

Рудоконтрольные станции рентгенорадиометрического обогащения сульфидных руд месторождений Кокпатас и Даугызтау

Введение

На месторождениях Навоийского горно - металлургического комбината (АО «НГМК» Узбекистан) Кокпатас и Даугызтау, уже более 20 лет эксплуатируются рудоконтрольные станции (РКС), на которых производится экспрессное опробование горнорудной массы в кузовах автосамосвалов.

РКС – это программно – управляемые рентгенорадиометрические комплексы, ведущие крупнопорционную сортировку в автоматическом режиме. Они разработаны, изготовлены и оснащены проприетарным оборудованием и программным обеспечением ООО «Интегра Ру» РФ по заказу и с консультационным участием специалистов АО «НГМК». По функциональному назначению РКС предназначены для сортировки сульфидной руды забойного класса крупности в крупнотоннажных транспортных ёмкостях. Сортировка производится порциями в объёме большегрузных автосамосвалов с различной грузоподъёмностью и габаритных размеров.

Оборудование РКС обеспечивает:

- рентгенорадиометрическое опробование руды в транспортной ёмкости (сканирование поверхности осуществляется оригинальной электромеханической системой с использованием данных системы лазерной триангуляции), позволяющей перемещать измерительное устройство (ИУ), на заданном расстоянии над поверхностью руды автосамосвала, что создает оптимальные условия измерений;
- выбор критерия и аналитической формулы классификационного критерия сортировки;
- адресацию (указание места разгрузки) в соответствии с результатами опробования;
- контроль, проверку работоспособности и управление оборудованием в автоматическом режиме;
- отображение текущих и итоговых, основных технологических и технических показателей;

В основе этих РКС лежит метод рентгенорадиометрической сортировки руд.

Метод рентгенорадиометрической сортировки руд – это, бесконтактный, экспрессный и неразрушающий метод определения содержания химических элементов в сортируемых порциях руды.

Принцип действия рентгенорадиометрического метода основан на облучении руды первичным излучением рентгеновской трубки, измерении вторичного флуоресцентного излучения от руды на длинах волн, соответствующих определяемым элементам. При этом, массовая доля этих элементов пропорциональна интенсивности их вторичного флуоресцентного излучения.

Некоторые преимущества использования РКС:

- Обогащение руды, направляемой на переработку.
- Увеличение объёмов производства товарной продукции (**на 14,6% на Кокпатасе и на 17,9% на Даугызтау**).
- Уменьшение потерь и разубоживания при отработке;
- Эффективность управления рудными потоками, оптимизация рудных складов и контроль баланса металла;
- Снижение влияния человеческого фактора. Исключается отбор проб, работы по дроблению, усреднению и сокращению проб.

- Замена выполнению дорогостоящих анализов (пробирный, гамма-активационный);
- Чрезвычайно низкие эксплуатационные расходы;
- Безопасность и экологичность. РКС не оказывает негативного влияния на окружающую среду и человека.

Достоверность опробования при рентгенорадиометрической крупнопорционной сортировке на РКС

Рассмотрим достоверность или представительность рентгенорадиометрического опробования на РКС, сравнив его параметры с параметрами опробования скважин эксплуатационной разведки.

На практике, при сравнении запасов математических (блочных) моделей месторождений, построенных по разным алгоритмам экстраполяции (метод обратных расстояний в степени, метод Кригинга и т. д.) за «истину» принимают запасы по данным опробования эксплуатационных скважин (далее просто скважин), поскольку её сеть самая густая и соответственно самая представительная.

К параметрам сравнения опробования мы отнесем:

- Какая масса руды опробуется одной скважиной эксплуатационной разведки, и какая масса руды опробуется в одном автосамосвале;
- Какие «зоны влияния» - максимальные расстояния от скважины до границ (краёв) её опробуемой ячейки. И какие максимальные расстояния от опробуемой поверхности руды в автосамосвале;
- Какое количество и масса проб отбирается из одной скважины и из руды в кузове одного автосамосвала;

Сделаем это на примере месторождения Кокпатас.

На месторождении Кокпатас скважины эксплуатационной разведки одновременно являются и взрывными, оптимальная сеть скважин, с точки зрения представительности проб и взрывного разрушения пород для экскавации, по результатам многолетних исследований, выбрана равной 3,5х3,5 м и глубиной 5 м. Диаметр скважины 125 мм. Соответственно частные шламовые пробы отбираются с двух интервалов глубин мощностью по 2,5 м. Содержание золота в них определяется методом гамма-активационного анализа (ГАА). Контроль качества ГАА осуществляется методом пробирного.

Не трудно посчитать, объём одной такой ячейки руды опробуемый одной скважиной ЭР в этом случае равен 61,3 м³. Объёмный вес сульфидных руд месторождения Кокпатас равен 3 т/м³. Таким образом, масса руды, опробуемая одной скважиной ЭР равна 184 тонны (см. рис 1 и табл. 1 и 2). При этом масса материала для опробования (примем для удобства выход керна (шлама) равным 100%) будет равна 184 кг, из которой отквартовываются 2 пробы весом по 500 г.

Таким образом, сокращение материала для формирования проб из одной скважины составляет 184 раза.

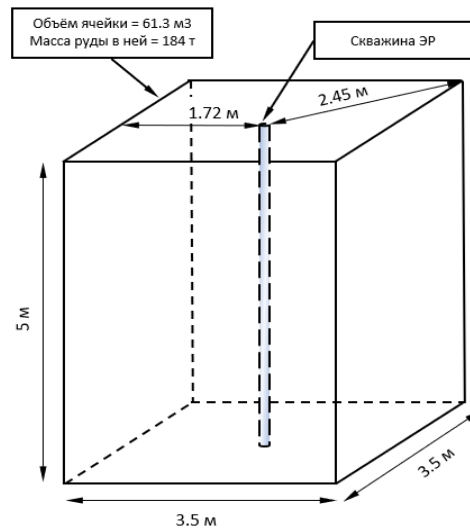


Рис 1 Размеры ячейки руды в недрах, опробываемой одной скважиной эксплуатационной разведки.

Таблица 1
 Параметры ячейки руды в недрах, опробываемой одной скважиной эксплуатационной разведки (ЭР).

Расстояние от ствола скважины до углов ячейки max	Расстояние от ствола скважины до краев ячейки min	Ячейка эксплуатационной разведки (ЭР)			Объем руды в ячейке ЭР	Масса руды в ячейке ЭР
		м	м	м		
$2.45+2.45 = 4.9$	$1.72+1.72 = 3.44$	3.5	3.5	5	61.3	184

Таблица 2
 Параметры скважины эксплуатационной разведки и её опробования

Скважина эксплуатационной разведки ЭР					Масса руды в объеме скважины ЭР		Кол-во проб в интервале 0-2.5 м	Кол-во проб в интервале 2.5 - 5 м
Длина скважины	Диаметр скважины	Радиус скважины	Площадь основания (устья) скважины	Объем скважины				
м	м	м	м ²	м ³	т	кг	шт	шт
5	0.125	0.0625	0.0123	0.0613	0.184	184	1 (500 г)	1 (500 г)

Теперь аналогично рассмотрим параметры руды и её опробования (измерения) в кузове самосвала на РКС. Возьмём самый большой АС из всех измеряемых на РКС – Белаз 7513, грузоподъемностью 136 т.

На рис 2 и в таблицах 3 и 4 приведены параметры измерений и руды в объеме кузова Белазы - 7513.

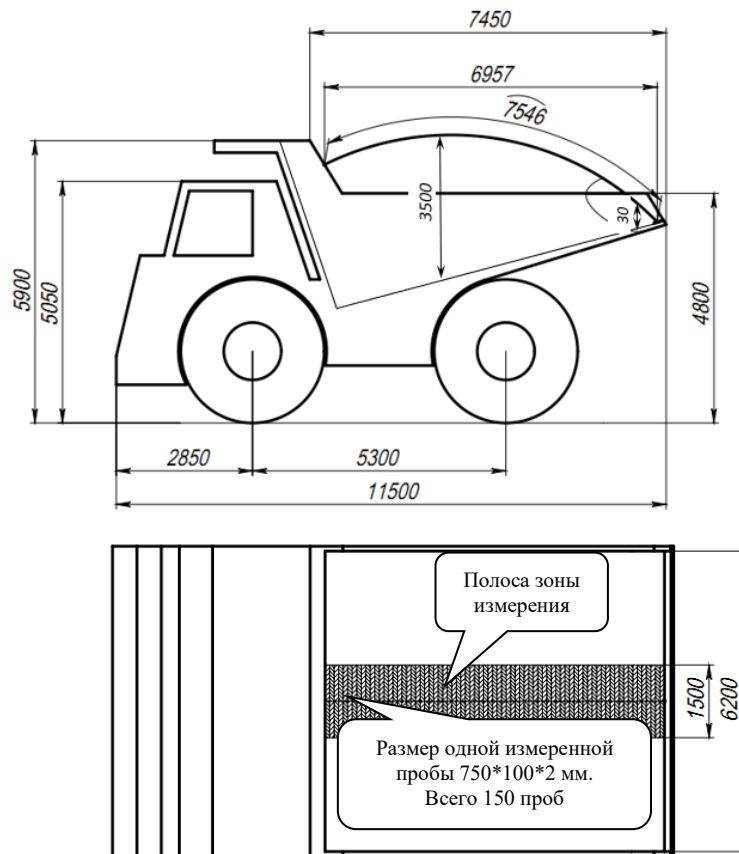


Рисунок 2 Параметры кузова и зоны измерения руды в Белазе - 7513

Таблица 3
Параметры кузова и руды в Белазе - 7513

Расстояние от вершины руды до дна в кузове АС max	Расстояние от поверхности руды до дна в конце кузова АС min	Руда в кузове АС			Объём руды в кузове АС м ³	Масса руды в кузове АС т
		Длина м	Ширина м	Средняя высота м		
3.50	0.30	7	6.2	1.04	45.3	136

Таблица 4
Параметры зоны измерения и количество измеряемых проб

Кузов автосамосвала			Объём зоны измерения м ³	Масса руды в объёме зоны измерения		Количество измеряемых проб шт
Зона измерения кузова АС				т	кг	
м	м	м				
7.5	1.5	0.002	0.0225	0.0675	67.5	150 (по 450 г)

Как видно из рисунка, ширина зоны облучения и измерения руды 1.5 метра, длина порядка 7.5 метра, глубина проникновения рентгена 2 мм, с учётом объёмного веса, масса измеренной руды равна 67,5 кг. При этом ширина полосы в 1.5 метра формируется из двух полос по 750 мм. Программное обеспечение, которое ведёт весь процесс, считает содержание золота от каждых 10 см, при движении ОИУ.

Таким образом, можно сказать, что объём одной «пробы» равен $75 \times 10 \times 0,2 = 150 \text{ см}^3$. Вес такой пробы равен 450 г. Всего же, получается по всему кузову АС таких проб 150 штук, по которым и рассчитывается среднее содержание. Общий вес всех проб равен 67,5 кг.

В этом случае сокращение материала не происходит.

В итоге констатируем:

- Опробование одной скважины эксплуатационной разведки распространяется на 184 т руды. Зона «влияния» скважины до краев ячейки составляет 1,72 м в одну сторону, соответственно в обе стороны 3,44 метра (см. рис. 1). Зона «влияния» скважины до углов ячейки 2,45 м в одну сторону и в обе – 4,9 м.
При опробовании отбираются две сокращенные (представительно отквартованные) пробы по 500 г. (масса руды в объеме скважины = 186 кг). Сокращение материала при опробовании в 184 раза.
- Опробование АС Белаз – 7513 на РКС распространяется на 136 т руды. Максимальная зона «влияния» от поверхности руды до дна АС составляет 3,5 метра, минимальная 0,3 метра (см. рис. 2 разрез), в среднем «мощность» руды в АС равна 1,04 метра.
При опробовании измеряются 150 проб по 450 г = 67,5 кг. Сокращения материала не происходит.

Как видно, ни по размерам зон «влияния», ни по количеству проб РРО на РКС не только не уступает, но даже превосходит опробование скважин эксплуатационной разведки. Все эти факты позволяют говорить, что опробование на РКС достоверное и представительное.

Так же, достоверность и представительность РРО на РКС были доказаны и практическими методами. Так, на руднике Кокпатас на РКС было измерено и опробовано (с отбором групповых проб) 100 автосамосвалов (а/с), после чего определялось среднее содержание в каждом а/с лабораторией гамма активационного анализа. По результатам сравнительных исследований был сделан однозначный вывод о достоверности опробования на РКС.

В 2020-21 году специалистами НГМК были разбурены и опробованы отвалы забалансовой руды, образованные продуктами сортировки на РКС более чем за 10 лет. Результаты анализа данных проб показали полное (100%) соответствие с выделяемыми на РКС сортами руд.

Результаты работы РКС и оценка эффективности их эксплуатации на месторождениях Кокпатас и Даугызтау.

Результаты работы РКС на месторождении Кокпатас.

На руднике Восточный месторождения Кокпатас приняты следующие сорта руд:

- Сорт 0 = от 0 до 0,69 г/т
- Сорт 3 от 0,7 до 0,99 г/т
- Сорт 7 от 1,0 до 1,29 г/т
- Сорт 4 от 1,3 до 1,79 г/т
- Сорт 6 >1,8 г/т.

Сорта № 7, 4 и 6 проходят опробование на РКС и рассортировываются на сорта № 6, 8, 4, 5 и 13 (в порядке понижения содержаний), что позволяет произвести обогащение данной руды, выделив и объединив сорта 6 и 8.

В таблице №5 приведены сводные результаты сортировки на РКС балансовой руды ($C = 1,92$ г/т) месторождения Кокпатас за последние 6 лет (2020 – 2025 г.). На рисунках 5 и 6 эти показатели иллюстрируются в виде диаграммы процентного выхода этих сортов, и гистограммы, показывающей количество металла в них в процентах. На рисунке 7 приведена качественно-количественная схема предварительного обогащения золото - сульфидных руд на РКС месторождения Кокпатас в год.

Таблица 5
Сводные результаты сортировки на РКС балансовой руды месторождения Кокпатас за последние 6 лет (2020 – 2025 г.)

Сорта руды выделенные на РКС	Руда	Сод-е	Металл	Выход	Извл.	Куммулятивный сверху вниз					Куммулятивный снизу вверх				
						т.т	г/т	кг	%	%	т.т	г/т	кг	%	%
						г/т	г/т	кг	%	%	г/т	г/т	кг	%	%
Сорт 13	1431.6	0.59	844	6.3	1.9	1431.6	0.59	844.0	6.3	1.9	22751.8	1.92	43633.8	100.0	100.0
Сорт 5	1443.1	0.72	1038.8	6.3	2.4	2874.7	0.65	1882.8	12.6	4.3	21320.2	2.01	42789.8	93.7	98.1
Сорт 4	2141.2	1.25	2683.2	9.4	6.1	5015.9	0.91	4566.0	22.0	10.5	19877.1	2.10	41751.0	87.4	95.7
Сорт 8	1211.6	1.59	1930.1	5.3	4.4	6227.5	1.04	6496.1	27.4	14.9	17735.9	2.20	39067.8	78.0	89.5
Сорт 6	16524.3	2.25	37137.7	72.6	85.1	22751.8	1.92	43633.8	100.0	100.0	16524.3	2.25	37137.7	72.6	85.1
Σ	22751.8	1.92	43633.8	100.0	100.0										

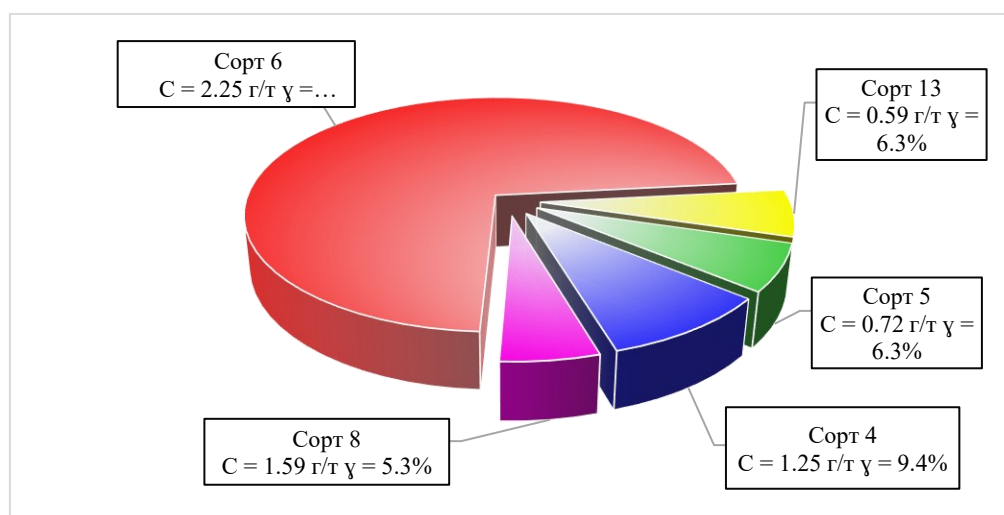


Рисунок 5 Диаграмма соотношения объёмов и содержаний выделенных сортов руд на РКС месторождения Кокпатас.

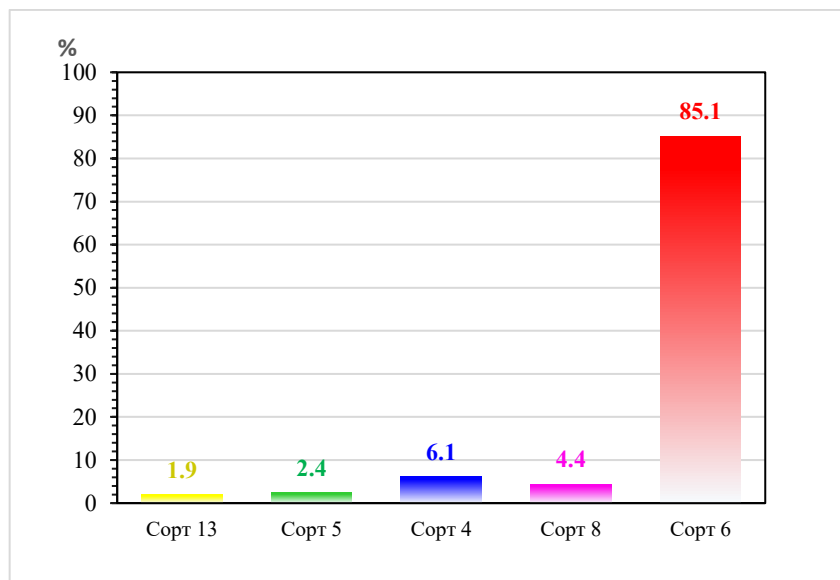


Рисунок 6 Количество металла в %, в выделенных сортах руд на РКС месторождения Кокпатас.

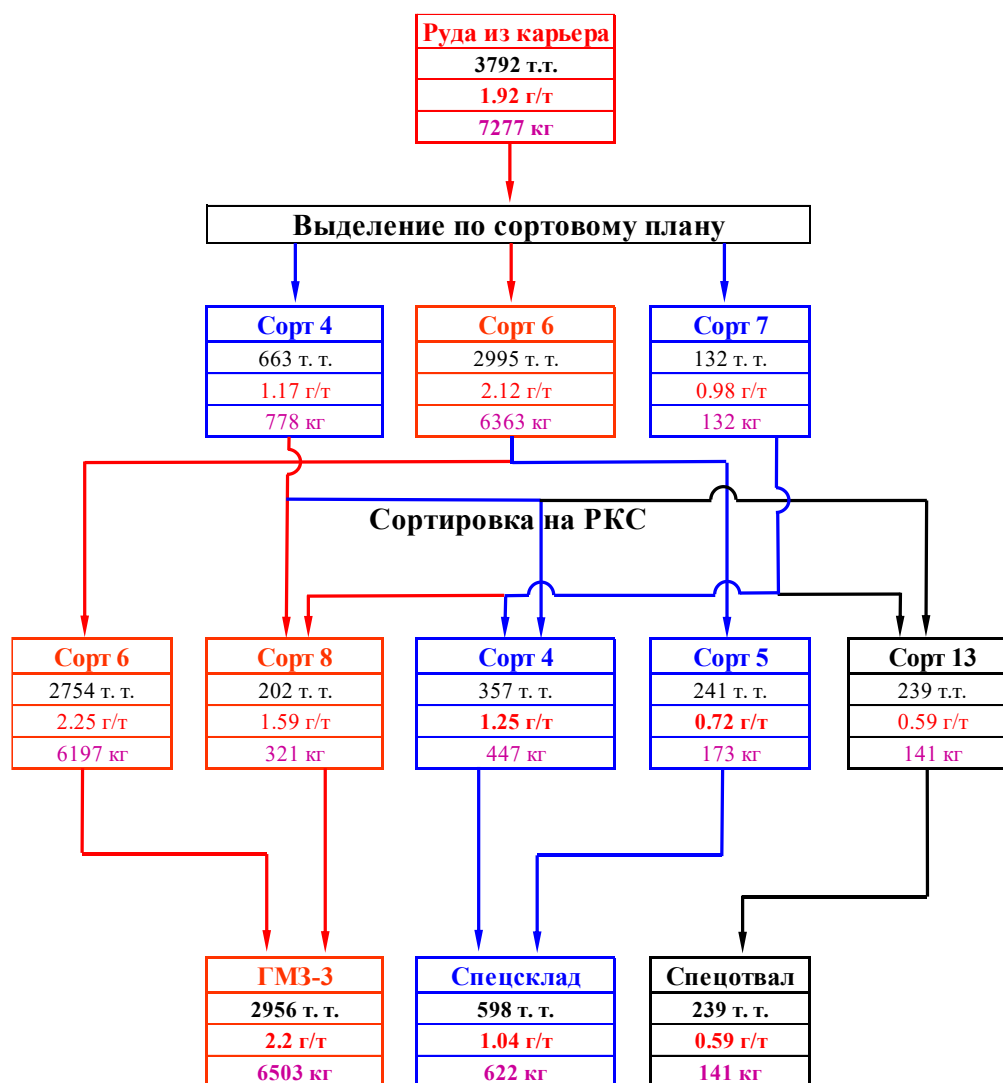


Рисунок 7 Качественно-количественная схема предварительного обогащения золото - сульфидных руд, на РКС месторождения Кокпатас.

Эффективность применения РКС на месторождении Кокпатас.

На ГМЗ-3 с рудника «Восточный» поступает около 3000 т. т. руды в год. Для расчёта эффективности работы рудоконтрольной станции (РКС) возьмём уточнённое значение — 2956 т. т. в год (обогащённая руда сортов 6 и 8) см. рис. 7.

Без РКС на завод поступала бы руда с содержанием золота 1,92 г/т. В таком случае общее количество металла составило бы 5676 кг в год.

С работающим РКС из общего объёма руды из карьера (3792 т. т. в год) выделяют 2956 т. т. и обогащают её — содержание золота повышается до 2,2 г/т, а количество металла достигает 6503 кг в год.

Почему нельзя просто подавать на завод руду сорта 6 с содержанием 2,12 г/т, выделенную по сортовому плану?

Если ориентироваться исключительно на руду сорта 6 с содержанием золота 2,12 г/т, это приведёт к серьёзным экономическим проблемам:

- Оставшиеся сорта руды (4 и 7) имеют значительно более низкое содержание золота — 1,17 г/т и 0,98 г/т соответственно;
- Переработка этих сортов в таких условиях станет нерентабельной;
- Предприятие вынуждено будет либо отказаться от их переработки, либо нести убытки — это приведёт к существенным потерям сырья и снижению общей эффективности производства.

РКС позволяет избежать этих проблем: она обогащает часть руды до высокого содержания (2,2 г/т), сохраняя при этом возможность рентабельно перерабатывать и остальные сорта.

Таким образом, РКС даёт дополнительно 827 кг золота в год — это на 14,6 % больше, чем без её использования. Эффективность работы РКС на месторождении Кокпатас составляет более 800 кг дополнительного золота ежегодно.

Результаты работы РКС на месторождении Даугызтау.

На месторождения Даугызтау приняты следующие сорта руд:

- Сорт 0 = от 0 до 0,19 г/т
- Сорт 1 от 0,2 до 0,69 г/т
- Сорт 11 от 0,7 до 1,24 г/т
- Сорт 3 от 1,25 до 1,99 г/т
- Сорт 4 >2,0 г/т.

Выделенные сорта № 4, 3, 13 (временный) и 11 проходят опробование на рудоконтрольной станции и рассортировываются на сорта № 4, 3, 12, 13, 11 и 1 (в порядке понижения содержаний).

В таблице №6 приведены сводные результаты сортировки на РКС балансовой руды (C = 2,12 г/т) месторождения Даугызтау за всё время работы - 10 лет (2016 – 2025 г.). На рисунках 8 и 9 эти показатели иллюстрируются в виде диаграммы процентного выхода этих сортов, и гистограммы, показывающей количество металла в них в процентах. На рисунке 10 приведена качественно-количественная схема предварительного обогащения золото - сульфидных руд на РКС месторождения Даугызтау в год.

Таблица 6
Сводные результаты сортировки на РКС балансовой руды месторождения Даугызтау за всё время работы 10 лет (2016 – 2025 г.)

Сорта руды выделенные на РКС	Сорта выделенные					Куммулятивный сверху вниз					Куммулятивный снизу вверх				
	Руда	Сод-е	Металл	Выход	Извл.	Руда	Сод-е	Металл	Выход	Извл.	Руда	Сод-е	Металл	Выход	Извл.
	т.т	г/т	кг	%	%	т.т	г/т	кг	%	%	т.т	г/т	кг	%	%
Сорт 1	169.1	0.56	94.7	0.8	0.2	169.1	0.56	94.7	0.8	0.2	20614.2	2.12	43765.4	100.0	100.0
Сорт 11	3678.3	0.75	2745.6	17.8	6.3	3847.4	0.74	2840.3	18.7	6.5	20445.1	2.14	43670.7	99.2	99.8
Сорт 13	25.4	0.43	10.9	0.1	0.02	3872.8	0.74	2851.2	18.8	6.5	16766.8	2.44	40925.1	81.3	93.5
Сорт 12	577.9	0.82	475.6	2.8	1.1	4450.7	0.75	3326.8	21.6	7.6	16741.4	2.44	40914.2	81.2	93.5
Сорт 3	6687.1	1.70	11345.4	32.4	25.9	11137.8	1.32	14672.2	54.0	33.5	16163.5	2.50	40438.6	78.4	92.4
Сорт 4	9476.4	3.07	29093.2	46.0	66.5	20614.2	2.12	43765.4	100.0	100.0	9476.4	3.07	29093.2	46.0	66.5
Σ	20614.2	2.12	43765.4	100.0	100.0										

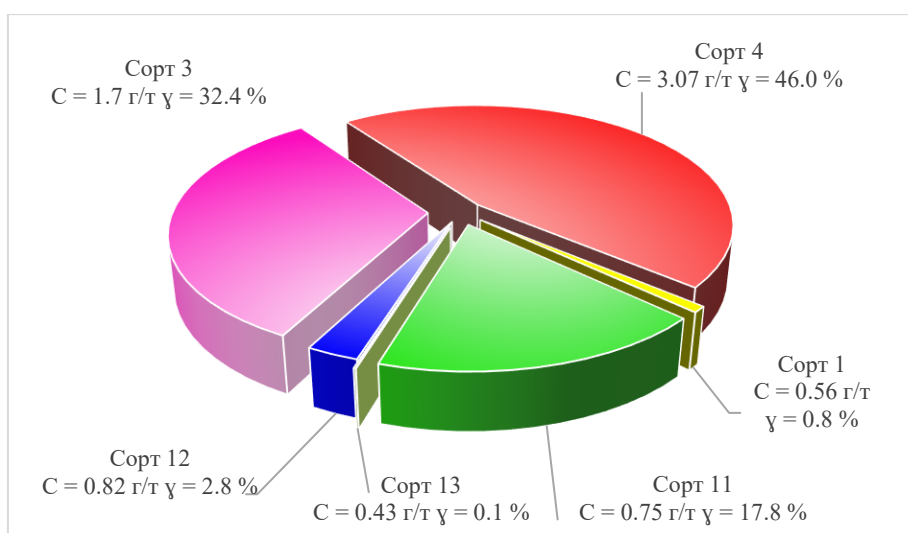


Рисунок 8 Диаграмм соотношения объемов и содержаний выделенных сортов руд на РКС месторождения Даугызтау.

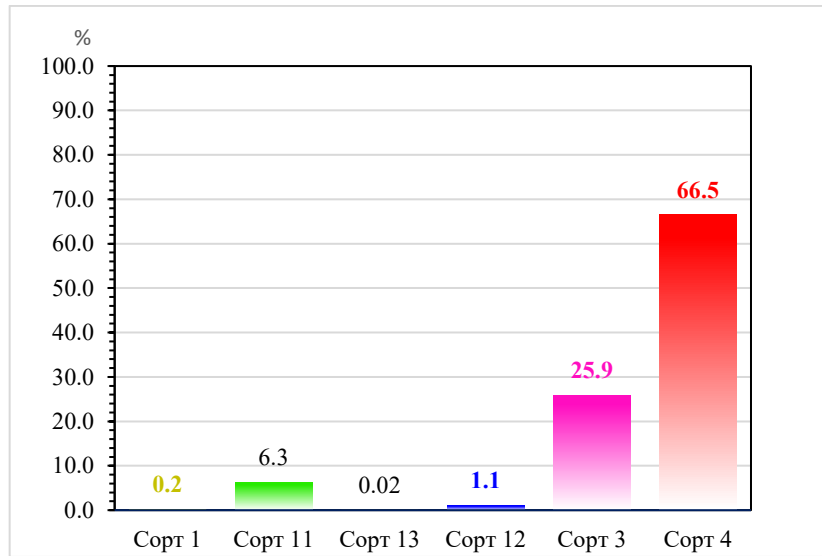


Рисунок 9 Количество металла в %, в выделенных сортах руд на РКС месторождения Даугызтау.

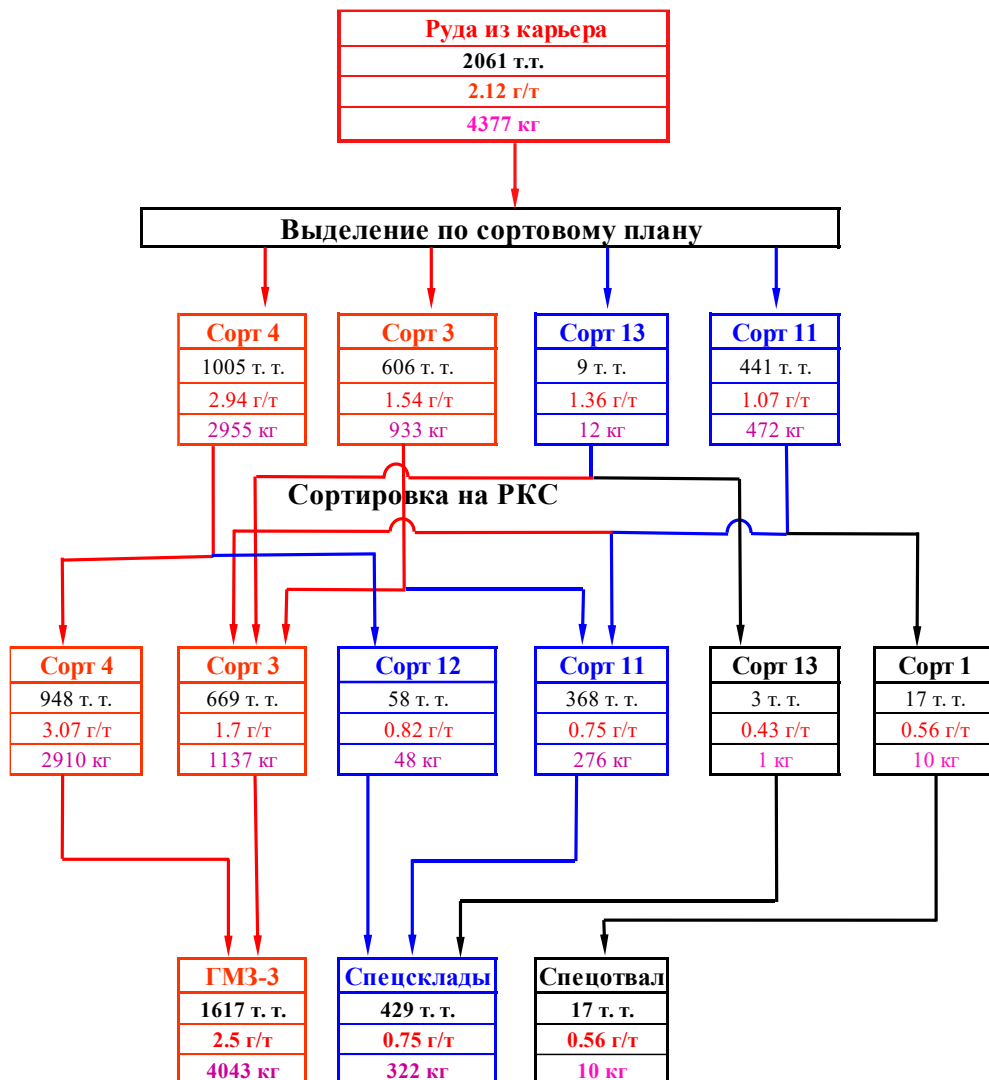


Рисунок 10 Качественно-количественная схема предварительного обогащения золото - сульфидных руд, на РКС месторождения Даугызтау.

Эффективность применения РКС на месторождении Даугызтау.

Также как и на руднике «Восточный», рассмотрим эффективность применения РКС и на месторождении Даугызтау.

На ГМЗ-3 с рудника «Даугызтау» поступает около 1600 т. т. руды в год. Для расчёта эффективности работы рудоконтрольной станции (РКС) возьмём уточнённое значение — 1617 т. т. в год (обогащённая руда сортов 4 и 3) см. рис. 10.

Без РКС на завод поступала бы руда с содержанием золота 2,12 г/т. В таком случае общее количество металла составило бы 3428 кг в год.

С работающим РКС из общего объёма руды из карьера (2061 т. т. в год) выделяют 1617 т. т. и обогащают её — содержание золота повышается до 2,5 г/т, а количество металла достигает 4043 кг в год.

Почему нельзя просто подавать на завод руду сортов 4 и 3 с содержанием 2,41 г/т, выделенных по сортовому плану?

Если ориентироваться исключительно на руду сортов 4 и 3 с содержанием золота 2,41 г/т, это приведёт к серьёзным экономическим проблемам:

- Оставшиеся сорта руды (13 и 11) имеют значительно более низкое содержание золота — 1,36 г/т и 1,07 г/т соответственно;
- Переработка этих сортов в таких условиях станет нерентабельной;
- Предприятие вынуждено будет либо отказаться от их переработки, либо нести убытки — это приведёт к существенным потерям сырья и снижению общей эффективности производства.

РКС позволяет избежать этих проблем: она обогащает часть руды до высокого содержания (2,5 г/т), сохраняя при этом возможность рентабельно перерабатывать и остальные сорта.

Таким образом, РКС даёт дополнительно 615 кг золота в год — это на 17,9 % больше, чем без её использования. Эффективность работы РКС на месторождении Даугызтау составляет более 600 кг дополнительного золота ежегодно.

Учитывая, чрезвычайно низкие эксплуатационные затраты, уменьшения потерь и разубоживания при отработке, безопасность и экологичность, РКС становится незаменимым звеном в цепочке карьер – завод на всех «родственных» предприятиях.