была определена общая удельная поверхность исследуемого вещества, которая составляет 1,7 $м^2/г$.

В качестве собирателей исследовались ацилированные флотореагенты типа ФЛОН (НПП «Химпромсервис»), талловые оксиэтилированные амины, высший алифатический амин (додециламин) и низший алифатический амин (октиламин). За эталон собирателя брали РА-14 (изодецилоксипропиламин), используемый на МГОКе. В качестве депрессоров исследовали суперпластификаторы (С-3, реотан, Melment), которые, по литературным данным [3-6], хорошо сорбируются на железосодержащих минералах, а на оксидах кремния их сорбция незначительна. В роли депрессоров также использовали крахмал, неонол, глицерин, таннин и кокоалкилбензилдиметиламмоний хлорид (КАБДАХ).

Лабораторные исследования проводились на флотационной машине с автоматическим регулированием числа оборотов импеллера, количества подаваемого воздуха, температуры пульпы и скорости съема пены. Флотация осуществлялась в камере объемом 1 л, загруженность пульпы – 48% ООХ, расход подаваемого воздуха – 0,4 $м^3/ч$, температура пульпы колебалась от 21 до 22 ^{0}С. Характер поверхности кварца регулировали 1 М раствором NaOH, доводя pH среды в пульпе до 8,5-11. Флотационный процесс осуществлялся по следующей схеме (рис. 1).

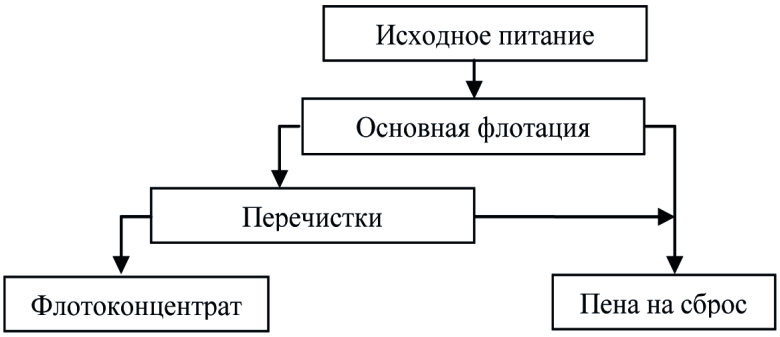

Рис. 1. Схема флотационного обогащения ООХ МГОКа в лабораторных условиях

Контролировалось содержание оксидов железа и кремния в исходном продукте (питание флотации), камерном продукте (концентрат) и хвостах флотации. Результаты экспериментов представлены в табл. 4, 5.

Таблица 4

Сводные данные результатов флотации с разными собирателями
(в качестве депрессора использовали крахмал, 300 г/т)

№ п/п	Наименование собирателя	Концентрация собирателя, г/т	Выход концентрата (камерного продукта), %	Содержание оксидов в камерном продукте, %		Коэффициент эффективности[1]	Выход пенного продукта, %	Содержание оксидов в пенном продукте, %	
				Fe_2O_3	SiO_2 общ.			Fe_2O_3	SiO_2 общ.
1	ФЛОН[2]	60	89	35	58	0,53	9	24	66
		100	80	38	55	0,55	20	24	67
		150	76	40	53	0,57	24	22	69
		200	70	43	50	0,60	30	23	68
		250	56	49	41	0,67	44	26	67
		300	43	50	40	0,54	58	29	64
		350	43	47	43	0,47	58	28	65
2	РА-14	60	82	43	51	0,69	18	23	68
		100	71	42	51	0,58	31	24	68
		150	58	41	51	0,46	43	24	68
		200	48	54	37	0,70	53	26	67
		250	40	58	31	0,75	61	26	67
		300	34	53	34	0,53	66	30	64
		350	21	55	35	0,33	79	29	64
3	Ацетат додециламина	60	78	41	53	0,60	22	25	66
		100	71	40	52	0,55	29	24	67
		150	63	46	46	0,63	38	23	68
		200	50	48	42	0,57	50	28	66
		250	40	52	38	0,55	60	32	62
4	Талловый оксиэтилированные амины	150	89	36	58	0,55	22	27	62
		200	80	34	59	0,46	9	30	59
		250	76	34	59	0,44	10	31	58
5	Ацетат октиламина	60	70	34	59	0,41	3	28	58
		100	56	35	58	0,34	6	28	58
		150	43	41	53	0,33	36	26	65
		200	43	37	57	0,28	31	28	62
		250	82	43	49	0,72	36	26	66

Примечания:

[1]Отношение масс Fe_2O_3 к SiO_2 общ. в концентрате, умноженное на выход концентрата.

[2]При добавлении в систему модификатора процесса флотации на основе жирных спиртов и концентрации собирателя 250 г/т значительно увеличивается выход концентрата, а качественные показатели флотации значительно улучшаются.

Графики зависимости контрольных показателей от концентрации собирателей представлены на рис. 2, 3.

Как свидетельствуют данные таблиц и графиков, талловые оксиэтилированные амины и ацетат октиламина оказались неэффективными. Ацетат додециламина и флотореагент типа ФЛОН показали хорошие результаты как собиратели, однако они несколько уступают эталону – РА-14.

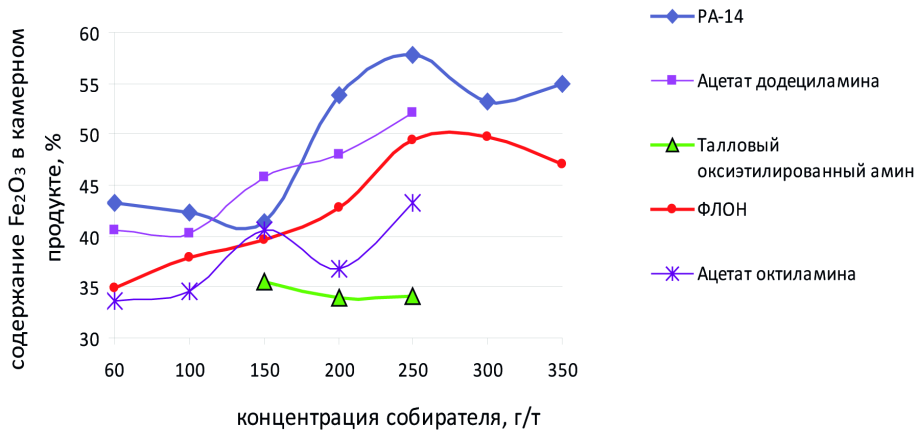

Рис. 2. Содержания Fe_2O_3 в камерном продукте в зависимости от концентрации собирателей

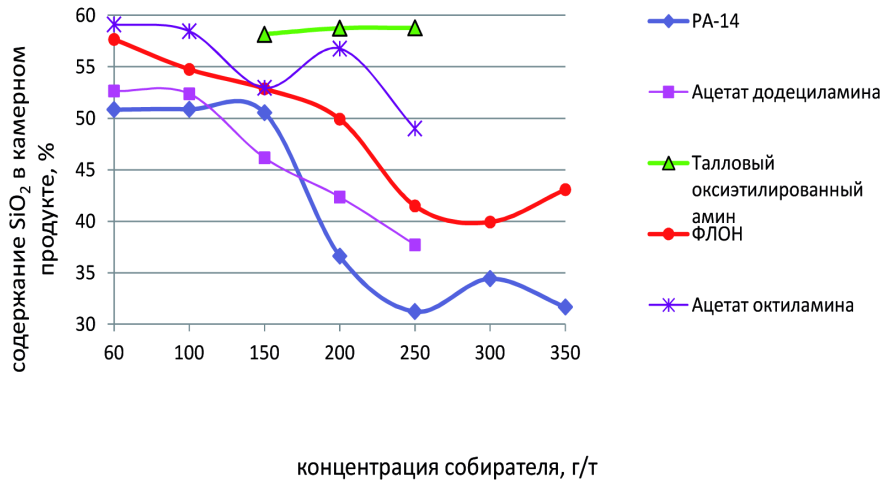

Рис. 3. Сводный график зависимости содержания SiO_2 в камерном продукте от концентрации собирателя

Таблица 5

Сводные данные результатов флотации с разными депрессорами (концентрация собирателя 300 г/т)

№ п/п	Наименование депрессора	Наименование собирателя	Концентрация депрессора, г/т	Выход концентрата (камерного продукта), %	Содержание оксидов в камерном продукте, %		Коэффициент эффективности[1]	Выход пенного продукта, %	Содержание оксидов в пенном продукте, %	
					Fe_2O_3	SiO_2 общ.			Fe_2O_3	SiO_2 общ.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Крахмал	РА-14	300	34	53	34	0,53	66	30	64
			400	41	49	42	0,48	59	30	64
			500	44	57	34	0,74	56	24	69
		ФЛОН	300	45	50	37	0,61	50	33	60
			400	54	45	45	0,54	55	34	62
			500	55	56	35	0,88	44	25	67

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	Неонол[2]	РА-14	1000	17	45	44	0,17	83	33	59
		ФЛОН		27	40	52	0,21	73	33	60
3	Глицерин	РА-14	300	44	42	42	0,44	56	33	60
		ФЛОН		44	40	50	0,35	56	29	63
4	Таннин	РА-14	300	42	43	41	0,44	58	35	59
		ФЛОН		15	40	51	0,12	85	31	61
5	КАБДАХ	РА-14	300	14	38	42	0,13	86	34	60
		ФЛОН		13	36	44	0,11	87	34	59
6	С-3	РА-14	300	21	39	50	0,16	79	34	59
		ФЛОН	300	66	39	56	0,46	33	28	62
7	Реотан	РА-14	300	41	41	50	0,34	59	35	58
		ФЛОН		19	41	45	0,17	81	31	61
8	Melment	РА-14	300	67	44	49	0,60	33	31	61
		ФЛОН		28	40	55	0,20	72	29	60

Примечания:
[1]Отношение масс Fe_2O_3 к SiO_2 общ. в концентрате, умноженное на выход концентрата.
[2]При меньших концентрациях флотационный процесс не идет.

Депрессоры С-3, реотан, melment, неонол, глицерин, таннин и КАБДАХ проявили слабую активность. Наибольшим депрессорным действием обладает крахмал.

Для улучшения качества концентрата в процесс флотации введены перечистки (рис. 1). Данные флотации с перечистками представлены в табл. 6.

Таблица 6

Сводные результаты флотации с перечистками продуктов
(в качестве депрессора использовали крахмал, 450 г/т)

№ п/п	Наименование собирателя	Концентрация собирателя, г/т	Выход концентрата (камерного продукта), %	Содержание оксидов в камерном продукте, %		Коэффициент эффективности[1]
				Fe_2O_3	SiO_2 общ.	
1	ФЛОН	250	26	61	16	0,99
2	РА-14	250	24	60	18	0,80

Примечание:
[1]Отношение масс Fe_2O_3 к SiO_2 общ. в концентрате, умноженное на выход концентрата.

В результате проведенных экспериментов сделаны следующие выводы:

В качестве реагента собирателя обратной катионной флотации общих отвальных хвостов МГОКа целесообразно использовать флотореагент типа ФЛОН с модификатором процесса флотации на основе жирных спиртов, показавший наилучший результат, и флотореагент РА-14. Оптимальная концентрация данных реагентов собирателей составляет 250-300 г/т.

Анализ графиков (рис. 1, 2) показывает отсутствие прямой зависимости контрольных показателей флотации от увеличения концентрации флотореагентов собирателей.

В качестве реагента-депрессора ионов железа рекомендовано использовать гидролизованный крахмал, оптимальная концентрация которого составляет 450-500 г/т.

Для получения товарного продукта с содержанием оксидов железа порядка 60% из общих отвальных хвостов МГОКа необходимо включение в технологическую схему флотации перечисток, количество которых зависит от исходного состава ООХ. Данная технология также может быть рекомендована для получения товарного железосодержащего продукта из окисленных кварцитов, состав которых близок к составу ООХ. Окисленные кварциты в настоящее время не обогащаются, а сбрасываются в отвалы, оказывая негативное воздействие на окружающую среду [7-8].

Список литературы

1. Кретов С.И., Губин С.Л., Потапов С.А. Совершенствование технологии переработки руд Михайловского месторождения // Горный журнал. 2006. № 7. С. 71-74.

2. Испытания технологии получения гематитовых концентратов из хвостов обогатительной фабрики ОАО «Михайловский ГОК» / Кретов С.И., Губин С.Л., Игнатова Т.В., Сентемова В.А., Безногова Ю.С. // Обогащение руд. 2007. № 6. С. 20-24.

3. Крайний А.А. Флотация отвальных хвостов мокрой магнитной сепарации неокисленных железистых кварцитов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. №5. С. 156-159.

4. Шаповалов Н.А., Крайний А.А., Муфазалова А.П. Флотация отвальных хвостов мокрой магнитной сепарации неокисленных железистых кварцитов // КАЗАНТИП-ЭКО-2013. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения: сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции (3–7 июня 2013 г., г. Щелкино, АР Крым). В 3 т. Т. 3 / ГП «УкрНТЦ «Энергосталь». – Х. : НТМТ, 2013. – С. 81–84.

5. Влияние азотсодержащих флотореагентов на окружающую среду / Тикунова И.В., Крайний А.А., Муфазалова А.П., Городов А.И. // КАЗАНТИП-ЭКО-2013. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения: сборник трудов XXI Международной научно-практической конференции (3–7 июня 2013 г., г. Щелкино, АР Крым). В 3 т. Т. 3 / ГП «УкрНТЦ «Энергосталь». – Х. : НТМТ, 2013. – С. 85–86.

6. Исследование возможности использования отходов флотации железных руд для получения смешанных цементов / Шаповалов Н.А., Тикунова И.В., Загороднюк Л.Х., Щекина А.Ю., Ширяев О.И., Крайний А.А., Попов Д.Ю., Городов А.И. // Фундаментальные исследования. 2013. № 10 – 8. С.1718-1723.

7. Исследование адсорбционных свойств высших алифатических аминов на природном и высокодисперсном песках / Тикунова И.В., Шаповалов Н.А., Кичигин Е.В., Богданова С.В. // Казантип-Эко-2009. Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровья человека, утилизация отходов: сборник научных статей XVII Международной научно-практической конференции (1-5 июня 2009, г. Щелкино, АР Крым). – Т. 2. Харьков: Изд-во «Сага», 2009. – С. 387-389.

8. Тикунова И.В., Богданова С.В. Исследование адсорбционных и десорбционных свойств высших аминов, используемых в качестве флотореагентов железорудных концентратов // Казантип-Эко-2010. Экология, энерго- и ресурсосбережение, охрана окружающей среды и здоровья человека, утилизация отходов: сборник научных статей XVIII Международной научно-практической конференции (7-11 июня 2010, г. Щелкино, АР Крым).– Т. 2. Харьков: Изд-во «Сага», 2010. – С. 369-370.

References

1. Kretov S.I., Gubin C.L., Potapov C.A. Improving ore processing technology Mikhailovsky deposit // Mining Journal. 2006. no. 7. pp. 71–74.

2. Testing technology of hematite concentrate from tailings concentrator JSC «Mikhailovsky GOK» / Kretov S.I., Gubin S.L., Ignatova T.V., Sentemova V.A., Beznogova Y.S. // Ore. 2007. no. 6. pp. 20–24.

3. Krayniy A.A. Flotation tailings wet magnetic separation of non–oxidized ferruginous quartzite // Herald BSTU. V.G. Shukhov, October 2013, no. 5. pp. 156–159.

4. Shapovalov N.A., Krayniy A.A., Mufazalova A.P. Flotation tailings wet magnetic separation of non–oxidized ferruginous quartzite / / KAZANTIP–ECO–2013. Innovative solutions to urgent problems of basic industries, environment, energy and resources: Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference, June 3–7, 2013, g. Shhelkino, AR Krym : v 3 t. T. 3 / GP «UkrNTC «Jenergostal». – H.: NTMT, 2013. – pp. 81–84.

5. Influence of nitrogenous flotation reagents on the environment / Tikunova I.V., Krayniy A.A., Mufazalova A.P., Gorodov A.I. // KAZANTIP–ECO–2013. Innovative solutions to urgent problems of basic industries, environment, energy and resources: Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference, June 3–7, 2013, g.Shhelkino, AR Krym : v 3 t. T. 3 / GP UkrNTC «Jenergostal». – H.: NTMT, 2013. – pp. 85–86.

6. The possibility of using waste iron ore flotation to produce blended cements / Shapovalov N.A., Tikunova I.V., Zagorodnuk L.H., Shchekina A.J., Shiryaev O.I., Krayniy A.A., Popov D.J., Gorodov A.I. // Basic research. 2013. no. 10 – 8. pp. 1718–1723.

7. Study of the adsorption properties of higher aliphatic amines and natural superfine sand / Tikunova I.V., Shapovalov N.A., Kichigin E.V., Bogdanov S.V. // Kazantip–Eco 2009. Ecology, energy and resource conservation, environmental protection and human health, waste management: collection of scientific articles XVII International Scientific and Practical Conference, June 1–5, 2009. g.Shhelkino, AR Krym / GP UkrNTC «Energostal». T. 2. Kharkov: Publishing house "Saga", 2009. pp. 387–389.

8. Tikunova I.V., Bogdanova S.V. Investigation of adsorption and desorption properties of higher amines used as flotation reagents iron ore concentrates // Kazantip–Eco 2010. Ecology, energy and resource conservation, environmental protection and human health, waste management: collection of scientific articles XVIII International Scientific and Practical Conference, 7–11 June 2010, g.Shhelkino, AR Krym / GP UkrNTC «Energostal». T. 2. Kharkov: Publishing house «Saga», 2010 pp. 369–370.

Рецензенты:

Павленко В.И., д.т.н., профессор, директор Института строительного материаловедения и техносферной безопасности (ИСМиТБ), заведующий кафедрой «Неорганическая химия», Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород;

Лопанов А.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности», Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород.

Работа поступила в редакцию 10.06.2014.