

УДК 669.046:662.778

Э.К. Якубайлик, С.В. Килин, В.И. Килин, И.М. Ганженко
МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА И ПРОЦЕССЫ МОКРОЙ
МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ ПЕРВИЧНЫХ
КОНЦЕНТРАТОВ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ
РУД СИБИРИ

Изложены результаты изучения основных магнитных характеристик и показателей лабораторной мокрой сепарации девяти первичных концентратов магнетитовых и слабоокисленных руд сибирских месторождений — сырья Абагурской обогатительной фабрики. Рекомендовано слабоокисленные руды обогащать в общей шихте с магнетитовыми для уменьшения потерь железа с хвостами.

Ключевые слова: магнитные параметры, первичный концентрат, магнетитоокисленные руды мокрая сепарация, показатели обогащения.

Сибирские горно-обогатительные предприятия ОАО «Евразруда» поставляют магнетитовые первичные концентраты сухой магнитной сепарации на Абагурскую обогатительную фабрику. Из первичных концентратов формируется многокомпонентная шихта, из которой в процессе многостадийной обогатительной технологии извлекается вторичный железорудный концентрат и поставляется для металлургического передела на Западно-Сибирском металлургическом комбинате.

Первичные концентраты руд разных месторождений отличаются по вещественному составу, в первую очередь, ферромагнитных минералов, их содержанию, текстурно-структурным особенностям, в том числе — крупности ферромагнитных зерен, и другим признакам, что приводит в итоге к значительным колебаниям величин магнитных характеристик; магнитные же параметры фактически определяют показатели мокрой магнитной сепарации промпродуктов.

Таким образом, для получения оптимального конечного продукта — вторичного концентрата для металлургии, подбора (поиска) технологических условий (регламента) его производства, а также планирования роста объемов добычи и обогащения руд необходима информация, как по магнитным свойствам первичных концентратов руд, так и показателям лабораторного мокрого обогащения всех составляющих шихты.

Классификация исходного материала, измерение магнитных параметров, лабораторная мокрая магнитная сепарация выполнены в Институте физики СО РАН. Химический анализ проб проведен в Центральной технологической лаборатории ОАО «Евразруда».

Образцы для исследований

На Абагурской обогатительной фабрике была отобрана коллекция проб усредненных первичных концентратов крупностью $-1+0$ мм двух типов руд с наибольшими объемами добычи — магнетитовых — Ирбинского (К — 42 и

Таблица 1

Ситовая характеристика первичных концентратов

Класс. мм Проба	Выход. %				Итого
	+1	-1+0.28	-0.28+0.07	-0.07+0	
Тея	3.5	52.8	26.9	16.8	100.0
Изых — Гол	1.3	42.5	37.7	18.5	100.0
Ирба К — 42	1.0	42.7	36.3	20.0	100.0
Ирба К — 45	1.7	42.1	33.1	23.1	100.0
Краснокаменск	2.0	43.4	30.9	23.7	100.0
Каз	2.5	44.5	31.0	22.0	100.0
Шерегеш	2.0	43.5	27.4	27.1	100.0
Таштагол К — 42	1.9	37.3	31.1	29.7	100.0
Абакан К — 45	0.3	34.7	34.9	30.1	100.0

Таблица 2

Результаты химического анализа исходных первичных концентратов

№	Проба	Класс. мм	Содержание. %			
			Fe _{общ}	Fe _{магн}	FeO	Fe ₂ O ₃
1	Тея	-1+0.28	39.8	36.2	16.31	38.77
2		-0.28+0.07	38.7	34.9	15.58	37.98
3		-0.07+0	36.0	32.1	14.83	35.09
4	Изых — Гол	-1+0.28	46.6	38.3	14.33	50.71
5		-0.28+0.07	50.3	42.8	14.84	55.41
6		-0.07+0	41.2	30.9	10.48	47.23
7	Ирба К — 42	-1+0.28	42.7	38.7	18.29	40.78
8		-0.28+0.07	49.1	45.1	20.55	47.40
9		-0.07+0	44.9	40.8	18.53	43.64
10	Ирба К — 45	-1+0.28	45.8	41.9	19.18	44.26
11		-0.28+0.07	50.4	47.1	20.50	49.30
12		-0.07+0	45.0	40.9	17.82	44.60
13	Краснокаменск	-1+0.28	40.6	34.2	16.37	39.86
14		-0.28+0.07	44.9	40.1	17.10	45.17
15		-0.07+0	38.9	31.9	15.15	38.85
16	Каз	-1+0.28	45.9	39.8	25.49	37.30
17		-0.28+0.07	48.6	43.3	26.44	40.21
18		-0.07+0	47.1	42.4	26.62	37.87
19	Шерегеш	-1+0.28	42.2	39.1	18.93	39.32
20		-0.28+0.07	44.5	41.5	19.55	41.91
21		-0.07+0	41.2	38.2	18.33	38.57
22	Таштагол К — 42	-1+0.28	41.1	36.8	17.07	39.79
23		-0.28+0.07	46.5	43.3	19.63	44.74
24		-0.07+0	41.4	37.3	17.27	40.07
25	Абакан К — 45	-1+0.28	43.6	38.0	22.44	37.45
26		-0.28+0.07	46.1	40.1	22.55	40.92
27		-0.07+0	50.9	46.0	24.81	45.29

Таблица 3

Магнитные характеристики исходных проб кл. -1+0.28 мм, кл. -0.07мм
(числитель — исходные пробы, знаменатель — магнитной фракции сепарации)

№	Проба	класс, мм	σ_s , Ам ² /кг	σ_r , Ам ² /кг	H_c , ка/м	$\sigma_{H=80}$, 80 ка/м. Ам ² /кг.	$\chi_{H=80}$, 80 ка/м, $\times 10^{-4}$ м ² /кг
1	Тея	-1+0.28	38.68	2.76	4.54	25.40	1.88
		-0.07+0	<u>39.76</u>	<u>5.57</u>	<u>4.96</u>	<u>26.60</u>	
			73.7	7.53	4.78	55.5	
2	Изых — Гол	-1+0.28	33.09	3.41	9.02	19.93	1.28
		-0.07+0	<u>26.57</u>	<u>2.87</u>	<u>10.56</u>	<u>14.93</u>	
			57.65	8.63	9.66	38.00	
3	Ирба К — 42	-1+0.28	53.65	2.22	2.58	37.40	2.24
		-0.07+0	<u>48.00</u>	<u>2.87</u>	<u>4.09</u>	<u>32.10</u>	
			76.7	6.75	3.76	59.50	
4	Ирба К — 45	-1+0.28	53.80	2.55	2.93	36.57	2.16
		-0.07+0	<u>47.07</u>	<u>3.18</u>	<u>4.68</u>	<u>31.40</u>	
			73.20	7.14	4.31	56.30	
5	Абакан К45	-1+0.28	52.93	4.34	5.70	34.42	2.58
		-0.07+0	<u>56.93</u>	<u>3.92</u>	<u>4.53</u>	<u>38.50</u>	
			81.98	8.09	4.58	61.70	
6	Таштагол К — 42	-1+0.28	51.13	2.02	2.42	35.26	2.10
		-0.07+0	<u>45.28</u>	<u>2.04</u>	<u>3.15</u>	<u>30.42</u>	
			78.62	5.84	3.09	61.70	
7	Шерегеш	-1+0.28	42.44	1.72	2.48	29.25	2.25
		-0.07+0	<u>48.73</u>	<u>2.56</u>	<u>3.47</u>	<u>33.25</u>	
			78.25	6.40	3.40	61.40	
8	Каз	-1+0.28	56.10	3.08	2.74	40.25	2.19
		-0.07+0	<u>48.91</u>	<u>3.19</u>	<u>4.26</u>	<u>33.30</u>	
			75.48	7.01	3.94	58.8	
9	Краснокаменск	-1+0.28	35.41	1.73	4.06	22.20	1.62
		-0.07+0	<u>33.81</u>	<u>2.42</u>	<u>6.02</u>	<u>20.45</u>	
			71.4	7.66	5.50	51.70	

К — 45), Казского, Шерегешского, Таштагольского (К — 42), Абаканского (К — 45) и слабоокисленных — Тейского, Изых — Гольского, Краснокаменского. Для проведения ситового анализа и оценки распределения железа по классам крупности исходный материал был разделен на три класса: -1+0,28 мм, -0,28+0,07 мм и -0,07+0 мм. Результаты ситового анализа содержатся в табл. 1.

Химический анализ исходных проб приведен в табл. 2.

Наибольшее содержание $Fe_{\text{общ}}$ и $Fe_{\text{маг}}$ в классе — 0,07 +0 мм в кон-

центрах Абакана (~51 % и 46 %), Каза (~47 % и 42 %), пробах Ирбы (~45 % и 41 %). Наименьшее — в концентратах слабоокисленных руд Теи (36 % и 32 %), Краснокаменска (~39 % и 32 %) соответственно.

Общей закономерности изменения содержания железа от крупности частиц в изученных пробах не наблюдается. Только на абаканском материале содержание железа (общего и магнетитового) больше в тонком классе. На тейском концентрате обратная картина — железа больше в крупном классе.

Химический анализ подтвердил, что количество железа в первичных концентратах магнетитовых руд более чем на 10 % выше, нежели в слабоокисленных.

Магнитные параметры первичных концентратов

Основными магнитными характеристиками сильномагнитных железных руд и минералов, определяющими поведение магнитных частиц в магнитном поле сепаратора и влияющими на процесс разделения, являются: намагниченность насыщения σ_s , остаточная намагниченность σ_r , коэрцитивная сила H_c [1].

К их числу следует отнести и удельную магнитную восприимчивость χ , входящую в выражение удельной магнитной силы f_m , действующей на зерно.

На двух классах первичных концентратов (-1+0.28 мм и -0.07+0 мм) определены удельная намагниченность насыщения σ_s , удельная остаточная намагниченность σ_r , коэрцитивная сила H_c , а также удельная намагниченность σ в поле $H = 80$ кА/м, близком к полю сепарации.

Измерения проведены на автоматизированном вибрационном магнитометре в полях до 800 кА/м. Погрешность измерения магнитного момента — 10 Ам, магнитного поля — 40 А/м, массы образцов — 0.1 мг. Принципы измерения магнитных свойств на вибрационном магнитометре изложены в работе [2], данные приведены в табл. 3.

По величинам удельной намагниченности насыщения σ_s первичные концентраты (класса -0.07 мм) укрупненно можно разделить на две группы: магнетитовые и слабоокисленные руды. Удельные намагниченности насыщения σ_s и остаточные σ_r слабо-

окисленных руд (Тея, Изых-Гол, Краснокаменск) меньше, чем магнетитовых (Абакан, Ирба, Каз, и др.).

Значения σ_s и σ_r магнетитовых руд (Абакан, Ирба, Каз) близки и составляют от 56 до 47 Ам²/кг для σ_s и в пределах 4-3 Ам²/кг для σ_r . Определенная зависимость величин σ_s и σ_r от крупности частиц не видна.

Прослеживается четкая корреляция величин удельной намагниченности насыщения σ_s проб и содержания в них магнетитового железа $Fe_{\text{маг}}$ — она изображена на рис. 1.

Наибольшие значения σ_s и $Fe_{\text{маг}}$ на материале Абазы, наименьшие — пробах Изых-Гола; т.е. намагниченность линейно пропорциональна количеству магнетита в промпродукте.

По данным магнитных измерений поля насыщения H_s магнетитовых руд составляют порядка 400-480 кА/м, слабоокисленных — 720-800 кА/м, что и приводит к потере части слабомагнитных минералов с хвостами обогащения.

Коэрцитивная сила H_c выше, как правило, в тонком классе и выше, как и должно быть, для слабоокисленных руд. По принятой терминологии первичные концентраты слабоокисленных руд по величинам H_c относятся к магнитотвердым материалам, промпродукты магнетитовых руд — к магнитомягким; граничное значение — $H_c = 4.0$ кА/м [3].

Таким образом, величины коэрцитивной силы H_c первичных концентратов, поступающих на Абагурскую обогатительную фабрику, не создают серьезных трудностей для их подмагничивания и размагничивания в технологических процессах.

По петлям гистерезиса проб были определены значения удельной намагниченности σ в разных полях;

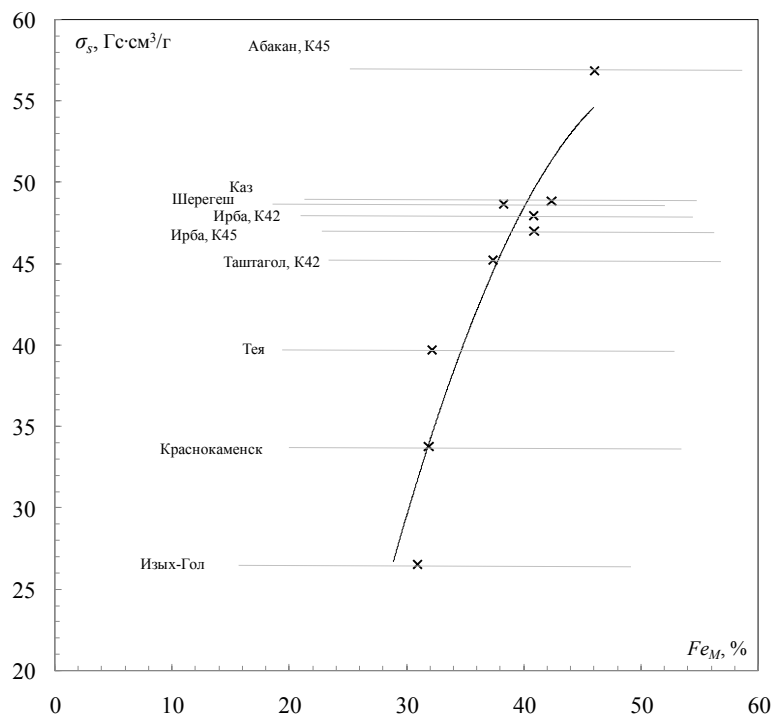


Рис. 1. Зависимость удельной намагниченности насыщения от содержания в пробах магнетитового железа

Таблица 4

Удельная магнитная восприимчивость исходных проб в различных магнитных полях

Параметры Проба	Максимум χ		$\chi \times 10^{-4} \cdot \text{м}^3/\text{кг}$ в поле H			
	H , кА/м	$\times 10^{-4}$, м ³ /кг	$H =$ 80 кА/м	$H =$ 95 кА/м	$H =$ 111 кА/м	$H =$ 175 кА/м
Тея	11.83	4.32	1.88	1.48	0.83	0.25
Изых — Гол	21.04	2.26	1.28	1.07	0.70	0.35
Ирба К — 42	10.42	5.71	2.24	1.75	1.13	0.48
Ирба К — 45	11.11	5.52	2.16	1.66	1.23	0.39
Абакан К — 45	12.37	6.84	2.58	2.00	1.42	0.52
Таштагол К — 42	9.68	5.29	2.10	1.67	0.97	0.34
Шерегеш	9.76	5.94	2.25	1.80	1.28	0.44
Каз	11.03	5.93	2.19	1.75	1.07	0.43
Краснокаменск	14.09	3.32	1.62	1.31	0.92	0.45

зная величины σ и H , подсчитана удельная магнитная восприимчивость χ (для класса — 0.07 мм). Величины максимумов удельной вос-

приимчивости и их поля, а также значения χ в интервале полей 80.0-176.0 кА/м всех девяти проб собраны в табл. 4.

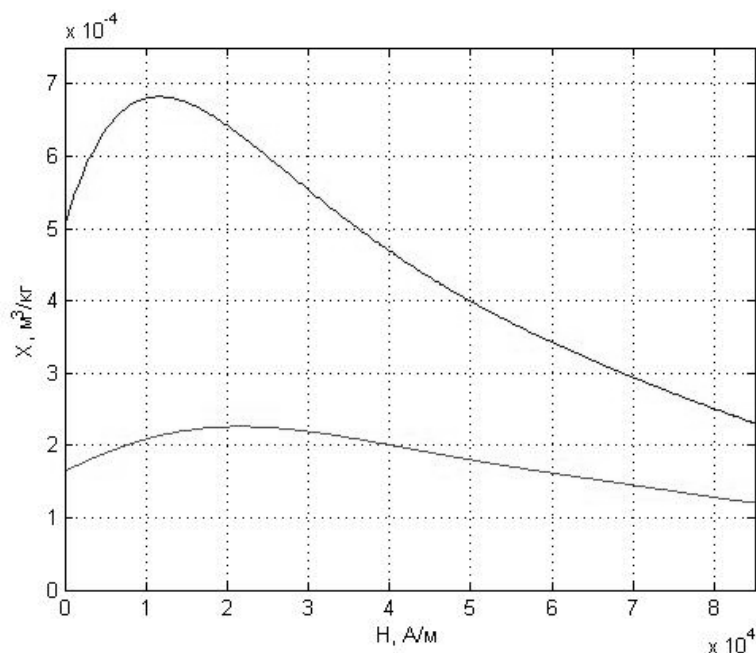


Рис. 2. Зависимость удельной магнитной восприимчивости от величины поля (верхний график — Абакан, нижний — Изых-Гол)

Из таблицы видно, что удельная восприимчивость слабоокисленных руд наибольшая в поле $H \sim 20.8$ кА/м (Изых-Гол), а магнетитовых ~ 12.0 кА/м (Абакан) с резким спадом в более сильных полях. Подобная полевая зависимость удельной восприимчивости ферромагнитных минералов описана давно, а на сибирских рудах («нашем» материале) ее наблюдали А.А. Бикбов и Л.В. Крюковская [4]. Величины максимумов удельной магнитной восприимчивости первичных концентратов магнетитовых руд в пределах от $6.84 \cdot 10^{-4}$ м³/кг (Абакан) до 5.29 (Таштагол), слабоокисленных промпродуктов значительно меньше — от $4.32 \cdot 10^{-4}$ м³/кг (Тея) до 2.26 (Изых-Гол).

Сопоставляя значения удельной восприимчивости и содержание в пробах магнетитового железа, можно говорить об их пропорциональности.

Графики полевой зависимости удельной восприимчивости χ двух «типичных» образцов — магнетитовых и слабоокисленных руд — приведены на рис. 2.

С ростом поля величины удельной восприимчивости падают в несколько раз. Характер же полевой зависимости χ для всех изученных проб одинаков и изображен на рис. 2.

Мокрый магнитный анализ промпродуктов

Мокрый магнитный анализ проб выполнен на анализаторе 25Т на материале крупностью 100 % класса -0,071 мм в магнитном поле 80 кА/м, близком к «рабочему» полю сепарации.

Показатели мокрой магнитной сепарации первичных концентратов и результаты химического анализа продуктов разделения собраны в табл. 5.

Таблица 5

**Результаты мокрой магнитной сепарации первичных концентратов.
В числителе — магнитной фракции, знаменателе — немагнитной**

Проба	Выход, %	Содержание, %				Извлечение, %	
		Fe _{общ}	Fe _{магн}	FeO	Fe ₂ O ₃	Fe _{общ}	Fe _{магн}
Тея	51,5	61,25	60,37	25,32	59,46	87,62	96,85
	48,5	8,97	1,87	3,22	9,26	12,12	2,87
Исходная	100,0	36,0	32,1	14,83	35,09		
Изых-Гол	43,5	67,33	66,24	20,18	73,86	71,08	93,25
	56,5	20,60	3,83	2,98	26,13	28,25	7,00
Исходная	100,0	41,2	30,9	10,48	47,23		
Ирба, К-42	60,5	66,39	65,54	27,43	64,46	89,45	97,18
	39,5	11,30	1,91	4,58	11,08	9,94	1,85
Исходная	100,0	44,9	40,8	18,53	43,64		
Ирба, К-45	60,9	66,34	65,53	26,38	65,59	89,78	97,57
	39,1	11,35	2,08	4,39	11,36	9,86	1,98
Исходная	100,0	45,0	40,9	17,82	44,60		
Краснока- менск	45,25	65,94	65,11	23,45	68,26	76,70	92,35
	54,75	14,71	1,59	7,84	12,34	20,70	2,74
Исходная	100,0	38,9	31,9	15,15	38,85		
Каз	64,75	64,67	63,26	34,11	54,62	88,90	96,6
	35,25	15,05	1,89	11,84	8,38	11,26	1,58
Исходная	100,0	47,1	42,4	26,62	37,87		
Шерегеш	60,0	63,04	62,14	27,75	59,35	91,80	97,60
	40,0	8,34	1,51	3,86	7,65	8,09	1,58
Исходная	100,0	41,2	38,2	18,33	38,57		
Таштагол К-42	55,5	66,06	65,33	27,32	64,14	88,56	97,2
	44,5	10,59	1,60	4,81	9,80	11,38	1,9
Исходная	100,0	41,4	37,3	17,27	40,07		
Абкан, К-45	68,5	66,80	65,75	29,79	65,45	89,89	97,91
	31,5	17,60	2,67	12,08	11,76	10,89	1,82
Исходная	100,0	50,9	46,0	24,81	45,29		

Результаты лабораторной сепарации промпродуктов, включая выход концентрата, количество в нем железа, его извлечение, потери с хвостами, на магнетитовых рудах выше, нежели на слабоокисленных. Заметна прямая пропорциональность выхода и содержания железа в исходных продуктах. Графики зависимости выхода от количества $Fe_{общ}$ и $Fe_{магн}$ представлены на рис. 3.

Во всех полученных магнитных продуктах высокое содержание желе-

за — от ~61 до 67 % железа общего и ~60 — 66 % железа магнетитового; минимум на тейском слабоокисленном промпродукте. Близки к «пределу» цифры извлечения металла из промпродуктов — железа общего — около 90 %, за исключением слабоокисленных руд, а железа магнетитового — 92-98 %.

Прямой линейной связи содержания железа в концентрате мокрой сепарации с его количеством в исходном материале не обнаруживается,

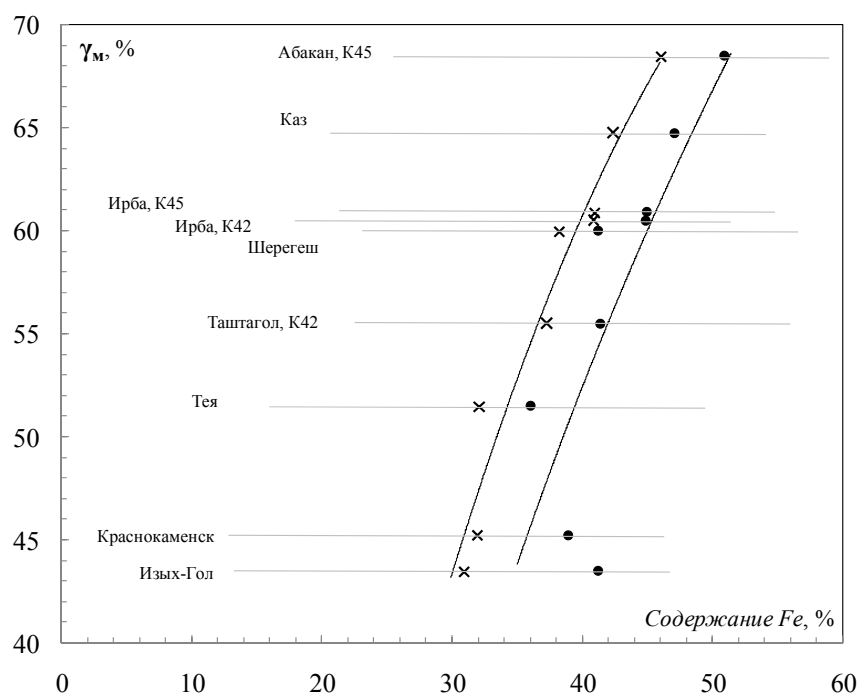


Рис. 3 Взаимосвязь выхода магнитного продукта сепарации и содержания магнетитового железа в пробах; • — железо общее, × — железо магнетитовое

поскольку структурная крупность у руд различна.

О потерях железа с хвостами сепарации. Уходит в хвосты слабомагнитное железо слабоокисленных руд — мартит и лимонит, сульфидное — магнетитовых, магнитные свойства которых практически на порядок меньше, чем магнетита. Наибольшие потери $Fe_{\text{маг}}$ на Изых-Голе — около 4 %, велики потери на абаканском промпродукте — ~2,7 %, более 2 % $Fe_{\text{маг}}$ в хвостах сепарации ирбинских проб, в хвостах обогащения остальных первичных концентратов $Fe_{\text{маг}}$ в пределах 1,9-1,5 %.

В описанных выше лабораторных опытах обогащения, проведенных в поле $H=80$ Ка/м, наименьшее содержание железа магнетитового в хвостах составило 1,51 %, что выше

фактически достигаемых производственных показателей на фабрике — 1,0-1,1 %. Однако на фабрике мокрая сепарация ведется в основном на сепараторах ПБМ 90/250 с модернизированной магнитной системой на основе высокоинтенсивных постоянных магнитов типа неодим-железобор с полем в рабочей зоне сепарации $H=176$ Ка/м.

С ростом поля в концентрат частично извлекаются и слабомагнитные минералы, что ведет к уменьшению потерь железа магнетитового с хвостами. Это подтверждают и опыты авторов данной статьи по обогащению окисленных руд Абагаза, где потери $Fe_{\text{маг}}$ в высоком поле — $H=480$ кА/м порядка 0,4 -0,7 %, что вдвое меньше, чем в поле $H = 80$ кА/м [5].

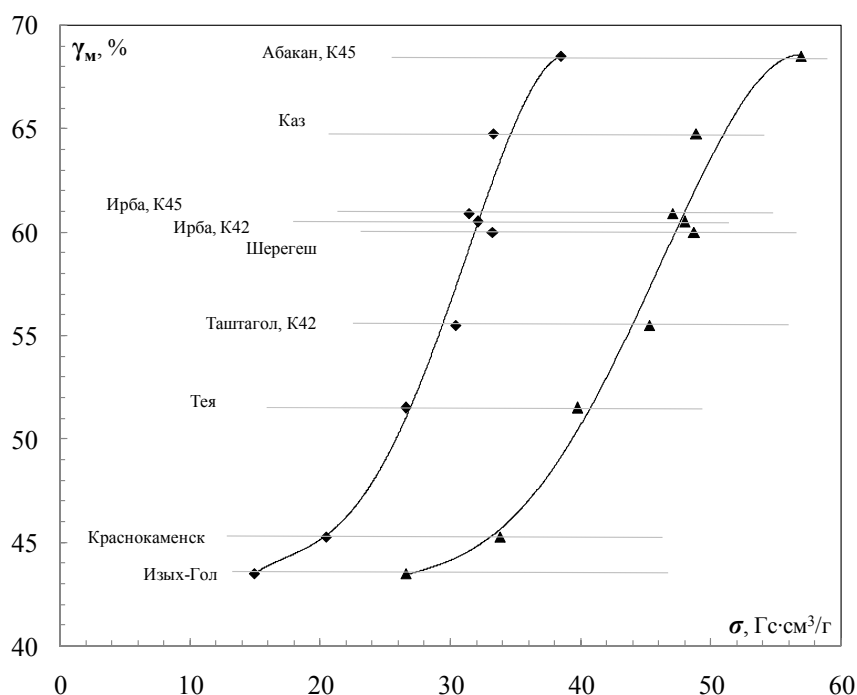


Рис.4 Зависимость выхода магнитного продукта от удельной намагниченности насыщения; ▲ - намагниченность насыщения σ_s , ◆ — намагниченность в поле 1 кЭ $H=1000 \text{ Э}$

Корреляция магнитных свойств и показателей сепарации проб

Сравнивая приведенные в таблице 3 величины удельной намагниченности насыщения σ_s , удельных намагниченности σ , восприимчивости χ в поле $H=80 \text{ кА/м}$ с показателями сепарации — выходом магнитного продукта γ_m , содержанием железа магнетитового $Fe_{\text{маг}}$, отметим, что как наибольшие, так и наименьшие значения этих параметров получены на одних и тех же пробах — Абазы и Изых-Гола, величины параметров на девяти промпродуктах уменьшаются от значений Абазы до цифр Изых-Гола. Графики зависимости выхода магнитного продукта от магнитных характеристик приведены на рис. 4.

Качество выделенных лабораторной мокрой сепарацией первичных концентратов магнитных продуктов характеризуют их магнитные параметры. Магнитные величины продуктов разделения первичных концентратов — магнитных фракций — также содержатся в таблице 3.

Резко выросли значения σ_s магнетитовых продуктов, максимум — $82 \text{ Ам}^2/\text{кг}$ на Абакане, существенен рост и других магнитных характеристик — $\sigma_{H=80 \text{ кА/м}}$, σ_r . За счет увеличения содержания магнетита в магнитном продукте высоки величины σ_s и слабоокисленных руд с минимумом на Изых-Голе — $58 \text{ Ам}^2/\text{кг}$. Причем на слабоокисленных «прирост» больше, чем на магнетитовых; на пробах Изых-Гола и Краснокаменска — бо-

лее, чем в два раза. Цифры «прироста» можно оценить по табл. 3.

Значения коэрцитивной силы H_c магнитных продуктов магнетитовых руд практически не изменились, а слабоокисленных — уменьшились из-за падения количества слабомагнитных минералов, обладающих высокой магнитной жесткостью, в магнитном продукте.

Сводный анализ данных табл. 5 и 3, содержащих достигнутые показатели лабораторной сепарации первичных концентратов и величины магнитных характеристик продуктов, позволяет говорить о прямой пропорциональности названных групп параметров, подтверждая принципы магнитного обогащения.

Закключение

На девяти первичных концентратах руд различных месторождений Сибири — сырье Абагурской обогатительной фабрики выполнены следующие работы:

- изучен гранулометрический состав полученных проб;
- измерены основные магнитные характеристики исходных первичных концентратов и материала сростков;
- проведена лабораторная мокрая магнитная сепарация первичных концентратов и проб сростков;
- измерены магнитные параметры магнитных продуктов лабораторной сепарации первичных концентратов и материала сростков.

Наибольшими величинами магнитных характеристик отличаются промпродукты: Абакан, Ирба, Каз, наименьшими: Изых-Гол, Краснокаменск. Удельная намагниченность насыщения σ_s первичных концентратов пропорциональна содержанию магнетитового железа в пробе. Удельная магнитная восприимчивость в поле $H=80$

кА/м максимальна для Абакана и Шерегеша, минимум — на пробах Изых-Гола и Краснокаменска.

При лабораторной сепарации первичных концентратов выход магнитного продукта γ_m пропорционален удельной намагниченности насыщения σ_s . Наибольший выход магнитного продукта получен на магнетитовых рудах — более 68 % (на Абакане), на слабоокисленных — на 1/3 меньше — 44 % (Иzych-Гол).

По величине коэрцитивной силы H_c первичные концентраты можно разделить на магнитомягкие (магнетитовые руды) и магнито жесткие (слабоокисленные руды), однако трудностей для процессов намагничивания и размагничивания магнито жесткие руды не представляют.

Магнитные параметры (удельная намагниченность насыщения σ_s) концентратов лабораторного обогащения промпродуктов в основном близки по величинам — 73-82 Ам /кг для магнетитовых и 58-73 для слабоокисленных руд и значительно выше своих аналогов на исходном материале.

Пониженные показатели лабораторной сепарации и магнитных характеристик продуктов слабоокисленных руд свидетельствуют о целесообразности их мокрого обогащения в составе шихты с магнетитовыми рудами для уменьшения потерь железа с хвостами.

Наблюдаемая зависимость потерь магнетитового железа с хвостами от величины магнитного поля сепарации указывает на необходимость завершения реконструкции магнитных систем сепараторов типа ПБМ 90/250 с заменой заводских магнитов из феррита бария на высокополевые магниты из сплава типа неодимжелезобор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кармазин В.В., Кармазин В.И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. Том 1. Высшее горное образование. — М.: Издательство МГГУ, 2005. — 670 с.
2. Балаев А.Д., Бояршинов Ю.В., Карпенко М.М., Хрусталева Б.П. Автоматизированный магнитометр со сверхпроводящим соленоидом // ПТЭ, 1985, т. 3, С.167-168.
3. Ломовцев Л.А., Нестерова Н.А., Дробченко Л.А. Магнитное обогащение сильномагнитных руд. — Москва: «Недра», 1979. — 235с.
4. Бикбов А.А., Крюковская Л.В. Магнитные свойства некоторых магнетитовых промпродуктов // Обогащение руд. 1974, № 5, С. 17-20.
5. Килин В.И., Якубайлик Э.К., Ганженко И.М., Килин С.В. Оценка обогатимости абагазских окисленных руд. Известия вузов. Черная металлургия. 2011. — № 12. — С. 6—8. **ИИЛБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Якубайлик Эдуард Константинович — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, churilov@iph.krasn.ru, Институт физики СО РАН,
Килин Владимир Иванович — кандидат технических наук, главный обогатитель, kilin_vi@nkmk.ru, ОАО «Евразруда»,
Ганженко Игорь Михайлович — инженер Абагурской обогатительной фабрики ОАО «Евразруда»,
Килин Сергей Владимирович — ведущий инженер технического отдела ЗАО «Полюс».



РУКОПИСИ, ДЕПониРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ БЕЗНАПОРНОГО ТРАНСПОРТА ПУЛЬПЫ

(№ 943/02-13 от 26.11.12, 07 с.)

Мельник Владимир Васильевич — доктор технических наук, заведующий кафедрой, msmt-prpt@yandex.ru,

Сергеев Сергей Васильевич — аспирант, rus642006@yandex.ru,

Московский государственный горный университет.

RESEARCH OF A SUBSYSTEM FREE TRANSPORT OF A PULP

Melnik Vladimir Vasilyevich, Sergeyev Sergey Vasilyevich