

объема, извлеченных в процессе разработки месторождения по формуле:

$$\frac{V}{t} = [V_H + (V_p - V_{\text{плд}}) + V_2],$$

где $\frac{V}{t}$ — эксплуатационная емкость, м³/сут; V_H — извлеченный объем нефти, м³; V_p — извлеченный объем поровых вод, м³; $V_{\text{плд}}$ — закаченный объем воды для поддержания пластового давления, м³; V_2 — извлеченный объем газа, м³.

Возможность организации полигона захоронения в этом случае обосновывается соответствующим качеством цементажа эксплуатационных колонн скважин в пределах месторождения.

Метод гидрогеологических аналогов заключается в экстраполяции данных с участка недр-аналога на оцениваемый участок. Для оценки эксплуатационной емкости пласта-коллектора обязательно должна быть доказана идентичность гидрогеологических и структурно-палеогеографических условий оцениваемого участка с эксплуатируемым или разведанным полигоном. Важно отметить, что обоснование сходства двух объектов производится не по абсолютным значениям расчетных параметров, а по закономерностям их изменения по площади и в разрезе, а также внутренним и внешним границам, обеспечивающих возможность или невозможность схематизации граничных условий пласта-коллектора.

При оценке эксплуатационной емкости количественные критерии вводятся в расчет определением соотношения тех или иных параметров и соответствующей корректировкой величины площадного или линейного модуля эксплуатационной емкости для вновь оцениваемого участка по сравнению с участком-аналогом. В частности, коррективы могут вноситься по соотношению величины km и эксплуатационного повышения давления:

$$M_{\text{э.н.}} = M_{\text{э.а.}} \frac{km_n \cdot \Delta P_p}{km_a \cdot \Delta P_3},$$

где km_n — коэффициент водопроницаемости оцениваемого участка; km_a — коэффициент водопроницаемости аналога.

Рассчитав модуль по этой формуле, нетрудно определить величину эксплуатационной емкости пласта-коллектора:

$$Q_{\text{э.н.}} = M'_{\text{э.н.}} \cdot F \quad \text{или} \quad Q_{\text{э.н.}} = M''_{\text{э.н.}} \cdot L,$$

где $M'_{\text{э.н.}}$ и $M''_{\text{э.н.}}$ — расчетные величины соответственно площадного и линейного модуля эксплуатационной емкости на новом участке; F — площадь полигона; L — длина полигона.

Прогноз эксплуатационного повышения уровня на новом участке может быть выполнен по простой зависимости:

$$\Delta P_p = \Delta P_a \cdot \frac{Q_{\text{э.н.}} \cdot km_a}{Q_{\text{э.а.}} \cdot km_n},$$

где $Q_{\text{э.н.}}$ — дебит эксплуатационный нового месторождения; $Q_{\text{э.а.}}$ — дебит эксплуатационный месторождения аналога.

Предложенная методика оценки эксплуатационной емкости пласта-коллектора позволяет обосновать рациональный метод, исходя из конкретных условий участка недр, оптимизировать виды и объемы поисково-разведочных работ (ППР) и их стадийность и в конечном итоге ранжировать степень достоверности ее оценки.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Аликин Э.А. Основные дефиниции, необходимые для обоснования захоронения вредных жидких отходов // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 2. — С. 55–57.
2. Гидроэкологический контроль на полигонах заправки промышленных сточных вод. Методическое руководство. — М.: Газпром, 2000.
3. Гидроэкологические исследования для обоснования подземного захоронения промышленных стоков / Под ред. В.А. Грабовникова. — М.: Недра, 1993.
4. Методические рекомендации по обоснованию выбора участков недр для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых. — М.: ФГУ (ГКЗ), 2007.

© Аликин Э.А., 2015

Аликин Эдуард Александрович // hydrogeologypsu@gmail.com

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 549.08:550.8

Пирогов Б.И., Быстров И.Г. (ФГУП «ВИМС»)

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТИТАНОМАГНЕТИТА В СВЯЗИ С ОБОГАТИМОСТЬЮ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД МАГМАТИЧЕСКОГО ГЕНЕЗИСА

Рассмотрены минералого-технологические особенности титаномagnetита месторождений различных геологоструктурных позиций и их влияние на обогатимость магматогенных железных руд с позиций учения об онтогенезе и типоморфизме. **Ключевые слова:** технологическая минералогия, железные руды, титаномagnetит, ильменит, типоморфизм, обогащение.

Pirogov B.I., Bystrov I.G. (VIMS)

TYPOMORPHIC FEATURES TITANOMAGNETITE IN CONNECTION WITH THE DRESSABILITY OF IGNEOUS IRON ORES

Considered mineralogical and technological features of titanomagnetite deposits of different geological and structural positions and their influence on dressability magmatic iron ore from the theory of ontogeny and typomorphism. **Key words:** technological mineralogy, iron ore, titanomagnetite, ilmenite, typomorphism, dressing.

На долю титаномagnetитовых руд в структуре общих подтвержденных запасов железа и титана в РФ и в мире (без РФ) приходится: Fe, соответственно — 13,5 % и

6,5 %, TiO_2 — 48 % и 60 % [5]. Содержание и соотношение железа и титана в них значительно варьируют, предопределяя промышленный тип месторождений — от существенно титанового (ильменитового) до существенно железного. При этом титан, как известно, может входить в виде изоморфной примеси в магнетит, образуя титаномagnetит, а также может быть связан с ильменитом или другими титанистыми минералами — титанитом, ульвешпинелью и т.д. как в виде продуктов распада твердого раствора (РТР), так и самостоятельных минералов. В связи с этим валовый элементный состав титаномagnetита без понимания онтогении минерала и поведения титана не дает практической технологической информации. Формы нахождения титана существенно влияют на технологию обогащения и переработку руд в целом (при механическом обогащении и металлургическом переделе), т.к. при содержании в титаномagnetитовых концентратах более 5 % TiO_2 возникают трудности в доменном процессе, связанные с восстановлением титана твердым углеродом с образованием карбонитридов, ухудшающих дренаж и повышающих густоту шлаков и потери железа с ними [10]. В то же время ильменит при обогащении может быть выделен в самостоятельный концентрат.

В связи с существенным влиянием на качество титаносодержащих железных руд наличия в них ильменита, и возможностью выделения его в самостоятельный концентрат, титаномagnetитовые руды классифицируются по соотношению в них ильменитовой и титаномagnetитовой составляющих на: *существенно ильменитовые, ильменит-титаномagnetитовые и существенно титаномagnetитовые* [5]. При этом изучение минерало-технологических особенностей титаномagnetитовых руд [6, 10] наглядно демонстрирует наличие различных взаимоотношений магнетита и ильменита, существенно влияющих на технологическую схему обогащения руд.

Фазовый состав титаномagnetита зависит от онтогенетических и эволюционных особенностей ассоциирующих с ним минералов [4, 6, 13]. Это обуславливает не-

обходимость определения типоморфных особенностей как самого рудного минерала, так и минеральной ассоциации в целом [6, 8, 11].

При этом работ, посвященных изучению состава и строения полиминерального агрегата титаномagnetита, определяющих его поведение в технологических процессах, практически нет. В то же время, как подчеркивали авторы работ [3, 4, 6, 8, 9, 12] без глубокого и всестороннего исследования и учета генетических особенностей минералов и руд в целом невозможно получить объективные представления о их реальных технологических свойствах.

В настоящей работе производится оценка типоморфных особенностей титаномagnetита различных генетических типов руд месторождений в связи с их обогатимостью на примере первоочередных к освоению месторождений — Собственно—Качканарского (низкотитанистый тип), Чинейского (участок Магнитный) (среднетитанистый тип) и Пудожгорского (высокотитанистый тип) (табл. 1).

Типоморфные особенности титаномagnetита руд месторождений

В качестве наиболее значимых типоморфных признаков минералов титаномagnetитовых руд, определяющих их обогатимость, следует выделить морфоструктурные, конституционные и гранулометрические особенности главного рудного минерала, его элементный (в том числе содержание элементов-примесей) и фазовый составы, а также физические и физико-химические свойства минерала-хозяина, продуктов РТР, особенностей их проявления в матрице минерала, взаимоотношения индивидов (зерен) с нерудными минералами.

Каждый из установленных признаков в отдельности имеет ограниченную сферу приложения, однако их совокупность отражает генетические и физико-химические особенности оруденения и имеет также важное прикладное значение при проведении технологических работ [12]. Особенности неоднородности состава, структуры и кристалломорфологии титаномagnetита, обусловленные

Таблица 1
Геологические особенности месторождений титаномagnetитовых руд

Месторождение	Собственно-Качканарское	Чинейское (участок Магнитный)	Пудожгорское
Особенности проявления рудных тел	Приурочено к		
	пироксенитовому пологопадающему (В-СВ — 20–50°) массиву. Размер массива по простиранию — 5,5 км, средняя ширина — 3,3 км. Рудные минералы размещены в виде вкрапленности, реже образуют шлирово-полосчатые скопления. Мощность оруденения более 600 м	габброидному массиву. Рудные минералы связаны с пологопадающими (В — 2–40°), кулисообразно залегающими плитообразными залежами мощностью от 4,6 до 35,6 м при преобладающей мощности от 15 до 20 м	дифференцированному пологопадающему (ЮЗ — 10–15°) пластовому интрузиву кварцевых долеритов мощностью около 120 м. Титаномagnetит, занимая около 20 % мощности интрузива, образует вкрапленные структуры
Возраст интрузива	Нижнепалеозойский	Палеопротерозойский	Палеопротерозойский
Содержание основных компонентов, %	$\text{Fe}_{\text{вал}}$ — 16,55; V_2O_5 — 0,14; TiO_2 — 1,30	$\text{Fe}_{\text{вал}}$ — 33,5; V_2O_5 — 0,55, TiO_2 — 6,50	$\text{Fe}_{\text{вал}}$ — 28,7; V_2O_5 — 0,43, TiO_2 — 8,10
Сопутствующие ценные элементы	Ni, Co, Sc, Au, Pt, Pd	Co, Pt, Pd, Au, Ag	Cu, Pt, Pd, Au
Запасы Fe (A+B+C ₁), тыс. т	3.602.581	464.112	316.689

Таблица 2
Типоморфные особенности титаномагнетита руд месторождений

Признак	Месторождение		
	Собственно-Качканарское	Чинейское	Пудожгорское
Морфоструктурные особенности	титаномагнетит		
	в виде агрегатов ксено- и субидиоморфных кристаллов, выполняет интерстиции между нерудными минералами, образуя сидеронитовые структуры	выполняет интерстиции между нерудными минералами, образуя субидиоморфные кристаллы	образует субидиоморфные и идиоморфные кристаллы
Средний размер выделений, мм (по данным оптико-геометрического анализа)	0,163–0,284	0,325–0,412	0,522–0,531
Средние значения микротвердости, кгс/мм ²	695	588	563
Содержание Fe, % (по данным локального рентгеноспектрального анализа)	64,4–71,9	56,4 - 63,8	49,1–61,7
Содержание Ti, %:			
Изоморфный (по данным ЯГРС)	<1,0	1,0–1,5	<2,0
Продукты РТР	1,0–2,0	5,0–7,0	10,0–12,0
Средние значения $k_{Ti} = (TiO_2/Fe) \cdot 10^2$	7,8	18,6	28,2
Содержание V, %	0,0–1,0	0,5–1,5	0,5–2,0
Средние значения $kV = (V_2O_3/Fe) \cdot 10^2$	1,4	2,6	3,0
Содержание других элементов-примесей, %			
Mg	0,5–2,5	0,1–1,5	0,0–0,5
Mn	0,0–0,3	0,0–0,5	0,0–0,5
Al	0,0–3,7	0,0–2,2	0,0–1,1
Сопутствующие нерудные минералы (в порядке убывания по распространенности)	Клинопироксены (диопсид-геденбергитовый ряд), серпентины (антгорит и лизардит), амфибол (роговая обманка), хлориты (пеннин, клинохлор, прохлорит), оливин (хризолит), плагиоклаз (альбит), гранаты (гроссуляр-андрадитовый ряд)	Плагиоклазы (альбит — анортит), пироксены (орто- и клинопироксены, в том числе амфибол-изированные), хлорит, серпентин, биотит, эпидот	Плагиоклазы (альбит — анортит), амфиболы (актинолит, антофиллит — жедрит, роговые обманки), слюды и гидрослюды, пироксены (диопсид-геденбергит, авгит), цоизит, кварц

различными условиями кристаллизации и эволюции минерала в ряду низко-, средне и высокотитанистых руд, детально исследованы и оценены нами с учетом экспериментальной тройной фазовой диаграммы, отражающей физико-химические условия образования и существования компонентов системы $FeO-Fe_2O_3-TiO_2$ [7]. В табл. 2 отражены полученные в результате исследования типоморфные особенности титаномагнетита в различных минеральных ассоциациях.

Существенное значение также имеют типоморфные особенности сосуществующего с титаномагнетитом ильменита — второго рудного минерала [1]. Выделения

минерала могут иметь разный состав не только в рудах разных, но и в пределах одного месторождения. Согласно работам [1, 3, 8] по крупности выделений ильменит может быть представлен ламелями, пластинами и блоками.

Увеличение размера ильменита приводит к понижению в нем содержания Ti и повышению содержания Fe (относительно теоретического состава минерала). Как показано в работах [1, 3, 6, 8] ильменит может образовывать все упомянутые морфологические формы в месторождении независимо от валового содержания Ti в руде. Важно отметить, что в рудах с низким содержанием ильменита (1–3 %) минерал нередко образует крупные (до 5 мм) блоки, а в более богатых ильменитом рудах, как показывают исследования, он может быть равномерно распределен в магнетитовой матрице.

Особенности изменения химического состава ильменита в основных формах его выделений в ряду рассматриваемых месторождений отображены на рис. 1.

Термодинамические параметры, влияющие на элементный состав ильменита руд месторождений, выражаются в изменении состава минерала в зависимости от проявления избирательного изоморфизма Fe частично на Mg и Mn. Наиболее четко это прослеживается в выделениях типа ламелей. Состав более крупных выделений

титаномагнетита нередко изменен наложенными процессами автотасоматоза. Так, для ламелей ильменита, приуроченных к Собственно-Качканарскому месторождению, характерно наименьшее (в среднем 31 %) содержание Fe, что обусловлено вхождением в состав минерала Mn (до 4,5 %) и Mg (до 1,0 %). Ламели ильменита руд Пудожгорского месторождения, напротив, по элементному составу наиболее богаты Fe и Ti и практически не содержат примесных элементов (обычно содержание $Mg+Mn$ не превышает 1,5 %) (табл. 3). Ламели ильменита Чинейского месторождения занимают промежуточное положение по содержанию как Fe и Ti,

Таблица 3
Элементный состав морфологических типов ильменита месторождений

Место-рождение	Форма выделения	Содержание элемента, масс. %						
		Mg	Al	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe
Собственно-Качканарское	Ламели	1.2	0.0	0.0	31.2	0.0	2.6	31.2
	Пластины	0.7	0.0	0.0	31.1	0.7	3.6	33.5
	Блоки	0.2	0.0	0.0	30.7	0.0	4.5	35.8
Чинейское	Ламели	0.2	0.0	0.0	32.2	0.0	0.2	31.7
	Пластины	0.8	0.0	0.0	30.3	0.0	0.5	34.5
	Блоки	1.5	0.0	0.0	28.5	0.0	1.0	36.6
Пудожгорское	Ламели	0.0	0.1	0.0	33.2	0.0	0.9	31.6
	Пластины	0.0	0.0	0.0	30.3	0.0	1.1	36.6
	Блоки	0.1	0.1	0.0	26.7	0.0	1.0	40.4
Теоретический состав		0.0	0.0	0.0	31.6	0.0	0.0	36.8

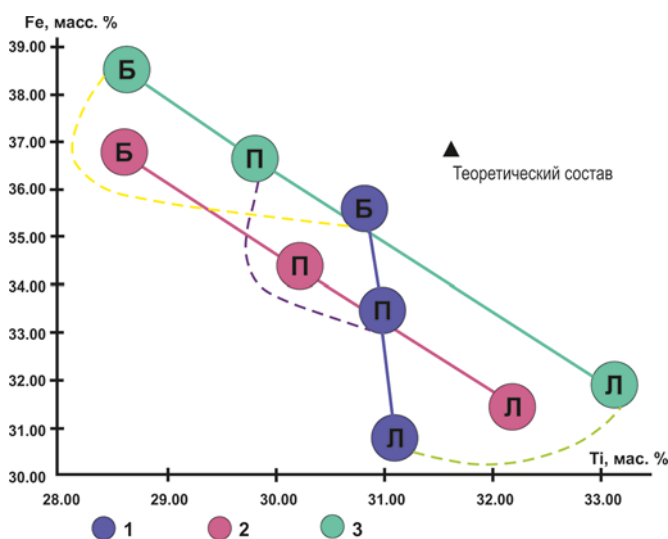


Рис. 1. Влияние морфологии выделений ильменита на их элементный состав (по данным рентгеноспектрального микроанализа): месторождения: 1 — Собственно-Качканарское; 2 — Чинейское; 3 — Пудожгорское. Морфологические типы: Л — ламели; П — пластины; Б — блоки

так и элементов-примесей. Как отмечалось ранее, укрупнение морфологических разностей ильменита приводит к увеличению в них содержания Fe. Это объясняется развитием в блоковых, реже пластинчатых формах процесса лейкоксенизации, с образованием псевдобрукита (Fe_2TiO_3). Типоморфные признаки ильменита с учетом его лейкоксенизации и титанитизации

Таблица 4
Содержание основных компонентов для выделенных на рис. 2 площадей. Рентгеноспектральный микроанализ

Вид анализа	Fe, масс. %	TiO ₂ , масс. %	V ₂ O ₅ , масс. %
Точка	62,24	8,52	1,71
S ₄ (50μm)	60,20	15,81	1,67
S ₃ (100μm)	58,44	20,07	1,53
S ₂ (200μm)	58,42	20,12	1,50
S ₁ (300μm)	57,86	20,94	1,12

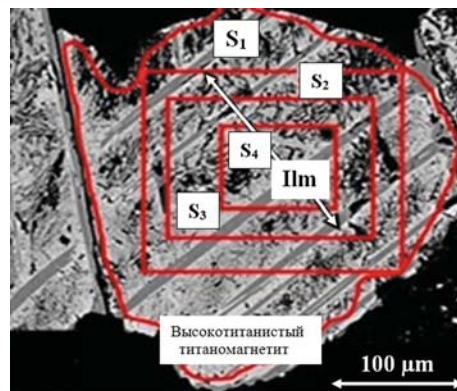


Рис. 2. Морфоструктурные особенности зерна титаномагнетита подрудного горизонта Пудожгорского месторождения, отражающие принцип подхода к технологической оценке их качества (по данным рентгеноспектрального микроанализа)

Таблица 5
Взаимосвязь содержания ценных компонентов в титаномагнетите по данным рентгеноспектрального микроанализа и в полученном концентрате (по данным сотрудников технологического отдела ФГУП «ВИМС»)

Место-рождение	Компонент	Содержание компонента, масс. %		
		среднее по точкам	среднее по площади минерала	концентрат
Собственно-Качканарское	Fe	69.90	66.00	64.30
	TiO ₂	2.52	3.01	2.40
	V ₂ O ₅	0.62	0.60	0.55
Чинейское	Fe	68.52	65.20	62.0
	TiO ₂	3.12	7.70	10.0
	V ₂ O ₅	1.16	0.80	1.14
Пудожгорское	Fe	67.16	64.20	59.00
	TiO ₂	4.24	10.76	14.10
	V ₂ O ₅	1.59	1.34	1.28

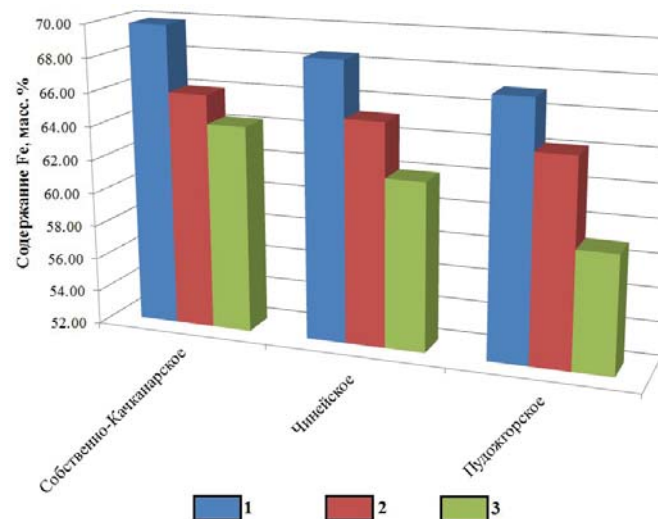


Рис. 3. Взаимосвязь содержания Fe (масс. %) в титаномагнетите (по данным рентгеноспектрального микроанализа) и в полученном концентрате (по данным сотрудников технологического отдела ФГУП «ВИМС»): 1 — среднее содержание Fe (точечный анализ); 2 — среднее содержание Fe (растровый анализ); 3 — содержание Fe в полученном концентрате

существенно влияют на физические свойства минерала и минералого-технологические особенности ильменита и руд в целом [2].

Технологическая оценка магматогенных V-Ti-содержащих железных руд

Следует особо подчеркнуть, что сложный химический и фазовый составы, а также особенности онтогении титаномагнетита оказывают существенное влияние на магнитные свойства минерала — одного из определяющих параметров при обогащении железных руд, вынуждают исследователей искать способы количественной оценки неоднородности.

В связи с этим при изучении титаномагнетита чрезвычайно важна возможность проведения не только точечного, но и корректного растрового микрозондового анализа [5]. Анализ расфокусированным пучком позволяет определить средний состав раскристаллизованного расплава. Принцип такого подхода для технологической оценки качества титаномагнетита по данным рентгеноспектрального микроанализа приведен на рис. 2 и в табл. 4.

Проведенные сотрудниками технологического отдела ФГУП «ВИМС» экспериментальные исследования по изучению технологических свойств руд, рассмотренных месторождений, позволили количественно оценить взаимосвязь типоморфных признаков полиминерального агрегата титаномагнетита с содержанием Fe в полученном концентрате (рис. 3, табл. 5).

Как показывают данные таблицы, сложные взаимоотношения минеральных фаз, слагающих титаномагнетит, существенно влияют на конечный продукт обогащения (рис. 3). При этом важно отметить близость

Таблица 6
Измерение содержания компонентов (масс. %) в точках, отмеченных на рис. 4. Рентгеноспектральный микроанализ

Рис. А	№ ан.	CaO	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Титаномагнетит	
	4	0.00	0.00	6.39	1.79	0.00	0.00	91.81	0.00		
	2	0.00	0.00	10.10	1.33	0.00	0.00	88.57	0.00		
	1	0.00	0.00	48.51	0.56	0.00	1.56	49.37	0.00	Ильменит	
	3	0.00	0.00	49.08	0.00	0.00	1.30	49.61	0.00		
	5	ZrO ₂	SiO ₂	HfO ₂	UO ₂	ThO ₂	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Циркон		
66.20		32.80	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00				
Рис. Б	№ ан.	CaO	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	Fe ₂ O ₃	NiO	Титаномагнетит	
	1	0.00	0.00	9.06	1.70	0.00	0.00	89.24	0.00		
	2	0.00	0.00	49.27	0.11	0.00	1.31	49.31	0.00		
	7	0.00	0.00	48.28	0.00	0.00	1.34	50.38	0.00		
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	Амфибол
	3	0.00	13.60	15.00	37.56	0.93	0.00	0.00	0.00	32.91	
	4	5.73	0.00	26.97	59.23	0.00	8.07	0.00	0.00	0.00	Плаггиоклаз
	5	9.68	0.00	21.34	67.24	0.00	1.74	0.00	0.00	0.00	
6	0.00	6.79	13.81	38.32	7.99	0.00	1.96	0.44	30.70	Слюда	

значений, полученных растровой съемкой анатомических срезов минерала и содержание компонентов в концентрате. Различия во многом связаны с отделением крупных (от 100 мкм) выделений ильменита в процессе обогащения. Как показывает электронно-микроскопическое изучение продуктов измельчения (рис. 4, табл. 6) тонкие (менее 50 мкм) титаномагнетит-ильменитовые сростки не удается разделить ни шаровым измельчением, ни конусным дроблением.

Выводы

Оценивая типоморфные признаки титаномагнетита и их влияние на проведение технологических работ, стоит подчеркнуть следующее. Магнетиты магматических месторождений всегда микронеоднородны и представляют гетерогенные многофазные образования (микроагрегаты). Широкое развитие процессов распада твердого раствора в титаномагнетите руд обуславливает необходимость изучения не только типоморфных признаков главного рудного

минерала, но и сопутствующих ему минералов и в первую очередь ильменита. Различия в содержании и составе элементов-примесей в титаномагнетите и ильмените определяют их физические (плотность, микротвердость, удельную намагниченность и др.) и, соответственно, технологические свойства.

При этом, как показывают данные технологического опробования, анализ расфокусированным электронным пучком методом рентгеноспектрального микроанализа по анатомиче-

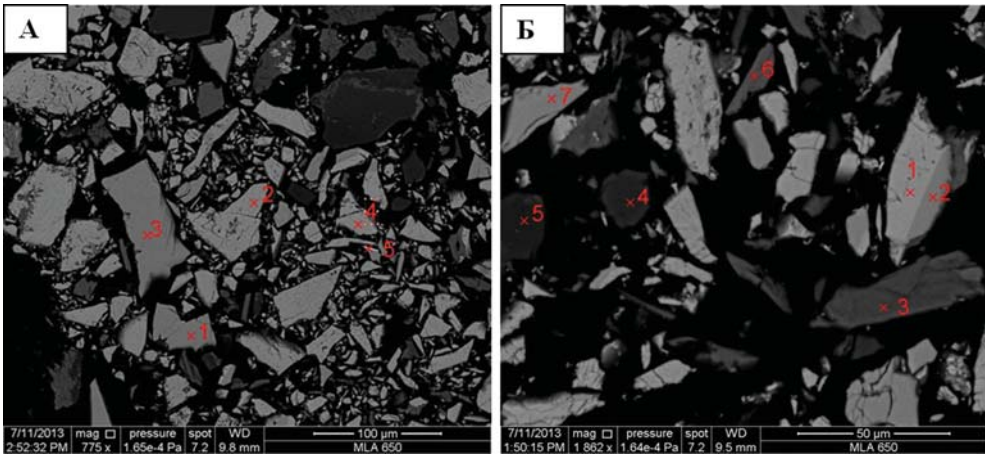


Рис. 4. Фракция -0,044+0 мм: А — конусное инерционное дробление (КИД), Б — шаровое измельчение (РЭМ MLA-650 (США), аналитик — Макавецкас А. (НИТУ «МИСиС»))

ским срезам размером близким к размеру измельчения позволяет определять реальный состав титаномагнетита в различном гранулометрическом спектре в связи с оценкой обогатимости руд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаранин В.К., Кудрявцева Г.П., Сошкина Л.Т. Ильменит из кимберлитов. — М.: МГУ, 1984. — 240 с.
2. Игнатьев В.Д. Кристаллохимические факторы устойчивости оксидов и силикатов к выветриванию. — Екатеринбург: УрО РАН, 2005.
3. Крейг Дж., Воган Д. Рудная микроскопия и рудная петрография: Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — 423 с.
4. Павлишин В.И., Юшкин Н.П., Попов В.А. Онтогенетический метод в минералогии. — Киев: Наукова думка, 1988. — 120 с.
5. Пахомов Ф.П., Тигунов Л.П., Быховский Л.З. Титаномагнетитовые месторождения России: минерально-сырьевая база, перспективы освоения и комплексного использования. — М.:ВИМС, 2010. — 138 с.
6. Пирогов Б.И., Броницкая Е.С., Астахова Ю.М., Волков Е.С. Особенности вещественного состава титаномагнетитовых руд магматического генезиса, определяющие их обогатимость // Разведка и охрана недр. — 2013. — № 2. — С. 47–51.
7. Пирогов Б.И., Быстров И.Г. Минералого-технологические особенности неоднородности титаномагнетитов РФ и методы их оценки / Рациональное недропользование: Сб. науч. трудов IX Российского семинара по технологической минералогии... / Под ред. С.Е. Гавришева. — Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2014. — С. 180–187.
8. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания / Под ред. А.Г. Бетехтина: Пер. с англ. — М. Изд-во Иностран. литературы, 1962. — 1132 с.
9. Ревнивцев В.И. Роль технологической минералогии в обогащении полезных ископаемых // ЗВМО. — 1982. — Ч. 111. — Вып. 4. — С. 443–449.
10. Резниченко В.А., Шабалин Л.И. Титаномагнетиты, месторождения, металлургия, химическая технология. — М., 1986. — 293 с.
11. Ферсман А.Е. Геохимические и минералогические методы поисков полезных ископаемых. — М.-Л., 1940.
12. Чернышева Л.В., Фоминых В.Г. Гетерогенность магнетитов титаномагнетитовых месторождений габбро-пироксенит-дунитовой формации Урала // Сб. Гетерогенность состава и строения минералов Урала. — Свердловск: УНЦ АН СССР, 1979. — С. 113–126.
13. Akimoto S. Magnetic properties of $\text{FeO-Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ system as a basis of rock magnetism // Journal of Physical Society of Japan, 1962. Vol. 17. P. 706–710.

© Пирогов Б.И., Быстров И.Г., 2015

Пирогов Борис Иванович // pirogov_bi@inbox.ru
Быстров Иван Георгиевич // bysivg@gmail.com

УДК 550.81

Моргачёв Д.А. (ЗАО «ИТЦ «ДЖЭТ»)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ БУРОВОЙ УСТАНОВКИ С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

*Приведены результаты исследования расхода топлива дизельной электростанции, питающей буровую установку в процессе сооружения геологоразведочной скважины. На основании выполненных исследований показано, что применение частотно-регулируемого асинхронного электродвигателя позволяет выбрать дизель-генератор меньшей мощности. Более полное использование дизеля по мощности при работе частотно-регулируемого асинхронного электродвигателя дает возможность снизить затраты на энергообеспечение при проведении геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые. **Ключевые слова:** дизельная электростанция, топливо, буровая установка, нерегулируемый асинхронный двигатель, частотно-регулируемый асинхронный двигатель, пусковой ток, пусковая мощность, отклонение напряжения.*

Morgachev D.A. (JSC «General Energy Technologies»)

JUSTIFICATION OF THE CHOICE DIESEL GENERATOR FOR DRILLING RIG WITH VARIABLE FREQUENCY DRIVES

*The results of research in fuel consumption of diesel power station supplying the rig during the construction of exploratory wells. On the basis of the research shows that the use of variable frequency induction motor allows you to choose a diesel generator less power. Full use of diesel power when operating frequency-controlled induction motor can reduce energy costs during geological mining prospecting. **Key words:** diesel generating set, fuel, drilling rig, cage induction motor, VFD-fed cage induction motor, inrush current, inrush power, voltage deviation.*

В статье представлены результаты исследования работы дизельной электростанции (ДЭС) АД-100-Т/400 и потребителей электроэнергии буровой установки (БУ) УКБ-5 в условиях проведения геологоразведочных работ (ГРП) на твердые полезные ископаемые. Как правило, номинальная мощность ДЭС в 1,5–2 раза превышает расчетную активную мощность БУ. Причиной этого является требование по обеспечению полуторакратного запаса по пусковой мощности короткозамкнутого асинхронного двигателя (КЗАД) вращателя БУ [4]. Это обстоятельство приводит к неполному использованию ДЭС по мощности. В то же время при работе частотно-регулируемого электропривода (ЧРЭП) в составе БУ требование по обеспечению полуторакратного запаса по пусковой мощности снимается.

Работа ДЭС совместно с КЗАД в составе БУ изучена достаточно полно [1, 5, 6]. Также известны работы по исследованию ЧРЭП в составе БУ [7]. Однако вопросы выбора и работа ДЭС для БУ, укомплектованной ЧРЭП, не рассматривались. Поэтому целью данного исследования является анализ работы ДЭС и БУ, укомплектованной ЧРЭП и обоснование его применения для сокращения расхода топлива.

Электротехнический комплекс буровой установки УКБ-5 включает в себя привод станка мощностью 30 кВт, привод насоса мощностью 22 кВт, привод гидросистемы мощностью 3 кВт, привод трубоизвлечения мощностью 3 кВт, освещение с потреблением до 2,5 кВт и аппаратуру контроля и управления с потреблением до 3 кВт. Буровая установка укомплектована индивидуальной дизельной электростанцией ДЭС-100-Т/400 мощностью 100 кВт.

Исследование проводилось методом структурного моделирования для двух систем электропривода (ЭП): нерегулируемый асинхронный двигатель (АД) и частотно-регулируемый АД с косвенным управлением по вектору потокосцепления ротора [6].

Модель разработана на основе схем замещения (рисунок) в программной среде MatlabSimulink с использованием библиотеки SimPowerSystems [6]. Она учитывает основные свойства системы электроснабжения ГРП и позволяет исследовать качество электроэнергии в системе электроснабжения ГРП при различных режимах работы ЭП. С помощью модели были выполнены расчеты показателей качества электроэнергии во время пуска, установившегося режима и при различных аварийных ситуациях. Результаты