

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВОГО ДЕЛА



**«ПРОБЛЕМЫ ГЕОЛОГИИ И РАЗВЕДКИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»**

Томск 2005

МАЛООБЪЁМНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ РУД СЕЛИГДАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АПАТИТА

Боярко Г.Ю.¹, Ятлукова Н.Г.²

¹Томский политехнический университет, г. Томск, gub@tpu.ru

²Дальневосточный институт минерального сырья, г. Хабаровск

Апатит-карбонатные породы Селигарда по результатам технологических исследований [1–3] представляют собой один технологический тип в пределах которого выделяется шесть геолого-технологических разновидностей: апатит-доломитовая, апатит-кальцитовая, апатит-маргит-карбонатная, апатит-сульфат-карбонатная, апатит-силикат-карбонатная и дезинтегрированная. Основными факторами, влияющими на обогатимость таких руд являются:

- а) вариации содержаний рудообразующих минералов, в первую очередь, апатита и размер их микрооблачности;
- б) наличия растворимых минералов – гипса и андигита;
- в) склонность хлорита из рудных образований к переизмельчению;
- г) различная сорбционная ёмкость доломита и кальцита по отношению к флотреагентам;
- д) естественная гидрофобность талька и серпантина, а также гидрофильность кварца.

На месторождении отобрано 65 технологических проб, как по рудам среднего состава, так и по отдельным разновидностям. Вес их составляет от десятков и сотен килограмм до 30 тонн.

В результате технологических исследований неоднократно отмечались весьма значительные колебания параметров обогащения руд даже в пределах одной геолого-технологической разновидности. Это обусловлено влиянием на технологический процесс ряда особенностей вещественного состава: вышеперечисленны свойств минералов руд, изменчивости в объёме месторождений минерального состава, физико-механических свойств и текстурно-структурных особенностей. Учёт этих факторов в процессе геологического изучения и типизации апатитовых руд, без знания их технологических свойств, весьма затруднителен. Отбор же обычных технологических проб в объёме месторождения производился выборочно, путём подбора интервалов опробования, исходя из задаваемых параметров вещественного состава, что не позволяет получить реальную картину технологической изменчивости руд, как по глубине, так и в горизонтальной площади месторождения.

Для достижения необходимой полноты и достоверности геолого-технической оценки Селигдарского месторождения апатита проведено малообъёмное геолого-технологическое картирование [4, 5]. Всего было отобрано 230 малообъёмных проб (МТП) по сети 400×400 м (для центральной части месторождения) и 400×200 м (для периферии рудного тела). Отбор производился из дубликатных половинок и четвертинок керна. Длина секций опробования в зависимости от сложности геологического строения составляет от 10 до 50 м, что предопределялось, в основном, величиной интервалов распределения природных разновидностей руд. Вес проб составлял от 10 до 50 кг. Из дубликатов малообъёмных технологических проб отбирались навеска для минералогического, полного силикатного анализа редкоземельных элементов.

Технологическая оценка малообъёмных проб производилась в Дальневосточном институте минерального сырья (ДВИМС) при заданном постоянстве технологической схемы и режима, с учётом необходимой корректировки отдельных факторов режима обогащения (времени флотации, расхода реагентов и т.п.) в зависимости от колебаний параметров вещественного состава руды. Флотационные опыты проводились на дистиллированной воде по стандартной технологической схеме и фиксированных расходах реагентов из 5–6 навесок с каждой пробы. Стандартный реагентный режим обеспечивался расходом реагентов (кг/т): сода – 2,0; жидкое стекло – 1,0; сульфат-спиртовая барда (ССБ) – 0,5; собирательная смесь (таллактан: ИМ-50 = 1:1) – 0,4. Исключение составляли сульфатсодержащие пробы, из которых при стандартном расходе соды резко ухудшались показатели обогащения. В этих случаях подбирался расход соды, который обеспечивал бы получение концентрата с содержанием P_2O_5 не менее 35%.

В процессе малообъёмного технологического картирования выявлены общие закономерности:

- технологические показатели обогащения находятся в определённой зависимости от текстурно-структурных особенностей и вещественного состава рудных образований (табл. 1); непостоянство вещественного состава руд в объёме месторождения и влияния этого фактора на технологические показатели обогащения;
- обогащение руд, вещественный состав которых близок к среднему составу балансовых руд в целом по месторождению, протекает с достаточно высокой эффективностью и позволяет выделять концентраты с содержанием P_2O_5 более 36,5% при извлечении свыше 67,0%;
- изменения соотношений отдельных минеральных компонентов в руде вызывает необходимость корректировки расхода реагентов (табл. 2).

Негативное влияние на процесс обогащения руд по данным проведённых исследований оказывают:

- повышенное содержание (свыше 11,5%) в рудах магнезиальных силикатов (талька, серпентина, хлорита и флогопита), которые приводят к возрастанию расхода собирателя и к уменьшению извлечения P_2O_5 в концентрат;
- повышенное содержание в руде минералов окислов железа (8% и более), которые вызывают увеличение расхода сульфат-спиртовой барды;
- при содержаниях апатита в некоторых разновидностях руд менее 10% ухудшаются технологические показатели обогащения.

Таблица 1

Влияние различных свойств руд на обогатимость

Признак	Свойства руд, влияющих на обогащение	
	позитивные	негативные
Размеры выделений апатита	Доминирующий размер – 0,2–0,5 мм	менее 0,04
Минеральный состав	1. Относительно простой состав (доломит+кварц+кальцит+гематит+апатит) 2. Преобладание доломита над кальцитом 3. Предельные содержания минералов (%): карбонаты – 50–70; кварц – до 10; гематит – до 5; силикаты – до 14; апатит – 7–30	1. Присутствие апатита нескольких генераций с различными флотационными свойствами 2. Преобладание кальцита над доломитом 3. Предельные содержания минералов (%): апатита – менее 7,5 и больше 30; карбонаты – свыше 75–80; сульфаты – более 1; магнезиальные силикаты свыше 11,5
Характер агрегации минералов	Зёрна и их агрегаты с чёткими границами	Тонкое срастание апатита с другими минералами, особенно с магнезиальными силикатами
Структуры руд	Средне- и крупнозернистые	Тонкозернистые
Текстуры руд	Вкрапленные, порфиробалластические с резкими границами между зёрнами	Брекчиевые, каверпозные
Процессы изменения	Отсутствия изменений	1. Оталькование, серпентизация, хлоритизация 2. Сульфатизация 3. Наличие нескольких генераций минералов 4. Катаклаз, милонитизация

Таблица 2

Средневзвешенные технологические показатели, расход реагентов и факторы трудной обогатимости природных разновидностей апатит - карбонатных руд Селигдарского месторождения

Наименование геолого-технологической разновидности руд	Количество МТП	Технологические показатели, %		Расход реагентов, кг/т				Характеристика компонентов ухудшающих обогатение	Характеристика продуктов обогащения	Необходимость изменения в реагентном режиме	Соотношение руд различной обогатимости в % от суммы
		Содержание P ₂ O ₅ в концентрате	Извлечение в концентрат	Сола	Жидкое стекло	ССБ	Собиратели				
Апатит-доломитовая	80	37,71	67,06	3	1	0,75	0,5	75-80% карбонатов, увеличение доли кальцита в карбонатах	хвосты содержат интенсивно ожелезненный тонкозернистый апатит и его сростки с карбонатом	Расход соды до 3-5 кг/т, собирателя до 0,6 кг/т	Л – 68,75 С – 24,64 Т – 6,61
Апатит-мартит-кварц-карбонатная	10	36,53	70,33	2	1	0,75	0,7	Пониженное содержание карбонатов, увеличение доли кальция	Концентрат засорён силикатами и карбонатами; хвосты содержат свободный апатит и его сростки с карбонатами	Расход соды до 6,0 кг/т, собирателя до 0,8 кг/т	Л – 59,63 С – 32,98 Т – 7,39
Апатит-кальцитовая	46	36,77	71,69	2	1	0,75	0,5	Относительно повышенное содержание силикатов	Концентрат засорён силикатами, карбонатами и мартитом; хвосты содержат свободный апатит	Расход собирателя до 0,65 кг/т	Л – 19,09 С – 80,91
Апатит-силикат-карбонатная	44	24,64	55,2	2	1	0,75	0,6	Отношение силикатов к карбонатам более 1,5-2 преобладание кальцита над доломитом	Концентрат засорён силикатами; хвосты содержат свободный апатит	Расход собирателя до 1 кг/т Разубоживание руд по силикатам Чёткий контроль содержания класса - 0, 02 мм в связи с шламованием апатита	Л – 15,24 С – 17,17 Т – 67,59
Апатит-сульфат-карбонатная	39	35,51	60,23	14	0,75	0,5	0,6	Снижение в руде более 0,4%	Концентрат засорён карбонатами и сульфатами	Расход соды до 30-40 кг/т Введение многократных отмывок	Л – 4,58 С – 30,3 Т – 65,0
Дезинтегрированная	11	38,25	78,53	2	1	0,75	0,5	Повышенное содержание кварца – до 50%, иногда гематита до 13%	–	Увеличение расхода собирателя в связи с высоким содержанием апатита в руде	Л – 50,0 С – 50,0

ПРИМЕЧАНИЕ: Л – легкообогатимые руды, С - среднеобогатимые руды, Т - труднообогатимые руды.

Выявлены неоднородности флотационных свойств отдельных минералов из различных участков месторождения. При флотации проб из руд на границе рудного тела с вмещающими породами, характеризующимися высокими концентрациями магнезиально-силикатных минералов, имеет место одновременная флотация апатита и магнезиальных силикатов, что приводит к разубоживанию концентрата. В то же время магнезиально-силикатные минералы в рудах из центральной части месторождения обладают пониженной флотационной активностью и достаточно эффективно депрессируются при стандартном реагентном режиме. Различными флотационными свойствами обладает и кальцит. Так, при одинаковых условиях флотации содержание кальцита в пенном продукте проб из северной части месторождения (из апатит-силикат-карбонатных руд) значительно выше, чем в пробах из центральной части (apatит-кальцитовых руд).

В процессе геолого-технологического картирования исследованы также изменения технологических свойств объёма месторождения. Руды из приконтактных частей месторождения отличаются невысокой эффективностью обогащения – из них выделены концентраты, загрязнённые магнезиальными силикатами с содержанием P_2O_5 – 20–24%. С увеличением глубины отбора проб более 350–400 м наблюдается ухудшение флотиремости апатита вследствие повышения содержания сульфатов.

Изменения технологических показателей по линиям отбора проб определяются с учётом следующих факторов: места отбора пробы, соотношением сульфатных, силикатных и железистых минералов, карбоната и апатита, а также степенью дезинтеграции руды и засорённостью разубоживающими вмещающими породами.

Ввиду того, что усреднение руды приводит к улучшению хода флотации, были произведены исследования по обогащению 16 проб, составленных из МТП – укрупнённых малообъёмных технологических проб (УМТП), объединённых в соответствии с геометрией подсчётных блоков месторождения. Процесс обогащения проб УМТП подчиняется тем же закономерностям, что и обогащение проб МТП, но качество концентратов, выделенных из проб УМТП даже выше, чем из составляющих индивидуальных МТП. Это обусловлено разубоживанием в смеси руд компонентов, затрудняющих обогащение.

Усреднение малообъёмных проб приводит к улучшению протекания процесса флотации. Поэтому с целью исследования обогатимости руд различных природных разновидностей были составлены смеси из МПТ-7, 18, 163, 142 и УМПТ-1 и 4, образующих пары легкообогатимых и труднообогатимых руд. Соотношения компонентов шихты изменялось при этом от 0 до 100%. Результаты обогащения этих искусственно составленных проб показали, что введения 20–25% труднообогатимых проб в шихту легкообогатимых не ухудшает технологические показатели обогащения.

Результаты, полученные при флотации МТП и УМТП, а также различных смесей проб, свидетельствуют о предпочтении варианта с усреднением руды перед обогатительной фабрикой. Это позволяет вовлечь в переработку часть труднообогатимых руд (apatит-силикат-карбонатную разновидность), которая не может быть переработана самостоятельно.

На основании данных по обогатимости руд и требований, предъявляемых к фосфатному сырью для последующей его переработки осуществлена разбивка апатит-карбонатных руд Селигдарского месторождения на технологические сорта (табл. 3). В таблице 4 приведены данные по распределению сортов внутри природных разновидностей по сортам до гор. +720 м, +500 м и 370 м по результатам проведённого малообъёмного технологического картирования.

Таблица 3

Критерии разбивки апатитовых руд по технологическим сортам

Сорт	Предельные допуски					Вид удобрений
	Содержание P ₂ O ₅ в концентрате, %	Извлечение в концентрате, %	$\frac{MgO \times 100}{P_2O_5}$	CO ₂	$\frac{Fe_2O_3 \times 100}{P_2O_5}$	
I	Более 37	Более 64	Менее 7-8	Менее 5	Менее 8	Аммофос
II	32-37	60-64	Менее 10	Менее 9	Менее 10	Аммофос
III	Менее 32	Менее 60	-	-	-	Термофосфаты

Таблица 4

Баланс апатитовых руд по природным разновидностям и технологическим сортам в пределах контуров подсчёта запасов (в отн. %)

Разновидность руд	Балансовые запасы до гор. +720 м				Балансовые запасы до гор. +500 м				Балансовые запасы до гор. +370 м			
	Всего	I с	II с	III с	Всего	I с	II с	III с	Всего	I с	II с	III с
Апатит-доломитовая	59,00	39,79	12,35	6,86	58,42	42,93	15,27	0,22	16,36	12,02	4,28	0,06
Апатит-кальцитовая	0,78	-	0,78	-	2,52	1,39	1,13	-	7,26	4,02	3,24	-
Апатит-мартит-кварц-карбонатная	23,8	10,47	11,42	1,91	23,47	14,45	8,4	0,62	7,41	4,56	2,65	0,2
Апатит-сульфат-карбонатная	0,05	0,025	0,025	-	1,34	0,62	0,62	0,1	56,77	16,17	26,07	4,53
Апатит-силикат-карбонатная	9,46	1,35	3,38	4,73	9,75	1,27	2,67	5,81	11,69	1,52	3,21	6,96
Дезинтегрированная	6,91	5,53	1,38	-	4,5	3,87	0,63	-	0,51	0,44	0,07	-
Руда среднего состава	100	57,16	29,34	13,5	100	64,53	28,72	6,75	100	48,73	39,52	11,75

Наиболее легкообогатимые технологические сорта (в основном I и, частично, II) приурочены к верхним горизонтам центральной части месторождения и связаны, в основном, с апатит-кальцитовой и дезинтегрированными разновидностями. Условно неблагоприятные с технологических позиций сорта руд (в основном III и, частично, II) связаны с апатит-сульфат-карбонатной, апатит-силикат-карбонатной разновидностями, локализующимися, соответственно, в глубоких (в основном, глубже 400 м от дневной поверхности) и фланговых частях месторождения. Условность отнесения этих руд к неблагоприятным технологическим сортам объясняется тем, что из них возможно получение кондиционных концентратов по принятой схеме, но при этом требуется увеличение расхода соды или собирателя. Обогащение их возможно, но они отнесены в настоящий момент к забалансовым по технико-экономическим соображениям.

Учитывая, что разведка Селигдарского месторождения велась с помощью буровых скважин, основой технологического картирования явились разрезы месторождения, на которые выносилось масштабное отображение интервалов опробования МТП, приводились цифровые данные показателей обогатимости с последующим оконтуриванием в пространстве выделенных технологических разновидностей и сортов руд.

Анализ и обобщение результатов малообъёмного технологического картирования позволяет сделать следующие общие выводы:

1. Апатитовые руды Селигдарского месторождения характеризуются резко выраженной технологической неоднородностью, что обусловлено сонахождением перемежающихся блоков руд трёх технологических сортов, сильно различающихся по основным параметрам обогатимости. В то же время особенности локализации технологических сортов апатитовых руд подчиняются определённым закономерностям как по глубине, так и по площади месторождения и отображают условия залегания природных разновидностей руд. Третьим сортом (неблагоприятным с технологических позиций) сложено 6,75 % запасов балансовых руд месторождения. Почти все они представлены апатит-силикат-

- карбонатной разновидностью и локализируются, в основном, по контактам рудного тела с вмещающими породами. Технологические исследования показали, что их целесообразно перерабатывать в шихтовой смеси с легкообогатимыми рудами (I и II сорта) в отношении I:II:III, соответственно, от 30:50:20 до 25:50:25 (по данным ГИГХСа и ИМР доля в шихте апатит-силикатных руд не должна превышать 10%).
2. Руды апатит-сульфат-карбонатной разновидности, составляющей основную часть запасов III сорта на глубинах ниже горизонта +500 м (400 м от поверхности), из-за своего размещения в глубокой части разреза рудного тела, в соответствии с принятой схемой отработки не смогут быть вовлечены в состав подшихтовки к легкообогатимым рудам, так как ко времени их вскрытия последние будут большей частью отработаны. Учитывая дефицит кальцинированной соды и её высокие расходы при существующей схеме обогащения разновидности руд, а также отсутствие на сегодня более прогрессивной технологии их обогащения, при подсчёте запасов и их утверждении в ГКЗ эти руды отнесены к забалансовым.
 3. При отсутствии в отдельных блоках, среди подсчитанных балансовых руд труднообогатимых из разновидностей (apatит-сульфат-карбонатной и апатит-силикат-карбонатной) шихтовая смесь в любых соотношениях остальных разновидностей (apatит-доломитовый, апатит-кварц-доломитовый, апатит-кальцитовый и дезинтегрированный) не оказывает существенного влияния на технологические показатели обогащения и вряд ли при эксплуатации потребует и усреднения на буферном складе перед флотацией (как это определено на сегодня регламентом ГИГХСа по проектированию САЗ).

Литература

1. Егин В.И., Сучков В.Н., Боярко Г.Ю. Минералогические и технологические типы руд Селигдарского месторождения апатита // Труды НИИ горнохимического сырья. 1983. № 58. С. 46–59.
2. Энтин А.Р., Сучков В.Н., Тыллар А.Г., Боярко Г.Ю. Геолого-экономические проблемы освоения апатитовых руд Южной Якутии. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. 128 с.
3. Сучков В.Н., Боярко Г.Ю. Степень разведанности и промышленная ценность Селигдарского месторождения апатита // Разведка и охрана недр. 1988. № 6. С. 8–12.
4. Боярко Г.Ю., Сучков В.Н. Минерально-технологическое картирование руд Селигдарского месторождения апатита // Тезисы докладов к VII съезду Всесоюзного минералогического общества. – Л.: ВМО, 1987. С. 165–166.
5. Боярко Г.Ю. Минерально-технологическое картирование руд Селигдарского месторождения апатита // Технологическая минералогия фосфатных руд. Тезисы докладов Всесоюзного совещания. – Черкассы: ГИГХС, 1987. С. 114–116.