

## **ДОКЛАД 14**

### **“Нужное оборудование в нужном месте”: увеличение производительности по никелю на комбинате Cosmos компании Xstrata Nickel Australasia**

Дэн Керри<sup>1</sup>, главный управляющий комбината

Майкл Купер<sup>1</sup>, управляющий комбината

Джош Рубенстайн<sup>2</sup>, старший инженер-технолог

Том Шоулдис<sup>3</sup>, президент

Майкл Янг<sup>2</sup>, главный металлург

---

<sup>1</sup>Xstrata Nickel Australasia, Level 3, 24 Outram Street, West Perth, WA 6006

Тел. +61 (8) 9213 1588

[dcurry@xstratanickel.com.au](mailto:dcurry@xstratanickel.com.au)

[mcooper@xstratanickel.com.au](mailto:mcooper@xstratanickel.com.au)

<sup>2</sup>Xstrata Technology, Level 5, 509 Richards Street, Vancouver, BC V6B 2Z6

Тел. (604) 699 6402

[jrubenstein@xstrata.tech.com.au](mailto:jrubenstein@xstrata.tech.com.au)

[tmyoung@xstrata.tech.com.au](mailto:tmyoung@xstrata.tech.com.au)

<sup>3</sup>G & T Metallurgical Services Ltd., 2957 Bowers Place, Kamloops, BC V1S 1W5

Тел. (250) 828 6157

[tshouldice@gtmet.com](mailto:tshouldice@gtmet.com)

**Ключевые слова:** IsaMill™, флотомашина Джеймсон, Wemco® SmartCell™, никель, технологическая минералогия

42-ое Ежегодное собрание  
Канадского общества  
переработки минерального  
сырья



19-21 января 2010 года,  
Оттава, Онтарио, Канада

## **АВТОРЕФЕРАТ**

Комбинат Cosmos компании Xstrata Nickel Australasia (шт. Западная Австралия) в настоящее время осуществляет проект устранения узких мест в технологической схеме с целью увеличения производства никеля при сохранении металлургических показателей и низкой удельной себестоимости продукции. Результаты минералогического анализа показали, что узкие места в технологической схеме можно устраниить, изменив отдельные участки технологического цикла, а также увеличив мощность производства с использованием новых технологий, таких как IsaMill™, флотомашина Джеймсон, Wemco® SmartCell™ и фильтр Laroх.

Флотомашина Wemco® SmartCell™, идеально подходящая для флотации грубого минерального сырья, и флотомашина Джеймсон, признанная оптимальной для быстро флотируемого и мелкого минерального сырья, могут быть установлены на основной технологической линии цикла флотации в качестве флотомашин скальпирования основной флотации. Установка двух дополнительных флотомашин позволит получить достаточную мощность флотации с учетом ожидаемого повышения содержания никеля в питании и тоннажа.

Установка мельницы IsaMill™ для доизмельчения позволит сделать более грубым первичный продукт мельницы полусамоизмельчения, тем самым повысив производительность. Среди преимуществ, предлагаемых мельницей IsaMill™, – возможность работы в открытом цикле (внутренняя классификация), инертная (керамическая) среда измельчения, облегчающая последующую флотацию (более чистые новые поверхности), компактная конструкция (удобство установки на действующем производстве) и энергоэффективность. Одновременно с увеличением мощности основной флотации, схема установки остальных существующих флотомашин была изменена с учетом новой мельницы доизмельчения и требований цикла перечистки. Существующий фильтр-пресс Laroх 24м<sup>2</sup>, используемый для обезвоживания концентрата, был заменен фильтром 32 м<sup>2</sup> с учетом увеличенного выхода концентрата.

## **ВВЕДЕНИЕ**

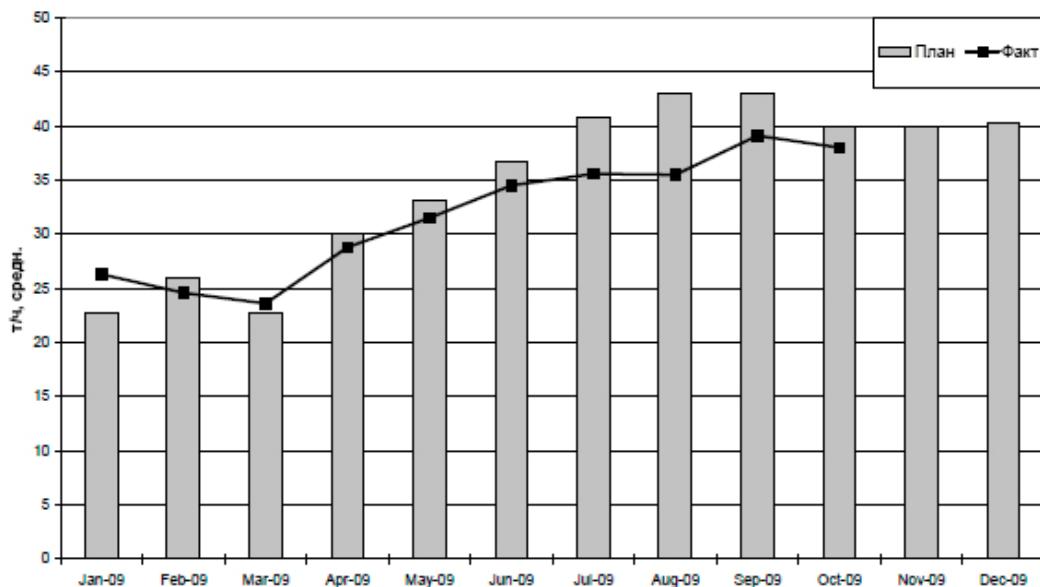
Горно-обогатительный комбинат Cosmos расположен в 680 км к северо-востоку от Перта, шт. Западная Австралия. Разработка месторождения была начата в 1999 году компанией Jubilee Mines NL, предыдущим владельцем комбината Cosmos, а первый никелевый концентрат был получен в апреле 2000 года. Комбинат перерабатывает высокосортную никелевую сульфидную руду в коматитовой вмещающей породе; сульфидные минералы преимущественно представлены пентландитом и пирротитом, в меньшей степени пиритом и халькопиритом.

Компании Jubilee принадлежали одни из самых перспективных и относительно малоизученных никелевых месторождений в мире, что обеспечивало отличный потенциал расширения производства. Это хорошо сочеталось со стратегией развития компании Xstrata Nickel, и в октябре 2007 года Xstrata сделала предложение о покупке Jubilee Mines NL. В феврале 2008 года Xstrata приняла на себя функции управления активами Jubilee и учредила компанию Xstrata Nickel Australasia (XNA), новое производственное подразделение Xstrata Nickel.

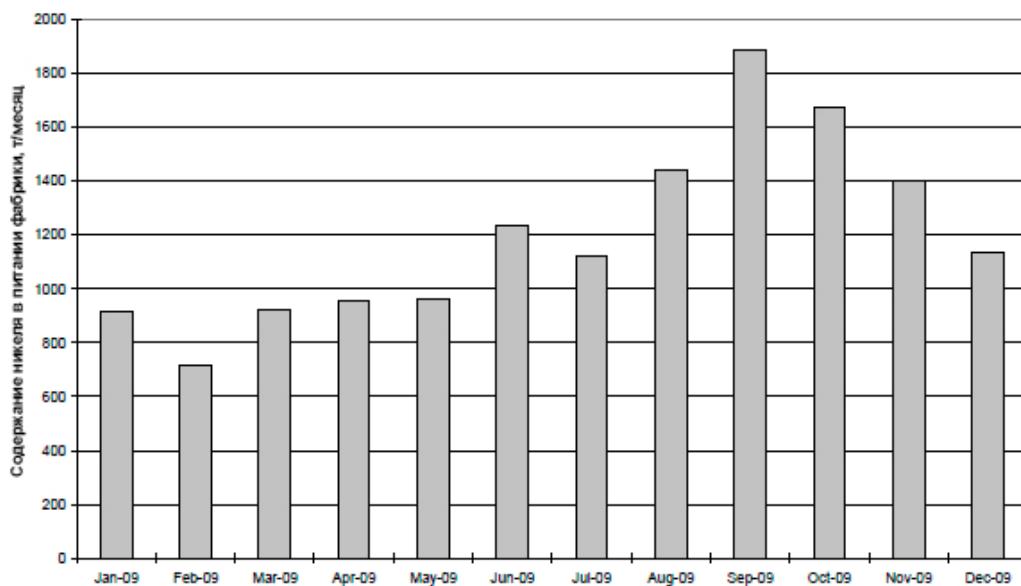
Стратегия интенсивного роста XNA потребовала внесения изменений в перерабатывающее производство с учетом увеличения производства никеля из руды, добываемой на руднике Просперо комбината Cosmos (рис. 1). Увеличение производства никеля было связано с увеличением не только тоннажа, но и содержания никеля в руде. Обогатительная фабрика комбината Cosmos был спроектирован более 10 лет назад и был рассчитан примерно на 3

*Материалы 42-ой Ежегодной конференции Канадского общества переработки минерального сырья - 2010*

года отработки одноименного месторождения. Учитывая возраст и проектный срок службы фабрики, а также его компактную планировку, нельзя было не ожидать определенных трудностей, связанных с его модернизацией для увеличения мощности. В ноябре 2008 года обогатительная фабрика Cosmos имела массовую производительность 25 т/ч и производительность по никелю в питании 1,3 т/ч. Чтобы получить запланированный на 2009 год выход никеля, необходимо было увеличить производительность по никелю в питании 2,8 т/ч (+215%) и массовую производительность мельницы полусамоизмельчения 45 т/ч (+180%).



**Рисунок 1. Производительность мельницы полусамоизмельчения на комбинате Cosmos (фактическая в 2009 году на указанную дату против плановой)**



**Рисунок 2. Производительность обогатительной фабрики Cosmos по никелю в питании, т/месяц согласно плану на 2009 год**

Были выполнены минералогические и металлургические исследования, результаты которых показали, что выйти на высокие плановые показатели можно при условии установки и реконфигурации нескольких единиц ключевого оборудования. На основании полученных

результатов и с использованием принципа применения оптимального оборудования была начата программа устранения узких мест в технологической схеме. Хотя она еще не завершена, программа уже доказала свою эффективность и будет выполнена согласно плану (за 12 месяцев) и с минимальными (по меркам отрасли) затратами.

Решения, используемые при устранении узких мест в технологической схеме, были и остаются основаны на минералогическом подходе. Вносимые в технологию изменения основаны на данных анализа извлечения по фракциям крупности, высвобождения и минералогических подсчетах. Для оценки эффективности вносимых изменений ключевое значение имели определения извлечения целевых минералов по фракциям в основных технологических потоках. Принцип "нужного оборудования в нужном месте" подразумевал реконфигурацию части оборудования для получения измененной технологической схемы и применение новых технологий, таких как IsaMill™, флотомашина Джеймсон и Wemco® SmartCell™, для получения требуемых металлургических показателей.

Ниже представлено краткое описание исходной технологической схемы и соответствующей технологической минералогии; далее следует описание изменений, внесенных при устранении узких мест, и их влияние на технологические показатели обогатительной фабрики по фракциям крупности.

### ИСХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА И ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ (РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫПОЛНЕННОГО В ИЮЛЕ 2008 ГОДА)

В этой части будет рассмотрена схема фабрики, характеристики питания флотации, показатели флотации, состав конечного концентратата и показатели уноса с хвостами до программы устранения узких мест, причем последние два аспекта имеют особое значение. Иными словами, что присутствует в концентрате из того, чего в нем не должно быть, и наоборот, - что присутствует в хвостах из того, чего в них не должно быть. На рис. 3 показана исходная технологическая схема обогатительной фабрики Cosmos.

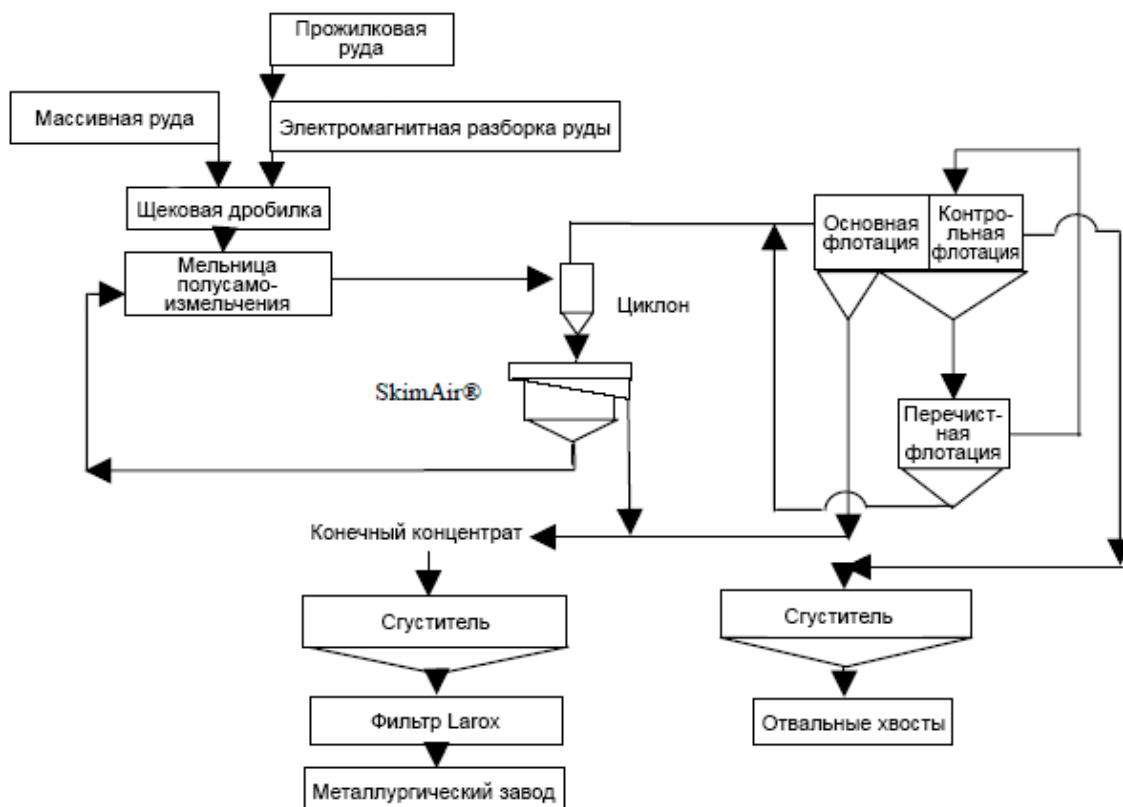


Рисунок 3. Исходная технологическая схема

Цикл измельчения состоял из одной щековой дробилки, продукт которой поступал непосредственно в одностадийную мельницу полусамоизмельчения закрытого цикла с одной парой циклонов Cavex 400 мм. Схема классификации не отличалась гибкостью и эффективностью, в результате чего значительное количество высвобожденного пентландита попадало в нижний продукт циклона. Поэтому флотомашина SkimAir® демонстрировала высокие показатели эффективности, однако это указывало на неудовлетворительную эффективность цикла измельчения, поскольку эти высвобожденные частицы должны были поступать в верхний продукт циклона. SkimAir® извлекала большую часть никеля (61%) при содержании в концентрате 20%. Остальная часть цикла флотации производила концентрат с содержанием 16%, обеспечивая извлечение еще 30% никеля. Общее извлечение никеля в цикле достигало 92% при содержании в концентрате 19% (таблица 1).

Цикл флотации состоял из двух стадий основной флотации и трех стадий контрольной флотации в основном технологическом потоке питания флотации (таблица 2 и 3). Концентрат первой основной флотации поступал в конечный концентрат вместе с продуктом SkimAir®. Примечательно, что концентрат и хвосты перечистной флотации находились в закрытом цикле с основной/контрольной флотацией. В результате во всех потоках флотации присутствовала смесь различных флотореагентов, которые были вынуждены одновременно выполнять функции активации, сбора и депрессии. Это делало цикл проще в управлении, однако большие рециркулирующие нагрузки, сложности, возникающие при дозировании реагентов, и непрерывное разубоживание концентрата перечистной флотации питанием основной флотации указывали на возможность несложного и значимого усовершенствования цикла.

Верхний продукт циклона содержал высвобожденный на 86% пентландит и высвобожденные на 97% несульфидные жильные минералы, что также указывало на переизмельчение. Столь высокие показатели высвобождения более подходили питанию перечистной флотации, чем циклу основной флотации, и позволяли сделать вывод, что можно увеличить производительность мельницы полусамоизмельчения и получать более грубый верхний продукт циклона без ущерба для извлечения в цикле основной флотации.

**Таблица 1. Общий металлургический баланс, июль 2008 года**

Продукт	Масса, %	Содержание, %					Распределение, %				
		Ni	Cu	Fe	S	As	Ni	Cu	Fe	S	As
Питание, пересчет	100	4,61	0,17	12,2	8,69	0,08	100	100	100	100	100
Концентрат SkimAir®	13,8	20,6	0,68	34,5	30,6	0,24	61	54	39	49	43
Концентрат 1-й основной флотации	8,5	16,4	0,77	27,7	26,1	0,13	30	37	19	25	15
Конечный концентрат	22,2	19,0	0,70	31,9	28,9	0,21	92	91	58	74	58
Отвальные хвосты	77,8	0,5	0,02	6,5	2,9	0,04	8	9	42	26	42

**Таблица 2. Питание флотации, июль 2008 года**

Минерал	Символ	Содержание, %
Пентландит	Ре	13,5
Халькопирит	Ср	0,5
Пирротит	Ро	9,7
Пирит	Ру	1,0
Несульфидные жильные минералы	Gn	75,3

**Таблица 3. Состав минералов в питании флотации, июль 2008 года**

Состояние минерала	Питание флотации, 104 мкм, K <sub>80</sub>		
	Ре	Ро	Gn
Высвобожденный	85,9	77,4	97,0
Бинарные частицы с Ре	—	6,0	1,1
Бинарные частицы с Ро	3,2	—	0,6
Бинарные частицы с Gn	6,9	9,4	—
Бинарные частицы с проч.	0,7	0,6	0,3
Мультифазные частицы	3,3	6,6	1,0

На рис. 4 показано извлечение в зависимости от крупности в цикле SkimAir®. Извлечение из крупной фракции имеет отличные показатели при незначительном вовлечении жильной породы (особенно учитывая относительно высокую плотность пульпы, необходимую в этом цикле для управления водным балансом в мельнице полусамоизмельчения). Извлечение из мелких фракций (<50 мкм) хуже, однако извлечение происходит позже в цикле основной флотации, как показано на рис. 5. Примерно 30% высвобожденного пирротита в верхнем продукте циклона извлекается в концентрат первой основной флотации (максимальное извлечение наблюдается при диаметре частиц от 10 до 50 мкм). Вовлечение несульфидных жильных минералов в концентрат первой основной флотации выше, чем в концентрат SkimAir®.

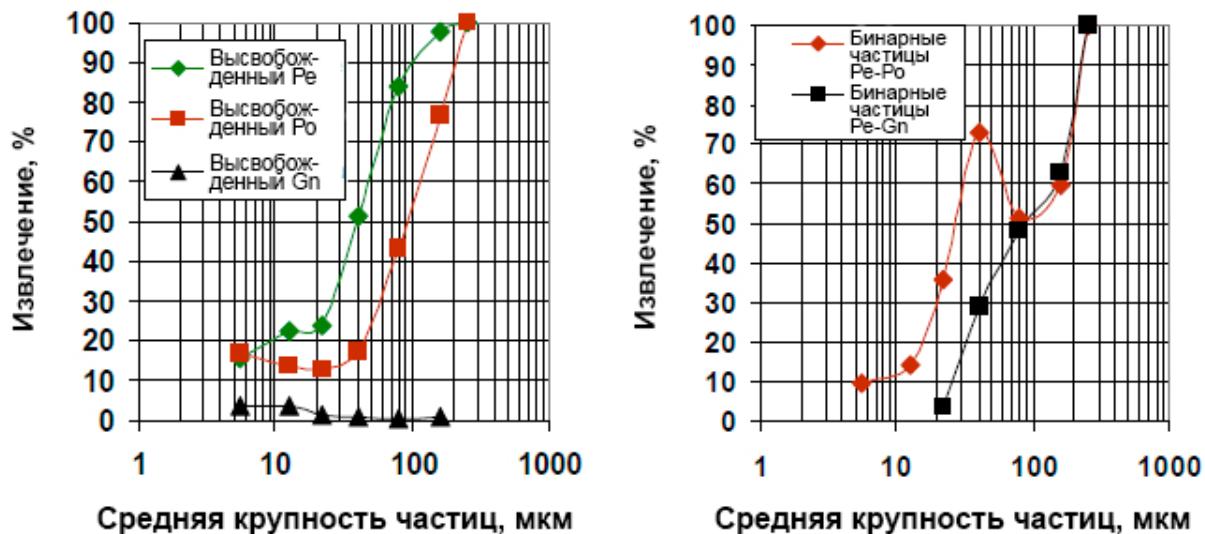


Рисунок 4. Извлечение в концентрат SkimAir® в зависимости от крупности и класса

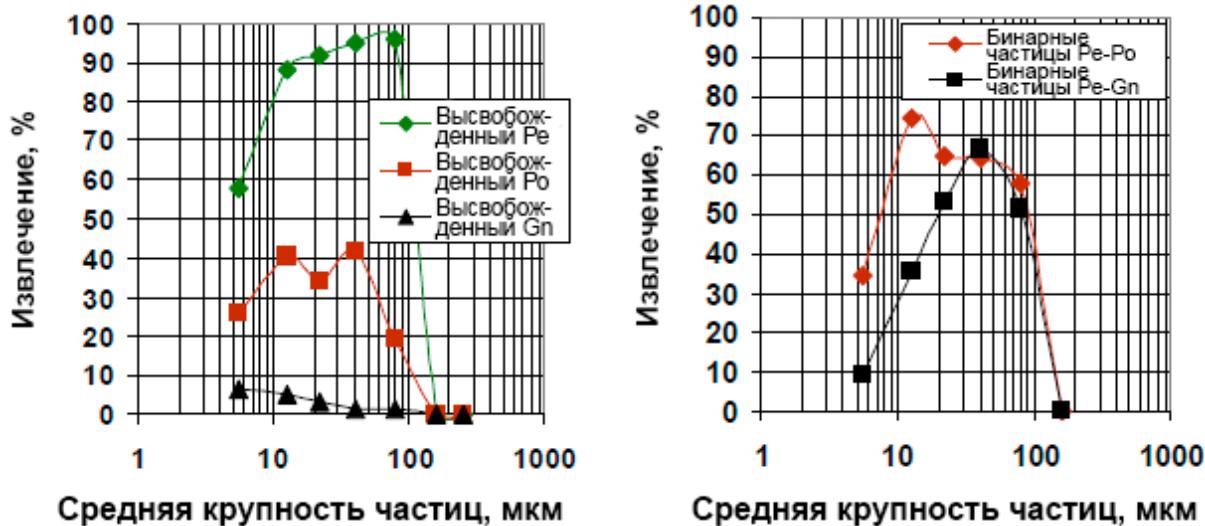


Рисунок 5. Извлечение в концентрат первой основной флотации в зависимости от крупности и класса

Как показано на рис. 6, основными разубоживающими минералами в концентрате SkimAir® являются пирротит и несульфидные жильные минералы (21% и 12% от массы концентрата, соответственно). Концентрат первой основной флотации содержал примерно в два раза больше несульфидных жильных минералов и примерно столько же пирротита, сколько содержал концентрат SkimAir® (рис. 7). Основные разубоживающие минералы преимущественно присутствуют в виде высвобожденных зерен. Теоретическая кривая зависимости содержания от извлечения на рис. 8 показывает, что при условии удаления большей части высвобожденных разубоживающих минералов можно получить концентрат более высокого сорта.

В то же время, увеличение крупности измельчения (приводящее к меньшему высвобождению) может не повлиять на содержание в конечном концентрате. Если применить традиционный цикл перечистки и/или промывку пены для удаления высвобожденных вовлеченных несульфидных жильных минералов, существует возможность получения концентратов с более высоким содержанием.

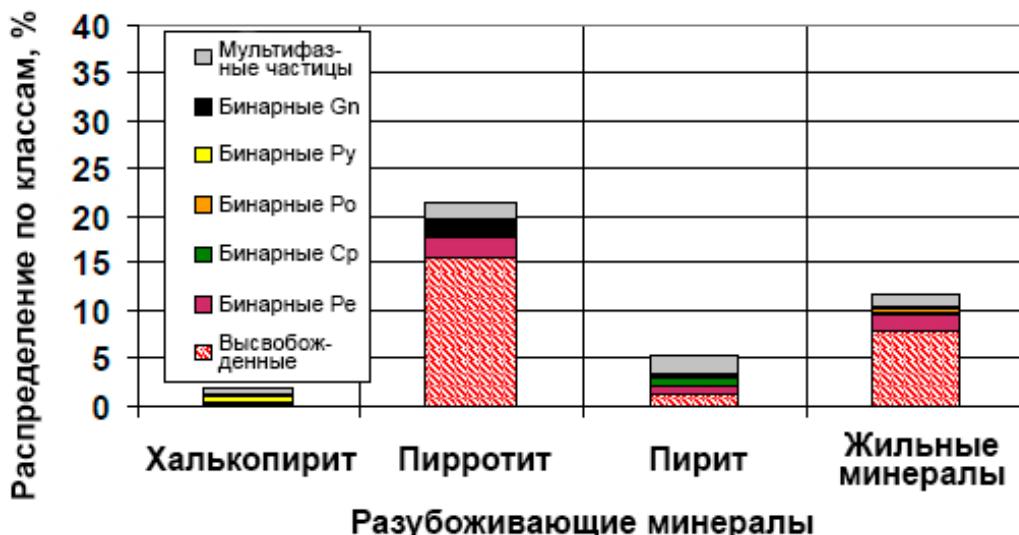


Рисунок 6. Распределение разубоживающих минералов в концентрате SkimAir®

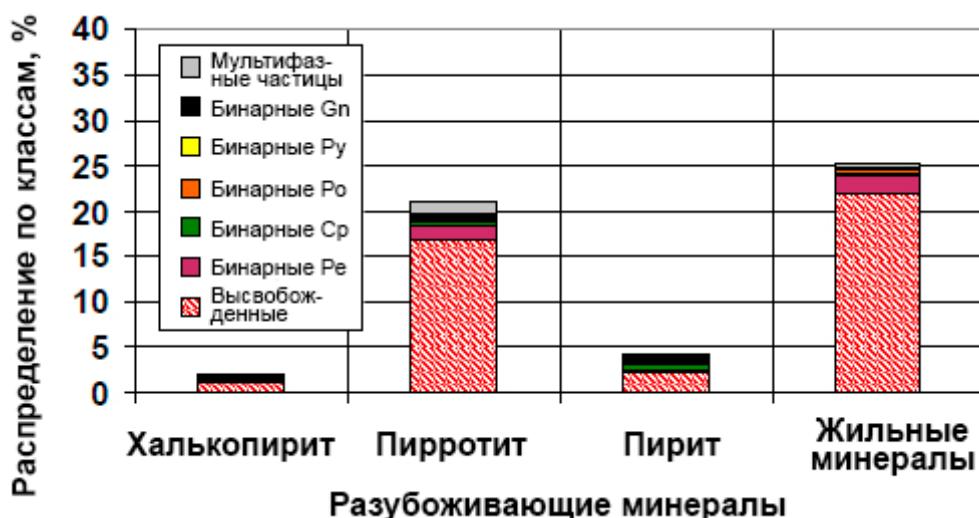


Рисунок 7. Распределение разубоживающих минералов по массе в концентрате основной флотации

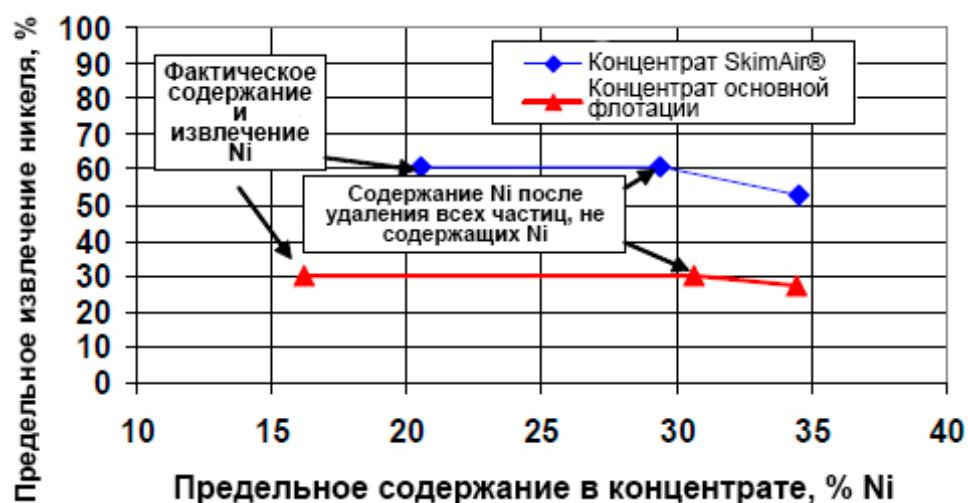


Рисунок 8. Предельные минералогические характеристики содержания и извлечения

8% никеля в руде теряется с отвальными хвостами. 60% потерь приходится на унос высвобожденных зерен пентландита (рис. 9), значительная доля которых имеет крупность менее 11 мкм. Это закономерно, учитывая отсутствие полноценного цикла перечистки и сложный химический состав пульпы.

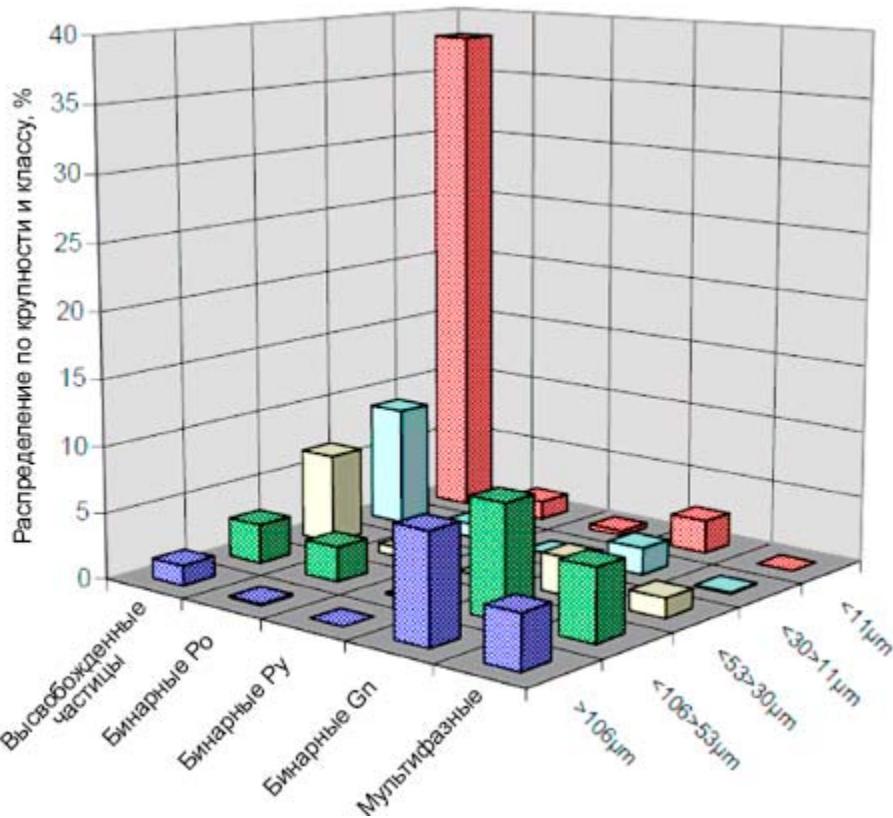


Рисунок 9. Распределение уноса никеля с хвостами по крупности и классу, % от содержания пентландита в хвостах

#### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПОСЛЕ УСТРАНЕНИЯ УЗКИХ МЕСТ И ЕЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ (РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫПОЛНЕННОГО В АПРЕЛЕ 2009 ГОДА)

Производительность мельницы полусамоизмельчения была увеличена с учетом большего тоннажа добычи с получением более крупного питания флотации. Увеличение производительности мельницы полусамоизмельчения показано на рис. 10. Среди существенных доработок цикла полусамоизмельчения можно назвать переход со смеси шаров 80/100/125 мм на шары 125 мм, увеличение угла лифтера корпуса мельницы полусамоизмельчения с 15 до 25 градусов с учетом повышенной скорости мельницы, увеличение размера отверстий и живого сечения сит на стороне разгрузки. Из-за невозможности добиться сбалансированного режима работы двух циклонов Cavex 400 мм при больших колебаниях расхода они были заменены четырьмя циклонами Cavex 250 мм. Результаты минералогического анализа показали, что уровень высвобождения пентландита и несульфидных жильных минералов в питании флотации может быть снижен при большей крупности измельчения без ущерба для показателей извлечения основной и контрольной флотации. Это позволило бы извлекать большую долю композитных частиц. Чтобы добиться постоянства содержания в конечном концентрате, композитные частицы

необходимо доизмельчать до перечистной флотации. Мельница IsaMill™ была установлена в цикле для доизмельчения.

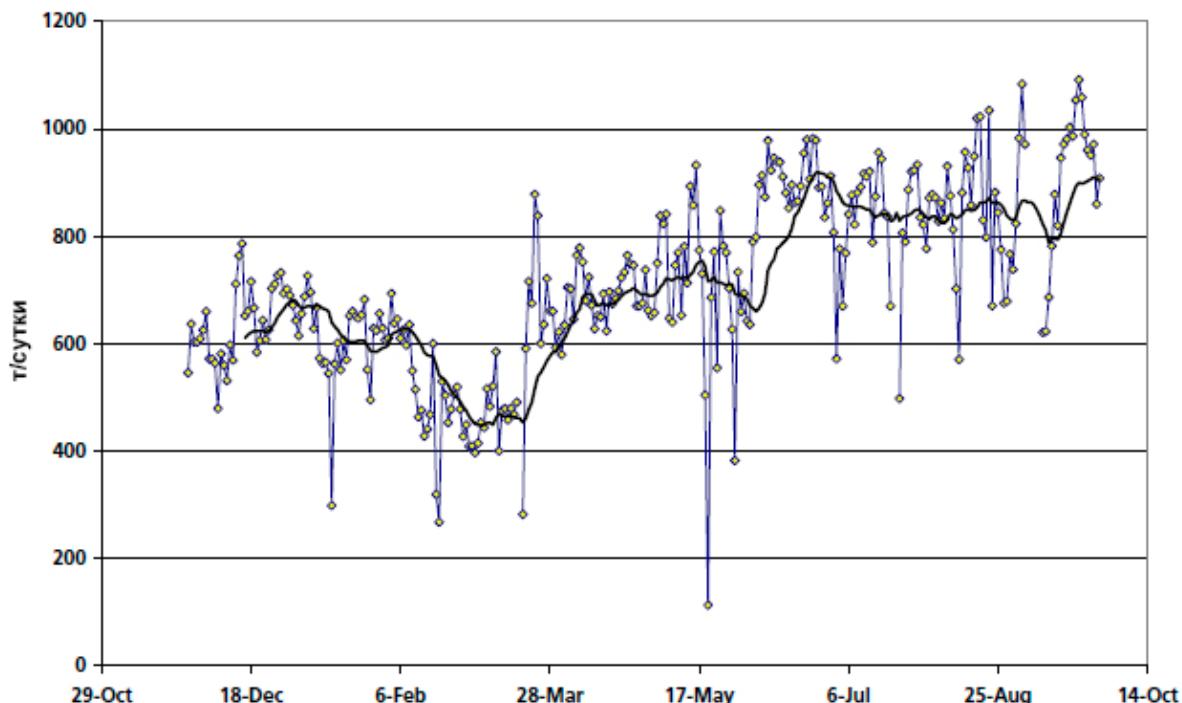


Рисунок 10. Производительность мельницы полуавтоматического измельчения

Для доизмельчения была выбрана мельница IsaMill™ M500 (показана на рис. 11), поскольку благодаря ее компактности она идеально подходит для проектов расширения действующих производств. С точки зрения минералогических и металлогургических характеристик фабрики Cosmos, большую ценность представляла возможность повысить благодаря применению IsaMill™ содержание в концентрате, использовать инертную среду измельчения (чистые поверхности частиц), получить узкий гранулометрический диапазон частиц (в открытом цикле), эффективно измельчать материал при низкой плотности пульпы. Чистые свежие поверхности минеральных частиц, которые могут быть получены при использовании инертных сред, позволяют оптимизировать разделение минералов, снизить расход реагентов и ускорить кинетику флотации (Côté and Adante, 2009; Finch, Rao, and Nasset, 2007; Huang, Grano, and Skinner, 2006). Пример плохо высвобожденного пентландитового композита, требующего доизмельчения, показан на рис. 12.



Рисунок 11. Мельница IsaMill™ с двигателем 200 кВт на обогатительной фабрике Cosmos

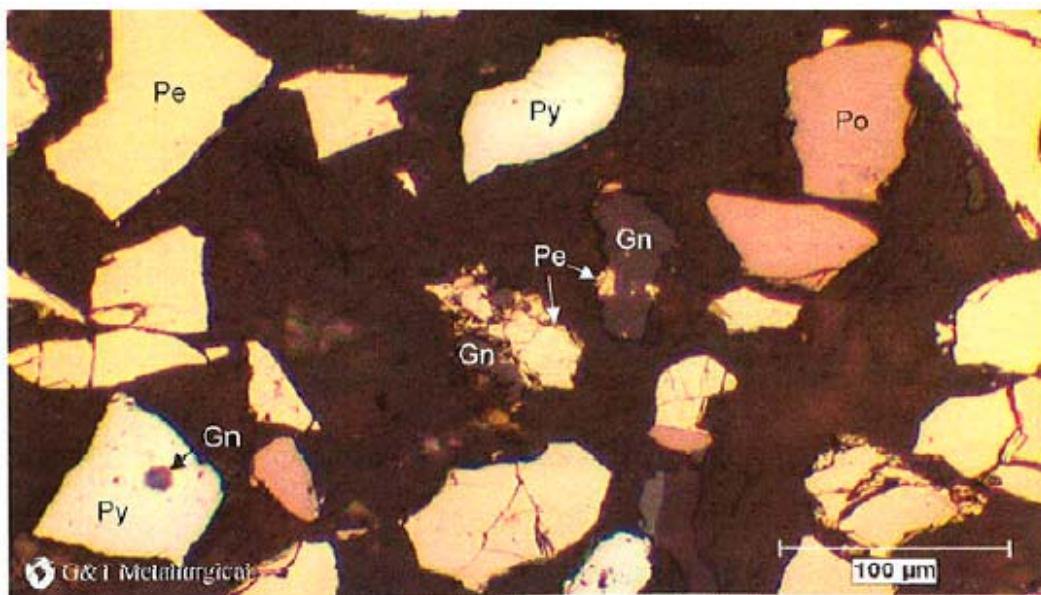
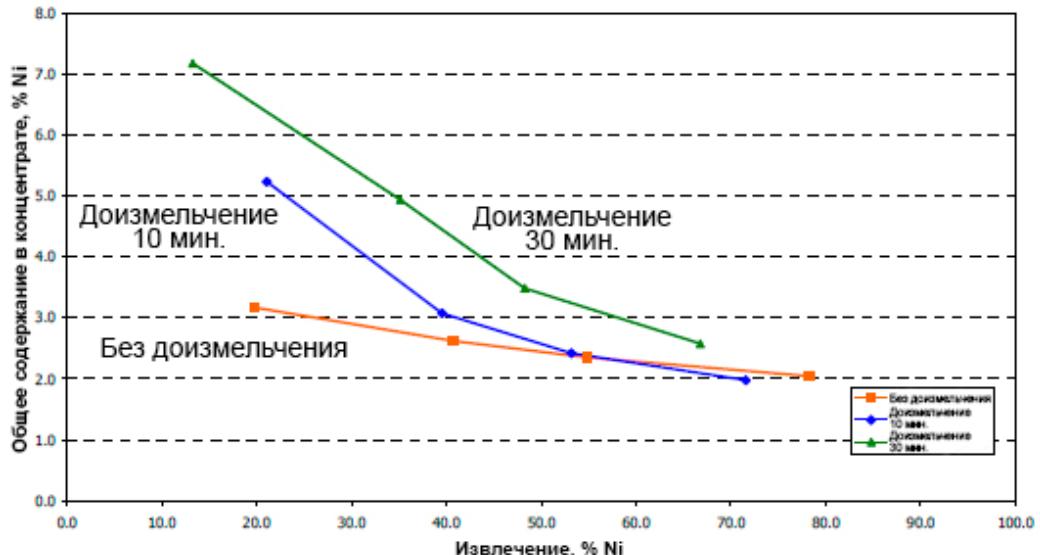


Рисунок 12. Микрофотография плохо высвобожденных частиц пентландита

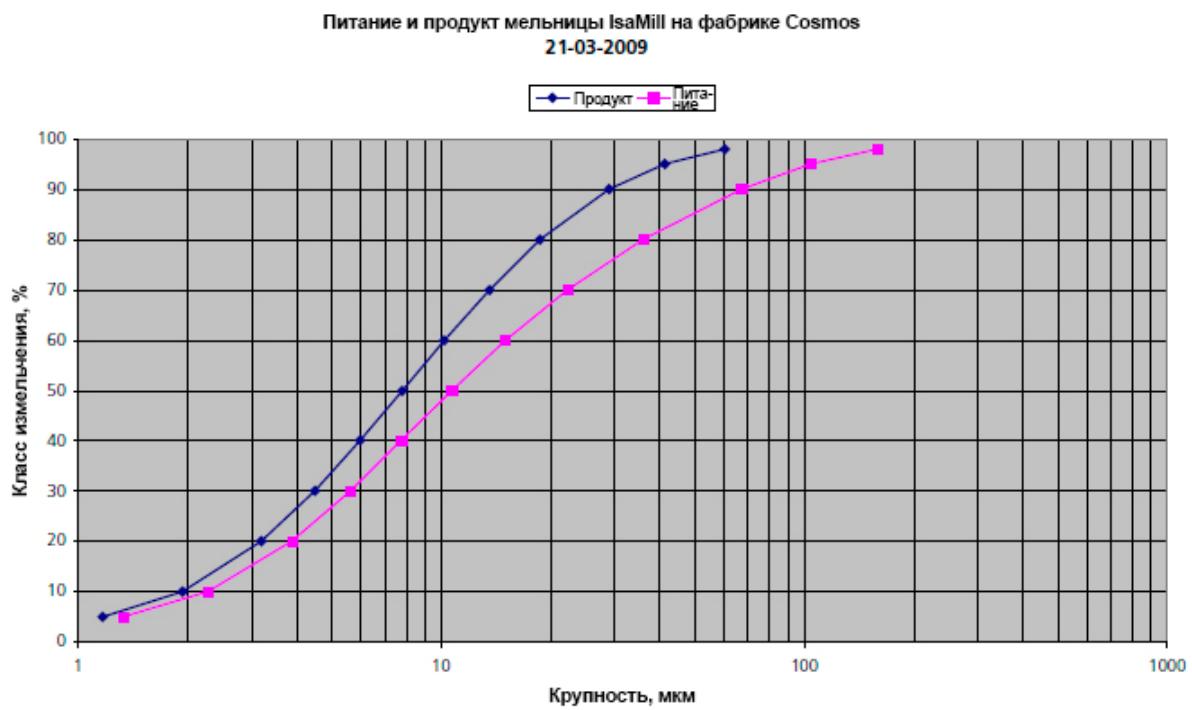
Лабораторные пробы выбранных концентратов были доизмельчены и подвергнуты флотации, чтобы проверить предположение. Было установлено, что при более мелком питании флотации кривая зависимости содержания никеля от извлечения смещалась вверх (рис. 13). IsaMill™ обеспечивает намного более тщательное удаление MgO и, при создании благоприятных химических условий в цикле перечистной флотации, -оптимальное удаление As.

Характерная гранулометрическая характеристика продукта IsaMill™ M500 показана на рис. 14.  $F_{80}$  и  $P_{80}$  составляют 40 и 20 мкм, соответственно. Удельный расход энергии на такое измельчение составляет примерно 20 кВт·ч/т. Примечательно, что гранулометрическая

характеристика продукта круче гранулометрической характеристики питания. Мельница IsaMill™ направляет энергию измельчения на получение крупных частиц, а не на увеличение доли мелких. На это указывает минимальное изменение крупностей классов  $P_{10}$ ,  $P_{20}$  и  $P_{30}$ . Для доизмельчения применяется керамическая среда крупностью 2 мм Keramax® MT1™ производителя Magotteaux.



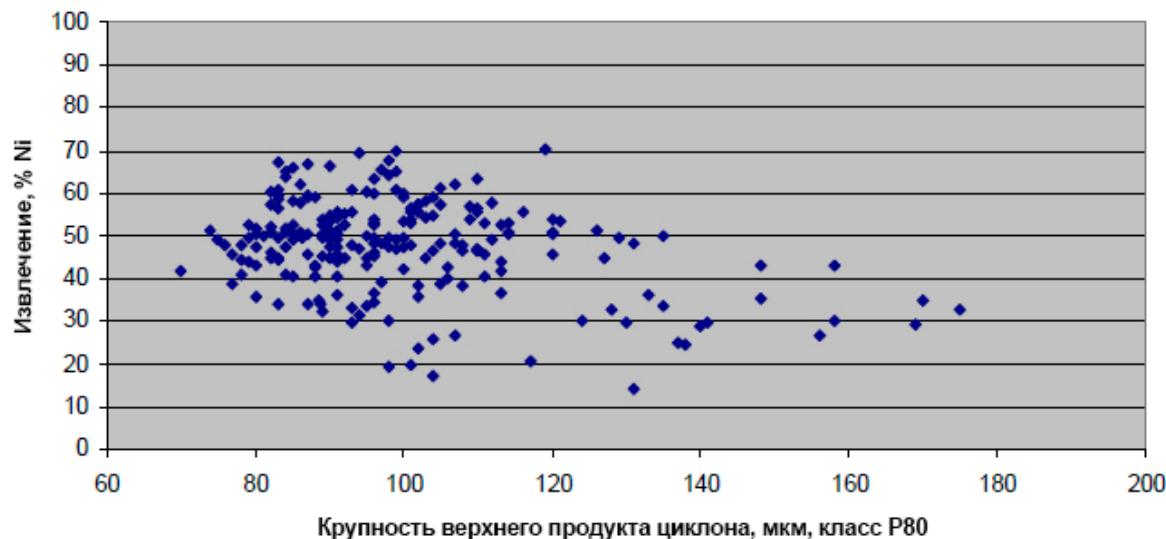
**Рисунок 13. Пример положительного влияния доизмельчения на характеристику зависимости содержания от извлечения**



**Рисунок 14. Характерный гранулометрический состав питания и продукта мельницы IsaMill™ M500**

В связи с более высоким исходным содержанием и мощностью производства потребовалась установка дополнительных мощностей флотации. В первую очередь была установлена флотомашина Джеймсон Z1600 для переработки верхнего продукта циклона мельницы

полусамоизмельчения в качестве флотомашины скальпирования основной флотации, а цикл флотации был сделан полностью открытим (концентраты перечистной флотации поступают в конечные концентраты, а хвосты перечистной флотации – в отвальные хвосты). После огрубления верхнего продукта циклона мельницы полусамоизмельчения уменьшились содержание высвобожденного пентландита в нижнем продукте циклона и извлечение в SkimAir® (рис. 15). После этого флотомашина SkimAir® стала использоваться в качестве флотомашины основной флотации, получающей питание из верхнего продукта циклона.



**Рисунок 15. Извлечение в SkimAir® в зависимости от крупности верхнего продукта циклона мельницы полусамоизмельчения**

Во вторую очередь была установлена флотомашина Wemco® SmartCell™ емкостью 40 м<sup>3</sup> для увеличения мощности основной флотации. Сперва она была установлена после флотомашины Джеймсон с целью получения достаточной мощности основной флотации, чтобы остальные первоначально установленные флотомашины могли быть включены в соответствующие циклы перечистной флотации. После пуска флотомашины Wemco® SmartCell™ было установлено, что вспениватель, попадающий из предшествующих технологических стадий, вызывает чрезмерное пенообразование, а также проблемы при перекачивании концентрата. Существующая трубная обвязка позволила подключить флотомашину Wemco® SmartCell™ перед флотомашиной Джеймсон. Такая схема подключения используется по настоящее время.

Флотомашина Джеймсон была выбрана для фабрики Cosmos благодаря ее компактности и высокой производительности. Флотомашина Джеймсон, установленная на фабрике Cosmos, показана на рис. 16. Подобно мельнице IsaMill™, компактная конструкция облегчает установку при переоборудовании действующих предприятий.

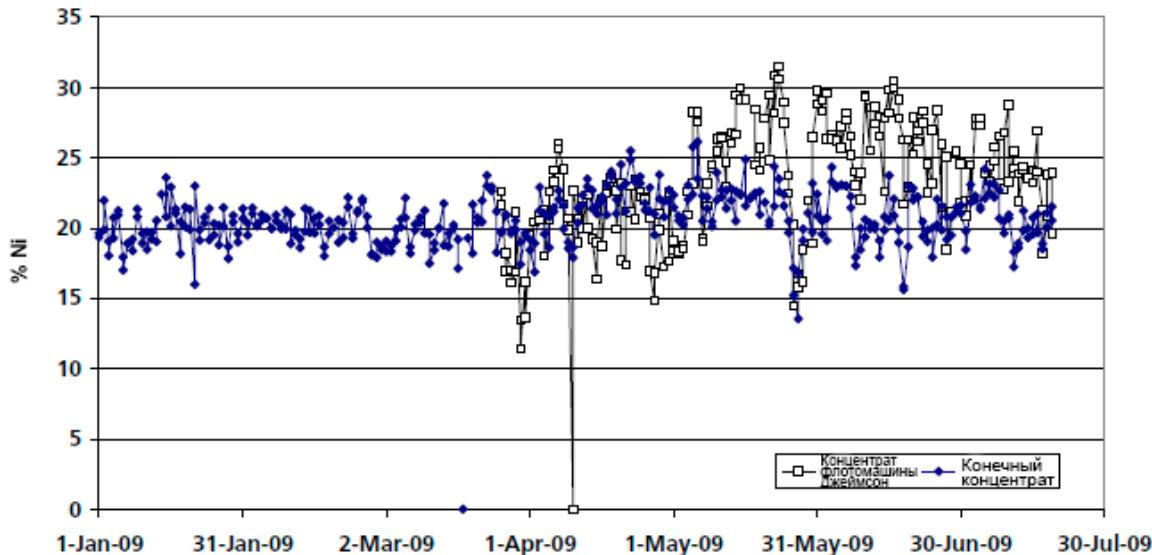


**Рисунок 16. Флотомашина Джеймсон Z1600 на обогатительной фабрике Cosmos**

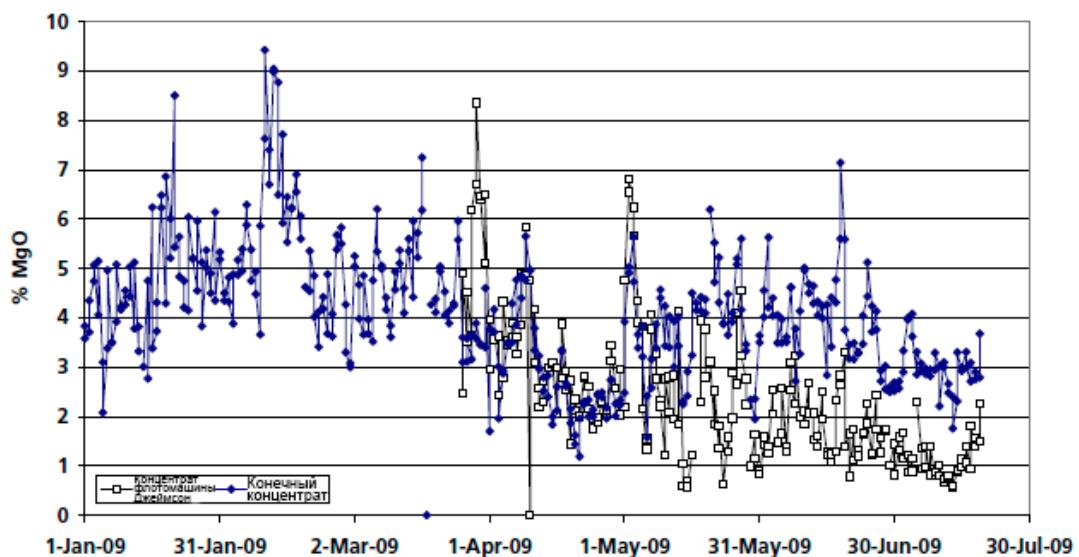
Флотомашина Джеймсон была запущена в конце марта 2009 года, что совпало с увеличением содержания никеля в концентрате на 2 единицы при прежнем извлечении – 90% (таблица 4). Как следует из рис. 17, содержание в концентрате флотомашины Джеймсон стабильно выше содержания в конечном концентрате. Кроме того, для уменьшения вовлечения несульфидных жильных минералов применяется промывка пены, как показано на рис. 18. Следует отметить, что флотомашина Джеймсон была пущена на верхнем продукте циклона, за несколько недель до реконфигурации флотомашины SkimAir®.

Таблица 4. Металлургические балансы за различные месяцы

Месяц	Конечный продукт	Масса, %	Содержание, %					Распределение, %				
			Ni	Cu	Fe	S	As	Ni	Cu	Fe	S	As
<b>Июль 08</b>	Концентрат	22,2	19,0	0,71	31,9	28,9	0,2	92	91	58	74	58
	Хвосты	77,8	0,5	0,02	6,5	2,9	0,04	8	9	42	26	42
<b>Август 08</b>	Концентрат	18,7	18,7	0,74	29,9	29,6	0,28	91	92	56	76	77
	Хвосты	81,3	0,4	0,01	5,4	2,2	0,02	9	8	44	24	23
<b>Декабрь 08</b>	Концентрат	19,9	19,6	0,65	25,7	24,5	0,25	90	87	50	67	46
	Хвосты	80,1	0,5	0,02	6,4	3,0	0,07	10	13	50	33	54
<b>Февраль 09</b>	Концентрат	22,8	19,9	0,68	24,8	23,5	0,19	90	81	44	60	45
	Хвосты	77,2	0,7	0,05	9,3	4,6	0,07	10	19	56	40	55
<b>Апрель 09</b>	Концентрат	22,5	21,8	0,75	30,6	27,6	0,11	90	88	36	50	44
	Хвосты	77,5	0,7	0,03	15,5	8,0	0,04	10	12	34	50	56



**Рисунок 17. Содержание в концентрате флотомашины Джеймсона и в конечном концентрате**



**Рисунок 18. Содержание MgO в концентрате флотомашины Джеймсона и в конечном концентрате**

В последнюю очередь флотомашины, первоначально работавшие в цикле основной/контрольной флотации, были подключены к циклу перечистной флотации. Организация открытого цикла флотации позволила более четко определить последовательные стадии флотации. Схема трех основных компонентов цикла показана на рис. 19. В данной схеме флотомашины основной и контрольной флотации обеспечивают максимальное извлечение никеля. На стадии перечистной флотации происходит депрессия и удаление несульфидных жильных минералов при помощи доизмельчения, перечистной флотации с промывкой/разубоживанием и применения депрессантов. При необходимости может применяться вторая перечистная флотация для избирательного удаления мышьяка посредством контроля pH и добавления цианида.

Данная схема имеет три преимущества. Во-первых, благодаря последовательному введению, реагенты добавляются точно на нужной стадии, а не до нее через

рециркулирующий поток. Так, прошлые исследования показали, что добавление цианида и сульфата меди замедляет кинетику пентландита. Во-вторых, благодаря разделению функций циклом проще управлять. В-третьих, большее время пребывания позволяет увеличить производительность по руде и никелю.

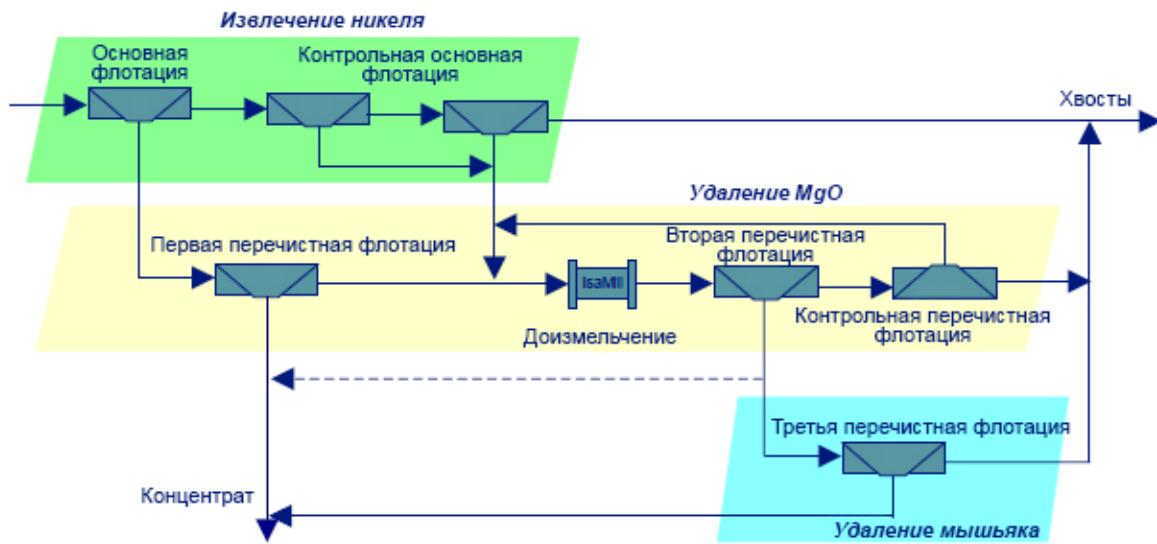


Рисунок 19. Последовательные стадии флотации

Анализ извлечения в конечный концентрат в зависимости от крупности после устранения узких мест указывает на хорошие показатели извлечения высвобожденного пентландита в цикле флотации (рис. 20), хотя по-прежнему наблюдается существенный унос материала мельче 10 мкм. На момент исследования, проведенного в апреле 2009 года, доработка цикла перечистной флотации не была завершена, поэтому время увеличенное пребывания сопровождалось высокой плотностью пульпы. Перечистка с разубоживанием в доработанном цикле позволит извлекать больше ценной мелкой фракции и уменьшить вовлечение высвобожденных несульфидных жильных минералов. Показатели извлечения невысвобожденного пентландита также улучшились (рис. 21). Новый цикл флотации также отличается более эффективным удалением высвобожденного пирротита. Как показано на рис. 22, высвобожденный пирротит составил менее 9% конечного концентрата – по сравнению с 15% в июле 2008 года в цикле до доработки.

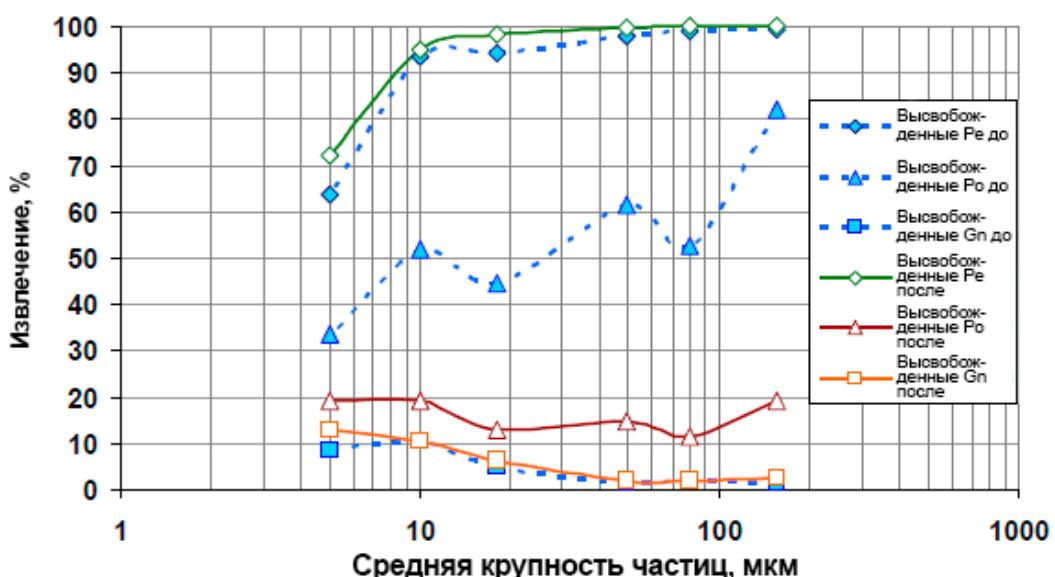


Рисунок 20. Извлечение в конечный концентрат в зависимости от крупности и класса

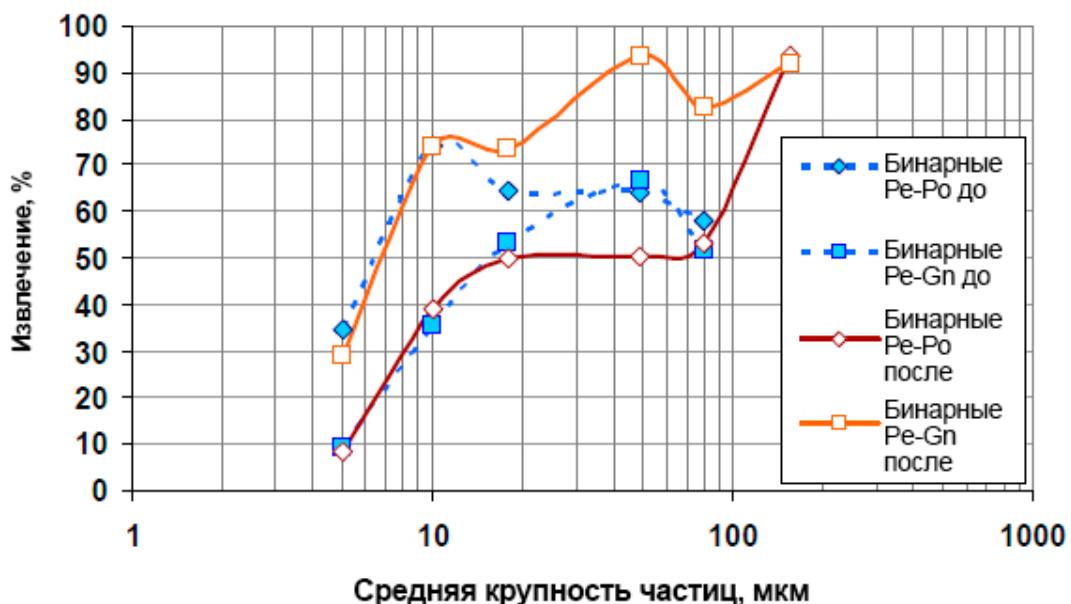


Рисунок 21. Извлечение бинарных частиц пентландита в конечный концентрат

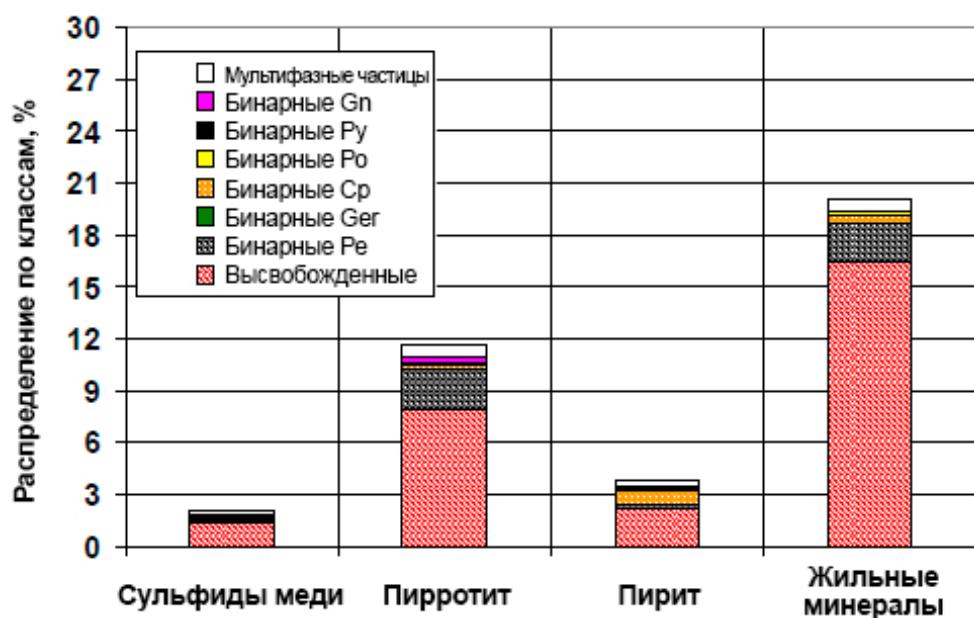


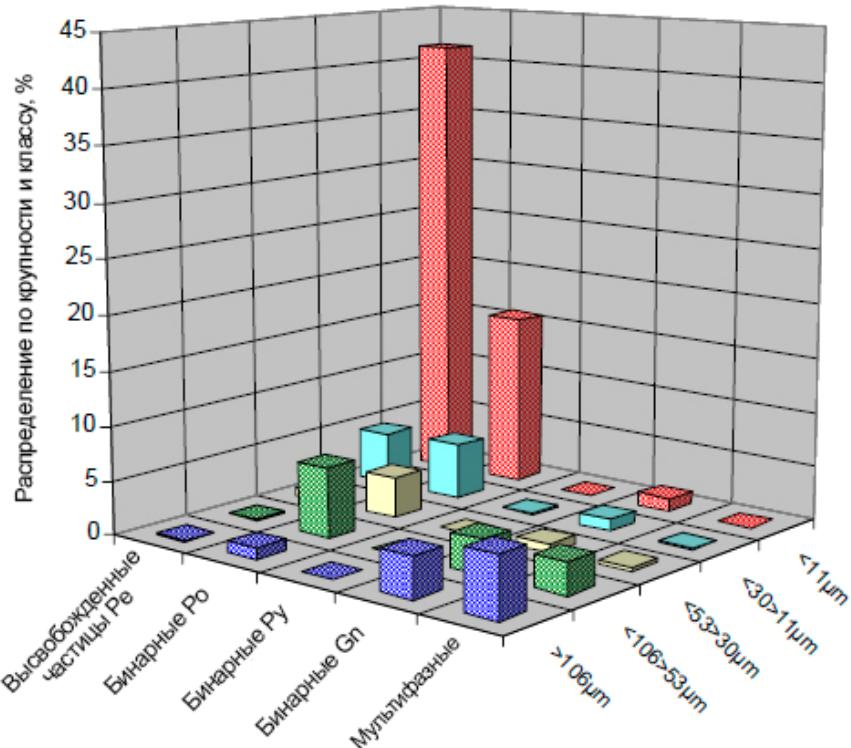
Рисунок 22. Состав разубоживающих минералов в конечном концентрате, апрель 2009 года

Исходя из теоретической характеристики зависимости между содержанием и извлечением, представленной на рис. 23, можно заключить, что, несмотря на некоторое улучшение относительно исходных показателей остаются возможности повышения содержания в концентрате без ущерба для извлечения никеля.



**Рисунок 23. Предельные минералогические характеристики содержания и извлечения, до и после**

Как показано на рис. 24 и в таблице 5, унос никеля в отвальные хвосты в апреле остается сопоставимым с результатами предыдущего исследования (рис. 9).



**Рисунок 24. Распределение уноса никеля с хвостами по крупности и классу, апрель 2009 года**

**Таблица 5. Общее распределение уноса никеля в отвальные хвосты**

*Материалы 42-ой Ежегодной конференции Канадского общества переработки минерального сырья - 2010*

Класс минералов	Распределение по крупности и классу					Унос по классам
	>106 мкм	<106>53 мкм	<53>30 мкм	<30>11 мкм	<11 мкм	
	Среднее за 2008 год					
<b>Высвобожденные</b>	0,1	0,2	0,4	1,0	3,1	4,8
<b>Бинарные Ро</b>	0,0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,7
<b>Бинарные Ру</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Бинарные Gn</b>	0,7	0,8	0,2	0,3	0,3	2,3
<b>Мультифазные</b>	0,4	0,4	0,1	0,1	0,0	1,0
<b>Унос по крупности</b>	1,2	1,6	0,9	1,5	3,6	8,8
	Апрель 2009 года					
<b>Высвобожденные</b>	0,0	0,0	0,1	0,5	4,0	4,5
<b>Бинарные Ро</b>	0,1	0,6	0,4	0,5	1,5	3,1
<b>Бинарные Ру</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Бинарные Gn</b>	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1	1,0
<b>Мультифазные</b>	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,9
<b>Унос по крупности</b>	1,0	1,2	0,5	1,1	5,6	9,4

### ОКОНЧАТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

Предполагаемая окончательная технологическая схема показана на рис. 25. Доработка позволит завершить программу увеличения производительности по никелю и снижения производственных затрат.

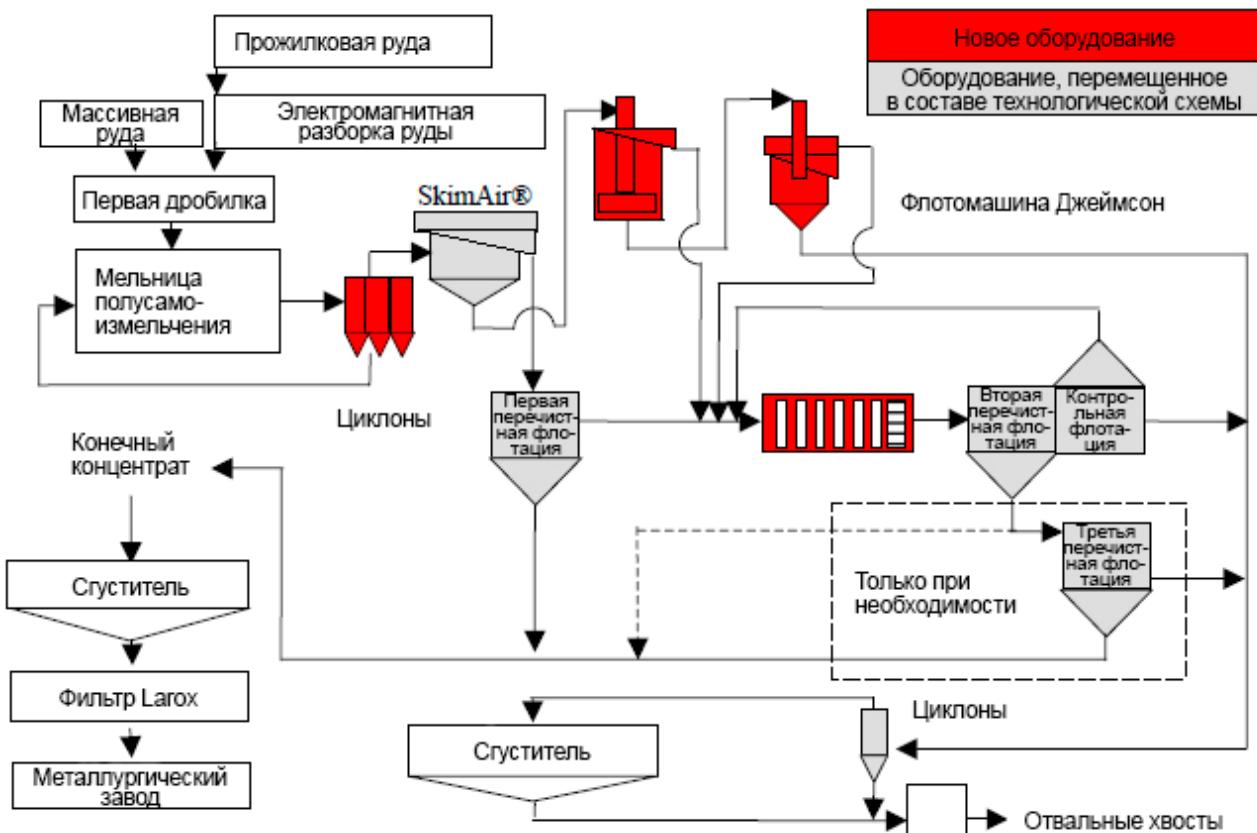


Рисунок 25. Новая технологическая схема

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производственные показатели обогатительной фабрики Cosmos, в целом, соответствуют плановым показателям, принятым в программе устранения узких технологических мест. Общие показатели содержания в концентрате и извлечения по фабрике сохранены несмотря на то, что на переработку поступает более труднообогатимая руда (исходное содержание никеля в питании уменьшилось, отношение никеля к мышьяку в питании повысилось, отношение массивной руды к вкрапленной понизилось – все эти факторы негативно влияют на извлечение никеля), а производительность фабрики увеличена.

С минералогической точки зрения, рисунки 27 – 29 указывают на увеличившееся извлечение пентландита во всех фракциях. Извлечение несульфидных жильных минералов осталось. В целом, прежним, однако этот показатель станет основным объектом внимания при планируемой доработке стадии перечистной флотации в новой технологической схеме.

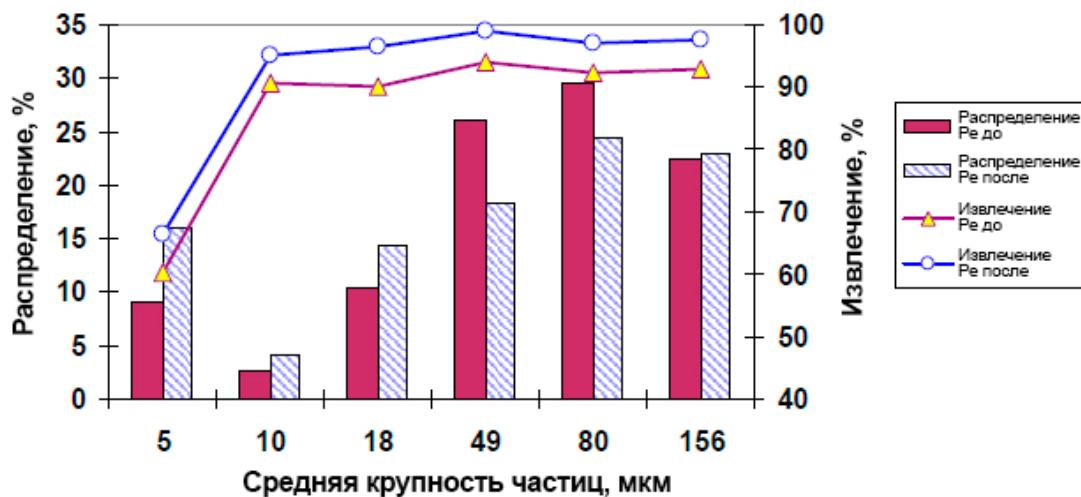


Рисунок 26. Сравнение показателей извлечения пентландита

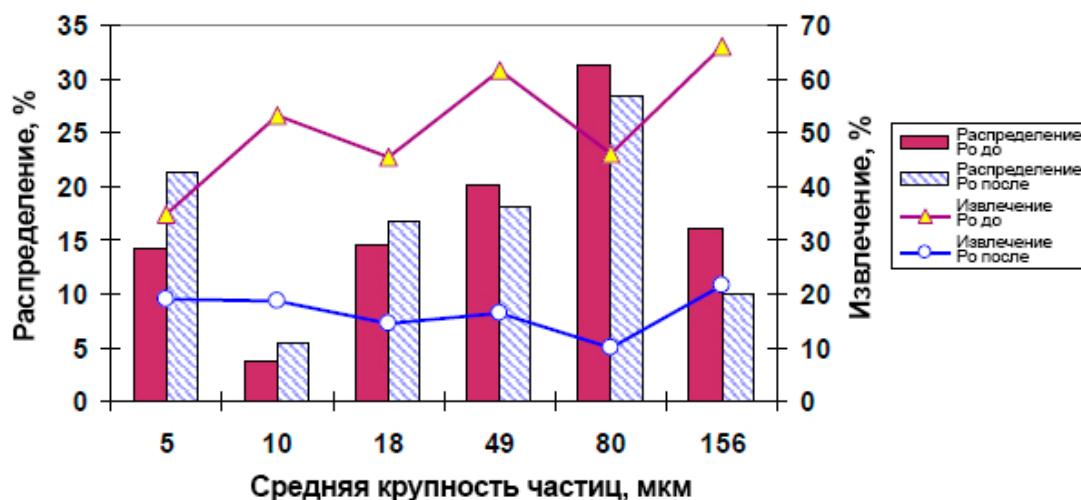


Рисунок 27. Сравнение показателей извлечения пирротита

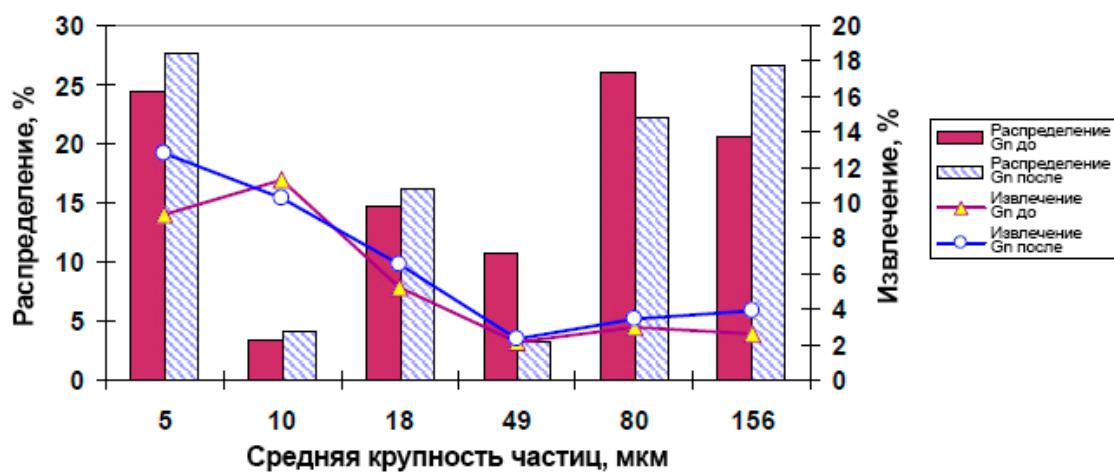


Рисунок 28. Сравнение показателей извлечения несульфидных жильных минералов

## *Материалы 42-ой Ежегодной конференции Канадского общества переработки минерального сырья - 2010*

Большая часть принятых к настоящему времени мер по устранению технологических мест была направлена на доработку существующего оборудования и установку основного дополнительного оборудования, такого как мельница IsaMill™ M500, флотомашина Джеймсон Z1600 и флотомашина Wemco® SmartCell™, преимущественно с целью увеличения производительности обогатительной фабрики. Как показано на рисунках 27 – 29, эта задача была выполнена без ущерба для производственных показателей фабрики.

Предстоящая доработка цикла перечистной флотации позволит в полной мере реализовать принцип “нужного оборудования в нужном месте” для повышения металлургической эффективности. Аналитические средства, такие как модальный анализ и расчеты извлечения по фракциям крупности, были и остаются незаменимым инструментом определения наилучшего применения имеющихся технологических средств для получения оптимальных показателей разделения минералов. Новый цикл позволит обогатительной фабрике Cosmos сохранить в будущем способность производить никелевый концентрат с минимальной себестоимостью.

## **БЛАГОДАРНОСТИ**

Авторы выражают признательность компании Xstrata Nickel Australasia за разрешение на публикацию настоящей работы.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

Shouldice, T. and Lafreniere, T. (2008) G&T Metallurgical Report of the July 2008 Survey of the Cosmos Concentrator (Internal)

Côté, I. and Adante, J. (2009) Design, Start-Up and Optimization of Pb & Zn Flotation Circuits Utilizing Ultra-Fine Grinding Technology, 41st Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors, Ottawa, Canada, January 20 to 22.

Huang, G., Grano, S. and Skinner, W. (2006) Galvanic Interaction between Grinding Media and Arsenopyrite and its Effect on Flotation: Part II. Effect of Grinding on Flotation, Int. J. Miner. Process. 78, pp. 198–213.

Finch, J. Rao, S., and Nesson, J. (2007) Iron Control in Mineral Processing, 39th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors, Ottawa, Canada, January 23 to 25

Shouldice, T. and Ma, W. (2009) G&T Metallurgical Report of the April 2009 Survey of the Cosmos Concentrator (Internal)