нужный момент доходов от добычи полезных ископаемых, либо лишаются их вовсе. Решить эту проблему возможно путем привлечения иностранных инвесторов.

Однако возникает вопрос, что важнее для государства: стопроцентное владение в будущем неразрабатываемыми и неоткрытыми месторождениями редких металлов или меньшая доля собственности в функционирующих рудниках, которые сегодня приносят доходы в бюджет. Кроме того, геологическое изучение недр способствует появлению новых рабочих мест и активизации хозяйственной жизни в отдаленных районах России, тем самым улучшая социальную составляющую уровня жизни. В свою очередь государство также получает непосредственную выгоду в форме арендных сборов и платежей.

Россия располагает всеми предпосылками для расширения инвестиций в геологоразведку путем реформирования нормативно-правовой базы, развития рынков капитала и привлечения иностранных инвестиций. Причем это не потребует значительного пересмотра правил инвестирования или прав государства на полезные ископаемые. Одним из основных шагов к этому является принятие международной системы классификации минеральных природных ресурсов и запасов.

Таким образом, в целях ускорения научно-технического прогресса возникает необходимость разработки собственных месторождений редких металлов, что подразумевает собой привлечение значительных капиталовложений иностранных инвесторов, что невозможно без перехода классификации запасов ТПИ на международный стандарт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дворник, Г.П. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых и техногенного сырья: Учеб. пособие / Г.П. Дворник, А.Н. Угрюмов. — Екатеринбург: Изд-во Уральской государственной горно-геологической академии, 2004. — 220 с.

2. *Ковалева, А.И.* Полезные ископаемые. Оценка / А.И. Ковалева, В.Л. Уланов / Что есть что в мировой экономике. — М.: Издательский дом НИУ ВШЭ, 2012. — С. 133–136.

3. *Методические* рекомендации по применению Классификации запасов Месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. — М., 2007. Утвержденные распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р.

4. *Подтуркин, Ю.А.* О проблеме российских горных компаний при публичном размещении акций и их котировке на зарубежных биржах / Ю.А. Подтуркин, В.А. Коткин, Г.Н. Малухин // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2009. — № 2. — С. 45.

5. Соболев, А.О. Геологический аудит по международным стандартам и проблемы горно-геологической отрасли в России / А.О. Соболев // Золотодобыча. — 2013. — № 178 (9). http://zolotodb.ru/articles/geology/placer/10971.

6. Руководство по гармонизации стандартов отчетности России и CRIRSCO. http://www.gkz-rf.ru/.

7. Чернявский, А.Г. Независимая и профессиональная экспертиза материалов геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых, как непременный атрибут горно-геологического комплекса государства с рыночной экономикой / А.Г. Чернявский // Недропользование XXI век. — 2010. — № 6. — С. 68–71;

8. Эпштейн, И.В. Повышение эффективности использования недр через сближение стандартов отчетности о запасах ГКЗ и НАЭН и реформирование закона «Онедрах» / И.В. Эпштейн // Индонезийско-Российский бизнес Форум, 2015. http://www.mining-media.ru/ru/ article/ekonomic/5542-povyshenie-effektivnosti- ispolzovaniya-nedrcherez-sblizhenie-standartov-otchetnosti-o-zapasakh-gkz-i-naen-ieformirovanie-zakona-o-nedrakh].

© Максимова А.М., 2016

Максимова Арина Михайловна // arianna.maximova@gmail.com

Пирогов Б.И., Астахова Ю.М., Быстров И.Г., Броницкая Е.С., Иванова М.В. (ФГБУ «ВИМС»)

МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОСО-БЕННОСТЕЙ СОСТАВА И СТРОЕНИЯ МАГНЕТИТ-МУШ-КЕТОВИТ-ГЕМАТИТОВЫХ КВАРЦИТОВ ТОНОДСКОЙ ПЛОЩАДИ В СВЯЗИ С РАЗРАБОТКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИХ ОБОГАЩЕНИЯ

Дана оценка вещественного состава мелко- и тонкозернистых магнетит-мушкетовит-гематитовых кварцитов Тонодской площади в связи с разработкой гравитационно-магнитной схемы их обогащения. Особое внимание акцентировано на неоднородности морфоструктурных характеристик выделений рудных и нерудных минералов, определяющих формирование в природно-техногенном спектре измельченной руды различных по составу и морфологии открытых частиц и сростков во взаимосвязи с их поведением при разных видах сепарации. Ключевые слова: Тонодская площадь, железистые кварциты, гематит, магнетит, мушкетовит, неоднородность минералов, псевдоморфозы, раскрытие, обогащение.

Pirogov B.I., Astakhova Yu.M., Bystrov I.G., Bronitskaya E.S., Ivanova M.V. (VIMS)

MINERALOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASSESSMENT OF COMPOSITION AND STRUCTURE FEATURES FOR TONODSKAYA AREA MAGNETITE-HEMATITE-MUSCHKETOWITE QUARTZITES RELATED TO THEIR PROCESSING

The mineral composition of fine-grained magnetite-muschketowite-hematite quartzite Tonodskaya area are discussed for the development of the gravity-magnetic processing scheme. Main attention is focused on the heterogeneity of metallic and nonmetallic minerals morphostructural characteristics correlating with their behavior in different separation types. The latter define the formation in natural and industrial crushed ore spectrum of particles and open splices being different in composition and morphology. **Keywords:** Tonodskaya area, ferriginous quartzites, magnetite, hematite, muschketowite, heterogeneity of minerals, pseudomorphoses, disclosure of minerals, processing.

Рудопроявление железистых кварцитов рифея и конгломератов с повышенным содержанием оксидов железа в цементе приурочено к медвежевской свите Тонодской площади Витимского железорудного района, занимая определенное стратиграфическое положение при значительном разнообразии вмещающих пород [4]. По геологическим данным минеральный состав руд контролируется уровнем регионального метаморфизма: при переходе от серицит-хлоритовой фации зеленых сланцев к биотитовой субфации руды по составу изменяются от гематитовых до магнетит-гематитовых и гематит-магнетитовых. Они приурочены к двум участкам по простиранию рудного горизонта — Язовскому (север) и Чистому (юг).

В ВИМСе для исследования были представлены три лабораторные пробы Тх-1, Тх-2 (Язовский участок) и Тх-4 (Чистый участок), сформированные из кернового и кускового (обломочного) материала. Изучение вещественного состава и строения руд проводилось в соответствии с Методическими рекомендациями НСОММИ № 181 [2] с учетом комплекса современных минералого-аналитических методов исследования, применяемых в практике для изучения обогатимости железных руд. В основу оценки руд положены генетические принципы и методология технологической минералогии, определяющие разработку высокоэффективных технологических схем [5, 6].

Химический состав и текстурно-структурные особенности руд

Сопоставление данных химического анализа руд Тонодской площади позволяет четко отделить как наиболее богатые по Fe руды нижней части рудного горизонта (проба Tx-1) от более бедных верхней части горизонта (проба Tx-2) по Язовскому участку и руды со средним содержанием Fe (проба Тх-4) участка Чистый. Соответственно в ряду проб идет изменение Fe $_{ofm}$ (22,3 \rightarrow 14,4 \rightarrow 19,1 %) и Fe_{магн} (8,0 \rightarrow 3,3 \rightarrow 5,5 %). Среди нерудных компонентов преобладают соответственно в ряду SiO₂ $(51,4 \rightarrow 58,0 \rightarrow 55,3 \%)$ и Al₂O₃ $(7,57 \rightarrow 10,7 \rightarrow 8,34 \%)$, определяя в целом состав нерудных минералов. Прослеживается четкая обратная взаимосвязь Fe/SiO₂ (в ряду проб: $0,434 \rightarrow 0,248 \rightarrow 0,345$), которая наряду с Fe_{общ} и Fe_{магн} играет важную роль в оценке технологических особенностей руд. В связи с несколько повышенным содержанием фосфора в рудах (Р₂O₅ изменяется в ряду проб: $0,42 \rightarrow 0,51 \rightarrow 0,27$ %) и необходимостью проследить его изменчивость при обогащении нами предложен коэффициент фосфористости — $K_{\phi} = (P_2 O_5 / P_2 O_$ **Fe)***10³= $n*10^{-3}$. Он напрямую связан с SiO₂ и имеет обратную связь с Fe_{общ.} При анализе более удобно использовать его целочислен-

ные значения.

Руды, как правило, представлены неравномерно, тонко и неясно полосчатыми, плойчатыми, участками конгломератовидными типами текстур с проявлением неравномерных вкраплений агрегатов нерудных минералов разной гранулометрии (в виде пятен, шлиров, выделений очкового типа и др.). Значимые изменения текстуры руд претерпевают в связи с проявлением микротектоники как пликативной, так и дизъюнктивной (катаклаз, микротрещиноватость, кавернозность, пористость) вплоть до образования рудных участков выщелоченного, порошкового сложения и проявления жил. Поэтому в рудах на макроуровне заметно прослеживается существенная неоднородность по физико-механическим характеристикам, связанная, прежде всего, с неоднородностью их текстурно-структурных особенностей, что необходимо учитывать как при рудоподготовке перед обогащением, так и при сепарации различными методами дробленого материала. Структурные характеристики руд на микроуровне также изменчивы весьма широко (рис. 1). Это нашло отражение в:

разнообразии морфоструктурных особенностей индивидов и агрегатов минералов по степени их идиоморфизма и ксеноморфизма, в том числе при образовании различных типов псевдоморфоз замещения в связи с изменчивостью состава первичных и вторичных (вновь образованных) минералов на фоне микротектонических преобразований кварцитов и, в том числе при изменении симметрии среды минералообразования;

изменчивости размеров индивидов и агрегатов как рудных минералов — магнетита-мушкетовита и гематита, так и ассоциирующих с ними нерудных — кварца, плагиоклаза, слюд, амфиболов, хлоритов и др.;

особенностях типов срастаний минералов (субидиоморфных, мирмекитовых, сложных и др.). Это четко отражено на рис. 1 в диапазоне изменчивости размеров, морфологии, состава и взаимоотношений контактирующих минералов с учетом многоэтапности процессов минералообразования. При детальном изучении руд участков Язовский и Чистый было установлено, что они существенно различаются по характеру проявления различных типов срастаний рудных и нерудных минералов разного состава. Так, на участке Чистый размер индивидов вторичного магнетита (мушкетови-



Рис. 1. Характерные морфоструктурные взаимоотношения рудных и нерудных минералов руд (Язовский участок, проба Тх-1): А, Б — свет проходящий, николи + (рудные — черное, нерудные — цветное изображение различных оттенков); В, Г — свет отраженный (гематит — белое, магнетитмушкетовит — кремовое, нерудные — темно-серое, участки выкрашивания минералов — черное)

Таблица 1

Сравнительная характеристика основных минеральных ассоциаций руд Тонодской площади по участкам — Язовский (Tx-1 и Tx-2) и Чистый (Tx-4)

		Участок Язо	вский (севе			Участок Чистый (юг)						
	Tx-2		Tx-1				Tx-4					
верхн	яя часть рудного	горизонта		руд	ный гориз	ЮНТ	рудный горизонт					
Содержание Fe _{общ} %, по пробам												
	14,4		22,3				19,1					
	Содержание рудных минералов, %											
	17,6		25,7				18,7					
	Магнетит- мушкетовит	Гематит	Магнет мушкето	ИТ- ЭВИТ		Гематит	Магнетит- мушкетовит	Гематит				
Абс. %	3,3	14,3 (в т.ч., мартит)	8		17,7		5,5		13,2			
B 100 % 18,8 81,2			31,1			68,9	29,4		70,6			
	Отн	осительное соде	ржание маг	нетит	/гематит	а с учетом агрег	атов мушкето	овита				
			0,452		0,417							
			Содержа	ание н	ерудных к	иинералов, %						
	82,4		69,8				81,0					
	Силикаты			Силикаты				Силикаты				
Кварц	Плагиоклаз	Слюды, хлорит, гранат силли- манит	Кварц Плаги		гиоклаз	Слюды, хлорит, гранат силлиманит	Кварц	Плагиоклаз	Слюды, хло- рит, гранат силлиманит			
46,8	32,4		42.2			27,6	42.7	34,5				
	9,6 20,4		42,2		9,0	22,8	40,7	9,0	25,5			

та) на 1–2 порядка меньше, чем на Язовском, что обусловлено их проявлением в скелетно-дендритных и мирмекитовых типах структур среди рудных срастаний при сложных взаимоотношениях с нерудными минералами. Формирование таких срастаний связано с региональными и локальными изменениями Eh-pH среды минералообразования при метаморфизме и метасоматозе. В восстановительных условиях среды возникают *сложные рудные псевдоморфозы замещения* первичного гематита вторичным магнетитом за счет процесса *мушкетовитизации* (по форме вновь образованные выделения относятся к гематиту, а по составу — к магнетиту). При этом возникают два типа сложных срастаний гематит-вторичный магнетит, в том числе на микро- и наноуровнях (рис. 1 В, Г) за счет:

1) неравномерного замещения (частичного или полного восстановления индивидов и агрегатов гематита до магнетита пластинчатого, шестоватого, скелетнодендритного, мирмекитового облика в ассоциации с анкеритом (рис. 1 В) [7];

2) образования более крупных зерен собственно вторичного магнетита скелетно-дендритного облика среди гематитовой массы в мушкетовите с переходом при перекристаллизации в порфиробласты различной степени идиоморфизма и крупности (рис. 1 Г) [8, 10].

В то же время при окислении вторичного магнетита локально по трещинам отдельности образуется вторичный гематит (*мартит*), нередко с тонкими и мелкими включениями нерудных минералов. Это — новая псевдоморфоза (по форме выделений — магнетит, а по составу — гематит). Оба процесса замещения связаны с объемными и симметрийными преобразованиями как

кристаллической структуры, так и морфологии кристаллов, зерен, частиц минералов. Довольно часто при образовании этих псевдоморфоз формируется также неустойчивая фаза *маггемита*. В целом процессы псевдоморфизации минералов пары гематит-магнетит в рудах приводят в конечном итоге к образованию неоднородных рудных зерен и агрегатов минералов с изменяющимися природными и техногенными свойствами: механическими, магнитными, плотностными, флотационными и др.

Параллельно с рудными формируются сложные нерудные псевдоморфозы (мелко- и тонкозернистого сложения), представленные смесью силикатов, кварца, тонких частиц рудных минералов (рис. 1 А, Б), которые также влияют на характер структурной неоднородности руд в связи с резким изменением их физико-механических свойств.

Минеральный состав руд

В табл. 1 приведена сравнительная характеристика минерального состава руд разных участков Тонодской площади. Минеральные ассоциации, морфоструктурные особенности и типы срастаний разных по составу минералов руд (в том числе весьма сложные рудные и нерудные псевдоморфозы замещения) формируются с учетом сложной геологической природы *процессов минералообразования в системе* осадочного—метаморфического—метасоматического—слабого гипергенного этапов на фоне разнообразных тектонических проявлений (микроплойчатость, микроскладчатость, микроблочность, трещины, жилы и др.). Приведенные данные четко обозначают различия руд участков по характеру изменения соотношений основных рудных и



нерудных минералов, показывающих, что большая часть технологических изменений в рудной составляющей связана с явлением мушкетовитизации. Как было показано ранее, именно этим обусловлены весьма существенные изменения сложных типов срастаний гематитамагнетита в псевдоморфозах, которые и определяют природу морфоструктурных особенностей сростков с различным уровнем магнитности в классах крупности техногенного гранулярного спектра измельченной руды при разных видах сепарации, как это показано ниже. Без детальной оценки их поведения невозможно дать корректную оценку эффективности обогатимости руд в целом.

Даже в отдельных фотографиях прослеживается высокий уровень неоднородности (рис. 1) гранулометрии, морфологии зерен и типов срастаний минералов. От характерных идиоморфно-полигональных и ксеноморфных зерен вторичного магнетита размером 500×400 и 50×40 мкм до столбчато-игольчатых, мирмекитовых по морфологии (мушкетовитовых по генезису) зерен размером 70×30 и 150×10 мкм и различных по размерам (преимущественно $50\times10-100\times20$ мкм) и тоньше зерен гематита. Иногда наблюдаются более крупные сростки (агрегаты) (рис. 1 В, Г) гематита с разным содержанием вторичного магнетита и нерудных минералов. Все это является следствием отражения сложной эволюции стадийности процессов минералообразования.

В табл. 2 приведена характеристика химического состава минералов (РСМА — по основным элементам) в паре разновидностей гематита и магнетита разных участков Тонодской площади. Выделение разновидностей гематита связано с вхождением в структуру минерала Ті, что позволяет условно разделить его на четыре разновидности: три из них содержат повышенное, среднее и низкое содержание TiO₂, а одна — не содержит вообще Ті. При замещении гематита магнетитом просматривается дефектность кристаллической структуры последнего, что связано со снижением в нем Fe (против содержания 72,4 %). Это обусловлено образованием переходной фазы маггемита и в конечном итоге — изменением магнитных свойств минерала. Поэтому нами в рудных ассоциациях в контакте с гематитом выделены разновидности магнетита-мушкетовита и магнетита. При этом четко прослеживается одновременно с изменением состава минералов изменение их размеров и морфологии.

Гематит в основном цементирует кварцевые кристаллы (шестоватые зерна) и микроагрегаты, образуя (по данным РЭМ) столбчатые выделения (сочетание призмы, 2-х ромбоэдров и пинакоида), ориентированные за счет стресса в одном направлении (выделения гематита при этом напоминают по форме зерна чечевицы). Иногда они изгибаются в связи с проявлением микроплойчатости рудных слоев (рис. 1, показано в плоскости). Нередко также наблюдаются скелетно-дендритные агрегаты гематита.

Гематит-I — представлен удлиненными призматическими кристаллами-зернами, как правило, ориентированными согласно слоистости руды. Часто с учетом микроскладчатости изменяется их ориентировка с явно выраженным ксеноморфизмом в морфологии. При перекристаллизации (Tx-1 и Tx-4) он нередко образует серию агрегатов зерен с расщепленной формой кристаллов, а также отдельные крупные зерна и агрегаты с существенным увеличением размеров гематита — до 4 мм в длину и 0,5 мм в ширину. При этом в руде существенно возрастает содержание Fe_{общ}, т.к. гематит цементирует зерна вторичного магнетита-мушкетовита.

Гематит-II — в целом более крупный, чем гематит-I, нередко выполняет трещины в раздробленных зернах-агрегатах магнетита, увеличивая разрастание структур цементации.

Таблица 2

Основные элементы состава гематита и магнетита участков м	иесторождения (по данным РСМА)
-----------------------------------------------------------	--------------------------------

Минерал				ГЕМАТИТ					МАГНЕТИТ			
Участок (проба)		Содержание мас. %		Fe	Fe ₂ O ₃	FeO	FeO	TiO ₂	Fe	Fe ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃ *
sep)	верхняя часть рудного горизонта	Минерал		Ті – Гематит (Hem I)					Магнетит-мушкетовит (Mag I)			
		TX - 2-3	Среднее	67.3	93.2	2.8	0.9	cp.3.1	72	68.7	30.9	0.4
			Разброс	66.6-68.0	91.9-94.1	2.6-3.0	0.0-1.7	2.9-3.4	71.7 - 72.2	68.3-68.9	30.7-30.9	0.0-0.9
(ce	нижняя часть рудного горизонта	Минерал		Ті – Гематит (Hem II)					Магнетит-мушкетовит (Mag II)			
Язовский (TX-1-1-2	Среднее	68.2	95.9	1.5	0.8	1.8	71.95	68.6	30.85	0.5
			Разброс	66.6-69.4	91.9-97.6	0.5-2.0	0.0 -1.0	1.6 - 2.3	71.3-72.4	68.0-69.0	30.6-31.0	0.0-1.5
		Ми	нерал	Гематит (Hem)					Магнетит (Mag)			
		TX - 1-9	Среднее	69.1	98.8	-	1.2	-	71.3	67.95	30.6	2
			Разброс	69.0-69.2	98.7-99.0	-	1.0-1.3	-	70.3-72.4	67.1-69.0	30.2-31.0	0.0-4.0
Чистый (юг)		Минерал		Ti – Гематит (Hem III)					Магнетит-мушкетовит (Mag III)			
	рудный горизонт	TV 4	Среднее	68.8	97.4	1	0.5	2	71.75	68.55	30.7	0.7
	1001100111	17-4	Разброс	68.3-69.3	96.5-98.1	0.8-1.2	0.0 -1.3	1.5 - 2.2	71.0-72.2	67.7-68.9	30.5-31.0	0.0-1.8

* — твердый раствор γ — Fe₂O₃ — маггемита (мартита), ** — FeO — реликтов мушкетовита. Определение валентного состояния железа в титаномагнетитах проводилось стехиометрическим расчетом, согласно работам [1] с учетом методики, разработанной В.М. Чубаровым и др. [11]. Доля маггемита и псевдоморфоз мушкетовита и мартита рассчитаны, исходя из дефицита суммы компонентов при расчете, согласно указанному приему и с учетом оптических, рентгенографических и электронно-микроскопических исследований

Таблица З

Нерудные минералы месторождения и их связь с распределением железа и титана в рудах

Минерал	Формула (усредненный состав)	Fe мас. %	Ті мас. %	
Кварц	SiO ₂	—	—	
Плагиоклаз (альбит)	NaAlSi ₃ O ₈	—	—	
Силлиманит	AI[AISiO ₅]	—	—	
Амфиболы (грюнерит-же- дритовый ряд)	$Mg_{2}[(Fe_{1.7},Mg_{1.3})AI_{2}]AI_{2}Si_{6}$	10-15	_	
Мусковит (серицит)	$KAI_{1.45}(Fe_{0.32},Mg_{0.22}Ti_{0.01})AI_{0.85}Si_{3.15}$	4-5	0.2-0.7	
Биотит	K(Mg,Fe,Ti) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂	15-20	1-3	
Хлориты (шамозит-амези- товый ряд)	$(Mg_{2,5},Fe_{1,3},Mn_{0,1})Al_2[Al_{1,6}Si_{2,4}O_{10}][OH]_8$	13-17	0.5-0.9	
Карбонаты (анкерит)	$\begin{array}{l}(Ca_{0.51},Mg_{0.34},Fe_{0.09},Mn_{0.06})CO_{3}\\(Ca_{0.50},Mg_{0.27},Mn_{0.13},Fe_{0.10})CO_{3}\end{array}$	4-5	_	

нения морфологии кристаллов магнетита с появлением округлых форм (в связи с развитием процесса растворения).

Содержание Fe на анатомических срезах магнетита в ассоциации с гематитом (табл. 2) колеблется от 71,0 до 72,4 %. Пониженное содержание Fe связано с появлением в составе минерала фазы маггемита.

Среди нерудных минералов в первую очередь особое значение приобретают процессы вторичных метамор-

Гематит-III — формируется при замещении кристаллов магнетита за счет процессов окисления, образуя решетчатые структуры мартитизации.

Гематит-IV — образует с кварцем мирмекитовые и скелетно-дендритные срастания зерен при их повышенном ксеноморфизме (в том числе и в агрегатах).

Как показывают наблюдения во всех трех пробах морфоструктурные характеристики гематита (удлинение, размеры зерен) существенно различаются, что необходимо учитывать при измельчении руд. Это будет по-разному сказываться на характере их раскрытия, особенно при переизмельчении зерен (агрегатов) в связи с формированием различных по размерам частиц, особенно в тонких классах продуктов обогащения, обусловливая их флокулируемость (за счет включений в гематите вторичного магнетита при мушкетовитизации).

Магнетит-мушкетовит — второй рудный минерал, по изменению морфологии кристаллов-зерен (агрегатов), а также с учетом изменяющихся размеров срастаний с гематитом образует несколько разновидностей, как отмечалось выше. По данным О.А. Якушиной (рентгеновская микротомография) прослеживается увеличение средних значений размеров зерен вторичного (полностью перекристаллизованного) собственно магнетита в ряду проб руд: 0,05 мм (Tx-4) — 0,07 мм (Тх-2) — 0,13 мм (Тх-1). При этом важно учитывать, что одновременно в пробах изменяются минимальные и максимальные значения выделений. Кроме того, наблюдается некоторое искажение морфологии кристаллов (зерен) вторичного магнетита: на основе главной октаэдрической формы с проявлением по ребрам октаэдра небольших граней ромбододекаэдра и по вершинам — граней растворения куба (по данным РЭМ). Наблюдаются также определенные закономерности в изменении морфологии кристаллов (зерен) магнетита (рис. 1) в зависимости от ассоциации с кварцем, плагиоклазом и комплексом совместных агрегатов силикатных минералов (сложные нерудные псевдоморфозы слюд, хлоритов, силлиманита). При перекристаллизации агрегатов гематита в восстановительной среде до магнетита сначала образуются скелето- и дендритоподобные, а затем идиоморфные выделения (порфиробласты) с различным характером искажений за счет микротектоники. В пробе Tx-1 при этом заметны изместаллизация с изменением размеров выделений, реакций замещения по силлиманиту, серицитизация полевых шпатов, биотитизация и хлоритизация амфиболов. Все эти процессы по-разному проявлены во всех трех пробах руд. Как уже отмечалось выше весьма характерно образование в рудах сложных псевдоморфоз из агрегатов слюд, хлоритов, реликтов первичных и весьма тонких включений рудных минералов (рис. 1Б). В табл. 3 приведены формулы основных нерудных минералов, отражающие особенности их конституции, а для Fe- и Ti-содержащих минералов даны массовые содержания элементов (по данным PCMA).

фических и метасоматических изменений — перекри-

Особый интерес представляют исследования по фосфористости руд в связи с их обогащением. При минералогических исследованиях с помощью комплекса методов — оптического, РСМА, измерения спектров люминесценции (аналитик В.А. Рассулов) было установлено, что фосфор в рудах представлен апатитом $Ca_5(PO_4)_3(F,OH)$ с переменным соотношением за счет изоморфизма содержаний F и группы (OH). Он весьма неравномерно распределен среди рудных и нерудных минералов. По морфологии — это кристаллы дипирамидально-призматического и пинакоидального облика. Порой наблюдаются тесные взаимоотношения фторгидроксилапатита с магнетитом-мушкетовитом, кварцем и альбитом. Размер характерных выделений минерала колеблется от 0,07×0,05 до 0,14×0,09 мм (в основной массе руд величина зерен на 1–2 порядка ниже). Нередко в строении минерала просматривается зональность — центральное ядро кристалла (зерна) представлено первичным апатитом «оплавленного» облика [3] с сиреневым свечением (согласно спектру люминесценции за счет содержания Ce³⁺ и других редких земель). В то же время заметно, что при метасоматозе кристалл дорастает до дипирамидально-призматического облика, обеспечивая по периферии желтое свечение (за счет Mn²⁺) при пониженном содержании примесей [9]. Определяя в целом фосфористость руд, следует подчеркнуть, что неоднородность распределения апатита в них подчиняется обратной зависимости между содержанием Fe (рудных минералов) и SiO_2 (соответственно нерудных минералов — кварца, плагиоклаза и продуктов его изменения).

Минералого-технологическая оценка руд

Разработка схемы обогашения мелко- и тонкозернистых магнетит-мушкетовит-гематитовых руд проведена по пробе Tx-1, как наиболее представительной по всем характеристикам вещественного состава и строения. При этом учитывалось, что типоморфные минералоготехнологические признаки оценки руд Тонодской площади на макро-, микро- и наноуровнях обусловлены высокой степенью неоднородности их минерального состава и текстурно-структурных признаков (гранулометрии, морфологии выделений и типов срастаний рудных и нерудных минералов), отражающих эволюцию многостадийности процессов минералообразования. Наиболее четко особенности взаимосвязи вещественного состава с обогатимостью пробы руды при начальной крупности измельчения 2-0 мм удалось проследить определенные закономерности в связи с разработкой многостадиальной гравитационно-магнитной схемы через обратную зависимость между содержаниями абсолютных и относительных значений Fe, SiO₂ и Fe/SiO₂ (рис. 2, табл. 4), позволяющих давать количественную оценку сложных типов срастаний рудных и нерудных минералов. Причем, многостадийность процессов минералообразования отражает закономерности основных природных и техногенных морфоструктурных особенностей взаимоотношений и преобразований минералов в исходной руде и технологических продуктах различной крупности, обусловливая получение конкретных показателей обогащения (табл. 4).

Для обеспечения необходимой степени раскрытия сложных природных типов срастаний рудных и нерудных минералов (с учетом широкого распространения псевдоморфоз замещения) при шаровом измельчении руды потребовалось применить дополнительно три стадии доизмельчения (до крупности -0,5+0; -0,2+0

и - 0,074 + 0 мм), полученных ранее промежуточных продуктов (п/п) и продуктов их обогашения. В целом обогащение руды было реализовано по схеме (табл. 4) с пятью стадиями концентрации на гравитационном столе (КГС-1-5), дополненных двумя стадиями полиградиентной магнитной сепарации (с разными магнитными полями: Н-85 и 700 мТл (ПГС-1 и 2) при широком фронте трех стадий обесшламливания измельченных продуктов в гидроциклонах ОГц-1-3). В конечном итоге это позволило дать оценку эффективности обогащения как исходной руды в крупности -2+0 мм в целом, так и при доизмельчении отдельных и объединенных п/п, отразив результаты в графике (рис. 2), где показано распределение содержаний Fe и SiO₂ разных фракций технологических продуктов во взаимосвязи с усредненной кривой изменчивости отношения Fe/SiO₂ исходной руды с выделением пяти групп вновь образованных минералого-техногенных ассоциаций (MTT I-V). В рамках техногенного гранулярного спектра измельчения они показывают эволюцию изменчивости качества продуктов различных видов сепарации. При этом четко прослеживается изменчивость минералого-технологических характеристик различных продуктов стадий гравитационно-магнитной сепарации и обесшламливания (табл. 4). И, как подчеркивалось выше, именно она является следствием преобразования природных морфоструктурных особенностей, а также плотностных и магнитных свойств измельченных раскрытых частиц и сростков минералов широкого техногенного гранулярного спектра (вплоть до образования микрочастиц за счет разрушения псевдоморфоз и других типов срастаний). По отношению к исходной руде (фр. 1) это хорошо проявляется в характере неоднородности отмеченных выше параметров как в прогрессивной ветви спектра (рис. 2) развития схемы обогаще-





ния (группы II–III–IV), так и регрессивной — (группы I –V). Наиболее значимый разброс данных по сравнению с исходной рудой (фр. 1) прослеживается в продуктах обогащения по всем группам крупности -2+0 мм в спектре изменчивости минералого-технологических показателей продуктов фракций двух стадий обогащения при ГС-1-2 и двух стадий ПГС-1-2. Уже в продуктах фракций этого класса проявляются весьма «трудные» для раскрытия сростки минералов. Это обусловлено как разными содержаниями Fe и SiO₂ (табл. 4, фр. 2-14) при резко изменяющихся значениях отношения Fe/SiO₂ и K_{ϕ} , так и резко отличными показателями по извлечению Fe и выходу продуктов (группа-I:

Таблица 4

Аналитические данные по химической и технологической характеристике продуктов измельчения и обогащения руды пробы Tx-1 по гравитационно-магнитной схеме

Измельчение -2+0 мм											
Характеристика техно- логических продуктов		Fe	ϵ_{Fe}	Κ _φ	Номер фракции	Группа МТГ ¹⁺	Выход (ү) по схеме	Технологические продукты		SiO ₂	Fe/SiO ₂
Исходная руда		22,3	100	18	1	-	100	Исходная руда		51,4	0,434
Концентрация на		51,86	36,25	10	2		15,59	К-т		30,53	1,699
гравитационном	1	16,61	42,71	20	3	-	57,32	П/п+хв.		56,08	0,296
столе (КГС-1)		17,32	21,05	28	4	I	27,09	Шламы		53,5	0,324
Полиградиентная		68,19	8,33	5	5	IV	2,72	М.ф. (к-т)		9,6	7,103
сепарация (ППС-1) Н — 85 мТл	1	11,63	12,72	43	6	V	24,37	Нм.ф (хв.)		56,24	0,207
Полиградиентная		28,97	5,96	8	7	II	4,59	М.ф. (п/п)		42,52	0,681
сепарация (ППС-2) Н — 700 мТл	2	7,61	6,76	66	8	V	19,78	Нм.ф. (хв.)		59,42	0,128
Σ продукт		17,53	48,67	21	8*	I	61,91	Σ пр (3+7)		55,07	0,318
		58,16	1,17	9	9	III	0,45	К-т		26,2	2,220
		23,9	13,03	13	10	I	12,16	П/п 1		55,9	0,426
Концентрация на	2	16,01	24,87	22	11	I	35,07	П/п 2		63,01	0,254
столе (КГС-2)	2	5,27	0,56	30	12	V	2,37	Хв.		62	0,085
		16,98	9,04	22	13	I	11,87	Шламы		65,4	0,259
		17,89	37,90	19	14	I	47,23	Σ п/п 1+2		61,18	0,292
			Изм	ельчени	e –0,5+0 (п/п)		•			
Обесшламливание		18,72	31,65	18	15	I	37,7	−0,5+ Гц (п/п)		62,34	0,300
в гидроциклоне (ОГц-1)	I	14,62	6,25	25	16	Ι	9,53	Слив Гц (хв.)		56,6	0,258
Концентрация на		66,65	7,70	6	17	IV	2,58	К-т		11.2	5,933
гравитационном	3	17,9	20,48	21	18	I	25,52	П/п		64,36	0,278
столе (КГС-3)		8,06	3,47	29	19	V	9,60	Хв.		71,1	0,105
			Изм	ельчени	e –0,2+0 ([п/п)					
Обесшламливание		18,32	18,16	20	20	I	22,11	–0,2+ Гц (п/п)		64,54	0,284
в гидроциклоне (ОГц-2)	2	14,69	2,32	22	21	V	3,41	Слив Гц (хв.)		63,2	0,232
Концентрация на		69,01	5,06	4	22	IV	1,61	К-т		6,8	10,149
гравитационном	4	30,39	7,75	10	23	II	5,69	П/п		49,07	0,619
столе (КГС-4)		8,06	5,34	22	24	V	14,78	Хв.		76,9	0,113
Измельчение –0,074+0 (п/п)											
Обесшламливание		33,11	2,12	20	25	П	4,80	–0,074+Гц (п/п)		46,75	0,706
в гидроциклоне (ОГц-3)	3	15,8	0,63	35	26	Ι	0,90	Слив Гц (хв.)		60,9	0,259
Концентрация на		64,5	2,32	5	27	IV	0,80	К-т		14	4,607
гравитационном	5	47,73	3,21	16	28		1,50	П/п		32,9	1,451
столе (КГС-5)		14,19	1,59	35	29	V	2,49	Хв.		65,8	0,216
			C	уммарнь	е продукт	гы					
К-т 2		51,67	28,84	4	30		17,54	К-т 2		28,71	1,999
К-т 1		67,47	23,41	6	31	IV	7,74	К-т 1		9.8	6,885
Σ к-т (1+2)		56,51	64,05	9	32		25,28	Σк-та		26,25	2,153
На ПГС и флотацию		15,68	19,82	25	33	I	28,19	Σ π/п		49,32	0,401
Σ хвостов		7,73	16,13	41	34	V	46,53	Σ Хв.		67,51	0,239
Окон	чател	ьные проду	кты (с дов	одкой п	п по схем	е + полиг	радиентн	ая сепарация ш	пам	юв)	
Σк-та		53,45	79,38	10	35		33,12	Σк-та		25,00	2,138
Хвосты		7,73	16,13	41	36	V	46,53	Хв.		67,51	0,239
Шламы		4,92	4,49	93	37	V	20,35	Шламы		55,44	0,089

+ — I–V — минералого-технологическая группа (МТГ)



фр. 3–4, 7, 11, 13–14); группа-II: фр. 7, 10; группа-III: фр. 2, 9; группа-IV: фр. 5). Важно, что уже в этом классе с хвостами и шламами удается сбросить значительную часть фосфора (группа-V: фр. 6, 8, 12, 36–37 с K_{ϕ} соответственно 43, 66, 30, 41, 93). Интервалы изменчивости минералого-технологических параметров на фоне эволюции фракций продуктов различных видов сепарации подчеркивают высокую степень неоднородности минералогии и текстурно-структурных характеристик, определяющих эффективность обогачастицы, так и «трудные» для разделения сростки (*плотные* — близкие к сложным природным срастаниям и *рыхлые* — техногенные агрегаты-флокулы). С псевдоморфозами, прежде всего, связана *избирательность измельчения минералов* (в том числе и переизмельчения), образование различных морфоструктурных типов техногенных частиц с резко отличными значениями содержаний Fe, SiO₂, K_ф.

Как было отмечено выше (рис. 2, табл. 4), качество полученных продуктов по минералого-технологиче-

-0.074+0.044 мм

тимости руды. Поэтому дальнейшее развитие схемы обогащения связано с доизмельчением различных п/п для обеспечения необходимой степени раскрытия природных срастаний и «трудных» сростков минералов с целью повышения качества продуктов гравитациии и магнитной сепарации. Так как при этом образуется значительное количество шламов, то перед операцией концентрации измельченной массы проводится ее обесшламливание в гидроциклонах с получением новых п/п и сливов (хвостов) различного качества. Однако здесь следует иметь в виду, что при измельчении исходной руды и п/п в различных классах крупности техногенного спектра поразному происходит раскрытие выделений гематита (зерен и агрегатов) и вторичного магнетита в срастаниях с различными нерудными минералами; рудных (мушкетовит и гематит содержащих образований), нерудных (кварц-силикатных с тонкими рудными включениями), псевдоморфоз; природных рудных и нерудных зерен и агрегатов минералов, преобразованных на микро- и наноуровнях в связи с пликативной и дизъюнктивной микротектоникой, с образованием сложных вторичных «зерен-микроагрегатов» (за счет блокования, расщепления, микроразрывов со смещением и переотложением вещества различного состава, микродробления и истирания и др.) в связи с многоэтапностью процессов минералообразования. Минералого-генетические процессы преобразования минералов продолжаются в разнообразных техногенных операциях при обогащении. В результате формируются как достаточно хорошо раскрытые

-0.5+0.2 мм



Рис. 3. Морфоструктурные особенности минеральных частиц гематита, гематита-магнетита (мушкетовита), собственно магнетита и нерудных минералов в концентратах гравитации продуктов (проба Тх-1) измельчения классов крупности –0,5+0,2 мм (βFe – 50,5 % при γ – 24 %) и – 0,074+0,044 мм (βFe – 61,9 % при γ – 16 %). Свет отраженный: гематит (белый), собственно магнетит и мушкетовит (кремовый), нерудные минералы в частицах (серый), вся остальная серая масса – цемент образца

ским показателям существенно различается, отражая разную степень эффективности процессов гравитации и обесшламливания в зависимости от различий в морфоструктурных характеристиках раскрываемых сростков минералов разных фракций разделения исходной руды в новых фракциях п/п. При этом значимо изменяются морфология, размеры и состав вновь образованных частиц. Так, например, минералогическое изучение концентратов гравитации по классам крупности измельченной руды -0,5+0,2 мм и -0,074+0,044 позволили оценить эффективность раскрытия сростков гематита, гематита-магнетита (мушкетовита), вновь образованных отдельных частиц вторичного магнетита и нерудных минералов (рис. 3). Анализ фрагментов рисунка показывает, что эти различия связаны с изменением формы, размера, состава по-разному раскрытых минеральных частиц, предопределяющих качество продуктов обогащения. В то же время, в классе -0,5+0,2 мм качество продукта существенно снижается за счет проявления «трудных» по морфологии богатых сростков, состоящих из скелетно-дендритных агрегатов игольчатых и тонкопластинчатых зерен гематита и частично замещенных вторичным магнетитом в срастании с нерудными минералами (рис. 3 В, Г). В более тонком классе -0,074+0,044 мм морфология частиц изменяется весьма существенно, однако здесь еще встречаются «трудные» сростки (рис. 3 E-3), требующие дальнейшего раскрытия в крупности −0,044 мм.

Таким образом, как видно из данных табл. 4 и рис. 3 при последующих стадиях более тонкого измельчения п/п с получением новых фракций существенно возрастает роль техногенных процессов разрушения (прежде всего, «трудных») сростков минералов и отдельных выделений вторичного магнетита с целью получения более качественных продуктов обогащения. С доизмельчением п/п каждого предыдущего класса соответственно до крупности -0,5+0, -0,2+0 и -0,074+0 мм и получением различных продуктов сепарации (в том числе при разной напряженности магнитного поля в крупности исходной руды –2+0 мм) с учетом процесса предварительной дешламации с различной эффективностью это отразилось в изменчивости аналитических и технологических параметров фракций гравитации (табл. 4, фр. 15, 18, 20, 23, 25).

В группе-І фиксируются п/п полученные: в классе крупности -2+0 мм (фр. 7) при ПГС-2 (в магнитном поле 700 мТл), а также в классах крупности -0,2+0 мм (фр. 23) — на КГС-4 и -0,074 мм (фр. 25) — при ОГц-3. Они отличаются (от п/п группы-І) повышенным содержанием Fe (почти в 2 раза) и отношением Fe/SiO₂ (почти в 3 раза) при несколько пониженном K_ф. Это связано с тем, что в этих продуктах в сростках с нерудными минералами появляются включения вторичного магнетита и гематита, которые раскрываются при более тонком измельчении.

В группах-III-IV наиболее четко просматривается роль природно-техногенной неоднородности частиц различной морфоструктуры и состава в классах гранулярного спектра измельченной руды. В конечном итоге, это отражается в технологических показателях обо-

гатимости руды в связи с разной эффективностью процессов гравитации, полигралиентной сепарации, в том числе при обесшламливании измельченных продуктов в гидроциклонах. По данным табл. 4 видно, что сложнее всего раскрываются «трудные» сростки при измельчении п/п до крупности -0,074+0 мм и сепарации на гравитационном столе (соответственно фр. 28 и 27), а также при дроблении руды до крупности -2+0 мм (фр. 2 и 10). Особо значимы различия продуктов по содержанию Fe и отношению Fe/SiO₂. Наиболее богатые концентраты получены при ПГС-1 в классах крупности -2+0 мм (фр. 5) и при КГС-4-0,2+0 мм (фр. 22). И наконец, в группе-V отражены данные по фракциям хвостов различной крупности, показывающие возможности обесфосфоривания руды по разработанной схеме магнитного обогащения.

В табл. 4 приведены данные по окончательным продуктам обогащения с получением суммарного концентрата с содержанием Fe = 53,45 % (тип аглоруды). Учитывая значимость рудопроявлений железных руд Тонодской площади с позиций перспективной минерально-сырьевой базы, следует продолжать их изучение, тем более что технологические показатели их обогащения могут быть улучшены, особенно за счет более тонкого измельчения исходной руды с высоким содержанием гематита (до 95 % класса –44 мкм) с широким использованием в заключительной стадии обогащения флотации. Как показали единичные опыты при обогащении руды пробы Tx-1 в институте Mexaнобр, суммарные концентраты с учетом флотации могут быть получены с содержанием Fe = 66,5 % (по данным Е.В. Зублюк).

Заключение

Железные руды двух участков Тонодской площади представлены весьма бедными по содержанию Fe (14,4-22,3 %) магнетит-мушкетовит-гематитовыми кварцитами мелко- и тонкозернистыми с высоким содержанием нерудных минералов — от 74,3 до 82,4 %. При изучении вещественного состава и строения руд в связи с разработкой схемы их обогащения установлен весьма высокий уровень неоднородности морфоструктурных особенностей рудной и нерудной минерализаций (форма, размер, состав, характер взаимоотношений минералов, проявление псевдоморфоз замещения). Этот уровень оценивается количественно через обратное отношение Fe/SiO₂ и абсолютные величины содержаний Fe и SiO2 и K_ф в разных классах крупности природно-техногенного гранулярного спектра дробленой руды (с учетом технологических параметров — ε_{Fe} и у). В целом сложная геолого-минералогическая природа образования руд в системе осадочного-метаморфического-метасоматического-слабого гипергенного процессов связана с разнообразием тектонических проявлений (микроплойчатость, микроскладчатость, микроблочность, трещины, жилы и др.).

Как показывают минералогические исследования исходных руд и продуктов сепарации в техногенном гранулярном спектре измельчения высокая степень их неоднородности при мелком и тонкозернистом оруденении обеспечивают получение конечных концентратов при гравитационно-магнитной схеме обогащения (в крупности измельчения исходной руды 2-0 мм) на уровне содержания Fe = 53,45 % (тип аглоруды).

При более тонком измельчении (-44 мкм) из руд подобного типа могут быть получены более высокосортные концентраты, что следует иметь в виду при дальнейшем развитии железорудной базы России.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Булах, А.Г.* Руководство и таблицы для расчета формул минералов / А.Г. Булах. — 2-е изд. — М.: Недра, 1967. — 144 с.

2. *Виды* и последовательность минералогических исследований при сопровождении технологических работ. Железные руды / Б.И. Пирогов, Е.Г. Ожогина, Ю.М. Астахова и др. // Методические рекомендации НСОММИ — № 181. — М.: ВИМС, 2015. — 39 с.

3. *Годовиков, А.А.* Минералогия / А.А. Годовиков. — М.: Недра, 1975. — 520 с.

4. *Зублюк, Е.В.* Геологическое строение и особенности локализации железорудных объектов Тонодской площади / Е.В. Зублюк // Развед-ка и охрана недр. — 2015. — № 7. — С. 3–7.

5. *Пирогов, Б.И*. Онтогенический метод в познании технологических свойств минералов // Сб. Проблемы онтогении минералов / Б.И. Пирогов. — Л.: Наука, 1985. — С. 22–30.

6. *Пирогов, Б.И*. Роль минералогических исследований в обогащении руд / Б.И. Пирогов // Минералогический журнал. — 1982. — № 1. — С. 81–92.

7. *Поваренных, А.С.* Мушкетовитовый скарн из верховьев реки Пскем / А.С. Поваренных // Доклады АН СССР. — 1951. — Т. LXXXI. — № 6. — С. 1131–1134.

9. *Рамдор, П.* Рудные минералы и их срастания / Под ред. А.Г. Бетехтина: Пер. с англ. — М.: Изд-во иностр. литературы, 1962. — 1132 с. 9. *Рассулов, В.А.* Локальная лазерная с учетом кинетики затухания люминесцентная спектроскопия минералов (на примере циркона) / В.А. Рассулов // Методические рекомендации № 156. — М.: ВИМС — 2005. — 16 с.

10. Сергеева, Н.Е. Морфологические особенности и характер неоднородности ферришпинелидов по данным электронномикроскопического изучения / Н.Е. Сергеева // Тр. Минерал. музея им. А.Е. Ферсмана, 1969. — Вып. 19.

11. *Чубаров, В.М.* Определение валентного состояния железа в пикроильмените методами рентгеновского электронно-зондового микроанализа и рентгенофлуоресцентного анализа / В.М. Чубаров, А.Л. Финкельштейн, Л.Ф. Суворова, С.И. Костровицкий // Записки Российского минералогического общества. — Т. СХLI. — 2012. — № 2. — С. 83–91.

© Коллектив авторов, 2016

Пирогов Борис Иванович // pirogov_bi@inbox.ru Астахова Юлия Михайловна // astachova_j@mail.ru Быстров Иван Георгиевич // bysivg@gmail.com Броницкая Елена Сергеевна // vims@df.ru Иванова Маргарита Валерьевна // margo_898989@mail.ru

ХРОНИКА

К 75-ЛЕТИЮ ЛЕОНИДА ПАВЛОВИЧА АНТОНОВИЧА

10 октября 2016 г. исполняется 75 лет Антоновичу Леониду Павловичу — председателю президиума Общероссийской общественной организации ветеранов (пенсионеров) «Ветеран-геологоразведчик».

Л.П. Антонович родился 1941 г. в Якутске, там же учился в школе, а в 1960 г. закончил Алданский горный техникум и был направлен в Аллах-Юньскую экспедицию Алданского районного геологоразведочного управления, где 19-летний проходчик подземных горных выработок уже через три месяца стал горным мастером. После

окончания Якутского государственного университета по специальности горный инженер Л.П. Антонович был назначен старшим инженером по буровым работам в ПГО «Якутскгеология», где принимал активное участие в поисках и разведке месторождений алмазов, золота, угля, железных руд, полиметаллов и апатитов. Присущие ему трудолюбие, ответственность и высокий профессионализм позволили пройти путь от проходчика подземных горных выработок до заместителя генерального директора ПГО «Якутскгеология».

После ликвидации ПГО Л.П. Антонович в 1992– 1997 гг. возглавлял ГСПП «Якутгеолснаб» (ОАО «Геотекс»). С 1998 по 2003 г. работал заместителем генерального директора по производству ЗАО «Якутстройматериалы», организуя работы по добыче и переработке мрамора на месторождении «Марийка», в разведке и эксплуатации которого сам принимал участие, а также



геологические поиски с попутной добычей и переработкой камнесамоцветного сырья. В 2001 г. в Париже на выставке поделочных камней за изготавливаемую продукцию из мрамора, гранита и других материалов ЗАО «Якутстройматериалы» получило главный приз Европы «За качество», а лично Л.П. Антоновичу был вручен золотой нагрудный знак.

В 1996—2004 гг. Л.П. Антонович избирался членом совета директоров акционерных банков «Сахабанк» и ОАО «Туймаада-даймонд», в 1999—2004 гг. —

председателем совета директоров ЗАО «Якутстройматериалы».

С 2007 по 2012 г. в ОАО «Первая горнорудная компания» он работал главным инженером и заместителем генерального директора. Как опытный специалист Леонид Павлович организовал на высоком техническом уровне проведение геологоразведочных работ на месторождении «Сардана» в Республике Саха (Якутия) и полиметаллического месторождения на архипелаге Новая Земля.

С 2012 г. по настоящее время Л.П. Антонович работает советником генерального директора АО «Росгеология», занимаясь анализом геологоразведочного производства.

Активная жизненная позиция, профессиональные и человеческие качества, высокий авторитет в кругах геологической общественности обусловили его избра-