

УДК 669.168

МАРГАНЦЕВЫЕ РУДЫ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ – КУЗБАССА И МЕТОДЫ ИХ ОБОГАЩЕНИЯ*

Нохрина О.И.¹, д.т.н., профессор кафедры металлургии черных металлов (kafamsf@sibsiu.ru)
Рожихина И.Д.¹, д.т.н., профессор кафедры металлургии черных металлов (rogihina_id@mail.ru)
Едильбаев А.И.², д.т.н., генеральный директор (ayedilbayev@mail.ru)
Едильбаев Б.А.³, директор (ayedilbayev@mail.ru)

¹ Сибирский государственный индустриальный университет
(654007, Россия, Кемеровская обл., Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

² ТОО «Горное бюро»
(050051, Республика Казахстан, Алматы, пр. Достык, 132, оф. 2)

³ ТОО «Электромарганец»
(041701, Республика Казахстан, Алматинская обл., Текели, ул. Сатпаева, 1)

Аннотация. Марганцевые руды подавляющего большинства отечественных месторождений отличаются невысоким качеством и относятся к труднообогатимым: при низком (18 – 24 %) содержании марганца и высоком (отношение P/Mn > 0,006) удельном содержании фосфора они имеют повышенное содержание железа и кремния. Основная (98,5 млн т (64,2 %)) часть балансовых запасов марганцевых руд сосредоточена на крупном Усинском месторождении в Кемеровской области. Кроме Усинского в Кемеровской области разрабатываются Кайгадатское (32,7 млн т), Дурновское (300 тыс. т), Селезеньское месторождения и участок Чумай. Для комплексного подхода к решению рассматриваемой проблемы необходимо технически и экономически обосновать все этапы (разведку месторождений, добычу и обогащение марганцевых руд, последующую их переработку и потребление) вовлечения в производство марганцевых руд месторождений Кемеровской области – Кузбасса. Высококачественные марганцевые концентраты по разработанной технологии кальций-хлоридного обогащения получают из карбонатных, в том числе высокофосфористых руд Усинского месторождения, бедных оксидных и железомарганцевых руд Селезеньского и Дурновского месторождений. Извлечение марганца из марганецсодержащего сырья в концентрат составляет не менее 90 %. Полученный концентрат содержит 58 – 64 % марганца, менее 0,01 % фосфора, 0,02 – 0,05 % оксида железа, 0,5 – 1,0 % кремнезема и следы серы. Термодинамические расчеты и экспериментальные исследования по обогащению полиметаллических марганецсодержащих руд участка Чумай позволили определить основные технологические параметры извлечения ценных компонентов. Применение оптимальных технологических параметров обогащения позволяет извлекать из сырья до 95 – 97 % марганца и 98 – 99 % никеля.

Ключевые слова: марганцевые руды, концентрат химического обогащения, кальций-хлоридный способ обогащения, полиметаллические марганцевые руды, термодинамические расчеты, никелевый концентрат, железный концентрат.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-5-344-350

ВВЕДЕНИЕ

Для металлургических заводов Российской Федерации на сегодняшний день актуален вопрос обеспечения марганцевыми ферросплавами. Это связано с невысоким уровнем развития марганцевой рудной базы и отсутствием предприятий по подготовке марганцевого сырья для производства ферросплавов. Потребность России в марганцевых ферросплавах составляет около 670 тыс. т в год. Следует констатировать, что добыча марганцевых руд на территории страны в промышленно значимых масштабах не ведется, хотя Россия (особенно Кузбасс) обладает достаточными запасами марганцевых руд, которые позволяют при их освоении обеспечить металлургию отечественными ферросплавами.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Субъекта РФ (Кемеровская область – Кузбасс) в рамках научного проекта № 20-48-420001/20.

Для обеспечения ресурсной независимости российской металлургии в обеспечении марганцевыми ферросплавами необходимо проводить работы по созданию отечественной марганцеворудной базы.

На территории России выявлено более 20 марганецсодержащих месторождений, но марганцевые руды многих из них отличаются низким (18 – 24 %) содержанием марганца, высоким (отношение P/Mn > 0,006) удельным содержанием фосфора, а также имеют повышенное содержание оксидов железа и кремния и относятся к труднообогатимым. Основные запасы марганцевых руд, составляющие около 98,5 млн т (64,2 %), сосредоточены на Усинском месторождении в Кемеровской области – Кузбассе. На долю последней приходится более 132 млн т общих разведанных запасов и более 17 млн т прогнозных ресурсов.

Кроме Усинского в Кемеровской области – Кузбассе имеются Кайгадатское (32,7 млн т), Дурновское

(300 тыс. т), Селезеньское месторождения и участок Чумай.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Фазовый и химический составы марганцевых руд, концентратов определяли с применением методов химического, спектрального и рентгенофазового анализов.

Для разработки эффективных схем переработки марганцевых руд необходима принципиально новая стратегия концентрирования полезного компонента, базирующаяся на использовании природного свойства раскрытия марганцевых минералов уже на стадии добычи или крупного дробления, применения новых, более селективных методов обогащения. Эта задача успешно решается методами радиометрической крупнопорционной и покусковой сепараций.

Эти методы обогащения получают значительное развитие. В их основе лежит использование эффектов, которые возникают при взаимодействии излучений с компонентами руды, при этом реализуется природная неравномерность свойств (контрастность, фазовое раскрытие) элементарных объемов горной массы. Для марганцевых руд перспективными являются рентгено-радиометрический, фотометрический и рентгенолюминесцентный методы сепарации [1, 2].

Наиболее селективный метод – рентгенорадиометрический. При его реализации выполняют сортировку от каждого анализируемого куска руды по спектру рентгеновского излучения.

Радиометрическую сепарацию применяют на крупных классах руды: +10 или +20 мм. Наибольшую ценность для металлургии представляют крупнокусковые марганцевые руды, поэтому использование покусковой радиометрической сепарации для марганцевых руд оправдано и обосновано [2].

Определенный интерес обогащения бедного марганецсодержащего сырья представляют биохимические методы извлечения марганца. Сущность таких методов извлечения марганца состоит в том, что бактерии, введенные в марганецсодержащую среду, выделяют органические метаболиты (вещества, возникающие в организме в процессе обмена веществ, например, лимонную, молочную кислоты, аминокислоты), которые, взаимодействуя с марганецсодержащими минералами, переводят марганец в раствор. Затем марганец осаждают из раствора известными методами [3]. В зависимости от типа бактерий фосфор и некоторые другие элементы могут переходить в раствор или оставаться в твердом остатке.

Гидрометаллургические (химические) методы обогащения предусматривают обработку марганцевых концентратов (руд, шламов) щелочными (кислотными, солевыми) растворами с целью удаления фосфора и сохранения (повышения) содержания марганца в твер-

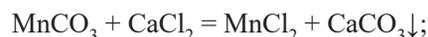
дом остатке. В настоящее время наиболее изучены следующие способы: содовый, гаусманитовый, кальций-хлоридный и дитионатный [4].

Большое число разработанных химических методов дефосфорации руд связано с разнообразием как видов руд, так и форм содержания в них фосфора. Наиболее общим признаком химических методов следует признать состав химического реагента, используемого для выщелачивания марганецсодержащего сырья. В основу классификации может быть положен вид марганецсодержащего минерала, поскольку каждый минерал марганца по-своему взаимодействует с тем или иным химическим реагентом [5 – 14]. Универсальным и перспективным является кальций-хлоридный способ.

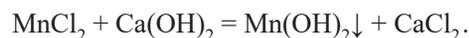
Кальций-хлоридный способ получения высококачественного концентрата предусматривает обработку руды в автоклаве при температуре 200 – 240 °С раствором хлористого кальция. Марганец переходит в раствор в виде хлорида. В концентрат извлекается только марганец, содержащийся в руде в виде карбонатов, поэтому для оксидных и оксидно-карбонатных руд этот способ не пригоден.

Суть этого способа описывается следующими общими реакциями:

– I стадия



– II стадия



На первой стадии тонко размолотая руда обрабатывается при температуре 220 – 240 °С в автоклаве насыщенным раствором хлористого кальция; на второй стадии проводят обработку раствора известковым молоком после фильтрования. Выпавший осадок прокаливают и анализируют.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Место расположения Усинского месторождения – Алтае-Саянская металлогеническая провинция. Общая характеристика руд приведена в табл. 1. По результатам химического и фазового анализов содержание марганца в рудах месторождения составляет 18 – 22 %, преобладающим типом руд является карбонатный. По химическому составу руды Усинского месторождения можно отнести к бедным марганцевым рудам с высоким содержанием фосфора. В Усинской родохрозитовой руде содержание фосфора колеблется в пределах 0,14 – 0,18 % при содержании марганца 25,5 – 26,0 %.

Карбонатные руды Усинского месторождения относятся к Усинской свите раннекембрийского возраста, которая представлена известняками, доломитами, песчаниками, глинистыми и углистыми сланцами. Среди

Запасы и химический состав марганцевых руд Усинского месторождения

Table 1. Reserves and chemical composition of manganese ores from the Usinskoye deposit

Руды, участки	Запасы по категориям A + B + C, млн т		Содержание, %							
	всего	выше уровня реки Усы	Mn	Fe	P	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Окисленные	5,70	1,15	–	–	–	–	–	–	–	–
Правобережный	4,54	3,34	26,9	8,50	0,27	0,05	25,30	3,70	5,0	1,30
Левобережный	1,16	–	15,8	12,40	0,33	–	–	–	–	–
Карбонатные	92,85	34,85	19,3	5,96	0,18	1,09	10,33	1,67	14,9	3,17
Правобережный	47,68	27,74	19,5	5,00	0,17	0,94	14,60	1,55	16,5	3,31
в т.ч. родохрозитовые	22,96	–	24,6	5,25	0,16	0,77	13,01	1,35	12,3	3,41
Левобережный	45,17	6,51	19,2	6,60	0,19	1,11	20,10	1,78	16,2	3,04
в т.ч. родохрозитовые	20,7	–	23,6	6,90	0,19	0,73	14,97	1,51	10,4	2,90

Примечание. По данным института «Уралгипроруд» (г. Екатеринбург) общие запасы руд в контурах открытой и подземной отработки при бортовом содержании марганца 10 % составляют 131 млн т (окисленных 5 млн т и карбонатных 126 млн т).

первичных руд выделяют родохрозитовые, известняково-родохрозитовые, хлорит-родохрозитовые. Среднее содержание в них марганца составляет 19,350 %, фосфора – 0,177 %, серы – 1,090 % [15].

Около 45 % балансовых запасов месторождения составляют запасы родохрозитовых руд, содержащие 20 – 36 % марганца. Суммарные запасы мanganокальцитовых руд составляют 55 % балансовых запасов со средним содержанием марганца 14,5 %. На месторождении разведаны запасы окисленных руд в количестве 5700 тыс. т со средним содержанием марганца в балансовых рудах 26,7 % (максимально до 60,0 %). Это образования коры выветривания, основной минерал в них – псиломелан. Окисленные руды можно обогащать по следующей схеме: дробление, промывка, отсадка, мокрая магнитная сепарация с получением концентрата металлургического сорта (46,3 % Mn, 0,1 % P, 5,4 % Fe).

Селезенское месторождение марганцевых руд находится в 65 км к юго-западу от г. Таштагол Кемеровской области – Кузбасса. В центральной его части выявлены четыре рудных тела, представляющие собой валунчатые железомарганцевые руды.

Среднее содержание по пересечениям колеблется от 5,03 % Mn и 10,06 % Fe до 28,83 % Mn и 21,75 % Fe. По результатам оценки минерального состава преобладают пиролюзит и псиломелан, криптомелан и рамделлит представлены в меньшей степени. Химический состав руд (с содержанием 14,57 % Mn; 13,87 % Fe_{общ}) следующий, %: 1,53 MnO; 21,19 MnO₂; 19,81 Fe₂O_{3,общ}; 0,28 P₂O₅; 48,01 SiO₂; 2,45 Al₂O₃; 0,097 TiO₂; 0,14 MgO; 0,82 CaO; 0,108 Na₂O; 0,524 K₂O; 1,12 H₂O; 0,06 Cu; 0,033 Ni; 0,052 Co; 0,039 Zn. Из анализа результатов химического и спектрального исследований следует, что руды характеризуются повышенным содержанием ко-

бальта и никеля [16]. Марганец находится в пероксидной форме, коэффициент пероксидности составляет 1,45.

В опойскованной части Селезенского месторождения запасы руд при бортовом содержании марганца около 10 % оцениваются в 2,1 млн т рудной массы.

Сажистые марганцевые руды, представляющие обломки железо-марганцевых руд в суглинках и глинах месторождения, содержат в среднем 6,96 – 8,24 % Mn.

Промывкой из сажистых марганцевых руд получают продукты с содержанием в них (среднее по фракциям –50 ÷ +0,16) 16,66 % Mn; 17,74 % Fe; 42,86 % SiO₂; 0,16 % P при выходе 39,2 %. Сажистые марганцевые руды занимают участки Чеболдаг-I и Чеболдаг-II, их запасы в сумме оцениваются примерно 525 тыс. т. Прогнозные ресурсы валунчатых марганцевых руд остальной площади оцениваются в 5,0 млн т.

Дурновское месторождение марганцевых руд расположено в 6 км западнее села Красное Ленинск-Кузнецкого района Кемеровской области – Кузбасса. Химический состав марганцевых руд Дурновского месторождения неоднороден: 19 – 55 % оксид марганца, 7,93 – 32,57 % диоксид кремния, 0,01 до 0,20 % пентаоксид фосфора.

Результаты рентгеноструктурного анализа подтвердили преобладание (около 78 %) псиломелана (MnO·MnO₂·nH₂O), а также присутствие в незначительных (3,9 %) количествах пиролюзита (MnO₂), браунита (3Mn₂O₃·MnSiO₃), кроме этого манганита (MnO₂·Mn(OH)₂).

Рудные тела в зоне окисления представлены псиломеланом и рассматривались в качестве образований коры выветривания. Проведенные работы с рудными телами показали, что оруденение не ограничивается корой выветривания и псиломелановые руды на глубине

сменяются гаусманит-браунитовыми и манганокальцитовыми [17]. Железомарганцевые руды составляют большую часть запасов марганцевых руд Дурновского месторождения.

Сводные данные суммарного ($C_1 + C_2$) подсчета запасов руды и содержания марганца по рудным телам, при бортовом содержании марганца 10 %, представлены в табл. 2. Оценка металлургической ценности этих руд по показателям отношений $\frac{Fe}{Mn}$, $\frac{P}{Mn}$ и $\frac{(Mn)_p}{(SiO_2)_p}$ указывает на то, что оба типа руд не могут быть использованы для получения стандартных ферро- и силико-марганца.

Выявленные проявления качественных марганцевых руд в пределах участка Чумай (Тисульский район Кемеровской области) имеют в своем составе до 54,0 % марганца, 0,2 % фосфора и примеси цветных металлов (до 0,5 % Ni, до 3,0 % Co, до 0,2 % Cu). Они относятся к полиметаллическим марганцевым рудам. Химический состав марганцевых руд приведен ниже:

Элемент	Содержание, % (по массе)
Mn _{общ}	54,6
Fe _{общ}	4,60
P	0,20
SiO ₂	7,52
CaO	0,76
Al ₂ O ₃	1,94
BaO	0,07
Ni	0,50
Co	3,00
Cu	0,20

По результатам рентгенофазового анализа в рудах участка Чумай преобладают марганцевые руды брекчиевой текстуры, состоящей из угловатых обломков и цементирующей массы, которые различаются минеральным составом, структурой или генезисом породы [3].

Исследуемые марганцевые руды представлены различными минералами, среди которых преобладает криптомелан-голландит ($K_2Mn^{2+}Mn^{4+}O_{16}(OH)_4BaMn^{2+}Mn^{4+}O_{16}(OH)_4$), встречаются в незначительных количествах вернадит ($MnO_2 \cdot H_2O$) и пиролюзит (MnO_2). Кроме основных минералов в марганцевых рудах встречается гетит в незначительных количествах, присутствующий в рудах в виде тонкозернистых агрегатов. Наличие перечисленных минералов свидетельствует о том, что исследуемые руды относятся к вторичным окисленным марганцевым рудам.

Для комплексного подхода к решению проблемы извлечения марганца следует технически и экономически обосновать все этапы (разведку месторождений, добычу и обогащение марганцевых руд, последующую их

Запасы Дурновского месторождения

Table 2. Reserves of the Durnovskoye deposit

Рудные тела	Запасы, тыс. т	Содержание марганца в руде, %
Окисленные руды:		
рудное тело 1	68,541	20,99
рудное тело 2	21,554	17,92
рудное тело 3	136,283	14,89
рудное тело 4	3,468	13,07
рудное тело 5	0,937	18,75
рудное тело 6	49,232	20,01
рудное тело 7	17,123	23,42
Итого по окисленным рудам	297,139	17,86
Осадочные руды (Северо-Западная залежь)	9,000	28,33
Итого по месторождению	306,139	18,16

переработку и потребление) вовлечения в производство марганцевых руд месторождений Кемеровской области – Кузбасса.

Применение рентгенорадиометрической сепарации позволило получить из карбонатных руд Усинского месторождения два концентрата: первый – с содержанием марганца 37,6 % при выходе 25,4 % от исходной руды (20,2 % Mn); второй – с содержанием 33,2 % марганца (выход 26,4 %). Содержание фосфора в концентратах составило 0,110 и 0,127 % соответственно.

Концентрат, в составе которого 46,5 % Mn, 1,0 % Fe, 15,8 % SiO₂, 0,07 % P при выходе 9,95 % получен из руд Селезеньского месторождения (14,16 % Mn; 15,23 % Fe) путем обогащения методом рентгенорадиометрической сепарации. При применении этого метода глубокой дефосфорации не достигается, так как большая часть соединений фосфора находится в сростках с минералами марганца.

В результате биохимического обогащения карбонатных руд Усинского месторождения с помощью микроорганизмов при содержании 0,12 % фосфора в исходном продукте получен продукт обогащения с содержанием 0,030 – 0,082 % P. Из манганокальцитовой руды с содержанием марганца 17,55 % был также получен положительный результат.

Высококачественные марганцевые концентраты (КХО) по разработанной технологии кальций-хлоридного обогащения получены из карбонатных, в том числе высокофосфористых руд Усинского месторождения, бедных окисдных и железомарганцевых руд Селезеньского и Дурновского месторождений. Состав полученного концентрата: 58 – 64 % марганца; менее 0,01 % фосфора; 0,02 – 0,05 % оксида железа; 0,5 – 1,0 % ди-

Химический состав концентратов

Table 3. Chemical composition of the concentrates

Концентрат	Содержание, % (по массе)					Извлечение основного элемента, %
	Ni	Mn	Fe	Co	Cu	
Никелевый	45,0	2,30	1,40	0,50	0,10	95
Марганцевый	0,78	57,10	4,30	5,78	0,09	92
Железный	2,60	5,310	58,01	6,90	0,11	93
Кобальтовый	0,08	25,62	14,32	32,27	менее 0,02	60

оксида кремния; следы серы. Процент извлечения марганца из марганцевых руд этих месторождений составляет не менее 90 % [18].

В ходе реализации кальций-хлоридного способа для выщелачивания марганца расходуется доступный, недорогой реагент (известь), хлористый кальций при этом регенерируется. Вредные примеси марганцевой руды, представляющие собой соединения серы, фосфора и диоксида кремния, в насыщенном растворе хлористого кальция не растворяются, следовательно, отсутствует необходимость очистки раствора от вредных примесей. Все вышеперечисленное является достоинством кальций-хлоридного способа.

Экспериментальные исследования, подтверждающие термодинамические расчеты по обогащению полиметаллических марганцевых руд, расположенных на участке Чумай, позволили определить основные технологические параметры извлечения ценных компонентов. При этом в качестве растворителей использовали водные растворы хлоридов железа и кальция или сульфата железа и хлорида кальция.

При применении оптимальных технологических параметров обогащения извлечение из сырья марганца достигает 95 – 97 %, а никеля 98 – 99 %.

При обогащении происходит переход в раствор не только марганца и никеля, но и присутствующих в марганецсодержащем сырье железа и кобальта. Условия селективного осаждения этих элементов были определены экспериментально.

Состав концентратов, полученных из полиметаллического марганецсодержащего сырья, представлен в табл. 3.

Высокому извлечению оксидов марганца и никеля из полиметаллических руд способствует высокая (475 – 500 К) температура процесса, которая позволяет осуществить очистку раствора от избыточного количества хлористого железа. Это объясняется тем, что его избыток при рассматриваемой температуре гидролизуются и выпадает в осадок. Полученный марганцевый концентрат содержит в своем составе 55 – 64 % марганца; $30 - 130 \frac{(Mn)_p}{(SiO_2)_p}$; $0,3 \cdot 10^{-5} - 0,16 \cdot 10^{-3} \frac{(P)_p}{(Mn)_p}$. Таких высоких показателей по качеству марганцевых кон-

центратов при других способах обогащения получить невозможно [19, 20].

Выводы

На основании термодинамических расчетов и экспериментальных исследований разработаны технологии кальций-хлоридного обогащения марганцевых руд, которые обеспечивают повышение сквозного коэффициента извлечения марганца путем создания рациональной комбинации технологических решений при максимально эффективном использовании физико-химических свойств марганецсодержащих руд месторождений Кемеровской области – Кузбасса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Литвинцева Э.Г., Тигунов Л.П., Броницкая Е.С. и др. Разработка эффективных способов обогащения и переработки окисленных и карбонатных руд марганца месторождений России. – В кн.: Состояние марганцево-рудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. С. 138 – 143.
2. Федоров Ю.О. Опыт и практика рентгенорадиометрического обогащения марганцевых руд. – В кн.: Состояние марганцево-рудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. С. 163 – 165.
3. Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Прошунин И.Е. Получение высококачественных концентратов при обогащении марганцевых руд: монография. – Новокузнецк: ИЦ СибГИУ, 2019. – 182 с.
4. Сутырин Ю. Анализ состояния гидрометаллургической переработки марганцевого сырья // Национальная металлургия. 2003. № 2. С. 99 – 104.
5. Vracar R.Z., Cerovic K.P. Manganese leaching in the $FeS_2 - MnO_2 - O_2 - H_2O$ system at high temperature in an autoclave // Hydrometallurgy. 2000. Vol. 55. No. 1. P. 79 – 92.
6. Hatk P.K., Sukla L.B., Das S.C. Aqueous SO_2 leaching studies on Nishikhal manganese ore through factorial experiment // Hydrometallurgy. 2000. Vol. 54. No. 2-3. P. 217 – 228.
7. Trifoni M., Toso L., Vegliu F. Reductive leaching of manganiferous ores by glucose and H_2SO_4 : Effect of alcohols // Hydrometallurgy. 2001. Vol. 59. No. 1. P. 1 – 14.
8. Veglio F., Trifoni M., Abbruzzese C., Toro L. Column leaching of a manganese dioxide ore: A study by using fractional factorial design // Hydrometallurgy. 2001. Vol. 59. No. 1. P. 31 – 44.
9. Peng Ding, Quanjun Liu, Wenhao Pang. A review of manganese ore beneficiation situation and development // Applied Mechanics and Materials. 2013. Vol. 380-384. P. 4431 – 4433.

10. Tingting Kang, Yi Liu, Yongbing Huang, Jing Dong, Qian Huang, Yuying Li. Synthesis and dephosphorization of iron manganese composite oxide by acid Leaching on Iron manganese ore // *Advanced Materials Research*. 2012. Vol. 554-556. P. 489 – 493.
11. Sun Da, Li Mao-lin, Li Can-hua, Cul Rui, Zheng Xia-yu. A green enriching process of Mn from low grade ore of manganese carbonate // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vol. 644-650. P. 5427 – 5430.
12. Zhizheng Yang, Guangqiang Li, Chenghong Huang, Jinfa Ding. Mn ore smelting reduction based on double slag operation in BOF // *Applied Mechanics and Materials*. 2013. Vol. 753. P. 76 – 80.
13. Pan M.C., Liu X.L., Zou R., Huang J., Han J.C. Study of heat treatment technology on medium-carbon-low-alloy-steel large hammer formation of gradient performance // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 881. P. 1288 – 1292.
14. Šalák A., Selecká M. Effect of manganese addition and sintering conditions on mechanical properties of low carbon 3Cr prealloyed steels // *Materials Science Forum*. 2011. No. 672. P. 55 – 58.
15. Борисов С.М., Зябкин А.В., Старкин С.С. Результаты геологоразведочных работ на марганцевые руды в Кемеровской области. – В кн.: Состояние марганцево-рудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. С. 36 – 38.
16. Яшин В.Д., Колпак В.П., Дмитриенко В.И. и др. Селезенская площадь проявлений марганцевых руд и перспективы их использования на ОАО «Запсибметкомбинат». – В кн.: Состояние марганцево-рудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем. – Красноярск: КНИИГиМС, 2001. С. 44, 45.
17. Писарев Л.Н., Цильковский В.Н., Писаревский В.А. Становление Дурновского месторождения // *Природно-ресурсные «Ведомости»*. 2001. № 19. С. 39, 40.
18. Нохрина О.И., Рожихина И.Д. Получение малофосфористого концентрата из руд и железомарганцевых конкреций // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2000. № 8. С. 40 – 45.
19. Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Прошунин И.Е., Ходосов И.Е. Обогащение полиметаллических марганцесодержащих руд и рациональное использование полученных концентратов // *Изв. вуз. Черная металлургия*. 2015. Т. 58. № 5. С. 309 – 315.
20. Пат. № 2583224 РФ. Способ химического обогащения полиметаллических марганцесодержащих руд / О.И. Нохрина, И.Д. Рожихина, П.Д. Кравченко, О.Ю. Кичигина, М.С. Костюк. 2016. Бюл. № 13.

Поступила в редакцию 3 февраля 2019 г.
После доработки 21 февраля 2020 г.
Принята к публикации 25 февраля 2020 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2020. VOL. 63. NO. 5, pp. 344–350.

MANGANESE ORES OF THE KEMEROVO REGION – KUZBASS AND METHODS OF THEIR ENRICHMENT

*O.I. Nokhrina*¹, *I.D. Rozhikhina*¹, *A.I. Edil'baev*²,
*B.A. Edil'baev*³

¹ Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovo Region, Russia

² LLP “Gornoe byuro”, Almaty, Republic of Kazakhstan

³ LLP “Elektromarganets”, Tekeli, Almaty Region, Republic of Kazakhstan

Abstract. Manganese ores of the vast majority of domestic deposits are of low quality: with low content of manganese (18 – 24 %) and high specific content of phosphorus (ratio P/Mn > 0.006). They have an increased content of iron and silicon and they are difficult to enrich. The main part of balance reserves of manganese ores – 98.5 million tons (64.2 %) is concentrated in large Usinskoye field in the Kemerovo region. In addition to Usinskoye, there are also deposits in this region – Kaigadatskoye (32.7 million tons), Durnovskoye (300 thousand tons), Selezenskoye fields and the Chumay plot. For a comprehensive approach to solving the proposed problem it is needed to assess technical and economic feasibility of all stages (exploration, extraction and enrichment of manganese ores, their subsequent processing and consumption) of involvement of manganese ores from these deposits in production. Using developed technology of calcium-chloride enrichment, high-quality manganese concentrates are obtained from carbonate, including high-phosphorous ores of the Usinskoye field, poor oxide and ferromanganese ores of the Selezenskoye and the Durnovskoye fields. Extraction of manganese from manganese-containing raw materials into concentrate was at least 90 %. The resulting concentrate contains 58 – 64 % of manganese, less than 0.01 % of phosphorus, 0.02 – 0.05 % of iron oxide, 0.5 – 1.0 % of silica and sulfur. Thermodynamic calculations and experimental studies on the enrichment of polymetallic manganese-containing ores from the Chumay plot allowed us to determine the main technological parameters for extracting valuable components. The use of optimal technological parameters of enrichment allows extraction of up to 95 – 97 % of manganese and 98 – 99 % of nickel from raw materials.

Keywords: manganese ores, concentrate of chemical enrichment, calcium-chloride enrichment method, polymetallic manganese ores, thermodynamic calculations, nickel concentrate, iron concentrate.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-5-344-350

REFERENCES

1. Litvintseva E.G., Tiginov L.P., Bronitskaya E.S. etc. Development of effective methods for enrichment and processing of oxidized and carbonate ores of manganese deposits in Russia. In: *Sb. nauch. tr.: Sostoyanie margantsevo-rudnoi bazy Rossii i voprosy obespecheniya promyshlennosti margantsem* [Coll. of Sci. Papers: State of the manganese ore base in Russia and issues of the industry provision with manganese]. Krasnoyarsk: KNIIGiMS, 2001, pp. 138–143. (In Russ.).
2. Fedorov Yu.O. Experience and practice of X-ray radiometric concentration of manganese ores. In: *Sb. nauch. tr.: Sostoyanie margantsevo-rudnoi bazy Rossii i voprosy obespecheniya promyshlennosti margantsem* [Coll. of Sci. Papers: State of the manganese ore base in Russia and issues of the industry provision with manganese]. Krasnoyarsk: KNIIGiMS, 2001, pp. 163–165. (In Russ.).
3. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D., Proshunin I.E. *Poluchenie vysokokachestvennykh kontsentratsionov pri obogashchenii margantsevykh rud: monografiya* [Obtaining high-quality concentrates at enrichment of manganese ores: Monograph]. Novokuznetsk: ITs SIBGIU, 2019, 182 p. (In Russ.).
4. Sutyurin Yu. Analysis of hydrometallurgical processing of manganese raw materials. *Natsional'naya metallurgiya*. 2003, no. 2, pp. 99–104. (In Russ.).
5. Vracar R.Z., Cerovic K.P. Manganese leaching in the FeS₂–MnO₂–O₂–H₂O system at high temperature in an autoclave. *Hydrometallurgy*. 2000, vol. 55, no. 1, pp. 79–92.
6. Hatk P.K., Sukla L.B., Das S.C. Aqueous SO₂ leaching studies on Nishikhal manganese ore through factorial experiment. *Hydrometallurgy*. 2000, vol. 54, no. 2-3, pp. 217–228.

7. Trifoni M., Toso L., Veglio F. Reductive leaching of manganiferous ores by glucose and H₂SO₄: Effect of alcohols. *Hydrometallurgy*. 2001, vol. 59, no. 1, pp. 1–14.
 8. Veglio F., Trifoni M., Abbruzzese C., Toro L. Column leaching of a manganese dioxide ore: A study by using fractional factorial design. *Hydrometallurgy*. 2001, vol. 59, no. 1, pp. 31–44.
 9. Peng Ding, Quanjun Liu, Wenhao Pang. A review of manganese ore beneficiation situation and development. *Applied Mechanics and Materials*. 2013, vol. 380-384, pp. 4431–4433.
 10. Tingting Kang, Yi Liu, Yongbing Huang, Jing Dong, Qian Huang, Yuying Li. Synthesis and dephosphorization of iron manganese composite oxide by acid Leaching on Iron manganese ore. *Advanced Materials Research*. 2012, vol. 554-556, pp. 489–493.
 11. Sun Da, Li Mao-lin, Li Can-hua, Cul Rui, Zheng Xia-yu. A green enriching process of Mn from low grade ore of manganese carbonate. *Applied Mechanics and Materials*. 2014, vol. 644-650, pp. 5427–5430.
 12. Zhizheng Yang, Guangqiang Li, Chenghong Huang, Jinfa Ding. Mn Ore Smelting Reduction Based on Double Slag Operation in BOF. *Applied Mechanics and Materials*. 2013, vol. 753, pp. 76–80.
 13. Pan M.C., Liu X.L., Zou R., Huang J., Han J.C. Study of heat treatment technology on medium-carbon-low-alloy-steel large hammer formation of gradient performance. *Advanced Materials Research*. 2014, vol. 881, pp. 1288–1292.
 14. Šalák A., Selecká M. Effect of manganese addition and sintering conditions on mechanical properties of low carbon 3Cr prealloyed steels. *Materials Science Forum*. 2011, no. 672, pp. 55–58.
 15. Borisov S.M., Zybkin A.V., Starkin S.S. Results of exploration for manganese ores in the Kemerovo region. In: *Sb. nauch. tr.: Sostoyanie margantsevo-rudnoi bazy Rossii i voprosy obespecheniya promyshlennosti margantsem*. [Coll. of Sci. Papers: State of the manganese ore base in Russia and issues of the industries provision with manganese]. Krasnoyarsk: KNIIGiMS, 2001, pp. 36–38. (In Russ.).
 16. Yashin V.D., Kolpak V.P., Dmitrienko V.I. etc. Selezenskaya plot of manganese ores deposit and prospects for their use at OJSC “Zapsibmetkombinat”. In: *Sb. nauch. tr.: Sostoyanie margantsevo-rudnoi bazy Rossii i voprosy obespecheniya promyshlennosti margantsem* [Coll. of Sci. Papers: State of the manganese ore base in Russia and issues of the industries provision with manganese]. Krasnoyarsk: KNIIGiMS, 2001, pp. 44, 45. (In Russ.).
 17. Pisarev L.N., Tsil'kovskii V.N., Pisarevskii V.A. Formation of the Durnovskoye deposit. *Prirodno-resursnye "Vedomosti"*. 2001, no. 19, pp. 39, 40. (In Russ.).
 18. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D. Obtaining of low-phosphorous concentrate from ores and ferromanganese nodules. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2000, no. 8, pp. 40–45. (In Russ.).
 19. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D., Proshunin I.E., Khodosov I.E. Polymetallic manganese ore dressing and optimal use of the obtained concentrates. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2015, vol. 58, no. 5, pp. 309–315. (In Russ.).
 20. Nokhrina O.I., Rozhikhina I.D., Kravchenko P.D., Kichigina O.Yu., Kostyuk M.S. *Sposob khimicheskogo obogashcheniya polimetallicheskih marganetssoederzhashchikh rud* [Method of chemical enrichment of polymetallic manganese-containing ores]. Patent RF no. 2583224. *Bulleten' izobretenii*. 2016, no. 13. (In Russ.).
- Funding.** The study was financially supported by the RFBR and the Russian Federation region (Kemerovo Region – Kuzbass) within the framework of the scientific project No. 20-48-420001/20.
- Information about the authors:**
- O.I. Nokhrina**, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair of Ferrous Metallurgy (kafamsf@sibsiu.ru)
I.D. Rozhikhina, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair of Ferrous Metallurgy (rogihina_id@mail.ru)
A.I. Edil'baev, Dr. Sci. (Eng.), General Director (ayedilbayev@mail.ru)
B.A. Edil'baev, Director (ayedilbayev@mail.ru)
- Received February 3, 2020
 Revised February 21, 2020
 Accepted February 25, 2020