

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Забайкальский государственный университет»
(ФГБОУ ВПО «ЗабГУ»)

На правах рукописи

Поляков Олег Анатольевич

**РАЗРАБОТКА РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ
СЕПАРАЦИИ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ
СУРЬМЯНЫХ РУД ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ**

25.00.13. Обогащение полезных ископаемых

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Мязин Виктор Петрович

Чита – 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА СУРЬМЫ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ. ПЕРСПЕКТИВЫ НАРАЩИВАНИЯ ОБЪЁМОВ ПРОИЗВОДСТВА СУРЬМЫ ЗА СЧЁТ ОСВОЕНИЯ СУРЬМЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЯ	13
1.1. Оценка производственной и минерально-сырьевой базы сурьмы.....	13
1.2. Основные геолого-промышленные типы и особенности комплексных месторождений Восточно-Забайкальской провинции	21
1.3. Анализ информационной базы данных вещественного состава сырья, полученной на стадии геологоразведочных работ	32
1.4. Оценка мирового уровня развития техники и технологии предварительного концентрирования в процессе рудоподготовки крупнокусковых сурьмяных руд.....	41
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ КОМПЛЕКСНЫХ СУРЬМЯНЫХ РУД К ОБОГАЩЕНИЮ	58
2.1. Контрастность и степень статистического фазового раскрытия руды как критерий эффективности крупнокусовой сепарации	58
2.2. Построение кривых обогатимости «выход-содержание».....	61
2.3. Основные предпосылки к раскрытию минеральных зёрен сурьмяных руд.....	64
2.4. Графоаналитическая трактовка процесса разделения минералов методом рентгенорадиометрической сепарации	70
2.5. Выводы	75
ГЛАВА 3. КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ОБОГАТИМОСТИ СУРЬМЯНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД.....	76
3.1. Методика и методы проведения исследований.....	76
3.2. Методика отбора проб	77
3.3. Подготовка технологических проб к исследованию на обогатимость	77
3.4. Краткие сведения о физических свойствах руд и вмещающих пород.....	79
3.5. Изучение вещественного состава объектов исследования.....	81
3.5.1. Гранулометрический анализ	81

3.5.2. Химический анализ	82
3.5.3. Минералогический анализ.....	85
3.5.4. Электронно-микроскопический анализ	90
3.6. ИССЛЕДОВАНИЯ ОБОГАТИМОСТИ РУД С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ СУРЬМЫ МЕТОДОМ РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ	99
3.7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО КУЧНОМУ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЮ ЗОЛОТА ИЗ ХВОСТОВ РАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ	105
3.8. Выводы	113
ГЛАВА 4. ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ СУРЬМЯНЫХ РУД В ПРОЦЕССЕ РУДОПОДГОТОВКИ.....	
	115
4.1. Оценка влияния содержания ценного компонента в сурьмяных рудах Восточного Забайкалья на технологические показатели концентрирования в продуктах обогащения	117
4.2. Математическая обработка экспериментальных данных	120
4.3. Классифицирование сурьмяных руд Восточного Забайкалья по сортам и выбор рационального варианта переработки минерального сырья	128
4.4. Обоснование и разработка ресурсосберегающей поточной линии для извлечения сурьмы и круглогодичного выщелачивания золота из комплексных сурьмяных руд ..	145
4.5. Выводы	151
ГЛАВА 5. ТЕХНИКО- И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЯ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕРАБОТКИ СУРЬМЯНЫХ РУД.....	
	153
5.1. Сравнительная оценка технико-экономических показателей	153
освоения комплексных сурьмяных месторождений	153
5.2. Технико-экономические показатели переработки хвостов	156
РЕНТГЕНРАДИОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ МЕТОДОМ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ	156
5.3. Экономическая эффективность комплексной переработки сурьмяных руд	163
5.4. Эколого-экономическая оценка воздействия на окружающую среду технологий извлечения золота из комплексных сурьмяных руд	166
5.5. Выводы	169

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	170
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	173
ПРИЛОЖЕНИЕ А	189
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	190
ПРИЛОЖЕНИЕ В	191
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	192
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	194
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....	195
ПРИЛОЖЕНИЕ К	197
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	200
ПРИЛОЖЕНИЕ М.....	201
ПРИЛОЖЕНИЕ Н	202
ПРИЛОЖЕНИЕ Р	203

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Новые вызовы экономики, целевые ориентиры, поставленные Правительством Российской Федерации на долгосрочную перспективу, требуют более интенсивного использования всех ресурсов и резервов, в том числе ресурсов сурьмы. В связи с созданием новых материалов и технологий, потребляющих сурьмяную продукцию, спрос на неё в последние годы значительно возрос. В то же время поставки сурьмы на мировой рынок резко сократились, что привело к повышению мировых цен на сурьмяную продукцию.

Эти обстоятельства свидетельствуют о том, что вовлечение в эксплуатацию такого крупного ресурсного потенциала, каким является Забайкальский край, весьма актуально и экономически выгодно для России. Сурьмяные руды Восточного Забайкалья представлены месторождениями как богатых и рядовых, так и крупных залежей бедных руд, однако их эффективное промышленное освоение сдерживает, во-первых, слабая изученность вещественного состава геолого-технологических типов, во-вторых, отсутствие эффективной ресурсосберегающей технологии рудоподготовки минерального сырья.

В XXI веке намечено дальнейшее расширение минерально-сырьевой базы сурьмы на основе использования новых технологий, которые направлены в первую очередь на снижение себестоимости переработки руд за счет совершенствования рудоподготовки - высоко затратного и энергоёмкого технологического процесса. По укрупненной оценке на операции дробления и измельчения руды тратится до 50% от общих капитальных вложений, а эксплуатационные расходы на обогащение руд достигают 70-80% себестоимости [31].

К числу прогрессивных, экологически чистых технологий, позволяющих организовать рентабельную переработку различных типов руд сурьмяных руд, относится рентгенорадиометрическая сепарация. Данная технология реализуется посредством промышленных сепараторов ООО «РАДОС», которые начинают ак-

тивно внедряться на промышленных предприятиях в последние годы, в связи с освоением новых объектов, в том числе на предприятиях Забайкалья (на ОАО «ППГХО», ООО «Хара-Шибирский сурьмяной комбинат» и др.)

Степень научной разработанности вопроса. С середины прошлого столетия исследования в области переработки руд фокусировались на создании и внедрении новых наукоёмких, ресурсосберегающих и экологически безопасных технологических методов, причём основные усилия направлялись на наиболее затратный передел - рудоподготовку. Как показал патентный поиск, выполненный по официальным бюллетеням Комитета РФ (ВНИИПИ) за последние 15 лет, существенный прорыв связан с внедрением современных методов радиометрической сепарации.

Вопросами радиометрической рудоподготовки занимались выдающиеся российские учёные и инженеры – Г.Р. Гольбек, В.А. Мокроусов, Л.Ч. Пухальский, В.А. Лилеев, О.А. Архипов, В.В. Новиков, Б.С. Лагов, В.И. Ревнивцев, Л.П. Старчик, Е.П. Соложенкин, П.М. Леман, Б.С. Горобец, А.П. Татарников, Б.Н. Кравец, А.И. Левитин, Э.Г. Литвинцев, Е.Н. Гулин, В.В. Зверев, Е.Ф. Цыпин, А.А. Ежов, Т.В. Башлыкова, Г.А. Пахомова, Б.С. Логов, В.П. Мязин, С.В. Терещенко, Г.А. Денисов, В.В. Марчевская и другие. Изучению данной проблематики посвящены также работы коллективов научно-исследовательских институтов – ИПКОН РАН, Иргиредмета, ЦНИГРИ, АЛРОСА, НИИ России.

Однако вопрос радиометрической рудоподготовки на основе рентгено-радиометрической сепарации остается недостаточно изученным, отсутствуют соответствующие научные обобщения и выверенные технологические решения, поэтому внедрение данного метода для сурьмяных руд требует проведения дополнительных исследований, разработки высокоэффективных технологических схем.

Основная идея работы. При подготовке комплексного сырья минералы сурьмы направленно концентрируются в продуктивной фракции в голове технологического процесса обогащения руд, а золотосодержащие хвосты направляются на кучное выщелачивание, что предопределяется контрастностью руд - неравно-

мерностью распределения основного ценного компонента между отдельными кусками в исходном питании и содержанием золота в руде.

Цель и задачи исследования. Цель исследования состоит в разработке технологии концентрирования ценных компонентов из комплексных сурьмяных руд на основе комбинирования (сочетания) рентгенорадиометрической сепарации и кучного выщелачивания золота из отвальных хвостов, позволяющей обеспечить эффективное освоение многочисленных мелких месторождений Восточного Забайкалья.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) провести анализ современного состояния минерально-сырьевой базы сурьмы в России и за рубежом;

2) выполнить оценку мирового уровня развития техники и технологий методов концентрирования ценных компонентов в голове технологического процесса;

3) провести комплексный анализ минералого-технологических особенностей вещественного состава сурьмяных руд месторождений Восточного Забайкалья и экспериментальные исследования для оценки возможности использования радиометрической сепарации крупнокускового сырья в сочетании с кучным выщелачиванием золота;

4) классифицировать сурьмяные руды Восточного Забайкалья по сортам с учётом содержания в них ценных компонентов;

5) научно обосновать и разработать комбинированную технологическую схему и поточную линию переработки комплексных сурьмяных руд на основе использования рентгенорадиометрической сепарации и выщелачивания золота из хвостов в голове процесса для сезонной и круглогодичной работы в условиях Забайкалья;

6) выполнить сравнительную оценку технико- и эколого-экономических показателей базовых и реализуемых вариантов технологических решений по предварительному концентрированию ценных компонентов в голове технологического процесса.

Направления исследования соответствуют задачам промышленного освоения и дальнейшего изучения минерально-сырьевой базы сурьмы на территории Забайкальского края, изложенным в Федеральной целевой программе «Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Забайкалья на период до 2013 года», в Федеральном законе «О зонах территориального развития в РФ», в законе Забайкальского края «О стратегических направлениях развития Забайкальского края на период до 2025 года» и в программе «Социально-экономическое развитие Забайкальского края на период 2010 - 2014 годы».

Объект исследования – комплексные сурьмяные руды типовых месторождений Восточного Забайкалья: Нарин-Кундуйское и Солонеченское.

Предметом исследования являются технологические приемы и процессы радиометрической рудоподготовки и кучного выщелачивания.

Методы исследований и фактический материал

Обобщена и проанализирована информация о технологии обогащения руд в литературных, фондовых, патентных и интернет-источниках. При изучении вещественного состава руд применялись химические, физические и минералогические методы, спектральный, макро-, микроскопический и электронно-микроскопический анализы. Проведены лабораторные исследования и полупромышленные испытания. В обработке экспериментальных данных использовались методы математической статистики. Проведены маркетинговые исследования и технико-экономические расчеты.

Защищаемые положения:

1. Выбор оптимальной схемы предварительного концентрирования ценных компонентов предопределяется контрастностью и степенью статистического фазового раскрытия зёрен минералов на основе графоаналитической трактовки, позволяющих управлять рудоподготовкой сурьмяных руд.

2. Эффективность управления технологическим процессом радиометрической рудоподготовки достигается путём использования установленной зависимости между количеством сконцентрированного ценного компонента (β) и содержа-

нием сурьмы в исходной руде (α): $\frac{100}{\beta} = e^{m\alpha^n}$, где m, n значения коэффициентов, определяемые типом и контрастностью руд.

3. Методология построения эффективных технологических схем радиометрической рудоподготовки сурьмяных золотосодержащих руд базируется на максимальном выделении сконцентрированного ценного компонента «в голове процесса» и последующего доизвлечения золота из хвостов промежуточных продуктов методом кучного выщелачивания с окончательным эколого-экономическим обоснованием принятия решения

Научная новизна работы:

1. Усовершенствована методика математического моделирования процессов обогащения на основе графоаналитической трактовки разделения минералов радиометрической сепарацией, что позволяет прогнозировать изменение качества продуктивной фракции, степень и полноту извлечения сурьмы.

2. Экспериментально установлены: высокая эффективность концентрирования сурьмы из минерального сырья Нарин-Кундуйского и Солонеченского месторождений методом РРС, в том числе с получением штучного кускового концентрата; закономерности изменения содержания сурьмы в продуктивной фракции, зависящие от количества ценного компонента в исходной руде и выбора рациональной технологической схемы рудоподготовки; возможность доизвлечения золота из хвостов рентгенорадиометрической сепарации кучным выщелачиванием

3. Выявлена аналитическая зависимость в виде обобщающей экспоненциально – степенной функции, характеризующей распределение сурьмы в продуктивной фракции (β) от содержания в исходной руде (α): $\frac{100}{\beta} = e^{m\alpha^n}$, учитывая контрастность и технологические типы сурьмяных руд Восточного Забайкалья, что позволяет эффективно управлять процессами рудоподготовки.

4. Предложена классификация сурьмяного оруденения Восточного Забайкалья на три промышленных сорта руд: богатые антимонит – кварцевые ($\beta^{Sb}=16–30\%$ и более), рядовые – прожилково-вкрапленные ($\beta^{Sb}=4–15\%$), бедные – прожилково-вкрапленные ($\beta^{Sb}=1,5–3\%$) на основе оценки схем блокировки рудных

тел и номограммы руд, а также методология построения технологических схем, позволяющие осуществлять выбор рационального варианта переработки минерального сырья.

Практическая значимость работы:

1. Разработана комбинированная инновационная технология обогащения комплексных сурьмяных руд, позволяющая повысить полноту использования сырья и вовлекать в эксплуатацию мелкие минерально-сырьевые объекты Восточно-Забайкальской сурьмяной провинции.

2. Рекомендуемая прогрессивная технология переработки руд Нарин-Кундуйского и Солонеченского месторождений делает возможным извлечение двух компонентов (сурьмы и золота) и, кроме того, уменьшает бортовое содержание сурьмы при подсчете запасов, снижает себестоимость обогащения руды за счёт исключения на стадии рудоподготовки около 30 -70% вмещающей породы и минимизирует экологическую нагрузку предприятий на окружающую среду.

3. Разработана патентнозащищённая поточная линия для переработки комплексных сурьмяных руд, включающая сочетание радиометрической сепарации и кучного выщелачивания, которая имеет гибкую, оперативно перестраивающую технологию с целью концентрирования ценных компонентов различных промышленных сортов с получением дополнительно от 30 до 50кг золота в год для сезонной и круглогодичной работы в условиях Забайкалья.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций. Геологические, технологические, аналитические и экспериментальные исследования выполнены в апробированных лабораториях с применением современных измерительных средств и компьютерных программ. Исследования базируются на значительном фактическом материале.

Результаты научных исследований имеют удовлетворительную сходимость (относительная погрешность не более 12%), соответствуют действующим нормативно-техническим документам, подтверждены на представительных укрупнённых лабораторно-технологических пробах и полупромышленными испытаниями.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований приняты для внедрения в производство ООО «Хара-Шибирский сурьмяной комбинат» (акт от 03.03.2012г.), ООО «Забайкальский ГОК» (акт от 10.02.2012г.) и ООО «Востокгеология» (акт от 06.06.2012г.). Разработка технологического регламента совместная с ООО «РАДОС» для проектирования дробильно-сортировочной установки с РРС бедной сурьмяной руды Жипкошинского месторождения. (договор №17/03-08Т от 17.03.2008г.). Выданы мероприятия по подготовке пробной партии рядовой руды на ООО «Хара-Шибирский сурьмяной комбинат» для отработки технологического регламента на ОАО «Забайкальском ГОКе». (от 01.01.2010г.). Результаты выполненной научной работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет» специальности 130400.65 «Горное дело», направление специализации 25.00.13 «Обогащение полезных ископаемых» (акт от 04.09.2012г.).

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на совещаниях по вопросам освоения месторождений полезных ископаемых руд и развития промышленности, на международном форуме приграничных районов России, Китая и Монголии (Чаньчунь, 2009г.), на технических совещаниях в ООО «Хара-Шибирский сурьмяной комбинат», ОАО «Забайкальский ГОК», ООО «Востокгеология», (2009-2012гг.) (протокол от 15.05.2012г.), на заседании правительства Забайкальского края по разработке стратегических направлений развития региона на период до 2025 года (2010г.), на координационном совете по реализации крупных инвестиционных проектов в Республике Бурятия и Забайкальском крае при полномочном представителе Президента РФ в Сибирском федеральном округе (Улан-Удэ, 2011г.), а также на Всероссийской научно-практической конференции «Кулагинские чтения» (Чита, ЗабГУ, 2012г.), на расширенном научно-техническом совете горного факультета, на кафедре «Обогащение полезных ископаемых и вторичного сырья» (Чита, ЗабГУ, 2013г.) и на заседании кафедры «Обогащение полезных ископаемых и инженерной экологии» (Иркутск, НИ ИрГТУ, 2014г.).

Публикации. По теме диссертации опубликована монография в соавторстве и 14 печатных работ, в том числе десять в изданиях, рекомендованных ВАК России (Чита, Москва). Получено два патента РФ на изобретения.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из (183 наименования, в т.ч. 14 фондовых материалов), 11 приложений. Текст диссертации изложен на страницах компьютерного набора, содержит 58 рисунков, 51 таблица.

Благодарности. Автор выражает признательность научному руководителю профессору, д-ру техн. наук Мязину В.П., профессору, д-ру геолого-минер. наук Павленко Ю.В. за поддержку и внимание при проведении исследований и написании диссертации, а также благодарность за помощь при подготовке диссертационной работы ведущим специалистам ООО «Востокгеология», ООО «Забайкальское научно-техническое геологическое общество», ОАО «Лабораторно-исследовательский центр по изучению минерального сырья», ООО «Харашибирский сурьмяной комбинат», ОАО «Забайкальский ГОК», сотрудникам кафедры ОПИ и ВС ФГБОУ ВПО «ЗабГУ», с особой признательностью профессору, доктору технических наук Шумиловой Л.В., за оказанную методическую помощь.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА СУРЬМЫ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ. ПЕРСПЕКТИВЫ НАРАЩИВАНИЯ ОБЪЁМОВ ПРОИЗВОДСТВА СУРЬМЫ ЗА СЧЁТ ОСВОЕНИЯ СУРЬМЯНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЯ

1.1. Оценка производственной и минерально-сырьевой базы сурьмы

Развитие экономики постоянно сопровождается ростом освоения природных ресурсов, определяющих безопасность той или иной страны в глобальном мире. В последние годы умножилось более чем в 3-5 раз потребление металлов, что обусловило в свою очередь увеличение потребности в необходимых для их производства сурьмяных минеральных ресурсов. По оценке экспертов мировая сурьмяная промышленность обеспечена установленными промышленными запасами на 15-20 лет, перспективными запасами – на 25-30 лет. Однако в настоящее время на мировом рынке наблюдается дефицит сурьмы и её продуктов. Последний продолжает интенсивно расти и будет сохраняться еще долгое время.

Сурьма представляет собой вещество серебристо-белого цвета с синеватым оттенком и металлическим блеском. Сурьма токсична, ПДК составляет 0,5 мг/м³. В основном она представлена тремя аморфными разновидностями (взрывчатая, чёрная и жёлтая) и кристаллической формой [86].

Минерал-концентрат сурьмы - это антимонит, в котором содержание полезного компонента составляет 95-98 %, а в качестве основных элементов-примесей присутствуют Ag, As, Bi, Cu, Fe, Pb [40]. Концентрированный полезный компонент руд является продуктом для последующей химико-металлургической переработки и получения металлической сурьмы. Металлическая сурьма поставляется в концентратах марок Су-2, Су-1, Су-1Э, Су-0, Су-00, Су-000, Су-0000, Су-00000. Товарной продукцией сурьмяной промышленности является также триоксид сурьмы, трёхсернистая сурьма (крудум), пентисернистая сурьма, хлориды сурьмы, галогениды сурьмы, а также сульфидный сурьмяный концентрат и соль

Шлиппе. Особо чистые марки сурьмы Су-000, Су-0000 идут в полупроводниковую промышленность; спрос на сурьму и её триоксид формируют индустрия производства огнезащитных составов, машиностроительное производство, сульфидный сурьмяный концентрат и соль Шлиппе потребляются спичечной промышленностью. Технические требования к сурьмяным концентратам регламентируют содержание сурьмы и мышьяка по маркам товарной продукции – концентрат сурьмяный. ТУ 1726-001-00195245-97, дата введения 01.05.97 г. (таблица 1.1).

Таблица 1.1. Качество сурьмяных концентратов

Показатель	Значение показателя по маркам и сортам				
	КСУФ-1	КСУФ-2	КСУФ-3	КСУФ-4	КСУШ-1
Содержание сурьмы, % не менее	60	50	40	30	30
Содержание мышьяка, % не более	0,50	0,40	0,30	0,25	0,25
Содержание ртути, % не более	0,003				
Содержание влаги, % не более	5,0				

В последнее время потребление сурьмяных продуктов не только значительно возросло, но и претерпело кардинальное изменение структуры (рисунок 1.1). Если в начале 80-х годов основной сферой потребления сурьмы было производство свинцовых аккумуляторов для автомобильной промышленности, то в настоящее время примерно 60-65 % первичной сурьмы идет в производство антипиретиков (в виде триоксида сурьмы). Интенсивно растёт спрос со стороны индустрии огнезащитных составов, подшипников, пластмасс, резинотехнических изделий, химических реактивов, стекольного и керамического производства, асбестотехнических изделий и т.д.

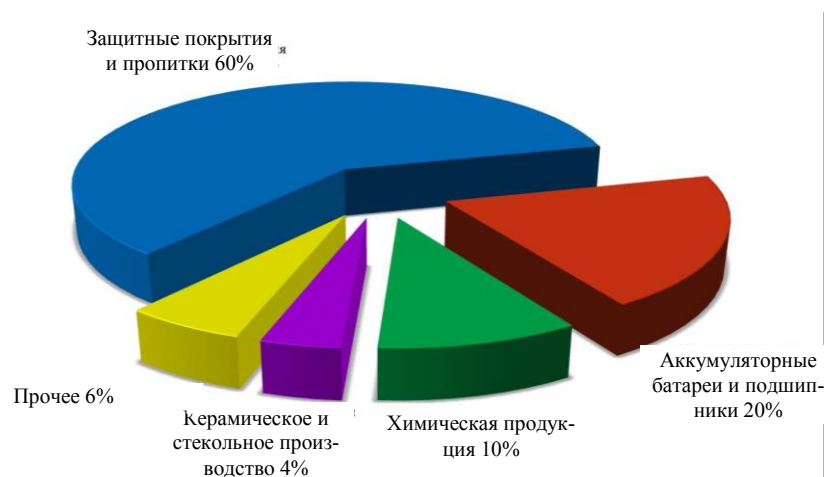


Рисунок 1.1 Структура мирового промышленного потребления сурьмы

На сегодняшний день в мире производится 140-160 тыс. т сурьмы. Основными сурьмяными производителями являются КНР, Боливия, ЮАР, Турция, Канада, Гватемала, Мексика, страны СНГ - Киргизия, Россия и Таджикистан.

В Киргизии проектная мощность Кадамджайского сурьмяного комбината, в последнее время снизилась до 1,5 тыс. т, что связано с истощением сырьевой базы. Продукция комбината экспортируется в США (около 50%) и в страны СНГ – Россию, Беларусь и Украину.

В Таджикистане действует таджикско-американское предприятие «Анзоб», которое отрабатывает Джиджикрутское месторождение. Содержание сурьмы в ртутно-сурьмяном концентрате 40-60%, ртути – до 1%. Проектная мощность предприятия 700 тыс. т руды в год, фактическая – 350.

Металлическую сурьму производят также на заводах США, Великобритании, Франции, Бельгии, Польши, Испании и Японии. Причём во всех промышленно развитых странах мира налажено производство вторичной сурьмы из сурьмянистого свинца, большую часть которого составляет лом аккумуляторных батарей. Структура мирового производства триоксида сурьмы приведена на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2. Структура мирового производства триоксида сурьмы

В России в настоящее время действуют следующие отечественные предприятия-производители и поставщики сурьмы:

- ОАО «Рязанский завод по производству и обработке цветных металлов» перерабатывает штучной концентрат с содержанием сурьмы 32–42% и флотаци-

онный концентрат с содержанием 52–65%. Мощности производства триоксида сурьмы (1,92 тыс. т/год) загружены не полностью. В ближайшее время предприятие планирует увеличить мощность до 2,4 тыс. т в год. Основными потребителями продукта являются предприятия Украины (63%) и Казахстана (26%);

- ЗАО «Компания «Вояджер» удовлетворяет 60-80% потребности российского рынка в сурьме и триоксиде сурьмы. В числе российских потребителей ОАО «Уральский ГМК», ЗАО Курский завод «Аккумулятор», ЗАО «Курскрезинотехника», ООО «Востсибаккумулятор», ЗАО «Подольский аккумуляторный завод» ОАО «Комсомольский-на-Амуре аккумуляторный завод», ОАО «Электростанция» (г. Саратов), ОАО «Уральский завод РТИ», ЗАО «Искож» (г. Нефтекамск) и др. Кроме того, компания работает на рынках СНГ, Европы и США. С 2001 года стратегическим направлением деятельности компании становится участие в разработке месторождений сурьмы [30];

- ЗАО «Сарылах-Сурьма» (Республика Саха) производит 16-22 тыс. т сурьмяного флотоконцентрата. Проектная мощность металлургического производства по выпуску триоксида сурьмы более 2 тыс. т. Объем производства триоксида сурьмы в Якутии в 2012 году достиг 4,9 тыс. т;

- научно-производственный центр «Электрум» (г. Новосибирск) перерабатывает сурьмянистые концентраты ряда российских предприятий с полным извлечением цветных и благородных металлов. Потребителями продукции являются производственные предприятия России и зарубежья;

- ООО «Промметаллинвест» специализируется на производстве свинцовых аккумуляторных сплавов и реализации сурьмы металлической, мышьяка металлического, лигатуры, трехоксида сурьмы, ламельной ленты, графита аккумуляторного, плавикового шпата.

Современное годовое потребление сурьмы в России составляет 4-5 тыс. т. к 2025 году ожидается потребность в 15-20 тыс. т.

Сурьму производят из разнообразных по составу и технологическим свойствам сурьмяных руд [1]. Основным сырьем для производства сурьмы являются антимонитовые руды. Руды многих сурьмяных месторождений содержат также

золото, серебро, свинец и цинк и другие вмещающие минералы. Основные минералы сурьмы - антимонит Sb_2S_3 (стибнит), керлизит Sb_2S_2 , валентинит Sb_2O_3 . Иногда минералы сурьмы представлены сложными сульфидами меди, ртути, свинца, железа - блёклые руды $\text{Cu}_{12}(\text{Sb,As})_4\text{S}_{13}$, бертьерит FeSb_2S_4 , буланжерит $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$, джемсонит $2[\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}]$, ливингстонит HgSb_4S_7 , тетраэдрит $(\text{Cu,Ag})_{10}(\text{Fe,Zn})_2(\text{Sb,As})_4\text{S}_{13}$, шватцит. Кроме того, минералы могут быть представлены оксидными соединениями сурьмы - стибиконит $\text{Sb}_3\text{O}_6(\text{OH})$, сервантит $\text{Sb}^{3+}\text{Sb}^{5+}\text{O}_4$ и другими или оксихлоридными - надорит PbSbO_2Cl .

Среди сурьмяных руд выделяют собственно сурьмяные (монометалльные), комплексные и сурьмосодержащие. По степени окисленности сурьмяные руды подразделяются на сульфидные, содержащие до 30% окисленных минералов, смешанные – 30-50% и окисленные – более 50%. Из собственно-сурьмяных руд (Sb_2S_3) извлекается около 90% сурьмы, при этом практически теряются все окисленные разности (иногда до 30% от их общих запасов) из-за отсутствия методов извлечения оксидных минералов при обогащении. За счёт переработки комплексных руд поступает примерно 5% и столько же приходится на долю сурьмянистого свинца, получаемого попутно при переработке свинцовых концентратов.

Главное промышленное значение имеют *собственно сурьмяные руды*. По содержанию металла они подразделяются на очень богатые или штуфные (содержание сурьмы 20-30 и до 50%), богатые (6-12%), рядовые (2-6%), бедные (1-2%), убогие (до 1%). По составу эти руды подразделяются на сульфидные (не менее 70% всей массы руды представлено Sb_2S_3), сульфидно-оксидные (30-50% сурьмы в оксидной и гидроксидной форме) и оксидные (содержание металла в оксидных соединениях более 50%). Практическое значение представляют антимонаты ($\text{Me} \cdot \text{SbO}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$) и метаантимонаты ($\text{Me} \cdot \text{SbO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) - труднорастворимые соли сурьмяной кислоты, обладающие восстановительными свойствами.

В комплексных рудах различают ртутно-сурьмяные, золото-сурьмяные, сурьмяно-мышьяковые, свинцово-сурьмяные, сурьмяно-вольфрамовые, золото-сурьмяно-мышьяковые, золото-серебро-сурьмяные, сурьмяно-ртутно-мышьяково-

пиритные, флюорит-киноварь-антимонитовые, бертьерит-галенит-антимонитовые и др.

В зависимости от состава и технологической схемы переработки сырья выделяют моно- и полиминеральные руды. В мономинеральных рудах рудный минерал представлен комплексным соединением, содержащим два и более полезных компонента, например, ливингстонит, шватцит, джемсонит. В полиминеральных рудах сурьма образует самостоятельные минеральные формы (Sb_2O_3 , блёклые руды), ассоциирующие с минералами золота, серебра, минералами вольфрама, киноварью, флюоритом и др. При обогащении комплексных руд может быть получен селективный сурьмяный концентрат наряду с коллективным полисульфидным концентратом. В связи с этим даже при таких содержаниях сурьмы, которые значительно ниже установленных кондиций для полиметаллических руд, комплексные руды представляют практический интерес. Однако сырьё из этих руд получается низшего качества, так как в переделе трудно избавиться от вредных примесей.

Сурьмосодержащие руды подразделяются на два типа. В одном типе минералы сурьмы (в основном Sb_2S_3) образуют изолированные небольшие гнезда богатых руд, которые извлекаются селективно с получением штуфного концентрата. К другому типу относятся полиметаллические руды с примесью сурьмы, которые изоморфно входят в кристаллическую решётку других минералов (например, галенита) или образуют мельчайшую вкрапленность самостоятельных минералов типа блёклых руд, не поддающихся извлечению при флотации. Сурьма в этом случае извлекается из них уже на стадии металлургического передела в виде сурьмянистого свинца. В последние годы активно разрабатываются комплексные серебро-золото-сурьмяные, сурьмяно-ртутные и сурьмяно-ртутно-флюоритовые руды [1;3]. Они характеризуются небольшими масштабами и неравномерным распределением рудных минералов.

Типы сурьмяных руд, проанализированные по семи объектам сурьмяных месторождений [57;82;98;115;116;127], представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2. Характеристика типов сурьмяных руд

Характеристика сурьмяных руд		Месторождение
тип	минеральный состав	
Собственно сурьмяные руды, тонко вкрапленные	Антимонит 1,3%, продукты его окисления	Кадамжайское
Собственно сурьмяные и кварцево-сульфидные золотосодержащие	Антимонит, золото связано пиритом, арсенопиритом	Конслидейтед Мерчисон (ЮАР)
Сильно окисленные	Антимонит 3,5%, валентинит, сенармонтит, арсенопирит, сфалерит	Брасина (Югославия)
Комплексные	Антимонит 1%, бертьерит, арсенопирит, пирит, халькопирит	Раздольнинское
Комплексные	Антимонит 1%, золото 2,6 г/т связано с антимонитом, пиритом, арсенопиритом, шеелит, серебро	Йеллоу Пайн (США)
Комплексные	Антимонит 13-16%, самородное золото и связанное с антимонитом, пиритом, арсенопиритом, сфалеритом	Сарылахское
Комплексные	Антимонит 3-4%, валентинит, кермезит, сервантит, цинк, серебро, золото 1-2 г/т тонковкрапленное с пиритом, кварцем	Терексайское

Увеличение спроса на сурьмяное сырьё обуславливает необходимость интенсивного освоения минерально-сырьевых ресурсов сурьмы. Ресурсы сурьмы оценены в 33 странах и составляют 6424 тыс. т (по данным Министерства природных ресурсов и экологии РФ). Сурьмяные месторождения группируются преимущественно в пределах Тихоокеанского и Средиземноморско-Азиатского рудных поясов [20], а именно в Китае (61%), России (12%), а также в Боливии, Таджикистане, Таиланде, ЮАР, Мексике и Киргизии (27% суммарно). Мировые запасы сурьмы подтвержденные 2114 тыс. т, а перспективные – 4310 тыс. т.

Наибольшее количество сурьмяных запасов сосредоточено в четырёх странах: Китае - 790 тыс. т (37,4%), Таиланде - 420 тыс. т (19,9%), России - 332 тыс. т (16,5%) и Боливии - 310 тыс. т (14,6%). – рисунок 1.3, таблица 1.3.

Запасы, Sb, тыс. т

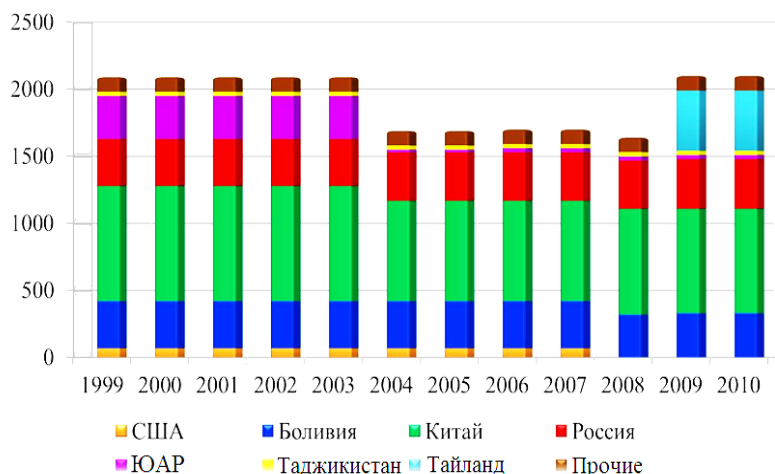


Рисунок. 1.3. Структура мировых запасов сурьмы в 1999–2010 гг.

Таблица 1.3. Мировые запасы сурьмы периода 1999-2010 гг.

Вид запасов	Оценка запасов по годам, тыс. т					
	1999-2001	2002	2003	2004-2005	2006	2007-2010
Подтверждённые	2075	1758	1764	1774	1694	2114
Перспективные	3215	3905	3910	3860	3860	4310

Россия по запасам сурьмы занимает третье место в мире, а по подтвержденным - пятое место. По качеству руд отечественная минерально-сырьевая база занимает лидирующие позиции, среднее содержание сурьмы достигает 22%. На государственном балансе числится одиннадцать месторождений: пять золото-сурьмяных, три сурьмяных, три месторождения с попутной сурьмой, два из которых золоторудных и одно – полиметаллическое [3].

Отечественные месторождения сосредоточены в восточных районах страны - в Забайкальском, Красноярском, Приморском краях, в республике Саха (Якутия) – таблица 1.4, в скобках – состояние ресурсов на 01.01.2010г.

Забайкальский край обладает собственно сурьмяными и золотосурьмяными запасами (девять месторождений, 84 сурьмяных рудопроявлений и 84 точки минерализации) и комплексными сурьмосодержащими запасами (20 месторождений, 58 рудопроявлений и 19 точек минерализации). К наиболее крупным относятся Солонеченское, Нарин-Кундуйское, Жипкошинское месторождения.

Таблица 1.4. Состояние ресурсов сурьмы в России на 01.01.2006г. [33;161]

Субъекты	Прогнозные ресурсы			
	по категориям		всего	
	P ₁ , тыс. т	P ₂ , тыс. т	тыс. т	%
Забайкальский край	64,4 (100,7)	208,0 (166,4)	272,4 (267,1)	82,0
Красноярский край	-	25,0	25,0	7,5
Приморский край	2,6	6,9	9,5	2,9
Республика Саха	9,9	15,4	25,1	7,6
Всего	76,9	255,3	332,0	100,0

В Красноярском крае основу сырьевой базы сурьмы составляют Олимпиадинское и Удережское месторождения, в которых выявлены около 19 тыс. т руды категории P₁, содержащих золото (в среднем 4,0 г/т).

В Приморском крае известны три месторождения: Малоурканское с запасами сурьмы в 4,2 тыс. т, Ленинское – 3,9 тыс. т (среднее содержание 6,94%), Солокачинское – 8,0 тыс. т (среднее содержание 3,84%).

В республике Саха (Якутия) самое крупное Сенточанское месторождение обладает запасами в 19,1 тыс. т сурьмы категорий C₁+C₂ при среднем содержании в руде 5-6%. В Сарылахском месторождении запасы сурьмы категории C₁+C₂ при среднем содержании 19% составляют 6 тыс. т.

Ресурсы сурьмы распределены по субъектам России неравномерно, из данных табл. 4 чётко прослеживается лидирующее положение Забайкальского края, поэтому он в настоящее время рассматривается в качестве новой сурьмяной провинции страны [66].

1.2. Основные геолого-промышленные типы и особенности комплексных месторождений Восточно-Забайкальской провинции

Инвестиционный проект по созданию на территории Забайкальского края сурьмяной провинции России имеет реальное будущее. Основные сырьевые потоки и направления развития ближайших и перспективных месторождений представлены в Приложении А. Состояние ресурсов сурьмы в Забайкальском крае на 01.01.2010г. [40] отражено в таблице 1.5.

Таблица 1.5. Состояние ресурсов сурьмы по объектам Забайкальского края

Объекты	Прогнозные ресурсы, тыс. т		
	категории P ₁	категории P ₂	Всего
Булыкта-Солонцовая площадь	49,4	51,9	101,3
Дырбылкейское рудное поле	24,0	-	24,0
Жипкошинское месторождение	-	8,0	8,0
Итакинское месторождение	1,5	30,0	31,5
Майское месторождение	13,5	-	13,5
Нарин-Кундуйское месторождение	24,3	40,0	64,3
Октябрьское месторождение	11,4	7,2	18,6
Солонеченское месторождение	8,5	-	8,5
Тыргетуйское месторождение	3,5	12,5	16,0
<i>Всего</i>	100,7	166,4	267,1

Прогнозные ресурсы сурьмы Забайкальского края приведены в таблице 1.6. Сурьмяное оруденение Восточного Забайкалья представлено Забайкальским звеном Монголо-Забайкальского сурьмяно-ртутного пояса – составной частью более крупного Центрально-Азиатского (Тянь-Шань–Южно-Сибирского) трансрегионального пояса [57]. Единственной промышленно значимой рудной формацией сульфидной сурьмы является ртутно-сурьмяная, она хотя и занимает подчиненное положение, но среди сурьмосодержащих формаций распространена достаточно широко. С этой формацией связываются основные перспективы создания сырьевой базы металлической сурьмы региона.

По результатам геолого-статистической оценки выделяются четыре формационных (природных) типа сульфидных месторождений сурьмы [85;83;84;109;107]: 1) антимонит-кварцевый пластовый (джаспероидный) установлен преимущественно в брекчированных слоистых метаморфизованных карбонатных породах, связан с разрывными структурами; 2) антимонит-кварцевый жильный и штокверковый (аргиллизитовый) встречается в различных породах, связан с трещинными структурами; 3) антимонит-вольфрамит-кварцевый слоисто-штокверковый (аргиллизитовый) обнаружен в зонах динамометаморфизма и трещинных структурах; 4) золото-антимонит-кварц-карбонатный жильный, што-

кверковый (березитовый) встречается в различных породах, связан с разрывными нарушениями.

Таблица 1.6. Характеристика прогнозных ресурсов сурьмы Забайкальского края [83;84;85;86;87;88;89;90]

Наименование объекта	Глубина прогноза, м	Параметры рудных тел, м		Способ отработки	Среднее содержание		Ресурсы, т*		
		длина	мощность		Sb, %	As, г/т	Категория	учтённые ¹	предлагаемые к учёту ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Газимуро-Приаргунская зона преимущественного развития джаспероидно-антимонитового золотосодержащего оруденения									
Газимуро-Приаргунская зона	0-150	7752,7 км ²		комбинированный	100 т/км ²	-	P ₃	60000	47000
Солонеченское месторождение	0-50	50-150	1,65-6,72	открытый	3-15	2	P ₁	6000	10000
	0-50	40-170	2-3	открытый	5	2	P ₂	4000	19500
	50-300	40	11 (8)	подземный	15	2	P ₁	4000	-
	50-300	50-150	1,6-6,7	подземный	5	2	P ₂	25000	-
	50-150	40-170	2-3	подземный	5	2	P ₂	21000	-
Итого P ₁ +P ₂								60000	29500
Всего по Газимуро-Приаргунской зоне P ₁ +P ₂ +P ₃								120000	76500
Тыргетуй-Жипкошинская зона совмещенного джаспероидно-антимонитового золотосодержащего и кварц-антимонитового золотосодержащего оруденения с комплексным ртутно-сурьмяно-вольфрамовым оруденением									
Тыргетуйское месторождение	0-100	50-240	0,6	подземный	5		P ₁	3500	-
	0-200	50-240	0,6	-	3,68		P ₂	-	-
Жипкошинское месторождение	0-50	150	2	открытый	19	0,2	P ₁	3500	11600
	0-50	200	4	открытый	5	1,8	P ₂	10000	8000
Булыктинская зона	0-100	2500	10	открытый	4 (до 29)	-	P ₂	50000	-
	0-50	2500	5	открытый	8	-	P ₂	-	30000

Окончание таблицы 1.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Нарин-Кундуйское (Илинское) проявление (поле)	0-100	200	4,5	открытый	8,46 (до 42)	1,05	P ₁	-	24300
	0-100	200	4,5	открытый	8	0,6-3	P ₂	30000	40000
Дылбыркейское проявление (поле)	0-100	100	30	открытый	3		P ₂	30000	-
	0-50	200	10	открытый	8 до 30	-	P ₂	-	24000
Боржигантайский рудный узел	0-100	14 км ²		-	4	-	P ₃	140000	140000
Агинский рудный район	-	-		-	4 (до 32)	-	P ₃	150000	150000
Остальная площадь	-	42,72 тыс. км ²		-	5 т/км ²	-	P ₃	51000	150000
Всего по Тыргетуй-Жипкошинской зоне P ₁ +P ₂ + P ₃								468000	577900

Примечание

* - данные представлены по состоянию на 01.01.03 г.

1 Ученные ТКЗ КТР по Читинской области на 01.09.02 г.

2 Предлагаемые к учету в НРС МТР на 01.01.03 г.

Данные формационные типы по совокупности характеристик отвечают современным требованиям горнодобывающей промышленности к минеральному сырью и соответствуют геолого-промышленным типам месторождений сурьмы. В настоящее время только два (основных) из них – *антимонит-кварцевый пластовый* и *антимонит-кварцевый жильный и штокверковый* – относятся к самостоятельным геолого-промышленным типам, представлены многочисленными объектами, интенсивно изучаются и одновременно осваиваются недропользователями. Два других типа месторождений малочисленны, представлены неизученными объектами, их промышленная значимость остается сомнительной. Характеристика сурьмяных месторождений Восточного Забайкалья представлена в таблице 1.7.

Таким образом, сурьмяные месторождения Восточного Забайкалья представлены двумя геолого-промышленными типами, которые соответствуют апробированным в России типам аналогичных месторождений [109], а именно ртутно-сурьмяному джаспероидному и сурьмяному золотокварцевому. Единственным ценным компонентом в рудах, представляющим промышленный интерес, является сурьма при этом золото и серебро относятся к попутно извлекаемым компонентам.

Таблица 1.7. Характеристика сурьмяных месторождений Восточного Забайкалья

Классификационные признаки	Геолого-промышленный (прогнозируемый) тип	
	ртутно-сурьмяный джаспероидный	сурьмяный золото-кварцевый
Примеры месторождений	Октябрьское, Солонеченское	Жипкошинское, Нарин-Кундуйское, Тыргетуйское
Формационный (природный) тип	Антимонит кварцевый (джаспероидный)	Антимонит кварцевый (аргиллизитовый)
Формация вмещающих пород	Формация прокварцованных терригенно-карбонатных пород	Формация метасоматически измененных вулканогенных, терригенных, метаморфических и др. пород
Морфологический тип рудных тел	Сложный пластово-линзообразный	Жилы простые и ветвящиеся, линейные штокверки, минерализованные зоны
Главные компоненты	Sb	Sb
Второстепенные компоненты	Au	Au

Важнейшие геолого-вещественные признаки основных типов сурьмяных месторождений, существенно влияющие на переработку руд, оказываются очень близкими, что подчеркивает их сходные генетические, структурные и временные условия формирования. Интенсивные гидротермальные процессы (прежде всего, окварцевание) сгладили различие составов исходных вмещающих пород, что проявилось как в идентичности набора главных и второстепенных компонентов руд, так и в несущественности структурно-текстурных несовпадений.

Региональная объёмная модель строения земной коры показывает [19;21;20;18], что минерагению Восточного Забайкалья характеризуют следующие особенности:

- слоисто-блоковое строение земной коры с характерной неоднородностью;
- сурьмяная минерализация, она формирована в один позднемезозойский минерагенический этап и связана с тектономагматической активизацией флюидопроницаемых структур фундамента;
- экстенсивность сурьмяного оруденения, данный интегральный показатель рудообразующих процессов свидетельствует о высокой насыщенности оруденения (известно более 250 сурьмяных объектов) (Приложение Б);
- интенсивность рудообразования: сформированы сурьмяные объекты мелкого / среднего масштаба, прогнозная оценка которых свидетельствует о предполагаемых крупных ресурсах;
- стадийность минералообразования по Е.А. Шивохину (Приложение В).

Разведанные запасы сурьмы на Солонеченском месторождении по категории C_1+C_2 составляют 63,05 тыс. т при среднем содержании 10,77 %. Месторождение в Забайкалье является крупнейшим, в России - вторым. Согласно ТЭО возможно функционирование рентабельного горно-обогачительного комбината с годовой производительностью 87 тыс. т руды в год [108]. Параметры рудных тел Солонеченского месторождения приведены в таблице 1.8. Геологическая карта, разрез Солонеченского рудного поля представлена в Приложении Г.

Таблица 1.8. Параметры рудных тел Солонеченского месторождения

Параметр	Значение параметра по участкам			
	Восточный 1	Восточный 2	Центральный	Западный
Кол-во рудных тел	3	2	8	15
Предельная протяженность тел по простиранию, м	35,5-184,0	68,0-350,0	43,0-304,5	18,0-389,0
Мощность, м - пределы	0,9-10,5	1,0-7,0	0,7-18,3	0,5-15,0
средняя	0,9-5,1	2,8-3,6	0,7-5,4	0,8-4,9
Содержание Sb, %	2,39-13,41	9,37-10,76	2,72-16,75	2,93-11,21
Бортовое содержание, %.	1,5	2,1	2,1	1,5

Параметры рудных тел Солонеченского месторождения приведены в таблице 1.9). Собственно, золоторудная малосульфидная минерализация развита эпизодически в виде минерализованных зон в джаспероидах.

Главное тело Западного участка располагается непосредственно под гранитами, погружаясь на север под углом 30 - 55°. Мощность его у поверхности (до 15 м) на глубине 50 м резко сокращается (тело выклинивается), а содержание сурьмы в восточной части заметно снижается. Большинство сопутствующих ему второстепенных рудных тел приурочено к аллохтонной тектонической пластине брекчированных и джаспероидизированных известняков, полого (10 - 40°) падают на север, часть из них является «слепыми». Скважиной 401 подсечена рудная линза с буланжеритом, в которой содержание Pb достигает 14,58%, Ag 560 г/т, As 0,76%.

Рудные тела Центрального участка располагаются в тектонической пластине согласно северному падению джаспероидов (25 - 65°) у контакта с гранитами. При среднем вертикальном размахе оруденения 30-40 м (на глубине 50-100 м) в одном профиле он равен 110 м, достигая поверхности; здесь же на фоне рядовых и бедных выявлены наиболее богатые руды (до 45% Sb).

Джаспероиды заместили 60-90% объема пород, сформировали пластообразные тела мощностью до первых десятки метров протяженностью по простиранию в сотни метров.

Таблица 1.9 Параметры рудных тел Солонеченского месторождения

Рудных тел	Протяженность по простиранию, м		Мощность, м			Среднее содержание Sb, %	
	от	до	от	до	средняя	от	до
Участок Западный (бортное содержание Sb 1,5%) для открытой отработки на глубину 50 м							
15	18	389	0,5	15	0,8-4,9	2,93	11,21
Участок Центральный (бортное содержание Sb 2,1%) для подземной отработки (ниже горизонта 508 м)							
8	43	304,5	0,7	18,3	0,7-5,4	2,72	16,75
Участок Восточный (бортное содержание Sb 1,5%) для открытой отработки (до горизонта 508 м)							
3	35,5	184	0,9	10,5	0,9-5,1	13,41	22,39
Участок Восточный (бортное содержание Sb 2,1 %) для подземной отработки (ниже горизонта 508 м)							
2	68	350	1	7	2,8-3,6	9,37	10,76

Главное рудное тело Восточного участка распространяется на глубину 40 - 140 м. В западной части винтообразное рудное тело крутопадающее (75-85°), в восточной – угол падения средний (50°). Руды рядовые до богатых (46% Sb). Остальные тела располагаются в 2-4 м висячем боку главного. На участке повышенная золотоносность сурьмяных тел вблизи поверхности (0,5 - 28,5г/т) отмечена в 25% проб.

На месторождении установлено более сорока рудных (28 гипогенных, 15 гипергенных) и около 10 нерудных минералов, до глубины 180 м элементы вертикальной зональности оруденения не выявлены. Основными минералами-носителями полезных компонентов первичных руд являются: сурьмы – антимонит; золота – золото в самородной форме; серебро – как примесь в самородном золоте, серебросодержащий буланжерит и тетраэдрит. Минералы-носители таких полезных компонентов как свинец (галенит, буланжерит), цинк (сфалерит) и медь (халькопирит, тетраэдрит, халькостибит) широкого распространения в рудах не получили. Содержание минералов-носителей вредных примесей мышьяка (арсениопирит, реальгар, аурипигмент, самородный мышьяк) и ртути (киноварь, ртуть-содержащая блеклая руда) в рудах незначительно.

Золото преимущественно тонкодисперсное, реже мелкое (0,00X - 0,1 мм), форма выделения в основном неправильная. Оно ассоциирует главным образом с кварцем, в меньшей степени – с сульфидами (пиритом, арсенопиритом и др.), распределено неравномерно. Максимальные содержания золота тяготеют к рудам, обогащенным сульфидами (преимущественно пиритом и арсенопиритом). Содержание золота в собственно золотых и золото-антимонитовых рудах 0,5 - 28,5 г/т, пробность 659 - 953 (средняя 819) и 837.

Добыча руд целесообразна открытым и подземным способами. Западный участок пригоден для открытой отработки на глубину 50 м, Центральный - для подземной отработки ниже горизонта 508 м, Восточный-1 - для открытой отработки до горизонта 508 м, Восточный 2 - для подземной отработки ниже горизонта 508 м.

Жипкошинское и Нарин-Кундуйское месторождения являются наиболее изученными. Жипкошинское месторождение открыто в 1955 г. при геологической съемке масштаба 1:200 000.

Жипкошинское месторождение контролируется пересечением Хара-Шибирского субмеридионального и Агинского широтного разломов (серия разрывов шириной до 10 км). К разломам приурочены линейные магматические, площадные эффузивные тела; процессы метасоматического преобразования пород.

На Жипкошинском месторождении генетическая связь антимонита и кварца проявляется более четко, чем на Солонеченском. Значение рудовмещающего кварца в формировании минерального состава руд вместе с породными примесями остается аналогичным Солонеченскому [107].

На месторождении развит кварцево-жильный монометалльный сурьмяный тип оруденения антимонитовой аргиллизитовой формации, который формировался в период мезозойской тектономагматической активизации в специфических условиях поствулканических рудообразующих процессов. Руды представлены одним технологическим типом. По состоянию изученности запасов (категории C_1+C_2) на начало 2010 г. масштабы месторождения определяются 682 тыс. т руды, 26,823 тыс. т сурьмы со средним содержанием около 4%, то есть месторождение

относится к мелким. Из суммарных запасов забалансовые составляют 69% [108]. Пространственное положение и морфология 48 рудных тел определяются разрывными нарушениями.

Многочисленные рудные тела относятся к мелким, принадлежат единому жильному морфологическому типу, различия по участкам в количестве и размерах несущественны и обусловлены литологическим составом рудовмещающих пород (таблица 1.10). Характерно весьма неравномерное распределение рудных тел в объёме рудовмещающих пород (коэффициент рудоносности 0,1 - 0,3).

На формирование природных свойств сурьмяного оруденения Восточного Забайкалья решающее значение оказывают региональные геологические факторы – узкий возрастной интервал, сходные геолого-структурные и генетические условия. Локальные геологические факторы обуславливают природное разнообразие рудных объектов, сохраняя основные генетические особенности оруденения. В результате суммарного воздействия региональных и локальных геологических факторов сурьмяные руды основных геолого-промышленных типов региона (ртутно-сурьмяного джаспероидного и сурьмяного золото-кварцевого) по минеральному составу, генетическим, структурно-текстурным особенностям, размеру и характеру вкрапленности, гранулометрическим характеристикам полезного минерала представляют единый технологический тип руд – сульфидный антимонитовый.

Таблица 1.10. Параметры рудных тел Жипкошинского месторождения

Наименование параметра	Значение параметра по участкам	
	Западный	Восточный
Количество рудных тел	14	34
Элементы залегания, град: по азимуту падения по углу падения	42-90 41-73	40-84 72-100
Протяженность, м: по простиранию по падению	25,5-185,0 34,0-123,5	7,5-197,0 5,0-101,0
Мощность истинная, м: пределы средняя	0,3-8,7 0,4-7,2	0,4-4,6 0,5-3,4
Содержание сурьмы, %: пределы среднее	0,7-29,0 0,7-20,0	2,6-19,5 1,2-18,0

Примечание. Данные в таблице представлены по состоянию на 10.09.2010 г.

Таким образом, минерагения Восточно-Забайкальского региона благоприятствует освоению его как новой отраслевой сурьмяной провинции страны. Причём минерагеническая специфика Забайкалья подчёркивает возможность наращивания и отработки запасов сурьмы открытым способом. Имеет тенденцию повышения до высокой мировой величины.

Положительные черты развития сурьмяного оруденения проявляются также совокупными масштабами, значительной площадью развития сурьмяной минерализации, отсутствием в концентратах вредных примесей. Помимо этого, расположенность месторождений в освоенных горнодобывающих районах края и выгодное с точки зрения рыночной ситуации географо-экономическое положение края повышает экономические показатели освоения Забайкальской минерально-сырьевой базы.

1.3. Анализ информационной базы данных вещественного состава сырья, полученной на стадии геологоразведочных работ

Забайкальский регион в настоящее время рассматривается в качестве новой сурьмяной провинции страны [18]. Новая для Забайкалья сурьмяная отрасль способна значительно восстановить горнодобывающую промышленность края. В настоящее время отмечается сближение позиций и методологии геологов, минералогов и технологов как в области технологической минералогии, так и в более широкой сфере изучения и освоения минеральных ресурсов.

В новых условиях проблема выбора перспективных месторождений для освоения и привлечения инвестиций требует повышения достоверности технологической оценки руд при сокращении сроков и затрат на исследования и испытания. Поэтому развитие способов прогнозирования технологических свойств сырья на основе первичных данных геологической разведки становится актуальным.

На ранних стадиях геологического изучения накапливается большой объём информации, который требует специального анализа. До последнего времени сурьмяные объекты различного ранга Восточного Забайкалья (пункты минерализации, проявления, месторождения) группировались в несколько рудных зон се-

веро-восточного направления (рисунок 1.4). В них сосредоточены известные многочисленные мелкие и средние объекты часто с богатыми сурьмяными рудами, которые практически не изучены. Они локализуются в различных по составу горных породах и обычно приурочены к разрывным нарушениям.

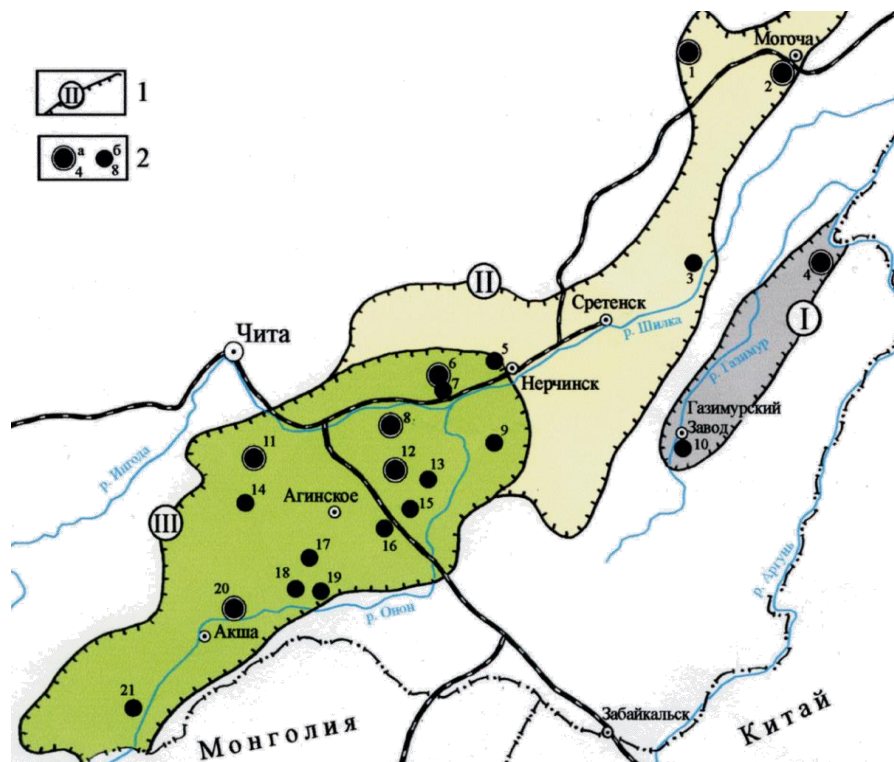


Рисунок 1.4. Основные зоны сурьмяного оруденения Восточного Забайкалья [18]
 1 – Основные зоны сурьмяного оруденения и их номера: I – Газимурская антимонитового джаспериодного золотосодержащего оруденения, II - Итака-Дарасунская золото-антимонитового оруденения; III – Тыргетуй-Жипкошинская кварц-антимонитового золотосодержащего оруденения субвулканического типа и комплексного ртутно-сурьмяно-вольфрамового оруденения. 2 – Основные месторождения (а) и проявления (б) сурьмы: 1 – Итакинское, 2 – Майское, 3 – Чалбучинское, 4 – Солонеченское, 5 – Нерчинское, Право-Телембинское, Костромихинское, 6 – Дельмачинское, 7 – Булыкитинское и Южное, 8 – Жипкошинское, 9 – Ново-Ивановское, Сурьмяный овраг, 10 – Кулиндинское, 11 – Тыргетуйское, 12 – Барун-Шивейинское, 13 – Боржигантайская площадь (геохимическая аномалия), 14 – Туринское, 15 – Агинское; 16 – Октябрьское, Железнодорожное, Цаган-Челутайское, 17 – Чалотуйское (Зун-Челутайское), 18 – Зуткулейское и Ново-Зуткулейское, 19 – Июльское (Солнечный ключ), Гашуновское, Оботуевское, 20 – Нарин-Кундуйское, 21 – Дырбылкейское.

Основные освоенные геолого-промышленные типы месторождений сурьмы Восточного Забайкалья на стадии геологоразведочных работ приведены в таблице 1.11. Классификационные признаки месторождений сурьмы и вещественный состав сурьмяных руд представлен в таблице 1.12 и 1.13, соответственно.

Таблица 1.11 Основные освоенные геолого-промышленные типы месторождений сурьмы Восточного Забайкалья на стадии геологоразведочных работ

Наименование наиболее изученного формационного типа, региональной рудной зоны	Геолого-промышленный тип (прогнозируемый)	Компоненты		Примеры месторождений	Геологоразведочные работы
1	2	3		4	5
1. Тыргетуй – Жипкошинская зона кварц-антимонитового аргиллизитового золотосодержащего оруднения.	Сурьмяный золото-кварцевый	Sb	Au	Жипкошинское,	В 1963 году Дарасунская партия ЗГЭ провела на площади рудопроявления (2 км²) профильную металло- и золотометрическую съёмку рыхлых отложений масштаба 1:10 000 (по сети 100×10м). Были выявлены геохимические ореолы сурьмы субширотного направления, охватывающий Западный и Восточный участки (рис. 6). В 1993 г. в процессе тематических работ ЗабНИИ были оценены прогнозные ресурсы участка Восточный в количестве 10 тыс. т сурьмы по категории Р₂ при среднем содержании сурьмы 4%. По участку Западный предлагалось сохранить величину запасов в 3500 т и считать их прогнозными ресурсами категории Р₁. В таком количестве прогнозные ресурсы по рудопроявлению Жипкоши вошли в сводную оценку прогнозных ресурсов Читинской области по состоянию на 10993 и 1998 гг. По состоянию на 01.01.2003 г. по оценке ГУПР по Читинской области, с учётом полученных новых данных горных работ, суммарные прогнозные ресурсы сурьмы Жипкошинского рудопроявления, оценивались в 19,6 тыс. т (Р₁-11,6 тыс. т, Р₂-8,0 тыс. т) до глубины 50 м. В 2001-2006 гг. на участке Жипкоши, согласно выданной лицензии, проводились поисково-оценочные работы силами ООО «Старательская артель Степная» (с 2006 г. – ООО «Хара-Шибирский сурьмяный комбинат») при методическом обеспечении ЗабНИИ. На месторождении были оценены прогнозные ресурсы сурьмы категории Р₁ в количестве 13 тыс. т (глубокие горизонты уч. Западного – 7 тыс. т, уч. Восточного – 6 тыс. т). В дальнейшем при проведении разведочных работ и опытно – промышленной эксплуатации на участке Западном были вскрыты новые рудные тела, которые разведаны по категории С₂+С₁ (в том числе 4,5 тыс. т в отвалах), а также 17,7 тыс. т забалансовых запасов. Среднее содержание сурьмы в недрах оценивались в 3,95%. Таким образом, ресурсный потенциал месторождения (с учётом добычи) составляет более 30 тыс. т. Проведённые разведочные работы на месторождении показывают, что оцененные ранее прогнозные ресурсы Р₁+Р₂ переведены в запасы С₂+С₁ с весьма значительным их увеличением. Жипкошинское месторождение находится на границе Могойтуйского и Шилкинского районов Забайкальского края в 250 км от Читы по автомобильной трассе Агинское-Могойтуй-Первомайск, в 55 км северо-восточнее железнодорожной станции Могойтуй, в 6 км к северо-западу автомобильной трассы, средненизкогорной мелкосопочной местности. Оно было выявлено в 1955 году, Усть-Ононской партией ЧГУ при проведении геологической съёмке масштаба 1:200 000.

Окончание таблицы 1.11.

1	2	3	4	5	6
				Нарин-Кундуйское	Оруднение было выявлено в 1971г. Усть-Ильинской партией на рудопроявлении Нарин-Кундуй в результате оценки геохимического ореола сурьмы при проведении групповой геологической съёмке масштаба 1:50 000 (Л.Н. Землянский, и др. 1984). Среднее содержание сурьмы 8-46%, золота – 1,05 г/т. Прогнозные ресурсы рудопроявления оценивались в 10 тыс. т сурьмы и около 100 кг золота по категории Р ₁ , до глубины 100м. Средняя мощность рудного тела была принята в 2,4 м, объёмная масса руды – 2,6 т/м ³ . На 01.01.2003г. прогнозные ресурсы рудопроявления оценивались Читанедами в 24,3 тыс. т сурьмы и 302 кг золота по категории Р ₁ , исходя из следующих параметров рудного тела: длина – 200м, средняя мощность – 4,5 м, среднее содержание сурьмы – 8,46 %, золота – 1,05 г/т. В 2003 г. силами ООО «Даурская горная компания» на основе выданной лицензии на рудопроявлении было пройдено 8 разведочных канав общей протяжённостью 433 м и массой полупромышленной технологической пробы 400,2 т. В 2005 г. состоялся аукцион на право пользования недрами, который выиграл ООО «Забайкальские ресурсы». В 2007-2008гг. работы ООО «Забайкальские ресурсы» в целом подтверждают существующий прогноз по рудному полю в первую очередь фактом выявления новых рудных тел на этой площади в не контуров известных ранее рудных тел собственно Нарин-Кундуйского месторождения. Нарин-Кундуйское месторождение относится к Ильинскому рудному полю, которое находится в Акшинском районе Забайкальского края в 30-35 км. северо-восточнее районного центра Акша и в 200 км и в 200 км к югу от Читы. Село Акша связано с Читой асфальтовой дорогой первого класса. На площади рудного поля имеется сеть грунтовых и просёлочных дорог. Ближайшими железнодорожными станциями являются: Дарасун (Транссибирская магистраль, в 14 км к северу по автотрассе Чита-Акша) и Могойтуй (железная дорога Чита-Забайкальск, в 175 км к северо-востоку).
2. Антимонит-кварцевый (джаспероидный) Газимурская зона антимонитового джаспероидного золотосодержащего оруднения	Ртутно-сурьмяный джаспероидный	Sb	Au	Солонеченское	Золотоносность была установлена в 1971 г. по данным штучного опробования (И.К. Пискунов, А. В. Титенко). В 1976-79 гг. тематическими работами ЗабНИИ (В. Д. Сазонов) месторождение было отнесено к категории золотосурьмяных. В 1982-88 гг. Лугоканской партией (Чипизубов и др.) прогнозные ресурсы золота по категории Р₂ были оценены в 22,7 т при его содержании 2г/т на Восточном и Западном участках и в 3г/т на Центральном участке. Максимальное содержание золота (19 и 76 г/т) были зафиксированы на участке Восточном в штучных пробах из лимонитизированной кварц-карбонатной брекчии с вкрапленностью пирита, арсенопирита, антимонита. Поисково-разведочные работы, проведённые ООО «Востокгеология», полностью подтвердили прогнозные ресурсы сурьмы по оценке 1993 и 1998 гг. (60 тыс. т сурьмы), переведя их в балансовые запасы С₁+С₂ даже с некоторым увеличением (62,9 тыс. т). Среднее содержание сурьмы увеличилось на 11%. В то же время, среднее содержание золота оказались ниже прогнозируемых (менее 1 г/т). Глубина подсчёта запасов в целом не превышала 100-150м. Кроме балансовых запасов сурьмы утверждены запасы попутного золота и серебра, а также забалансовые запасы сурьмы в количестве 4,9 тыс. т. Солонеченское джаспероидное месторождение расположено в Газимуро-Заводском районе Забайкальского края в низкогорной таёжной местности, в 180 км к северо-востоку от с. Газимурский Завод, в 15 км южнее деревни Будюмкан и в 3,5 км от строящейся железной дороги Нарын – Лугокан.

Таблица 1.12 Классификационные признаки месторождений сурьмы

Формационный (природный) тип, номер типа.	Геолого-промышленный тип (прогнозируемый)	Формация вмещающих пород	Морфологические типы рудных тел	Компоненты		Наименование исследуемых месторождений
				главные	второстепенные	
1.Антимонит-кварцевый (джаспероидный)	Ртутно-сурьмяный джаспероидный	Прогарцованных терригенно-карбонатных пород	Сложный пластово-линзообразный	Sb	Au	Солонечинское
2.Антимонит кварцевый (аргиллизитовый)	Сурьмяный золото-кварцевый	Метасоматически изменённых вулканогенных, терригенных, метаморфических и др. пород.	Жилы простые и ветвящиеся, линейные штокверки, минерализованные зоны	Sb	Au	Жипкошинское, Нарин-Кундуйское.

Таблица 1.13 Вещественный состав сурьмяных руд

Номер типа	Структуры руд	Текстуры руд	Околорудные изменения	Минералы			Содержание ценного компонента (в % или г/т)
				главные	второстепенные	размер вкраплений антимонита	
1	Мелко-крупно-зернистая	Брекчиевая, массивная, гнездовая, вкрапленная, пятнистая, прожилковая, кавернозная, крупстификационная.	(Перекристаллизация, доломитизация, окварцевание, серицитизация, карбонатизация)*- джаспероидизация – аргиллизация- гипергенез	Антимонит, кварц, карбонат	Пирит, арсенипирит, флюорит, серицит, каолинит	1-5 мм, редко до 20 см	Sb 0,4 - 27,7 %. Au 0,01-28,5 г/т.
2	Разнозернистая	Вкрапленная, прожилковая,- пятнистая, массивная, брекчиевая	Окварцевание аргиллизация – гипергенез	Антимонит, кварц	Пирит, арсенипирит, марказит, серицит, каолинит	До 5 см	Sb 0,1 - 85 %, Au 0,01- 1,8 г/т

Результаты спектрального, химического и фазового анализов исходных технологических проб из богатых (жильных) и рядовых (прожилково-вкраплённых) руд участка Западного по данным технологических исследований НИИ (Солонеченское- ЗабНИИ, Нарин-Кундуй – ОАО «Иргиредмет») приведены в таблицах 1.14 - 1.16.

Таблица 1.14 Результаты полуколичественного спектрального анализа вещественно- технологических проб месторождений [18]

Элемент	Содержание в пробах месторождений, %	
	Солонеченское	Нарин-Кундуйское
1	2	3
Золото г/т	0,33-4,64	
Серебро г/т	0,25-1,23	
Мышьяк	0,017-0,09	0,1
Барий		0,05
Бериллий		0,0001
Бор		0,006
Висмут		-
Кобальт		0,001
Медь	0-0,006	0,003
Хром		0,005
Церий		-
Кальций		0,3
Калий		2
Железо		3
Алюминий		6
Магний		0,5
Кремний		30
Галлий		0,001
Германий		0,0001
Лантан		0,004
Литий		0,006
Молибден		0,0003
Марганец		0,04
Никель		0,003
Ниобий		0,001
Свинец	0-<0,02	0,0008
Олово		0,0001
Скандий		0,0008
Селен,	0-<0,005	
Сурьма	0,1-6,75	6
Стронций		0,015
Титан		0,3
Ванадий		0,006
Вольфрам		-

Окончание таблицы 1.14.

1	2	3
Иттрий		0,001
Иттербий		0,0002
Цинк	0-0,032	0,008
Церий		0,006
Цирконий		0,01
Натрий		0,5
Ртуть	0-0,00202	-
Фосфор		0,05

Таблица 1.15 Результаты химического анализа вещественно-технологических проб месторождений [19]

Компоненты	Содержание компонентов сурьмяных руд (%) месторождений	
	Солонеченское	Нарин-Кундуйское
1	2	3
SiO ₂	93,7	69,4
Al ₂ O ₃	0,95	12,0
TiO ₂	0,74	0,3
CaO	0,08	0,29
MgO	0,13	0,031
MnO	0,01	
Fe ₂ O ₃ (III)	1,20	
Na ₂ O	0,07	
P ₂ O ₅	0,11	0,09
П.п.п	2,84	
K ₂ O	0,32	1,9
Zn		0,009
Pb		<0,001
Cu		0,022
WO ₃		<0,001
Hg, г/т		<0,001
S _{общ}		3,28
S _{окисл}		<0,2
S _{сульф}		3,08
As _{общ}		0,123
As _{окисл}		0,047
As _{сульф}		0,076
C _{общ}		
Fe _{общ}		1,72
Fe _{окисл}		1,62
Fe _{сульф}		0,1
Sb _{общ}	3,32	7,8
Sb _{окисл}		0,69
Sb _{сульф}		6,9
Au, г/т		0,93
Ag, г/т		2,59

Таблица 1.16 Минеральный состав руд вещественно-технологических проб месторождений [19]

Минерал, группа минералов	Месторождение	
	Солонеченское	Нарин-Кундуй
Золото самородное	Ед. зн	
Барит	0-0,7	0,03-00,7
Кварц	41-77,97	53,6
Глинисто-слюдистые	0-3	15,5
Обломки пород	0-15,51	
Графит	0-2	-
Полевые шпаты (плагиоклаз, ортоклаз)	-	25,0
Карбонаты	1,08-18	0,8
Ярозит		н/о
Скородит	-	0,3
Гидроксиды, сульфаты железа		3,5
Сурьмяные охры (валентинит и др.)	0,05-0,2	
Окисленные минералы сурьмы		0,2
Халькопирит	Знаки 0,05	
Сфалерит		
Ильменит	0-0,08	
Лимонит	0,02-5,21	-
Магнетит	0-0,2	0,1
Сульфиды, в т.ч.:		1,1
Серицит	0-11	
Антимонит	0,2-8,9	1,0
Амфибол	0-2	-
Арсенопирит	0,15-0,2	0,1
Пирит	Знаки 0,8	Ед. зн.
Пирротин		н/о
Рутил, сфен, циркон		Ед. зн.
Хлорит	0-5	-
Всего:		100,0

В таблице 1.17 приведена корреляционная зависимость содержания сурьмы, золота, серебра мышьяка и других химических элементов от параметров химического состава руды Солонеченского месторождения [38].

Основными шлакообразующими компонентами руды являются SiO_2 , CaO , MgO и Al_2O_3 . Корреляционным анализом установлена прямая зависимость содержания Sb и S ($K_k=0,88$) и обратная – между Sb и SiO_2 ($K_k=0,5$), свидетельствующие о сульфидной форме выделения сурьмы и одновременном формировании Sb и SiO_2 . Отсутствие связи между Sb и Au указывает на разные источники их формирования. Зона окисления на месторождении развита слабо. Мощность ее составляет не более 2,5 м от поверхности.

Таблица 1.17 Корреляционная зависимость параметров химического состава руды Солонеченского месторождения

	Sb	Hg	As	SiO ₂	Fe	TiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	S	С общ	BaO	ппп	Au	Ag
Sb	1.00																	
Hg	-0.07	1.00																
As	0.05	0.52	1.00															
SiO ₂	-0.50	0.08	-0.40	1.00														
Fe	-0.36	0.26	0.44	-0.05	1.00													
TiO ₂	-0.32	-0.15	-0.16	0.08	0.57	1.00												
Al ₂ O ₃	-0.39	-0.04	-0.18	0.17	0.56	0.96	1.00											
MnO	0.02	0.24	0.76	-0.67	0.31	-0.25	-0.30	1.00										
CaO	0.04	-0.11	0.20	-0.80	-0.13	-0.15	-0.19	0.61	1.00									
Na ₂ O	-0.10	0.03	0.15	0.33	0.58	0.57	0.54	-0.28	0.56	1.00								
K ₂ O	-0.34	-0.10	-0.16	0.01	0.52	0.97	0.95	-0.21	-0.01	0.47	1.00							
MgO	0.11	-0.31	0.22	-0.84	-0.07	-0.11	-0.20	0.64	0.94	-0.52	-0.03	1.00						
S	0.88	0.12	0.40	-0.63	0.02	-0.21	-0.29	0.30	0.10	0.05	-0.23	0.16	1.00					
Собщ	-0.06	-0.19	0.16	-0.71	-0.07	-0.13	-0.17	0.65	0.91	-0.52	-0.05	0.92	-0.01	1.00				
BaO	-0.14	0.54	0.02	0.02	0.07	0.07	0.25	-0.10	0.12	-0.01	0.24	-0.15	-0.09	-0.04	1.00			
ппп	0.01	-0.12	0.27	-0.81	-0.04	-0.07	-0.10	0.65	0.95	-0.59	0.04	0.95	0.10	0.95	0.05	1.00		
Au	-0.33	0.49	-0.07	0.16	0.34	0.20	0.36	0.00	-0.05	0.26	0.24	-0.19	-0.25	0.08	0.56	0.00	1.00	
Ag	-0.02	0.46	0.97	-0.43	0.46	-0.20	-0.23	0.83	0.27	-0.17	-0.20	0.30	0.35	0.26	-0.06	0.34	-0.06	1.00

Таким образом, анализ вещественного состава сурьмяного сырья по информационной базе данных ранее опубликованных отчётов и научных трудов, полученных на стадии геологоразведочных работ в Забайкалье, позволил сделать вывод, что преобладающим ценным компонентом, подлежащим извлечению, является сурьма.

1.4. Оценка мирового уровня развития техники и технологии предварительного концентрирования в процессе рудоподготовки крупнокусковых сурьмяных руд

Большое многообразие типов и разновидностей сурьмяных руд, в значительной степени отличающихся между собой технологическими свойствами, обусловило широкий спектр используемых технологий рудоподготовки и обогащения [40;58;62;72;75;76;77;80;87-94;126-137]. При этом наблюдаемая тенденция снижения качества минерального сырья, вовлекаемого в разработку, сложность и существенное изменение состава и типов сурьмяных руд требуют технического совершенства технологических схем обогащения. Данное обстоятельство потребовало специального анализа уровня развития техники и технологии рудоподготовки и реализуемых методических подходов к удовлетворению требований последующих переделов для извлечения ценных компонентов на обогатительных фабриках, как в России, так и за рубежом.

На сегодняшний день в используемых базовых технологиях применяются различные технические решения раскрытия минералов и отделения полезных компонентов от пустых пород [57;82;98;115;116;127]. Среди методов предварительного концентрирования ценных компонентов в процессе рудоподготовки выделяют прежде всего обогащение в тяжелых суспензиях, отсадку, крупнокусковую (до 300 мм) магнитную сепарацию, радиометрическую сепарацию [112;121;127;141]. Следует особо подчеркнуть, что рудоподготовка выступает как основной фактор эффективности использования технологических схем переработки сурьмяных руд.

Очень богатые руды не требуют предварительного обогащения; из них получают штучной (50-55%) селективный концентрат, идущий непосредственно в плавку. Для руд со скоплениями богатых антимонитом гнезд применяют селективную выемку при добыче или последующую рудоразборку, в результате которой получают штучной концентрат, являющийся сырьём для выплавки черновой сурьмы. Переработка собственно сурьмяных руд с целью получения металлической сурьмы почти всегда требует предварительного гравитационно-флотационного обогащения. Ведутся исследования по разработке методов прямого возгона сурьмы, чтобы вовлечь в переработку бедные и оксидные руды, а также хвосты обогащения.

В России сурьму и её соединения получают преимущественно флотацией, включающей коллективную флотацию сульфидов при грубом помоле руды (55 - 65% класса – 0,074 мм) с применением ПАВ, и, нередко, гравитацией по различным схемам и реагентным режимам. Извлечение сурьмы составляет от 70 до 91 % при содержании в концентратах 40-60%. Следует отметить, что первым этапом обогащения является рудоразборка, позволяющая получать штучные концентраты с содержанием не менее 30% сурьмы, независимо от степени окисленности руд.

Сравнительный анализ ряда месторождений и технологических схем переработки сурьмяных руд представлен в таблице 5 [1-4;8;12;15].

Практически повсеместное превалирование *флотационного метода обогащения* сурьмяных руд объясняется тем, что основной минерал сурьмы антимонит хорошо флотируется после рудоподготовки различными углеводородами, карбоновыми кислотами, нефтяными маслами и сланцевой смолой [21;120;115]. В качестве пенообразователя используется Н-гексиловый спирт в присутствии серной кислоты [1;3;90;122]. При этом отмечается значительное геохимическое преобразование отходов, формирование сложных минеральных комплексов с участием химических реагентов и, как следствие, негативное воздействие загрязняющих веществ на компоненты природной среды (воздух, воду и почву).

Базовой технологией обогащения всех промышленных (технологических) типов *кварц-антимонитовых руд* является *гравитационно-флотационная схема*. В ней используется принцип «щадящей» технологии, заключающийся в выделении и сохранении при переработке руды крупнокускового товарного продукта, который по качеству (Sb 30%) и гранулометрическому составу отвечает требованиям, предъявляемым к шихте при выплавке черновой сурьмы. Методология построения технологических схем рудоподготовки базируется на использовании комплекса процессов дробления, измельчения, грохочения, классификации, предварительной концентрации. Данные процессы направлены на получение гранулометрического и вещественного состава, соответствующего определенным требованиям последующих обогатительных переделов, то есть удовлетворяющего необходимости получения вещественного состава заданного качества и возможности дальнейшего раздельного обогащения. Для разнообразных типов, подготовленных к обогащению кварц-антимонитовых руд, в дальнейшем переделе в основном используются флотационные, гравитационные и комбинированные методы обогащения руд. При этом извлечение сурьмы в концентрат достигает 82%, качество получаемых концентратов соответствует техническим требованиям к маркам сурьмяных концентратов (см. таблицу 1.1).

Сульфидные руды обогащаются обычно флотационным методом, смешанные и окисленные руды обогащаются по гравитационно-флотационной схеме или подвергаются обжигу с возгонкой и улавливанием летучей Sb_2O_3 , направляемой на металлургическую переработку [22;115;133;152]. Сульфидные руды сурьмы и мышьяка обогащают по гравитационно-флотационным схемам. При обогащении крупновкрапленных руд сурьмы и мышьяка, как правило, применяют механическую рудосортировку или обогащение в тяжёлых средах для выделения в голове процесса пустых пород и штуфных концентратов. С этой же целью на некоторых обогатительных фабриках применяют гравитацию после гидравлической классификации с последующей флотацией хвостов гравитации.

Переработка *ртутно-сурьмяных руд* и концентратов основана на выделении ртути в отдельный продукт пирометаллургическим способом с последующим по-

лучением сурьмы из огарков пиро- или гидрометаллургическим способами [22;61;67;76;84;137]. Извлечение сурьмы при гидрометаллургической переработке антимонита достигает 94-98%, низших окислов – 78-82%, а высших – только 20%. В процессе гидрометаллургического выщелачивания концентратов сурьма почти полностью переходит в раствор.

Сравнительный анализ технологических схем переработки сурьмяных руд в России и за рубежом приведён в таблице 1.18.

Таблица 1.18. Сравнительный анализ технологических схем переработки сурьмяных руд в России и за рубежом

Типы руд, вещественный состав	Методы / схемы обогащения
<i>Собственно сурьмяные руды тонковкрапленные и кварцево-сульфидные золотосодержащие</i>	
Основные минералы: антимонит Sb_2S_3 1,3%, продукты его окисления. Пустая порода: углистые сланцы, кварц, графит, пирит.	Флотация. Концентрат содержит 19-30% [1;2] Флотационная схема обогащения.
Основные минералы: антимонит Sb_2S_3 3,4%, валентинит Sb_2O_3 , кермезит Sb_2S_2O , сервантит Sb_2O_4 , цинк, серебро, золото 2 г/т тонковкрапленное связано с пиритом, кварцем. Пустая порода: кварц, кальцит, барит.	Коллективная флотация с последующей селекцией и выщелачиванием сурьмы. Концентраты содержат 30-40% сурьмы и 7-10 г/т золота - гравитационный, 12-15% сурьмы и 30-35 г/т золота - коллективный флотационный [141]. Комбинированная гравитационно-флотационная схема обогащения, с последующим выщелачиванием.
Основные минералы: антимонит Sb_2S_3 13-16%, золото самородное и связанное с Sb_2S_3 , пиритом, арсенопиритом, сфалеритом. Пустая порода: кварц, пирит.	Гравитация, флотация, гидрометаллургия. Концентраты содержат 60 % сурьмы и 13 г/т золота. Комбинированная гравитационно-флотационная схема обогащения.
Основные минералы: антимонит Sb_2S_3 1%, бертьерит $FeS-Sb_2S_3$, арсенопирит, пирит, халькопирит. Пустая порода: кварц, кальцит, серецит.	Флотация. Концентрат содержит 21 % сурьмы. [3;4;15] Флотационная схема обогащения.
Основные минералы: антимонит Sb_2S_3 , Au связано пиритом, арсенопиритом.	Флотационный метод обогащения селективная схема флотации. Концентраты содержат 60-62% сурьмы и 17-20 г/т золота [3;8]. Флотационная селективная схема.
<i>Сильно окисленные руды</i>	
Основные минералы: антимонит Sb_2S_3 3,5%, валентинит Sb_2O_3 , сенармонтит Sb_2O_3 , арсенопирит, сфалерит.	Гравитация, флотация, тяжелосредная сепарация. Концентрат содержит 15-20% сурьмы [12]. Комбинированная гравитационно-флотационная схема обогащения.
<i>Комплексные руды</i>	
Основные минералы: антимонит Sb_2S_3 1%, Au 2,6 г/т связано с Sb_2S_3 , пиритом, арсенопиритом, шеелитом.	Флотация, пирометаллургия. Концентраты содержат 46% сурьмы и 17 г/т золота. Комбинированная флотационная коллективно-селективная схема с последующей пирометаллургией.

Из таблицы видно, что выбор метода обогащения сурьмяных руд зависит не только от размеров вкрапленности, но и от содержания сурьмы в руде и степени её окисленности.

В обогащении *сурьмяно-мышьяковых руд* доминируют две основные технологические схемы. По технологии *коллективной флотации сульфидов с последующей их селекцией* все сульфиды извлекаются в концентрат.

Выбор схемы переработки *золотосурьмяных руд* определяется характером связи золота с рудными и породообразующими минералами. Если золото непосредственно связано с минералами сурьмы, схема обработки руды должна предусматривать получение коллективного золотосурьмяного концентрата. При отсутствии четкой связи руду перерабатывают по комбинированным схемам с извлечением сурьмы и части золота в коллективный концентрат и доизвлечением золота из хвостов методами, принятыми в золотодобывающей промышленности.

При обогащении *золото-сурьмяно-мышьяковых руд* схема зависит от распределения золота по рудным и породообразующим компонентам. Если золото связано с сульфидами, оно извлекается преимущественно в золото-сурьмяно-мышьяковые концентраты. Если золото связано как с минералами сурьмы и мышьяка, так и с минералами пустых пород (SiO_2) или сульфидами цветных металлов, то применяют комбинированные схемы с извлечением сурьмы и мышьяка, и части золота в коллективные концентраты, а остальное золото извлекается процессами и методами, принятыми в золотодобывающей промышленности.

Поскольку большую часть запасов месторождений сурьмы составляют бедные руды, (содержание Sb 2%), требуется использование экономически целесообразных специальных методов, в том числе предварительного концентрирования ценных компонентов на этапе рудоподготовки.

В 1971-1972гг. Иргиредметом при участии специалистов института «Средазнипроцветмет» (г.Ташкент) на опытной фабрике комбината Балеизолото проведены полупромышленные испытания технологии: сульфидно-щелочное выщелачивание – цианирование на пробе руды Сарылахского месторождения, содержащей 21,8% сурьмы и 15г/т золота [62]. Перед гидрометаллургической перера-

боткой руда (80% класса $-0,074$ мм) подвергалась предварительному гравитационному обогащению с целью выделения присутствующих в ней свободного золота и крупнозернистых сульфидов. Для проведения опытов по извлечению сурьмы на фабрике была создана типовая установка, обеспечивающая проведение операций выщелачивания сурьмы и электролиза сурьмяных растворов в условиях, максимально приближённых к промышленным (рисунок 1.5)

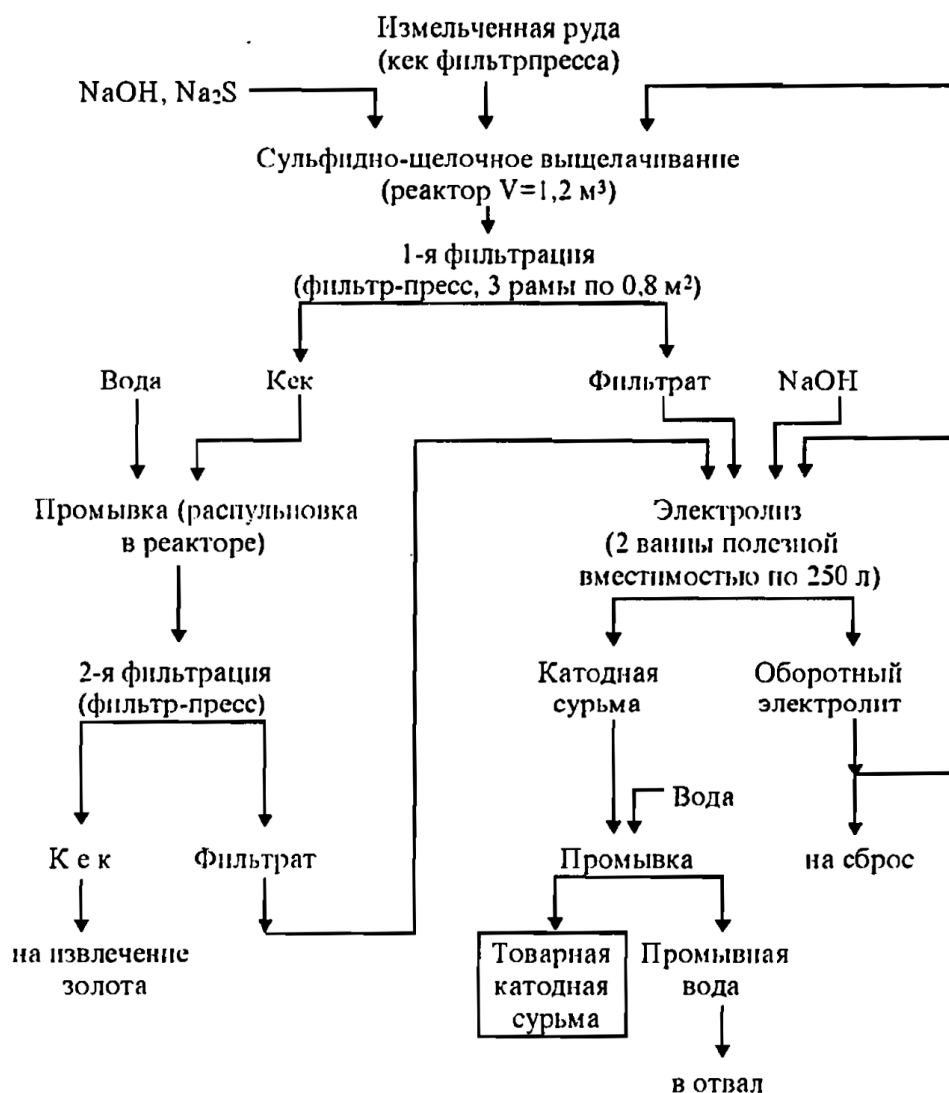


Рисунок 1.5. Схема проведения полупромышленных экспериментов по гидрометаллургическому извлечению сурьмы [62]

Поточная линия для переработки золото-сурьмянистых руд [93] включает следующие технологические аппараты: 1, 7 – радиометрические сепараторы; 2;3;4;8;9 – конвейеры; 5 – дробилка; 6 – грохот; 10 – отсадочная машина; 11;14;16

– мельницы; 12-18 – сгустители; 15 – гидроциклон; 17 – классификатор; 19 – чан; 20 – склад концентрата (рисунок 1.6).

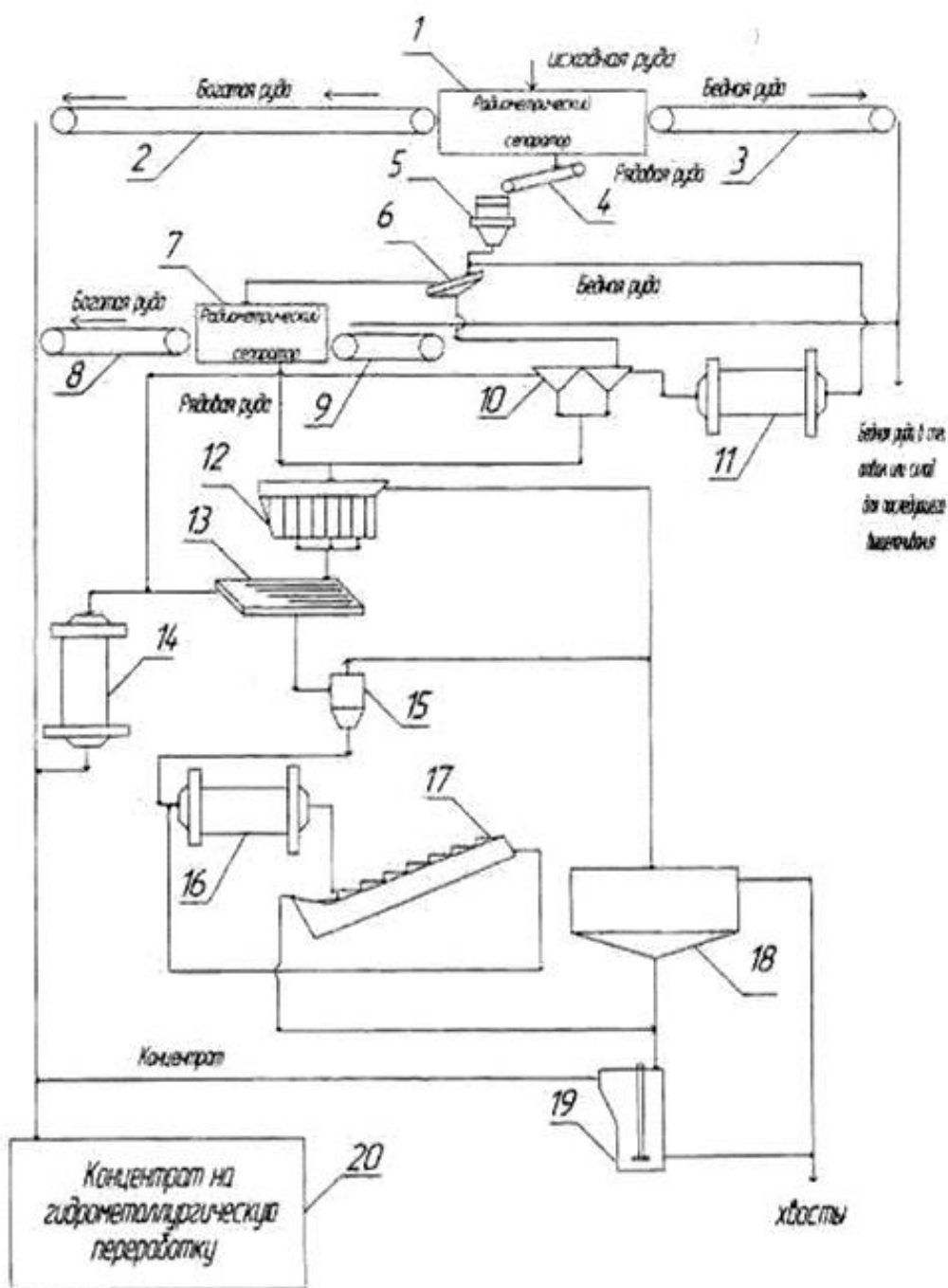


Рисунок 1.6. Поточная линия для переработки золото - сурьмянистых руд [119]

Небольшая по производительности фабрика в Западной Австралии (Блю Спек) [62] пушена в строй в 1976г. перерабатывает сурьмяно-золотую руду, золото в которой представлено частицами самородного металла и ауристибитом

AuSb_2 . Сурьма в руде присутствует в форме антимонита. Переработка руды производится по схеме, представленной на рисунке 1.7.

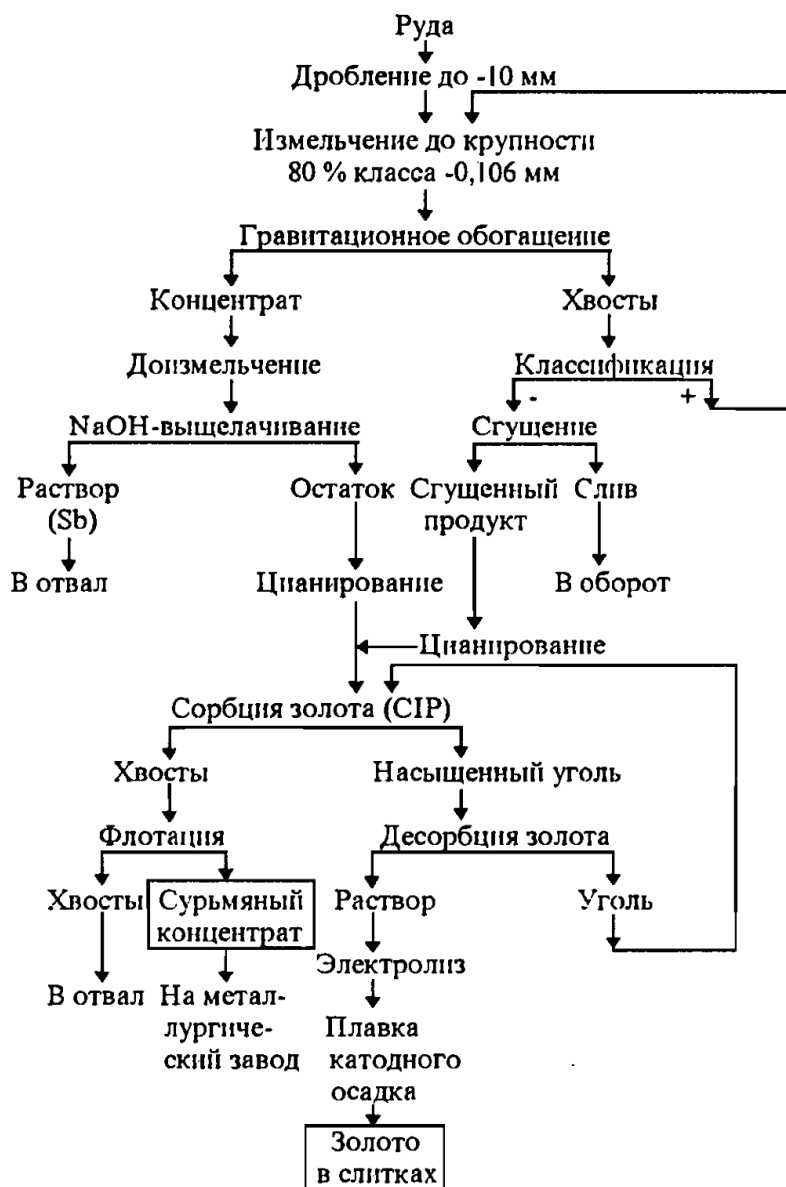


Рисунок 1.7. Схема переработки руды на фабрике Блю Спек [62]

ЮАР занимает 3-е место в мире (после КНР и Боливии) по объемам добычи сурьмы. Основное количество сурьмы производится из комплексных золото-сурьмяных руд на предприятиях, принадлежащих компании «Консолидейтед Мэрчисон» и расположенных на территории Северо-Восточного Трансвааля.

Схема обогащения руды и металлургической переработки концентратов на Консолидейтед Мэрчисон - [62] приведена на рисунке 1.8.

тальных вложений, а величина эксплуатационных расходов на обогатительной фабрике достигает 80%, поскольку её процессы очень энергоемки. По укрупненной оценке [31;63] удельный расход электроэнергии на фабриках составляет 0,5–50 кВт/час, в том числе на крупное дробление – 0,3–0,5; среднее дробление – 0,8–1,2; грубое и тонкое измельчение – 18–20 кВт/час. Для уменьшения капитальных и эксплуатационных затрат на этапе рудоподготовки целесообразно применять радиометрическую предконцентрацию (в том числе рентгенорадиометрическую) кондиционных и забалансовых руд на основе использования природной (естественной) радиоактивности и избирательном взаимодействии различных видов излучения на минералы и химические элементы.

Рентгенорадиометрическая сепарация (РРС) - новая высокоэффективная, экологически чистая технология обогащения руд и техногенного сырья (отвалов забалансовых и некондиционных руд и проч.). Технология использует современное технологическое оборудование для кусковой сепарации – рентгенорадиометрические сепараторы [87;150] и в отличие от известных «косвенных» традиционных «мокрых» методов обогащения (флотации, гравитации), основана на прямой оценке содержания сурьмы в сухом кусковом рудном материале крупности 300–20 мм, реже 20–5 мм.

Эффективность метода базируется на высокой селективности, информативности рентгеновского излучения и на свойстве руды при взрывании и дроблении разламываться по плоскостям низкой прочности (плоскостям минерализации). Благодаря этому свойству поверхность кусков более обогащена рудными компонентами, так что даже при небольшой глубине проникновения рентгеновского «мягкого» излучения в материал (0,1–1,0 мм) обеспечивается надёжное распознавание рудных кусков.

Метод эффективно решает следующие геологические, технологические и экономические задачи:

- повышение качества исходного сырья и возможность управления им;
- расширение сырьевой базы и полноты использования недр за счёт вовлечения в переработку запасов бедных и забалансовых руд;

- сокращение удельных затрат на транспортировку, обогащение руд и складирование отходов в хвостохранилище;
- получение готового для металлургического производства крупнокускового концентрата (минуя стадию обогащения);
- повышение технического уровня специалистов и предприятий в целом;
- предварительное разделение руды на отдельные технологические типы, отличные по свойствам и вещественному составу;
- повышение мощности перерабатывающего предприятия с уменьшением затрат на дробление, измельчение за счет вывода крупнокусовой фракции в голову процесса;
- снижение объёма перерабатываемой горной массы и экологической нагрузки по загрязнению окружающей среды; (уменьшает накопление опасных веществ)
- обогащение рудного и техногенного сырья с выделением порции заданного качества по узким классам крупности с компоновкой наиболее рациональных технологических схем извлечения ценного компонента в последующих основных переделах выделения полезных ископаемых на обогатительной фабрике.

Радиометрическая сепарация промышленно освоена вначале на урановых и комплексных урановых рудах [123]. Это обусловлено тем, что данные руды обладают высокой контрастностью и для них результативно использование радиометрической сепарации [97;58]. Это техническое достижение конца XX столетия позволяет по-новому подойти к построению технологических схем рудоподготовки сурьмяных и сурьмяных золотосодержащих руд с целью дальнейшего продуктивного обогащения. [17;107;110;119;121;148]

Внедрение технологии рентгенорадиометрической сепарации началось в 2000г. с производства ООО «РАДОС» промышленных сепараторов и их апробирования промышленными предприятиями, в том числе в Забайкальском крае (на Приаргунском горно-химическом объединении и Хара-Шибирском сурьмяном комбинате).

При проектировании дробильно-сортировочной установки бедной сурьмяной руды месторождения Жипкоша принята комбинированная технология. Схема включает следующие основные операции: Дробление исходной руды крупностью -500 мм до крупности -150 мм; грохочение исходной руды по классам -150+20мм, -20+2 мм и -2 мм; РРС класса -150+20 мм с получением отвальных хвостов (содержание сурьмы 0,10%) и обогащенного продукта с содержанием сурьмы 10,4%; ТСС класса -20+2 мм исходной руды с получением отвальных хвостов (содержание сурьмы 0,37%) и концентрата ТСС с содержанием сурьмы 3,24%; гравитационное обогащение доизмельченных обогащенных продуктов РРС и ТСС, а также класса -2 мм исходной руды с получением готового к реализации концентрата с содержанием 33,4% сурьмы при извлечении 25, %; флотационное обогащение хвостов гравитации, доизмельченных до крупности 70% класса – 0,074 мм. Базовая технологическая схема обогащения сурьмяных руд Жипкошинского месторождения представлена на рисунке 1.9.

Концентрат гравитации соответствует марке КСУФ-4 [50]; золото и серебро в сурьмяном концентрате не нормируются, но определяются. Отходами процессов рудоподготовки являются хвосты рентгенорадиометрической и тяжёлосредной сепарации, которые объединяются с хвостами флотационного обогащения; содержание сурьмы в общих хвостах 0,56%.

Для переработки золотосодержащих сурьмяных руд Солонеченского месторождения разработан проект комбинированной гравитационно-флотационной схемы на годовую производительность предприятия в 110 тыс. т руды и содержание Sb 9,3%, Au - 0,83 г/т в минеральном сырье [86].

Базовая схема цепи аппаратов для обогащения сурьмяных руд Солонеченского месторождения приведена на рисунке 1.10. и включает операции: транспортировку и складирование добытой руды крупностью до 500 мм на усреднительно-накопительном складе руды; дробление руды до крупности -20 мм в замкнутом цикле с грохочением; промежуточное складирование дроблёной руды в бункерах главного корпуса; первую стадию измельчения руды в стержневых мельницах до крупности менее 0,5 мм в замкнутом цикле с грохотом; винтовую сепарацию на

шлюзах подрешетного продукта грохота с последующей доводкой тяжелой фракции винтовых шлюзов на концентрационном столе; вторую стадию измельчения хвостов гравитации в шаровых мельницах с центральной разгрузкой в замкнутом цикле с гидроциклоном с получением в сливе материала крупностью 80% класса - 0,071 мм, который отправляется на обогащение.

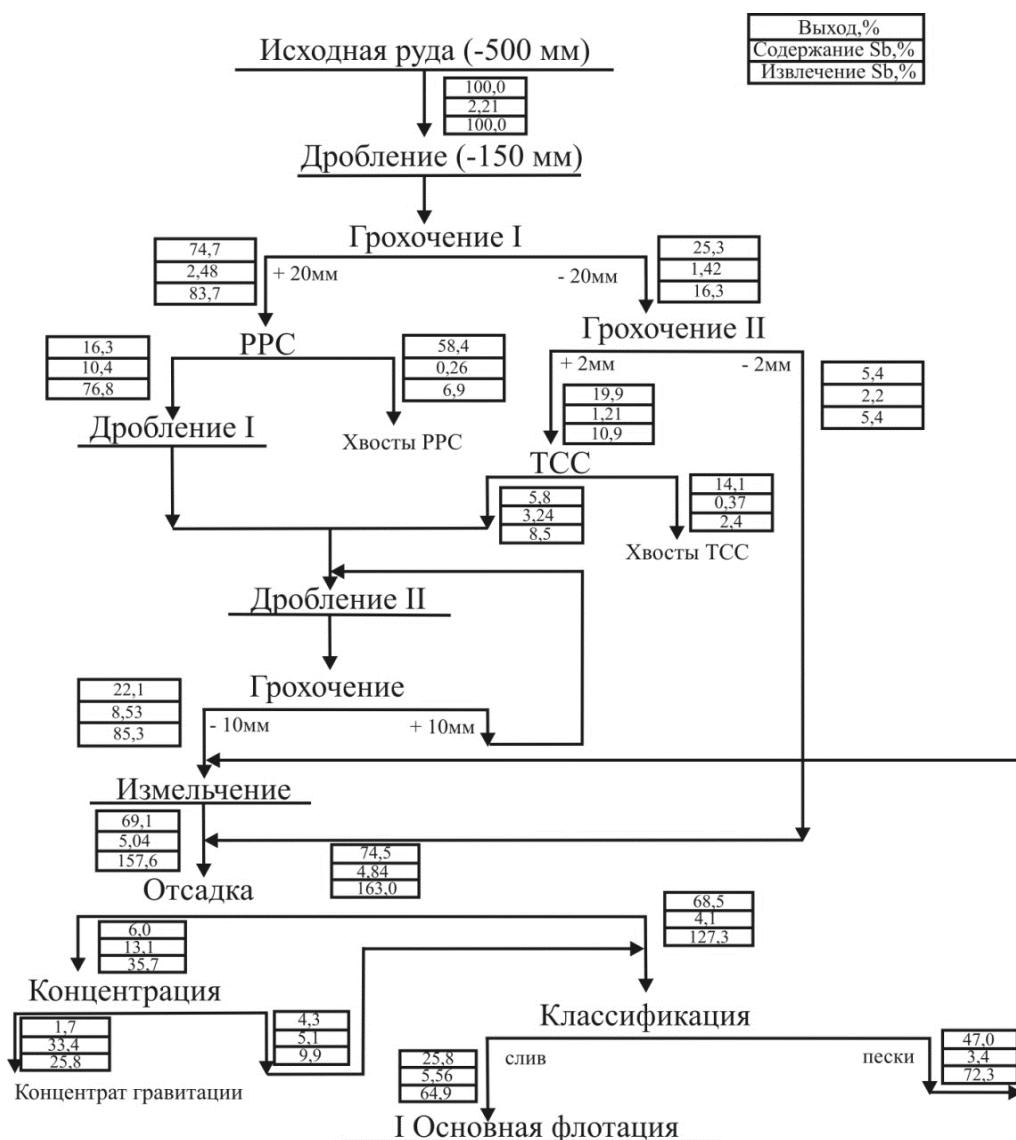


Рисунок 1.9. Базовая технологическая схема обогащения сурьмяных руд Жигкошинского месторождения [115]

На этапе рудоподготовки решение одной технологической задачи на рудах Солонеченского и Жипкошинского месторождений производилось разными сочетаниями технологических процессов. На первом объекте применяются традиционные методы комбинированной гравитационно-флотационной схемы, на втором кроме гравитационно-флотационной схемы применены и современные методы – рентгенорадиометрическая сепарация в одну стадию.

При предпроектной сравнительной оценке методов обогащения кварц-антимонитовых руд месторождения Жипкоша на первом этапе освоения рекомендовано использовать как наиболее эффективный рентгенорадиометрическо-флотационный вариант переработки сурьмяных руд [148]. Также выполнено обоснование безопасности рентгенорадиометрической сепарации сурьмяных руд Восточного Забайкалья [119].

Анализ предлагаемых технологических проектных решений, выполненных на основе лабораторных, укрупнённых лабораторных и полупромышленных испытаний за период 2008-2012 гг., на пробах руд Солонеченского и Жипкошинского месторождений, в которых автор работы принимал участие (Приложения Д, Ж, И, К, Л), позволил выявить ряд недостатков: 1) рекомендуемые схемы переработки не учитывают содержание ценного компонента в руде (сортность); 2) не в полной мере используется инновационная технология предконцентрации сурьмы методом РРС на основе контрастности; 3) попутно не извлекается золото низкзатратной технологией кучного выщелачивания; 4) отсутствует научный подход к методологии построения технологических схем переработки сурьмяных руд.

Таким образом, на основе анализа современного состояния производства сурьмы в России и за рубежом сделаны следующие выводы:

1. Необходимость освоения минерально-сырьевых ресурсов сурьмы обусловлена повышением мировых цен на сурьмяную продукцию, созданием новых материалов, технологий с использованием сурьмы, резким сокращением поставок сурьмы на мировой рынок основным её производителем (Китаем).

2. Территорию Восточного Забайкалья следует рассматривать в качестве перспективной сурьмяной провинции России, которая расположена в освоенных горнорудных районах и образует три основных региональных зоны.

3. Проведённые в последнее десятилетие на ряде объектов поисково-оценочные, разведочные и научно-исследовательские работы показали положительные результаты и подтвердили предварительные прогнозные ресурсы. Основное промышленное оруденение представлено пластообразным джаспероидным и жильным, жильно-прожилковым кварц-антимонитовым и золотоантимонитовым. Изученность большинства многочисленных сурьмяных проявлений Забайкалья остаётся низкой.

4. Тенденция снижения качества минерального сырья, сложность и существенное изменение состава и типов сурьмяных руд требуют технического усовершенствования технологических схем рудоподготовки. На современном уровне развития технологий обогащения сурьмяных руд наиболее прогрессивными являются методы предварительного концентрирования продуктивной фракции в голове процесса. Из них первоочередным для изучения и внедрения в практику переработки минерального сырья является метод рентгенорадиометрической сепарации, позволяющий выводить из рудного потока до 60% пустой породы.

5. На основе анализа информационной базы данных вещественного состава руд, полученной на стадии геологоразведочных работ следует, что единственным элементом, который необходимо извлекать является сурьма, что не отвечает направлениям комплексности использования сырья. Поэтому следует рассматривать сурьмяные оруденения как комплексные для извлечения не только сурьмы, но и для попутного извлечения золота с использованием новых технологий.

6. Требуется дальнейшее изучение вещественного состава и проведение комплексной минералого-технологической оценки сурьмяных руд разведанных месторождений и опытно-добычных объектов Восточного Забайкалья для подготовки имеющихся ресурсов к освоению для развития горнопромышленного комплекса Забайкальского края.

Цель и задачи исследования

Цель исследования состоит в разработке технологии концентрирования ценных компонентов из комплексных сурьмяных руд на основе комбинирования (сочетания) рентгенорадиометрической сепарации и кучного выщелачивания золота из отвальных хвостов, позволяющей обеспечить эффективное освоение многочисленных мелких месторождений Восточного Забайкалья.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести анализ современного состояния минерально-сырьевой базы сурьмы в России и за рубежом;
- 2) выполнить оценку мирового уровня развития техники и технологий методов концентрирования ценных компонентов в голове технологического процесса;
- 3) провести комплексный анализ минералого-технологических особенностей вещественного состава сурьмяных руд месторождений Восточного Забайкалья и экспериментальные исследования для оценки возможности использования радиометрической сепарации крупнокускового сырья в сочетании с кучным выщелачиванием золота;
- 4) классифицировать сурьмяные руды Восточного Забайкалья по сортам с учётом содержания в них ценных компонентов;
- 5) научно обосновать и разработать комбинированную технологическую схему и поточную линию переработки комплексных сурьмяных руд на основе использования рентгенорадиометрической сепарации и выщелачивания золота из хвостов в голове процесса для сезонной и круглогодичной работы в условиях Забайкалья;
- 6) выполнить сравнительную оценку технико- и эколого-экономических показателей базовых и реализуемых вариантов технологических решений по предварительному концентрированию ценных компонентов в голове технологического процесса.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ КОМПЛЕКСНЫХ СУРМЯНЫХ РУД К ОБОГАЩЕНИЮ

2.1. Контрастность и степень статистического фазового раскрытия руды как критерий эффективности крупнокусовой сепарации

Эффективность радиометрического способа разделения крупнокусовых руд зависит от природных свойств руды и уровня развития техники и технологии [58;73]. Неравномерность распределения полезного компонента в элементарных объемах горной массы понимается как контрастность руды, которая выражается средним относительным отклонением содержания полезного компонента в этих объемах и определяется по формуле [9;126]

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n |C_i - \alpha| \gamma_i}{\alpha}, \quad (1)$$

где M – показатель контрастности; α – среднее содержание полезного компонента в выборке; C_i – содержание полезного компонента в i -м элементарном объеме; γ_i – доля i -го элементарного объема в выборке; n – количество элементарных объемов в выборке.

Понятие контрастность применяется также для характеристики руды в недрах, то есть можно оценивать прогнозную контрастность. Способ оценки контрастности руды получил наибольшее распространение на крупнокусовом материале размером 20-150 мм. Учёные изучили сотни месторождений, и выявили, что руды цветных металлов, включая комплексные, контрастны или высококонтрастные. [58;59;72]. Контрастность руды на стадии дробления позволяет достаточно точно прогнозировать достижение максимально возможных технологических показателей извлечения ценного компонента радиометрической сепарацией, в частности рентгенорадиометрической.

Покусковая контрастность рассчитывается по результатам фракционного анализа на содержание одного или нескольких компонентов всех индивидуальных образцов пробы. Данный показатель является свойством статистической выборки образцов руды, анализируемой представительной пробой. Величина показателя, как правило, мало возрастает при уменьшении размера образца машинных классов с 200 до 20 мм и фактически не изменяется во времени.

Результаты анализа рядовых проб позволяют определить прогнозную контрастность в больших элементарных объемах, соизмеримых с объемом вагонетки, самосвала, блока и оказать влияние на выбор технологии предварительного обогащения. Контрастность руды в недрах обычно ниже, чем контрастность покусковая, в связи с увеличением элементарного объема, характеризуемого рядовой геологической пробой.

Величина показателя контрастности M может изменяться от нуля примерно до двух, то есть минимальное значение говорит о том, что все элементарные объемы одинаковы, а максимальное значение свидетельствует, что полезный компонент при бесконечно низком среднем содержании раскрыт и находится в бесконечно малом объеме. Формула статистического фазового раскрытия руды L [9;128]

$$L = \frac{\sum_{i=1}^n |C_{A_i} - \alpha_A| \gamma_i}{\sum_{j=1}^2 |C_{A_j} - \alpha_A| \gamma_j}, \quad (2)$$

где C_{A_i} – содержание фазы A в i -м фактическом элементарном объеме (куске); α_A – среднее содержание фазы A в выборке, %; C_{A_j} – содержание фазы A в j -м элементарном объеме раскрытой руды ($C_{A_1}=1$, $C_{A_2}=0$), доли ед.; γ_j – массовая доля j -го элементарного объема раскрытой руды ($j=1$ или $j=2$ в двухфазной системе), доли ед.

Между показателями M и L существует различие, которое заключается в том, что в показателе M сумма отклонений содержания ценного компонента относится

к среднему содержанию его в выборке, а в показателе L - к максимально возможной сумме отклонений содержания ценного минерала при полном его раскрытии.

Концентрирование ценного компонента методом рентгенорадиометрической сепарации основано на раскрытии и разделении минералов. Увеличение массовой доли полезных минералов до долей единицы оказывает влияние на максимальное значение M , но не влияет на L . Зависимость между массовой долей полезных минералов, степенью статистического фазового раскрытия и показателем контрастности изучена математически и выражается уравнением [72;73]

$$M = 2(1 - \alpha_m) L, \quad (3)$$

где M – показатель контрастности; α_m – среднее содержание фазы А в выборке %; L – степень статистического фазового раскрытия, доли ед.

В рудах с низким содержанием ценного компонента $\alpha_m \rightarrow 0$, (руды урана, редких, благородных металлов, алмазов), тогда значение $1 - \alpha_m = 1$ и уравнение (3) принимает вид

$$M \approx 2L \quad (4)$$

Радиометрическая сепарация, основанная на эффектах взаимодействия различных видов излучения с веществом руды, которая представлена в виде кусков крупностью от 10 до 200 мм, - один из наиболее перспективных процессов при создании современной экологически сбалансированной технологии переработки твердых полезных ископаемых. Детальные исследования ВИМС, Механобр, ВНИИХТ, Горного института КНЦ РАН, а также отечественных фирм «ЭГОНТ» и «РАДОС» и др., проведенные более чем на 200 месторождениях руд черных, цветных и редких металлов, горно-химического сырья и неметаллических полезных ископаемых, показали, что подавляющее большинство видов минерального сырья на стадии крупного дробления обладает значительной природной контрастностью. Показатель контрастности M достигает достаточно. Для рассматриваемых сурьмяного минерального сырья показатель контрастности для богатых и рядовых руд определяется по формуле 3, а для бедных и забалансовых руд по формуле 4. На основе изучения контрастности большого количества месторождений различных полезных ископаемых предложено несколько классификаций руд

по контрастности. В классификацию В.А. Мокроусова и Л.Ч. Пухальского [72;73] коллектив учёных [9] внёс ряд дополнений (таблица 2.1).

Таблица 2.1 Классификация руд по контрастности с малым значением α_m

Показатель	Значение показателя по классам контрастности				
	неконтрастные	низконтрастные	контрастные	высококонтрастные	особоконтрастные
Показатель контрастности М	< 0,4	0,4-0,7	0,7-1,1	1,1-1,5	> 1,5
Коэффициент вариации содержания V, %	< 40	40-120	120-350	350-1000	> 1000
Коэффициент обогащения $K_{об}$, %	1,0	1,1-1,3	1,3-2,0	2,0-4,0	> 4,0
Выход концентрата γ_k , %	100	75-90	50-75	25-50	< 25
Извлечение в концентрат ϵ_k , %	100	90-95	92-96	93-97	95-99

2.2. Построение кривых обогатимости «выход-содержание»

При открытом способе отработки неминуемо в контур рудных тел включаются мелкие (мощностью до 2 или 4м) прослои пустых пород, которые разубоживают руды и вследствие этого понижают извлечение полезных компонентов, также показатели переработки сырья ухудшаются при колебаниях содержания сурьмы. Быстро определить теоретически возможные максимальные технологические показатели обогащения можно по кривым обогатимости,

Кривые обогатимости «выход-содержание» построены по теоретическим и практическим значениям. Практические значения приняты по экспериментальным данным фракционного анализа геологоразведочных работ и данным, полученным при определении на обогатимость сурьмяных руд трёх месторождений Восточного Забайкалья (Тыргетуй-Жипкошинской зоны и Дылбыркейского проявления (поля), Итака-Дарасунской зоны) [19;86;104]. Используя классические формулы для определения извлечения и выхода, определены теоретические значения показателей продуктов обогащения, полученных в процессе разделения минералов методом рентгенорадиометрической сепарации. По известным методикам осуществлено сравнение теоретических и практических показателей обогащения.

Для укрупнённой оценки расчётных потенциальных, и реальных показателей обогащения использованы данные о содержании ценного компонента в исходном сырье $\alpha_{мин}$, значение теоретически возможного содержания металла в минерале $\beta_{т\ мин}$ и в концентрате β_m [18], а также данные о численных (долевых) значениях коэффициентов при переходе от теоретического к реальному разделению. Тогда можно обозначить теоретический выход концентрата γ , а практический (реальный) γ_p :

$$\gamma = \sum_1^n \alpha_{мин} ; \quad (5)$$

$$\gamma_p = k_\gamma \cdot \gamma_t = \frac{\gamma_p}{\gamma_t} \cdot \gamma_t \quad (6)$$

Содержание сурьмы в концентрате теоретическое

$$\beta_m = \frac{\sum_1^n \beta_{т\ мин} \cdot \alpha_{мин}}{\sum_1^n \alpha_{мин}} \quad (7)$$

Содержание сурьмы практическое (реальное)

$$\beta_p = k_\beta \cdot \beta_t, \text{ где } k_\beta = \frac{\beta_p}{\beta_t} \quad (8)$$

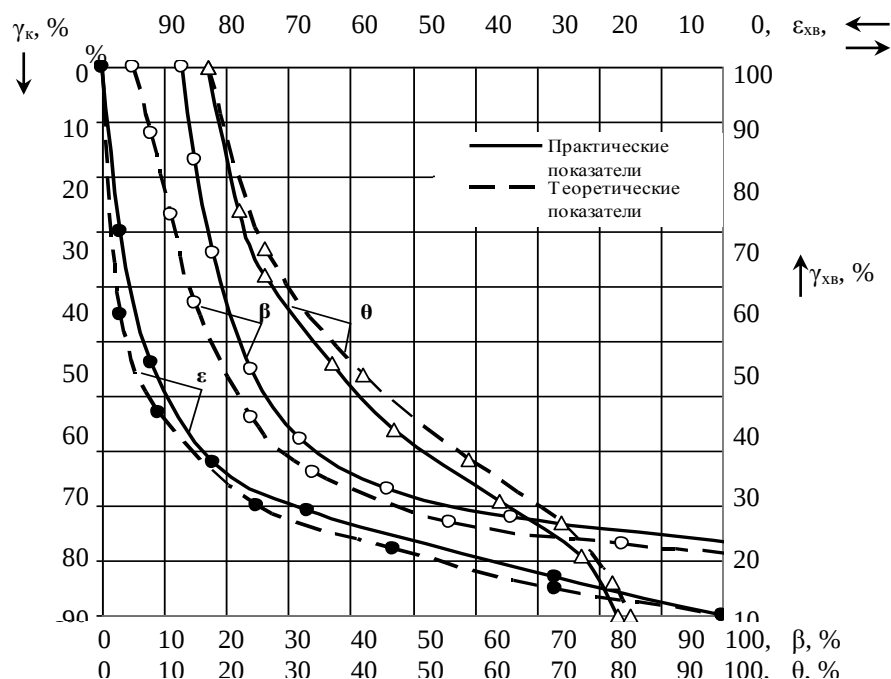
Соответственно извлечение сурьмы в концентрат теоретическое $\varepsilon_t = 100 \%$ и практическое $\varepsilon_p = k_\varepsilon \cdot 100\%$. Следовательно, при первоначальных приемах сепарации (когда руда не в полной мере подготовлена к дальнейшему разделению), а часть антимонита ещё находится в сростках, необходимо учитывать снижение содержания за счет разубоживания концентратов сростками. Поэтому реальное (практическое) содержание можно представить следующим образом

$$\beta_p = \alpha + k_\beta \cdot k_\varepsilon (\beta_t - \alpha) \quad (9)$$

При этом, если k_β и k_ε равны единице, то $\beta_p = \beta_m$ – концентрирование ценного компонента можно считать идеальным; если k_β и k_ε равны нулю, то $\beta_p = \alpha$ – концентрирование ценного компонента не происходит. Показатели концентрирования сурьмы зависят от минералогического состава, то есть чем больше легкоиз-

влекаемого минерала, тем больше извлечение и качество концентрата. Следует подчеркнуть, что используемые понятия эффективности рудоподготовки и кривые обогатимости взаимосвязаны между собой [37;45]. Эффективность рудоподготовки в первую очередь определяется составом руд, а кривые обогатимости инвариативны минеральному составу.

Из сопоставления теоретических и практических показателей на кривых обогатимости- β_k ; γ - θ ; γ - ε_k ; γ - $\varepsilon_{хв}$ следует, что численные значения планируемых практических показателей при внедрении ранее рекомендуемых технологических схем переработки сурьмяных руд [86], будут меньше максимально достигаемых (рисунок 2.1). Выход продуктивной фракции зависит от количества сростков и содержания в них антимонита. Можно сделать вывод, что снижение выхода концентрата обусловлено не достижением рациональных технологических режимов и надежной работы схемы цепи аппаратов, что объясняется изменением качества минерального сырья в пределах одного месторождения и отсутствием научно обоснованного выбора технологических схем рудоподготовки в зависимости от содержания сурьмы.



β – содержание Sb в концентрате, %; θ – содержание Sb в хвостах, %; ε_k – извлечение Sb в концентрат, %; $\varepsilon_{хв}$ – извлечение Sb в хвосты, %; γ_k – выход концентрата, %; $\gamma_{хв}$ – выход хвостов, %.

Рисунок 2.1. Теоретические и практические показатели обогащения, полученные методом рентгенорадиометрической сепарации

С целью осуществления научно обоснованного построения эффективных технологических схем рудоподготовки для концентрирования ценного компонента из сурьмяных руд, оперировали методикой выделения чистых рудных, нерудных зёрен и сростков, которые можно определить при микроскопическом исследовании фракций.

2.3. Основные предпосылки к раскрытию минеральных зёрен сурьмяных руд

Обозначим количество рудных зерен n , нерудных зерен - t , а сростков - m . Рудные зерна n имеют содержание минерала (например, антимонита), равное единице. Нерудные зерна имеют содержание минерала, равное нулю. В сростках содержание минерала находится в пределах от 0 до 1, $0 < m < 1$. Разделение минеральной смеси в массопотоке на два продукта происходит по границе разделения ω_0 (далее рудной фазы в сростках). Часть сростков попадёт в концентрат, а часть - в хвосты. Количество полученной рудной фазы $A = n + \omega \cdot m$. Доля рудной фазы в сростках (ω), рассчитываемая по формуле

$$\omega = \frac{A - n}{m} \quad (10)$$

Степень оруденения сростков можно представить следующим образом:

$$P = \frac{\omega}{1 - \omega} \quad (11)$$

Чем больше степень оруденения, тем выше потери ценного компонента. Количество нерудной фазы $B = I - A$.

Степень раскрытия рудной (A) и нерудной (B) фаз определяется по формулам:

$$f_A = \frac{n}{A}; \quad f_B = \frac{t}{B} = \frac{t}{I - A} \quad (12)$$

Сростки условно можно разделить на две группы – сростки с преобладанием рудных минералов (богатые сростки) и сростки с преобладанием нерудных минералов (бедные сростки).

$$\omega_m = \omega_2 \cdot \underset{\text{богатые сростки}}{m_2} + \omega_1 \cdot \underset{\text{бедные сростки}}{m_1} \quad (13)$$

Для оценки раскрытия рудных, нерудных зёрен и сростков предлагается к использованию трёхосная диаграмма (рисунок 2.2.) [139].

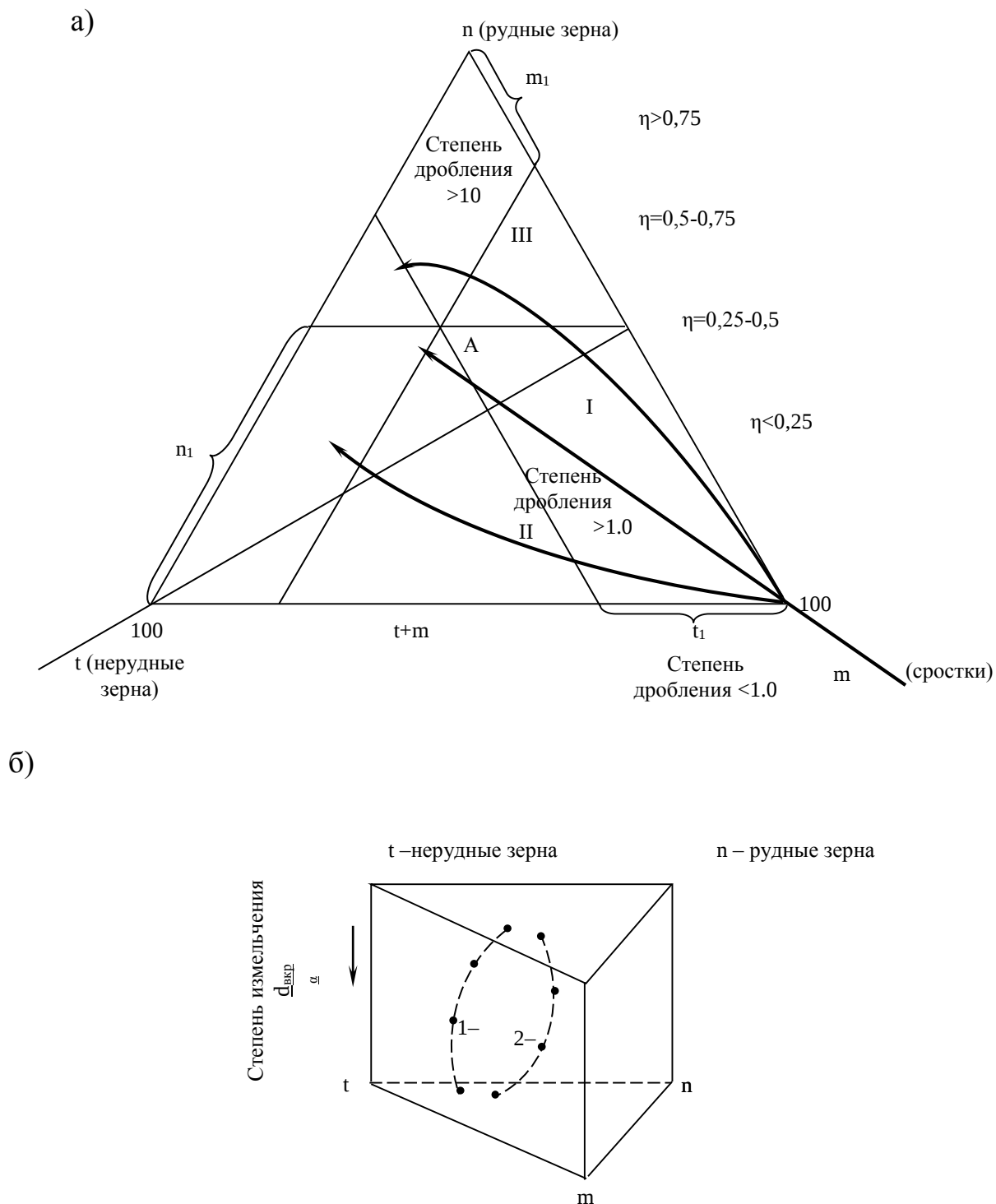


Рисунок 2.2. Диаграммы раскрытия продуктов сурьмяных руд:

а – трехосная призма; б - треугольная призма:

1 – легкообогатимая сурьмяная руда, 2 – труднообогатимая сурьмяная руда

Идеальные показатели обогащения определяются, пользуясь следующими известными выражениями [139]:

$$\gamma = n + m_2; \quad (14)$$

$$\beta = \frac{n + \omega_2 \cdot m_2}{n + m_2}; \quad (15)$$

$$\beta = \frac{n + \omega_2 \cdot m_2}{A}, \quad (16)$$

где $n + \omega_2 \cdot m_2$ – количество рудного минерала в концентрате; A – количество рудного минерала в исходном сырье.

При раскрытии сурьмяных руд легче отделить нерудную фазу от рудной и сростков, чем разделить рудную фазу и сростки. В первом случае в большей степени преобладает наибольшая относительная разница свойств. В первом технологическом приеме сначала выделяют нерудные зерна, а затем в отдельный продуктивную смесь $C = (n + m_1 + m_2)$. Содержание ценного компонента в промпродукте представляется возможным определить из выражения

$$\beta = \frac{n + m_1 \cdot \omega_1 + m_2 \cdot \omega_2}{n + m_1 + m_2} \quad (17)$$

На трёхосной диаграмме (рисунок 2.2а) точка А имеет координаты n_1, m_1, t_1 . По трем осям в линейном масштабе откладываются выхода чистых зерен полезного минерала, сростков и чистых зерен отходов. Для того, чтобы эффективно сконцентрировать ценные компоненты сурьмяных руд, желательно иметь область, близкую к линии tn .

Основные базируемые изложения автора: если сростки раскрыть не удастся (область m), то минеральная смесь (химические соединения) труднообогатима традиционными механическими методами, и поэтому требуется переходить к специальным химико-металлургическим методам концентрации.

На диаграмме раскрытия по линии mt (рисунок 2.2) в большей степени подходят руды Тыргетуй-Жипкошинской зоны и Дылбыркейского проявления (поля), Итака-Дарасунской зоны, а к линии mn – руда Балей-Шахтаминской зоны (ртуть) и Балейский пояс, где наблюдается химическая взаимосвязь между отдельными

элементами. Эффективность сурьмяных руд (η) составляет $\eta \leq 0,25$. Классификация сурьмяных руд Восточного Забайкалья по эффективности обогащения представлена в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Классификация сурьмяных руд по эффективности обогащения

Тип руды	Эффективность обогащения	Развитость на участках
Бедные прожилково-вкрапленные в джаспироидах	$\eta = 0,25-0,50$ - труднообогатимые руды	на всех участках
Рядовые прожилково-вкрапленные в джаспироидах	$\eta = 0,50-0,75$ – среднеобогатимые руды	на всех участках
Богатые антимонит-кварцевые	$\eta = 0,75$ – легкообогатимые руды	Составляют около 25 % всех запасов

Для оценки вариантов наилучшего раскрытия минералов руд, нанесённые точки на диаграмме следует рассматривать при перемещении от точки m к линии mt . Верхняя кривая III – более богатые руды. Для их раскрытия и концентрирования ценного компонента рекомендуется использовать более простые технологические схемы. Нижняя кривая II диаграммы – бедные руды, указывает на необходимость использования более сложных технологических схем.

На кривых, представленных в треугольной призме (рисунок 2.2б), наглядно прослеживается зависимость раскрытия минералов от степени их дробления. Она иллюстрируется характером изгиба кривой и её расстоянием от линии tn , причём чем изгиб кривой меньше, тем лучше раскрыты минералы.

Кривые 1 и 2 диаграммы позволяют сделать вывод о том, что руду 1 (выпуклая кривая) следует рассматривать как легкообогатимую разность, а руду 2 (вогнутая кривая) как труднообогатимую разность.

Применительно к участку Восточный Солонеченского месторождения к легкообогатимым можно отнести руды со средним содержанием сурьмы до 22,39%, а для Нарин-Кундуйского месторождения – руды с содержанием сурьмы до 19,58 %.

При этом соотношение в них выхода сродков и содержания рудного минерала (антимонита) возможно характеризовать диаграммой, используя методику В.Н. Куделина и Ю.Г. Гершойга [66;86], представленной на рисунке 2.3.

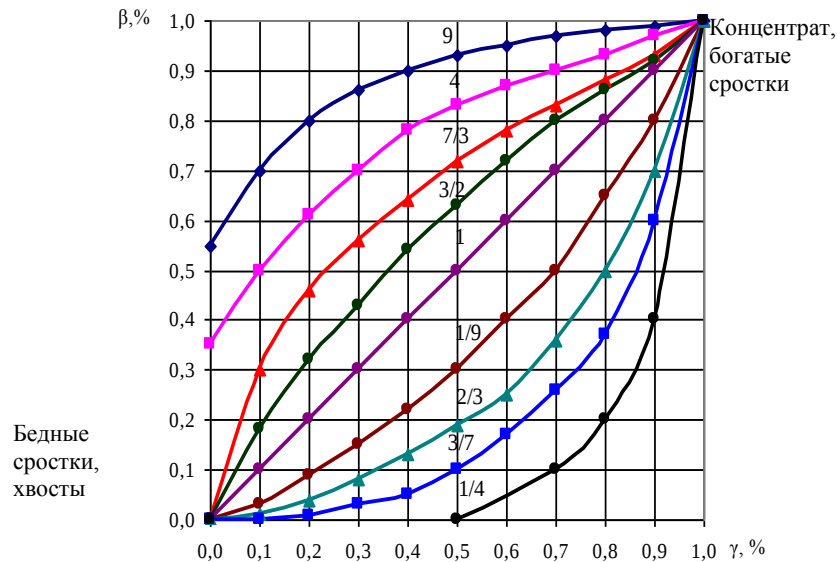


Рисунок 2.3. Диаграмма соотношения выхода сростков (γ) и содержания в них рудного минерала (антимонита) (β)

Прямая линия на рисунке 2.3 характеризует увеличение содержания прямо пропорционально выходу сростков. Для других вариантов вышеуказанная зависимость может отображаться выпуклой или вогнутой линией, описываемая функцией, которая имеет следующий вид [7].

$$\beta \cdot \alpha \beta = \gamma^{\frac{1}{P}} \cdot \alpha \gamma, \quad (18)$$

где β – изменение содержания рудного минерала в сростках по мере увеличения выхода сростков: $C = n + m_1 + m_2$ – рудная смесь. Степень оруденения $P = \frac{\omega}{1 - \omega}$.

Если доля сростков $\omega = \frac{A - n}{m} = 0,5$, то $P = \frac{0,5}{1 - 0,5} = 1$, и функция «качество-выход» характеризуется прямой. При $\omega > 0,5$ $P \geq 1$ – зависимость «качество-выход» будет характеризоваться выпуклыми линиями; при $\omega \leq 0,5$; $P \leq 1$ – та же зависимость будет представлена уже вогнутой линией.

Подставляя значение P в предыдущую формулу, получим содержание ценного компонента в продуктивной фракции

$$\beta = \frac{1}{\gamma} \left[A - \frac{\omega (C_A - \gamma)^{\frac{1}{\omega}}}{m^{\frac{1-\omega}{\omega}}} \right], \quad (19)$$

Аналогично определяется извлечение сурьмы в продуктивную фракцию и содержание сурьмы в хвостах:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\omega(C_A - \gamma)^{\frac{1}{\omega}}}{A^{\frac{1-\omega}{\omega}}}, \quad \nu = \frac{\omega(C_H - \gamma)^{\frac{1}{\omega}}}{m^{\frac{1-\omega}{\omega}}(1-\gamma)} \quad (20)$$

Кривые обогатимости (рисунок 2.4) строятся следующим образом. Участок I кривой β (содержание сурьмы в концентрате) представляет собой горизонтальную прямую, параллельную оси абсцисс при $\beta_m = 0,724$. По горизонтали этот участок ограничен точкой абсциссы n (содержание чисто рудных зерен в пробе). Для участка II кривой β координаты точек определяются по формулам:

$$\gamma = \frac{K}{P_{pyd}} \cdot 100, \%, \quad \gamma_n = \frac{\Pi}{P_{pyd}} \cdot 100, \%, \quad \gamma_x = \frac{P_{pyd} - K - \Pi}{P_{pyd}} \cdot 100 = 100 - \gamma - \gamma_n, \quad (21)$$

где K – количество концентрата; P_{pyd} – количество переработанной руды; Π – количество промпродукта; γ – выход концентрата; γ_n – выход промпродукта; γ_x – выход хвостов при заданных величинах.

Конец участка II и начало участка III кривой β определяются точкой C_A – выход рудной массы в пробе. Для участка III координаты точек определяются по формуле

$$\beta_{III \text{ уч.}} = \frac{\alpha_{извл}}{\lambda}, \quad (22)$$

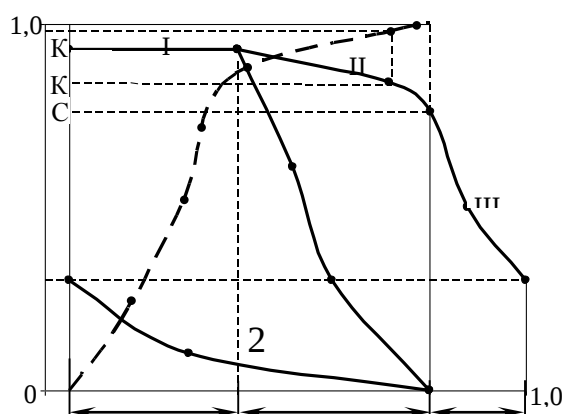
где $\alpha_{извл}$ – извлекаемая рудная фаза (содержание сурьмы в исходной пробе); λ – кривая элементарных фракций (содержание антимонита в каждом отдельном сродстве строится на основании кривой β суммарных фракций).

Кривая θ (содержание сурьмы в хвостах) строится на основании известного балансового уравнения [8].

$$\nu = \frac{\alpha - \beta_k \cdot \gamma_k}{1 - \gamma_k} \quad (23)$$

Построение кривой извлечения основано на известной формуле

$$\varepsilon = \frac{\gamma_k \cdot \beta_k}{\alpha} \quad (24)$$



Методика графическим построением нахождения лучших (из возможных) показателей концентрирования ценного компонента.

При заданном качестве концентрата (напр. точка K_1) находим его выход K_2 и извлечение K_3 . Потенциальную обогатимость комплексной сурьмяной руды определяют, пользуясь следующими параметрами минералогического исследования: A – содержание рудной фазы; C_A – выход рудной фазы; P – степень оруденения сростков; m – выход сростков.

На основании сравнительной оценки теоретических и практических показателей обогащения сурьмяных руд Забайкалья, полученных методом рентгено-радиометрической сепарации можно заключить, что найденные численные значения по выходу концентрата остаются несколько ниже при одном и том же качестве. Это в первую очередь объясняется отсутствием использования рациональных технологических схем и рациональных режимов переработки сырья.

2.4. Графоаналитическая трактовка процесса разделения минералов методом рентгенорадиометрической сепарации

В технологии концентрирования ценного компонента при рудоподготовке существует множество процессов разделения – от сортировки угля до отделения атомов. Процессы разделения продуктивной и полупродуктивной фракций происходят в самых различных средах – от вакуума до плазмы, а их условия определяются, прежде всего, свойствами разделяемых продуктов. Процессы разделения

ния минерального сырья как правило описываются уравнениями материального баланса, базирующиеся на законах сохранения материи. Следовательно, процессы радиометрической сепарации можно описать аналогичными уравнениями массопередачи. Следует особо подчеркнуть, что для макрообъектов (при исчислимых количествах), они детерминированы, а для больших массопотоков микроскопических объектов они имеют стохастический характер, поэтому для их изучения широко используются методы математической статистики [8].

Полагаем, что процессы разделения методом рентгенорадиометрической сепарации относятся к стохастическим процессам и имеют следующие особенности. Во-первых, разделение не может быть полным, так как часть минералов всегда находится в сростках (не раскрыта на 100%); во-вторых, в процессе разделения все частицы имеют различную крупность; в-третьих, массопотоки имеют большие объемы и представлены большим количеством минеральных компонентов. Для моделирования процессов разделения минеральных фракций наиболее наглядно их представить в координатах «выход-содержание» (рисунок 2.5.), и поскольку произведение этих величин является количеством металла (сурьмы), то уравнение материального баланса окончательно можно представить суммой площадей

$$S_1 = S_2 + S_3 = \gamma_k \cdot \beta + (1 - \gamma_k) \cdot \theta = 1 \cdot \alpha, \quad (25)$$

где θ – содержание ценного компонента (сурьмы) в хвостах.

При идеальном процессе ($\theta = 0$; $S_3 = 0$; $S_1 = S_2$) $\gamma_k = \alpha$; $\beta = \gamma_{max} = 1$, и прямоугольник S_1 поворачивается на 90° против часовой стрелки вокруг центра квадрата $\alpha - \gamma_k$. На этом же графике можно изобразить извлечение, которое обычно достигает 100 % в точке $\gamma = 1$, но при $\theta = 0$ достигает этой величины в точке γ_k .

Часто бывает необходимо взаимно увязать выход, качество и извлечение в виде одного критерия, характеризующего эффективность обогащения. В качестве такого критерия используем относительный прирост качества при данном выходе концентрата (например, получение штуфного сурьмяного концентрата на стадии предварительного концентрирования). Данный критерий тоже можно найти на графике « β - γ » в виде площади, равной произведению прироста содержания полез-

ного компонента ($\beta - \alpha$) на выход концентрата γ , обозначенного пунктирной кривой η . Количество полезного компонента в исходном концентрате и хвостах соответственно равно площадям $100 \cdot \alpha$, и $(100 - \gamma) \cdot \theta_x$.

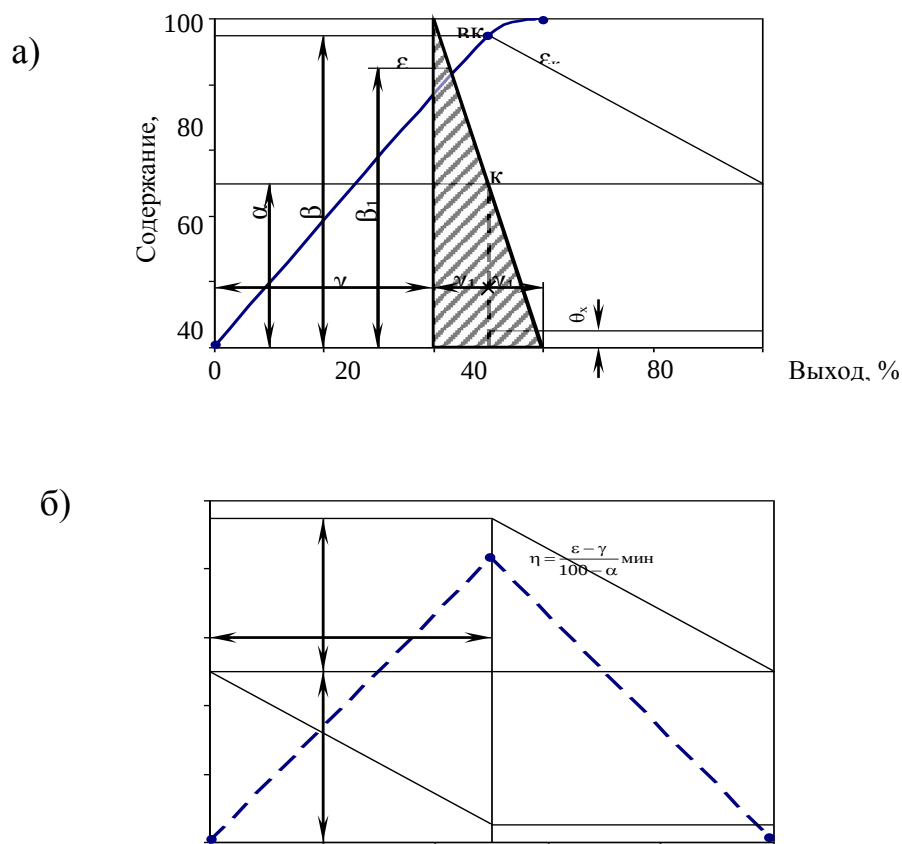


Рисунок 2.5. Графическое представление зависимости:

а) зависимости качества и извлечения сурьмы от выхода

б) зависимость эффективности предконцентрации от выхода концентрата

С целью составления баланса минералов при концентрировании ценного компонента из богатой антимонит-кварцевой руды Солонеченского месторождения радиометрическим методом по известным методикам [45] для выявления зависимостей качества извлечения сурьмы от выхода и эффективности предконцентрации от выхода концентрата, принимаем следующие значения: $\alpha^{Sb} = 50\%$; $\gamma = 40\%$; $\beta_m = 100\%$; $\gamma_1 = 10\%$. Производим расчёт неизвестных величин по формулам:

$$\beta_1 = \frac{100 + 50}{2} = 75\%; \quad \beta_k = \frac{40 \cdot 100 + 10 \cdot 75}{40 + 10} = 95\%;$$

$$\varepsilon = \frac{50 \cdot 95}{50} = 95\%; \quad \theta = \frac{50 \cdot 100 + 50 \cdot 95}{100 - 50} = 5\%;$$

Чтобы исключить влияние α на эффективность концентрирования ценного компонента, определим площадь на единицу α_n и отнесем её к величине такой же площади при идеальном обогащении, а именно:

$$\frac{\gamma \cdot (\beta - \alpha)}{\alpha} = \frac{\gamma \cdot \beta}{\alpha} - \gamma = \varepsilon - \gamma, \quad (26)$$

$$\eta = \frac{\varepsilon - \gamma}{\varepsilon_{ид} - \gamma_{ид}}, \quad (27)$$

При легкообогащаемой руде ($M = 1,5-2,0$) идеальное извлечение равно 100 %, содержание полезного минерала в концентрате 100 %, в хвостах нуль, поэтому выход концентрата равен содержанию полезного минерала в исходном $\alpha_{мин}$:

$$\eta = \frac{\varepsilon - \gamma}{100 - \alpha_{мин}} \cdot 100\%, \quad (28)$$

Показатель эффективности концентрирования сурьмы используется в этом случае для общей сравнительной технической оценки обогащения исходного материала различными способами или для оценки обогатимости различных типов и сортов руд по одной заданной технологии рудоподготовки. Оптимизация достигается при $\eta \rightarrow \max$. При $\eta \geq 0,75$ обогащение считается весьма эффективным, при $\eta \geq 0,5$ – эффективным, а при $\eta < 0,25$ – процесс неэффективен (следует лучше раскрыть сростки либо применить подходящий метод обогащения). Так, для случая, представленного на рисунке 2.5а показатель эффективности составит: $\eta = \frac{95 - 50}{100 - 50} = 0,9$, что свидетельствует об эффективности предложенных методов предконцентрации ценного компонента радиометрической сепарацией.

На рисунке 2.5 приведены также показатели обогащения, содержащие наряду с мономинеральными частицами некоторое количество (20%) сростков антимонита с породой. По своим свойствам сростки могут быть разделены на фракции и расположены в ряд с нисходящим содержанием антимонита: богатая – рядовая – бедная руда [18;37].

Если принять, что при обогащении граница разделения проходит в точке К, то в концентрат должны быть выделены частицы с содержанием ценного минерала больше 50%, то есть зерна ценного минерала плюс богатые сростки (выход

концентрата γ_k будет равен $\gamma + \gamma_1$), тогда среднелинейное содержание ценного минерала β_k определится как высота трапеции, площадь которой равна сумме площадей $\gamma \cdot \beta$ и $\gamma_1 \cdot \beta_1$:

$$\beta_k = \frac{\gamma \cdot \beta + \gamma_1 \cdot \beta_1}{\gamma + \gamma_1}, \quad (29)$$

Таким образом, исходя из баланса распределения ценного компонента находим содержание сурьмы в хвостах (θ_x) и извлечение в концентрат (ε):

$$\theta_x = \frac{100 \cdot \alpha - \gamma_k \cdot \beta_k}{100 - \gamma_k}, \quad \varepsilon = \gamma \cdot \frac{\beta}{\alpha}, \quad (30)$$

Таким образом, на основании вышеизложенного отмечаем алгоритм последовательных действий усовершенствованной методики математического моделирования процессов обогащения [45] с целью эффективного управления рудоподготовкой и получения гранулометрического и вещественного состава продуктов заданного качества:

1) по данным фракционного анализа руд построить следующие графические зависимости: а) диаграммы раскрытия и соотношения выхода сродков и содержания в них антимонита, позволяющие решить вопрос о количестве стадий дробления и грохочения в технологической схеме предварительного концентрирования; б) кривые обогатимости, позволяющие определить количество стадий радиометрической сепарации и максимально возможные показатели концентрирования ценных компонентов сурьмяных руд;

2) в зависимости от содержания сурьмы в исходной руде осуществлять эффективное управление процессами рудоподготовки (дробление, грохочение, РРС);

3) используя данные графоаналитической трактовки процесса разделения минералов сурьмяных руд, вычислить степень статистического фазового раскрытия зёрен минералов (формула 2) и контрастность руды (формула 1), сделать прогноз качества концентрата и извлечения ценного компонента в зависимости от выхода продуктов обогащения;

4) в зависимости от уровня концентрирования ценных компонентов в голове технологического процесса, осуществлять направленную переработку сурьмяных руд.

2.5. Выводы

На основе теоретических исследований массообмена в процессах подготовки комплексных сурьмяных руд к обогащению установлено:

1. Из сопоставления теоретических и практических показателей на кривых обогатимости - β_k ; $\gamma - \theta$; $\gamma - \varepsilon_k$; $\gamma - \varepsilon_{xв}$ следует, что численные значения планируемых практических показателей при внедрении ранее рекомендуемых технологических схем переработки сурьмяных руд, будут меньше максимально достигаемых. Снижение выхода концентрата обусловлено не достижением рациональных технологических режимов и надежной работы схемы цепи аппаратов, что объясняется изменением качества минерального сырья в пределах одного месторождения и отсутствием научно обоснованного выбора технологических схем рудоподготовки в зависимости от содержания сурьмы.

2. Проведена прогнозная оценка изменения качества продуктивной фракции от выхода продуктов обогащения в процессах радиометрической рудоподготовки сурьмяных руд Восточного Забайкалья, базируясь на графоаналитической оценке процесса разделения минералов сурьмы по селективности и информативности рентгеновского излучения.

3. Пользуясь усовершенствованной автором методикой математического моделирования процессов обогащения, на основе графоаналитической трактовки разделения минералов радиометрической сепарацией, можно прогнозировать изменение качества продуктивной фракции и степень извлечения сурьмы, а следовательно, более эффективно управлять рудоподготовкой – дробление, грохочение, РРС при концентрировании ценных компонентов в голове технологического процесса с учётом особенности переработки различных типов сурьмяных руд.

ГЛАВА 3. КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА И ОБОГАТИМОСТИ СУРЬМЯНЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

3.1. Методика и методы проведения исследований

Цель проведения исследований – изучение вещественного состава руд, физических свойств, исследование сурьмяных руд Восточного Забайкалья на обогатимость при использовании методов радиометрической сепарации, а также возможности попутного извлечения золота методом кучного выщелачивания.

На исследования поступили лабораторные технологические пробы с нескольких участков: ТПСМ – руда Солонеченского месторождения - 4 пробы; ТПНКМ – руда Нарин-Кундуйского месторождения - 1 проба.

Методика проведения исследований:

1). отбор лабораторных технологических проб; 2) подготовка лабораторных технологических проб 3) изучение вещественного состава сурьмяных руд исследуемых месторождений: гранулометрический анализ, химический анализ, минералогический анализ, электронно-микроскопический анализ; 4) исследование обогатимости руды в крупнокусковом виде; 5) исследование выщелачивания золота из хвостов радиометрической сепарации; 6) комплексная оценка полученных экспериментальных данных.

Методы проведения исследований

В процессе исследования вещественного состава руды и продуктов обогащения использован комплекс химических, физических и минералогических методов анализа. Химический (элементный) состав руды определялся спектральным и химическим анализами. Спектральный анализ выполнялся с небольшими навесками 10 - 100 мг. Химическому анализу подвергались руды после спектрального анализа, в результате которого определялись отсутствующие элементы.

3.2. Методика отбора проб

Отбор проб на месторождениях Солонеченское и Нарин-Кундуйское осуществлялся несколькими способами: при малой площади обнажения рудного пласта использовали бороздковый способ; при достаточной поверхности обнажения рудного пласта – точечный (луночный) способ (Приложение Д).

Размеры лунок и борозд определялись массой пробы и вкрапленностью минералов. Глубина лунок и борозды составляли не менее 25 мм.

Минимальную массу проб (кг) определяли по эмпирической формуле [35].

$$q = kd^{\alpha}, \quad (31)$$

где d - диаметр максимальной частицы, мм; k и α - эмпирические коэффициенты (таблица 1), зависящие от однородности опробуемого материала, содержания в нем ценного компонента и его ценности.

Масса точечных проб регламентирована соответствующим ГОСТом на опробование (при ручном отборе руд цветных металлов принята 0,5 – 2 кг).

Определение необходимого числа точечных проб произведено по формуле

$$n = \frac{t\sigma}{m^2}, \quad (32)$$

где t – коэффициент надёжности опробования, соответствующий уровню доверительной вероятности ($D=0,95$, $t=2$); σ – среднее квадратичное отклонение, определяемое экспериментально; m – вероятная погрешность общей пробы (предельная погрешность среднего арифметического содержания полезного компонента в пробе).

По месту отбора, литологическому составу рудной массы и технологическим типам, полученные технологические пробы являлись наиболее представительными для всех минерально-сырьевых объектов.

3.3. Подготовка технологических проб к исследованию на обогатимость

Программа испытаний технологической пробы предполагала изучение свойств руды во всех классах крупности.

```

graph TD
    A[Лабораторная технологическая проба  
M=145 кг, d=100мм] --> B[Отбор штучных образцов]
    B --> C[Перемешивание методом кольца и конуса. Подсушка]
    C --> D[Сокращение квартованием в 2 раза]
    D -- 70 кг --> E[Сокращение в 4 раза]
    D -- 70 кг --> F[Грохочение S=10 мм]
    E -- 5 кг --> G[Ситовый анализ]
    E -- 65 кг --> H[Технологические испытания]
    F -- - --> I[Перемешивание]
    F -- + --> J[Дробление]
    J --> F
    I --> K[Сокращение в 2 раза]
    K -- 35 кг --> L[Сокращение]
    K -- 35 кг --> M[Грохочение S=3 мм]
    L -- 3,5 кг --> N[Ситовый анализ]
    L -- 1,5 кг --> O[Гравитац. анализ]
    L -- 30 кг --> P[Технологические испытания]
    M -- - --> Q[Перемешивание]
    M -- + --> R[Дробление]
    R --> M
    Q --> S[Сокращение]
    S -- 0,5 кг --> T[Ситовый анализ]
    S -- 0,5 кг --> U[Гравитац. анализ]
    S -- 30 кг --> V[Технологические испытания]
    S -- 4 кг --> W[Сушка]
    W --> X[Измельчение]
    X --> Y[Грохочение S=0,1 мм]
    Y -- - --> Z[Сокращение]
    Y -- + --> W
    Z -- 2 кг --> AA[Дубликат]
    Z -- 2 кг --> AB[Сокращение]
    AB -- 1 кг --> AC[Сокращение]
    AB -- 1 кг --> AD[Сокращение]
    AC -- 0,5 кг --> AE[Сокращение]
    AC -- 0,5 кг --> AF[Сокращение]
    AE -- 0,25 кг --> AG[Сокращение]
    AE -- 0,25 кг --> AH[Дубликат]
    AG -- 0,125 кг --> AI[Дубликат]
    AG -- 0,125 кг --> AJ[Элементный анализ]
    AF -- 0,25 кг --> AK[Дубликат]
    AF -- 0,25 кг --> AL[Сокращение]
    AL -- 0,125 кг --> AM[Дубликат]
    AL -- 0,125 кг --> AN[Фазовый анализ]
    AD -- 0,5 кг --> AO[Дубликат]
    AD -- 0,5 кг --> AP[Сокращение]
    AP -- 0,25 кг --> AQ[Дубликат]
    AP -- 0,25 кг --> AR[Сокращение]
    AR -- 0,125 кг --> AS[Дубликат]
    AR -- 0,125 кг --> AT[Минералогический анализ]
    AD -- 0,5 кг --> AU[Дубликат]
    AD -- 0,5 кг --> AV[На пробирный анализ]
  
```

The flowchart illustrates the process of preparing a laboratory technological sample. It begins with a sample of 145 kg and 100 mm diameter. The process involves selection of individual samples, mixing by the ring and cone method, and drying. The sample is then reduced by quartering in two steps. The first reduction results in two 70 kg portions. One portion is further reduced by quarters, yielding a 5 kg portion for sieve analysis and a 65 kg portion for technological testing. The other 70 kg portion is screened through a 10 mm sieve; the residue is ground and rescreened, while the material passing the sieve is mixed and then reduced by quarters again. This second reduction yields two 35 kg portions. One is further reduced, yielding portions for sieve analysis (3.5 kg), gravimetric analysis (1.5 kg), and technological testing (30 kg). The other 35 kg portion is screened through a 3 mm sieve; the residue is ground and rescreened, while the material passing the sieve is mixed and then reduced. This third reduction yields portions for sieve analysis (0.5 kg), gravimetric analysis (0.5 kg), technological testing (30 kg), and drying (4 kg). The dried portion is ground and screened through a 0.1 mm sieve; the residue is reduced, while the material passing the sieve is further reduced. This final reduction yields a duplicate (2 kg) and a portion for further reduction (2 kg). This portion is reduced to two 1 kg portions, which are then further reduced to yield portions for duplicate, duplicate, and analysis (0.5 kg each). The 0.5 kg portions are further reduced to yield portions for duplicate, duplicate, and analysis (0.25 kg each). The 0.25 kg portions are further reduced to yield portions for duplicate, duplicate, and analysis (0.125 kg each). The final portions are used for duplicate, elemental analysis, duplicate, phase analysis, duplicate, mineralogical analysis, and analysis on a test tube.

Рисунок 3.1. Схема подготовки технологической пробы к исследованиям

3.4. Краткие сведения о физических свойствах руд и вмещающих пород

Возможности технологии РРС и предварительного обогащения в целом определяются не только работой выбранного оборудования, сколько естественными природными свойствами самой обогащенной руды, которые называются "технологические свойства". Физико-механические показатели, определяющие эффективность рудоподготовки сурьмяного оруденения представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Физико-механические показатели, определяющие эффективность рудоподготовки сурьмяного оруденения

Показатели физических свойств минералов и руд	Численные значения	Источник информации	Примечание
1	2	3	4
Влажность	3 %	[86]	Участков хранения и транспортировку
Коэффициент разрыхления	1,6 - 1,75 т/м ³	[86]	хранение, перевозка, дробление
Кусковатость		[86]	оценка классов крупности и влажности пород
Трещиноватость	Средний размер отдельных частей (размер структурных блоков) зависит и от глубины - при глубине 50, 100 и более метров составляет соответственно 0,47, 0,69 и 0,87м.	[86]	
Насыпная плотность	1,6 - 1,75 т/м ³	[53]	
Объемная масса	Пород 2,53–2,60 т/м ³ и в среднем составляет 2,56 т/м ³ , пород вскрыши: гранитов – 2,51- 2,61 г/см ³ (среднее 2,57 г/см ³), известняков – 2,75 - 2,85 г/см ³ (среднее 2,78 г/см ³), алевролитов – в среднем 2,74 г/см ³ .	[85]	
Плотность минералов (породы)	Доломита, кальцита, кварца менее 3 г/см ³ , антимонита 4 – 5 г/см ³	[26]	
Прочность пород	Доломиты (средняя) 139,6 МПа, известняков 5,4, алевролитов 4,6, гранитов 2,7 МПа. Угол внутреннего трения при среднем 32,4 град, прочность на одноосное сжатие составляет 10 - 237,6, на растяжение – 0,4-58 МПа.	[27;86]	Зависит гранулометрический состав руды при дроблении ее до необходимых машинных классов, 150+30(20) мм и количество получаемого несортируемого класса, -40+0 или -30(20)+0мм

Окончание таблицы 3.1.

1	2	3	4
Пористость	33,7 %.	[86]	
Твёрдость минералов	Антимонита по шкале Мооса 2, микротвёрдость 23-26 кгс/мм ² , кальцита 3. Коэффициент крепости вмещающих пород по М.М.Протодяконову 10-12 ед., руды – 8-10 ед.	[26]	
Растворимость	Основные и попутные минералы месторождений растворимы в гидроксидах калия и натрия (антимонит, кварц), соляной и азотной кислотах (антимонит, карбонаты), плавиковой кислоте (кварц), цианидах калия и натрия (золото, серебро).	[18]	
Оптические свойства	Тёмные и светлые разности карбонатов и кварца, антимонит-светлоокрашенный	[86]	
Люминесценция		[19]	
Радиоактивность			
Магнитные свойства минералов	удельной восприимчивости антимонита (- 0, 23...+ 79,2 10 ⁻⁹ м ³ /кг	[86]	
Окончание таблицы 15Электрические свойства минералов		[86]	
Контрастность		[101;86]	Неоднородность распределения ценных компонентов в кусках руды - чем выше неоднородность, то есть чем больше различие содержаний ценных компонентов в кусковом материале, тем более контрастная руда, тем более она способна сортироваться
Структурно-текстурные особенности		[86]	Определяют характер вкрапленности ценных минералов (крупно, мелковкрапленные, штучные и пр.), количество сростков, слоистость распределения ценных минералов в кусковом материале
Качество поверхности кускового материала		[85;107;103;108]	Зашламлированность, наличие всевозможных загрязняющих примазок в т.ч. и глинистых. Чем больше глины, тем труднее очистить поверхность кускового материала при дроблении и грохочении, руда хуже выпускается из бункеров, забивается грохот, необходима отмывка руды.

3.5. Изучение вещественного состава объектов исследования

3.5.1. Гранулометрический анализ

Условно различают равномерную, открытую форму минерализации (ценный минерал находится на поверхности части куска) и закрытую форму (ценный минерал находится внутри объема куска без выхода на поверхность). Открытая форма легко диагностируется, но может привести к захвату некондиционных кусков, закрытая форма может вызвать потери полезного компонента или потребовать использования методов с проникающим излучением.

Гранулометрические особенности руд (проб ТПСМ и ТПНКМ) детально изучены, результаты представлены в таблицах 3.2 - 3.3. соответственно.

Таблица 3.2. Распределение сурьмы по классам крупности (проба ТПСМ - 3)

Классы, мм	Выход, %	Содержание Sb, %	Распределение Sb, %
1	2	3	4
- 75 + 40	62,53	4,25	62,5
-40 +20	17,3	1,17	17,2
-20+15	4,02	0,27	3,97
-15+ 10	2,15	0,15	2,2
-10 + 5	1,5	0,11	1,61
-5	12,5	0,85	12,52
Итого	100	6,8	100,00

Таблица 3.3. Распределение сурьмы по классам крупности (проба ТПНКМ - 1)

Классы, мм	Выход, %	Содержание Sb, %	Распределение Sb, %
- 75 + 40	67,2	3,96	67,12
-40 +20	20,41	1,2	20,33
-20+15	5,04	0,3	5,08
-15+ 10	2,3	0,14	2,37
-10 + 5	1,6	0,09	1,53
-5	3,45	0,21	3,57
Итого	100	5,9	100,00

Согласно таблицам 3.2. и 3.3, основная масса сурьмы сосредоточена в классах $-75 + 40$ мм, и $-40+20$ мм. а в дробленом до -5 мм материале - металл распространяется в меньшей степени.

По пробам лабораторно-технологических исследований выход класса $-75 + 40$ мм и $-40+20$ мм. составляет 79,83 – 87,61% соответственно в пробах ТПСМ - 1, ТПНКМ - 1.

Гранулометрический состав определяет количество и соотношение классов крупности в руде, пригодных для крупнокускового обогащения. Гранулометрический состав и распределение сурьмы по классам крупности исследуемых проб благоприятствуют эффективному использованию в процессе переработки минерального сырья методов рентгенорадиометрической сепарации, целью которой является разделение руды на полезные минералы и горные породы при наибольшей возможной крупности.

Количество антимонита в более мелких классах крупности вне зависимости от исходного количества полезного минерала в руде относительно равномерное. Гравитационный состав расклассифицированной руды благоприятствует применению последующего гравитационных методов обогащения.

3.5.2. Химический анализ

Результаты полуколичественного спектрального, химического анализа руд технологических проб ТПСМ, ТПНКМ. представлены в таблицах 3.4 – 3.5.

Таблица 3.4. Результаты полуколичественного спектрального анализа технологических проб

Элемент	Солонеченское месторождение (ТПСМ), %	Нарин-Кундуйское месторождение (ТПНКМ), %
Золото	Ед.зн-1,2	1,32
Серебро г/т	0.26-1,26	
Мышьяк	0,016-0,08	0,08
Барий		0,04
Бериллий		0,0001
Бор		0,005
Кобальт		0,001
Медь	0-0,007	0,0015
Хром		0,004
Церий		
Кальций		0,31
Калий		2,01
Железо		3
Алюминий		5,9
Магний		0,4
Кремний		35
Галлий		0,001
Германий		0,0001
Лантан		0,003
Литий		0,004
Молибден		0,0003
Марганец		0,05
Никель		0,002
Ниобий		0,001
Свинец	0-0,02	0,0009
Олово		0,0001
Скандий		0,0007
Селен,	0-0,005	
Сурьма	0,1-18,1	5,9
Стронций		0,015
Титан		0,28
Ванадий		0,005
Вольфрам		
Иттрий		0,001
Иттербий		0,0002
Цинк	0-0,033	0,007
Церий		0,007
Цирконий		0,01
Натрий		0,4
Ртуть	0-0,002	
Фосфор		0,06

Таблица 3.5. Результаты химического анализа технологических проб

Компоненты	Содержание компонентов, % Солонеченского месторождения (ТПСМ)	Компоненты	Содержание компонентов, % Нарин-Кундуйское месторождение (ТПНКМ)
1	2	3	4
SiO ₂	38,6-88,3 / 69,11 (70,6-70,8)*	SiO ₂	61,9
Al ₂ O ₃	0,29-6,67 / 2,57 (2,0-4,3)	Al ₂ O ₃	11,284
TiO ₂	0,01-0,4 / 0,11 (0,1-0,2)	TiO ₂	0,39
CaO	0,1-13,5 / 4,93 (4,1-6,2)	CaO	0,35
MgO	0,29-7,89 / 2,57 (2,2-3,1)	MgO	0,032
MnO	0-0,105 / 0,035 (0-0)	MnO	
Fe ₂ O ₃ (III)	-	Fe ₂ O ₃ (III)	
Na ₂ O	0,003-0,5 / 0,03	Na ₂ O	
K ₂ O	0,045-1,36 / 0,42 (0,3-0,7)	K ₂ O	0,1
CaCO ₃	0,79-32,02 / 8,23	CaCO ₃	
Zn	<0,005-0,022 / 0,009	Zn	1,75
Pb	<0,01-9,87 / < 0,02 (0,01-0,01)	Pb	0,009
Cu	<0,005-0,008 / <0,005	Cu	0,001
Hg, г/т	0,1- 36,6 / 6,25 (2,03-2,83)	Hg, г/т	0,021
S _{общ}	0,45-8,5 / 3,42 (4,0-1,4)	S _{общ}	0,001
As	0,01-0,69 / 0,04 (0,1-0,0)	As	0,001
C _{общ}	0,12-7,31 / 2,61 (2,1-3,6)	C _{общ}	3,3
Fe	0,37-3,05 / 1,23 (1,1-1,8)	Fe	0,2
Sb _{общ}	0,34-20,3 / 10,6 (8,41-0,95)	Sb _{общ}	3,2
Au, г/т	0,08-4,4 / 0,8 (0,3-1,3)	Au, г/т	1,24
Ag, г/т	<0,01-610 / < 1,0 (0,6-7,7)	Ag, г/т	2,59

**В числителе – содержание компонента от-до, в знаменателе – среднее (среднее расчетное содержание в рядовых – бедных рудах)*

3.5.3. Минералогический анализ

Минеральный состав руд технологических проб представлен в таблице 3.6.

Таблица 3.6 Минеральный состав технологических проб

Минерал, группа минералов	Месторождение	
	Солонеченское (ТПСМ), %	Нарин-Кундуйское (ТПНКМ), %
Золото самородное	Ед. зн – 1,2	1,19
Барит	0-0,8	0,03
Кварц	41-53,8	72,84
Глинисто-сланцевые	0-2,7	13
Обломки пород	0-11,4	
Графит	0-1,8	
Полевые шпаты (плагиоклаз, ортоклаз)		21
Карбонаты	1,05-10,5	0,7
Ярозит		
Скородит		0,2
Гидроксиды, сульфаты железа		3,6
Сурьмяные охры (валентинит и др.)	0-0,1	
Окисленные минералы сурьмы		0,1
Халькопирит	Знаки 0,05	
Сфалерит		
Ильменит	0-0,005	
Лимонит	0,02-3,7	
Магнетит	0-0,15	0,1
Сульфиды, в т.ч.:		1,0
Серицит	0-4,8	
Антимонит	0,2-18,1	5,9
Амфибол	0-1,5	
Арсенопирит	0,15-0,2	0,1
Пирит	Знаки 0,8	Ед. зн.
Пирротин		н/о
Рутил, сфен, циркон		Ед. зн.
Хлорит	0-0,6	-
Всего	100,0	100,0

Основными породами, непосредственно вмещающими руду на Солонеченском месторождении, являются джаспероиды (вторичная серая до чёрной существенно кварцевая порода, сформировавшаяся по карбонатным породам, реже по алевролитам; в небольших количествах присутствуют карбонат, серицит, флюо-

рит и барит.). Меньшее значение имеют карбонатные брекчии, березитизированные известняки и алевролиты.

Все породы в результате процесса аргиллизации содержат переменное количество каолинита, карбоната поздней генерации. Текстура брекчиевая, массивная, часто пористая.

Минералом-концентратором сурьмы является антимонит, содержание полезного компонента в котором составляет 95 - 98%, а основными элементами-примесями – Au, Ag, Fe, As [9].

Химический состав антимонита и других минералов усложняют грубые механические, легко отделяемые и тонкие, трудно или совсем не отделяемые примеси.

Сопутствующие второстепенные рудные минералы – пирит, арсенопирит, марказит. Пирит развит неравномерно, содержание колеблется от знаков до 0,8 %. Минерал представлен несколькими генерациями. Арсенопирит наблюдается в виде отдельных зерен размером до 0,4 мм во вмещающих породах, пирите или мелких кристаллов в дробленном агрегате крупнокристаллического антимонита. Распространенные нерудные минералы. Кварц представлен несколькими генерациями. Жильный кварц криптозернистый (обломки среди основной массы жильного кварца), мелко-среднезернистый (0,05 - 1,00 мм) призматический (с антимонитом), ксеноморфный, мелкоигльчатый. Халцедоновидный поздний кварц вместе с халцедоном локально развит в аргиллизитах, слагает прожилки (мощностью более миллиметра) зонального строения.

Карбонат развит на Солонеченском месторождении, также представлен несколькими разновидностями [86;108]. Первичный карбонат известняков мелкозернистый, буроватый. Доля карбоната изменяется в зависимости от степени окварцевания карбонатной толщи. Флюорит в джаспероидах образует рассеянную вкрапленность в кварцевых и карбонатных агрегатах (сотые - десятые доли миллиметра), скопления крупных зёрен размером более миллиметра, часто в сростании с антимонитом. Барит встречается вместе с флюоритом. Образует таблитчатые выделения с хорошей спайностью (десятые доли миллиметра - первые мил-

лиметры). Каолинит наблюдается в поздних трещинах, образует скопления размером от миллиметра и более. Попутный компонент руд – золото.

Крайне редко и только в кварце тонкодисперсное золото (0,001 - 0,005 мм) встречается преимущественно в самородной форме, имеет неправильные, реже овальные, округлые и извилистые границы срастаний. Непосредственного срастания золота с антимонитом не отмечается. Максимальный размер золотинок 0,1 мм, преобладают же частицы размером 0,001-0,05 мм неправильной, реже проволочковидной формы. Количество свободного золота всего 7,87 - 8,3%. В сростках находится 45 - 72% золота, связанного с сульфидами – 2,25 -12,17%, в силикатной тонкодисперсной форме – 17 - 33,8%. Тонкодисперсное золото чаще связано с пиритом, арсенопиритом. Пробность золота 699 - 953, средняя – 819.

На локальных участках антимонит составляет до 80 % объема жильной массы, слагая почти мономинеральный крупнокристаллический агрегат (рисунок 3.3.). Чаще же он образует прожилки (мощность 1 мм - 2-3 см), разномасштабную вкрапленность, отдельные вкрапленники, цементирует обломки вмещающих пород (рисунок 3.4). Текстура руд массивная, прожилковая, прожилково-вкрапленная, пятнистая, брекчиевая, реже кавернозная, кокардовая, крустификационная.



Рисунок 3.3. Крупновкрапленный антимонит в брекчированной породе, аншлиф

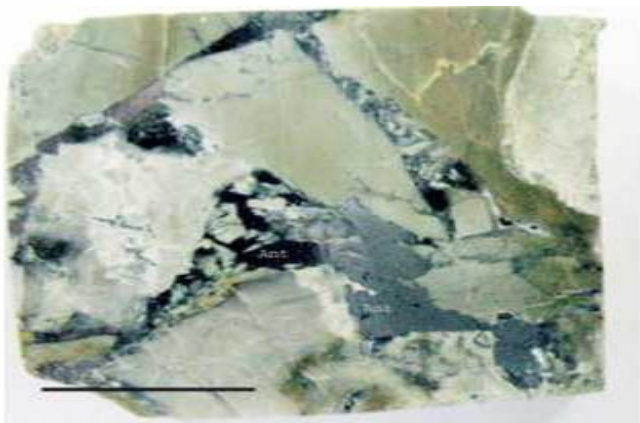


Рисунок 3.4. Брекчиевая текстура антимонитовой руды (антимонит и кварц цементируют обломки осадочной породы), аншлиф



Рисунок 3.5. Мелковкрапленный антимонит в кварц-антимонитовой прожилке, аншлиф

Структура антимонита обычно аллотриоморфнозернистая с лучистыми кристаллами, крупно-, средне-, мелкозернистая, гранобластовая, реликтовая. Крупные кристаллы (до 2 - 3 см) имеют двойственное строением, в результате медленных механических деформаций они подвергаются дроблению с образованием мелкозернистого агрегата (рисунок 3.5).

Результаты макроскопического исследования образцов руды Солонеченского месторождения и Илимского рудопроявления. Образец руды Солонеченского месторождения (С-1) представлен друзой плохой сохранности крупнокристаллического антимонита ~ 77-80%, содержащей реликтовые блоки и гнезда кварца ~10-15%, в котором иногда наблюдаются прожилки антимонита до 2 мм мощностью. В антимоните отмечаются прожилки кварца ~ 3-5%. Руда несет заметные следы пострудных тектонических изменений: кливаж, трещиноватость продольного и поперечного направления, нередко выполненная кварцем_I, зеркала скольжения со следами уступчатого подновления.

В зонах дробления 3-7 мм мощностью чаще всего на границах кварца и антимонита локализуются мелкозернистый арсенопирит – 1-3%, иногда отмечаются редкие единичные кристаллы магнетита.

Образец руды Илимского рудопроявления (карьер участка «Нарин - Кундуйская» – И-1) характеризуется другим типом формирования [86]: 1) интенсивная дорудная тектоника с образованием гидротермально – метасоматических брекчий; 2) рудный процесс развивался спокойно и однократно. Последовательность рудообразования: вмещающие кремнисто – углистые сланцы → брекчирование → тонкозернистый кварцевый цемент → кварц – антимонитовое оруденение [86]. Содержание антимонита заметно повышается от гидротермально – метасоматической брекчии (2-2,5 см) до кварц – антимонитовой рудной зоны (3,5 см мощности). В брекчиевой зоне: углисто – кремнистые сланцы ~ 30-35%, кварц тонко – зернистый ~ 50%, антимонит мелко – зернистый ~ 20%.

В кварц – антимонитовой зоне (3,5 см мощностью) – антимонит мелко – и среднезернистый шестоватый, игольчатый ~ 55-80%, мелкозернистый арсенопирит ~ 1-3% и кварц ~ 20-45%. Эта зона венчается корой выветривания мощностью 1-1,5 см, имеющей ноздреватую текстуру, состоящей из сульфоантимонитов, сульфоарсенитов. Выявленное химико – спектральным анализом золото вероятно, локализуется в антимоните.

Данные спектрального и химико-спектрального анализа проб сурьмяного оруденения месторождений представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7. Данные спектрального и химико-спектрального анализа проб сурьмяного оруденения месторождений Восточного Забайкалья

Проба	Наименование элемента и его содержание г/т																
	Au	Ag	As	Cu	Bi	Co	Cr	Li	Mn	Ni	P	Pb	Sb	Sn	V	W	Zn
ТПСМ-3	1,2	13	60	60	4	30	130	> 5000	130	40	250	25	> 6000	8	60	<10	40
ТПНКМ-1	1,3	0,4	60	25	<1	6	80	> 5000	60	13	400	60	> 6000	10	10	<10	<10

3.5.4. Электронно-микроскопический анализ

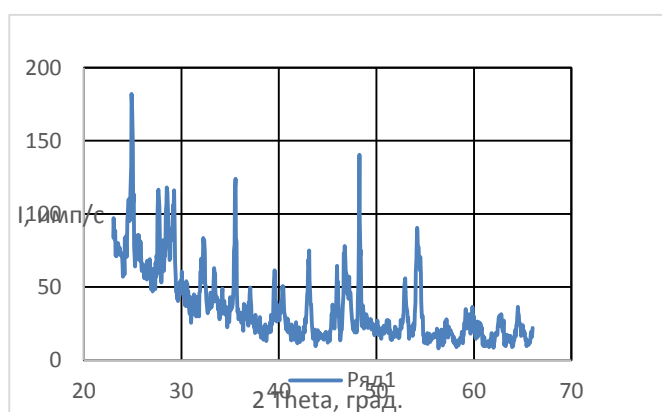
Электронно-микроскопическому анализу подвергались три образца. Образец руды Солонеченского месторождения (С-2) представлен друзой плохой сохранности крупнокристаллического антимонита ~ 77-80%, содержащей реликтовые блоки и гнезда кварца_I ~10-15%, в котором иногда наблюдаются прожилки антимонита до 2 мм мощностью. В антимоните отмечается прожилки кварца_{II} ~ 3-5%. Руда несет заметные следы пострудных тектонических изменений: кливаж, трещиноватость продольного и поперечного направления нередко выполненная кварцем_{II}, зеркала скольжения со следами уступчатого подновления. В зонах дробления 3-7 мм мощностью чаще всего на границах кварца_I и антимонита локализуются мелкозернистый арсенопирит – 1-3%, иногда отмечаются редкие единичные кристаллы магнетита.

Образец руды Илимского рудопроявления (карьер участка «Нарин - Кундуйская») (И-2) характеризуется другим типом формирования: 1) интенсивная дорудная тектоника с образованием гидротермально – метасоматических брекчий; 2) рудный процесс развивался спокойно и однократно. Последовательность рудообразования: вмещающие кремнисто – углистые сланцы → брекчирование → тонкозернистый кварцевый цемент → кварц – антимонитовое оруденение. Содержание антимонита заметно повышается от гидротермально – метасоматической брекчии (2-2,5 см) до кварц – антимонитовой рудной зоны (3,5 см мощности). В брекчиевой зоне: углисто – кремнистые сланцы ~ 30-35%, кварц тонко – зернистый ~ 50%, антимонит мелко – зернистый ~ 20%. В кварц – антимонитовой зоне (3,5 см мощностью) – антимонит мелко – и среднезернистый шестоватый, игольчатый ~ 55-80%, мелкозернистый арсенопирит ~ 1-3 % и кварц ~ 20-45%. Эта зона венчается корой выветривания мощностью 1-1,5 см, имеющей ноздреватую текстуру, состоящей из сульфoантимонитов, сульфoарсенитов. Спектрохимическим анализом в образцах С-2 и И-2 выявлено золото - 0,1-0,2 г/т соответственно. Спектральный и химико-спектральный анализ V категории точности проводился с использованием атомно-эмиссионного метода на приборе «Гранд». Результаты приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8. Результаты спектрального и химико-спектрального анализа

Элемент	Предел обнаружения, г/т	Содержание элемента, г/т	
		И-2	С-2
Au,с/х	0,004	0,2	0,1
Ar	0,03	13	0,4
As	10	6000	6000
Cu	1	60	25
Bi	1	4	<1
Co	1	30	6
Cr	10	130	80
Li	10	>5000	>5000
Mn	10	130	60
Mo	0,1	6	2,5
Ni	10	40	13
P	100	250	400
Pb	1	25	60
Sb	10	>6000	>6000
Sn	1	8	10
V	1	60	10
W	10	<10	<10
Zn	10	40	<10

Образец С-3 представлен антимонитом $Sb_2S_3 \sim 70\%$ и минералами окислов сурьмы: валентинитом Sb_2O_3 , сенармонитом Sb_2O_3 и сервантинитом Sb_2S_4 . Данные минералы обладают значительным внешним сходством: цвет сверло - желтый до белого, псевдоморфно замещают антимонит и образуют налеты и корки, имеют низкую твердость (1,5-2). Результаты рентгенодифрактометрического анализа пробы представлены на рисунках 3.6 - 3.7.



Полуколичественно, %		
47	28,4	24,6
Stibnite	Ustarasite	Zhonghuacerite
Sb_2S_3	$Pb(Bi,Sb)_6S_{10}$	$Ba_2CeF(CO_3)_3$

Рисунок 3.6 Результаты рентгенодифрактометрического анализа пробы (минерал антимонит)

Рентгено–фазовый анализ (с использованием рентгенодифрактометрического анализатора Dron) антимонита и окислов сурьмы в виде отдельных проб выявил в составе сульфидной (Sb_2S_3) пробы стибнит (антимонит), а также устарасит ($\text{Pb}(\text{SbBi})_6\text{S}_{10}$), зонхуцерит ($\text{Ba}_2\text{CeF}(\text{CO}_3)_3$). В пробе окислов сурьмы содержится сенармонтит, ферритунгстит (W, Fe) (O, OH), левисит ($\text{CaSb}_2\text{O}_5(\text{OH})_2$) и вишневит $\text{Na}_8\text{Al}_6\text{O}_{24}(\text{SO})_4$.

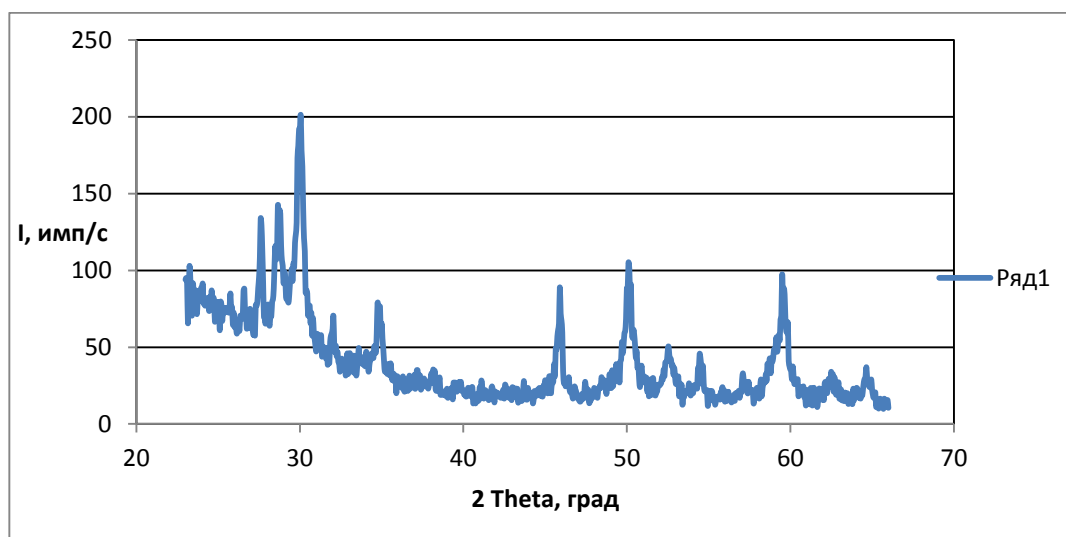


Рисунок 3.7. Результаты рентгенодифрактометрического анализа пробы (№ 1 валентинит сервантит)

Исследование проб С-2, С-3 и И-2 на растровом электронном микроскопе «EVO 40HV» (Карл Цейс, Германия), оснащенном энергодисперсионным анализатором «INCA-ENERGY 350» не позволило выявить золота, а из редких и редкоземельных металлов обнаружены только ниобий и тулий. Сложность объясняется тем, что сурьма является тяжелым металлом и микровключения других тяжелых металлов в ее сульфидах не разрушаются. Электронно-микроскопические изображения представлены на рисунке 3.8.

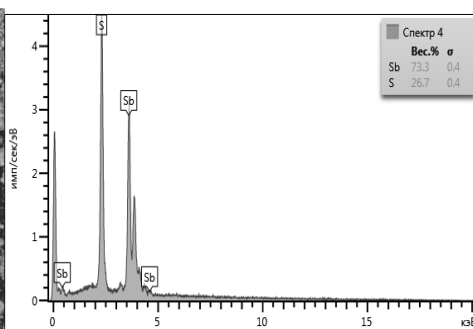
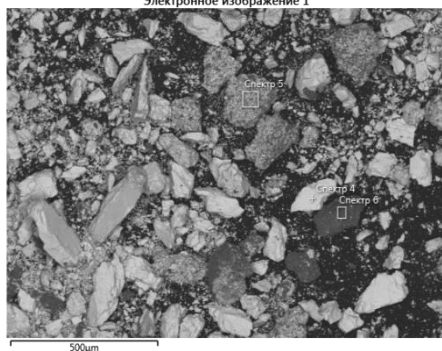
Следует отметить, что рентгено - флуоресцентным методом с использованием прибора S4 PIONEER в образцах С-2,3 и И-2 зафиксировано повышенное содержание родия-1,9-2,85%. В таблице 3.9 представлены результаты рентгенофлуоресцентного анализа проб

Таблица 3.9 Результаты рентгенофлуоресцентного анализа

И-2		И-2		С-2		С-2		С-3		С 3	
Formula	Concentration	Formula	Concentration	Formula	Concentration	Formula	Concentration	Formula	Concentration	Formula	Concentration
SiO2	82,61%	Al	1,36	SiO2	21,37%	Al	0,144	SiO2	13,53%	Al	0,036
TiO2	0,06%	As	0,137	Al2O3	0,36%	As	0,0936	Al2O3	0,22%	Ca	0,404
Al2O3	2,82%	Ca	0,143	Fe2O3	0,11%	Ca	0,0545	Fe2O3	0,09%	S	12,75
Fe2O3	0,45%	Fe	0,6861	MnO	0,01%	Fe	0,076	MnO	0,01%	Sb	45,08
MnO	0,01%	K	0,698	CaO	0,13%	K	0,0561	CaO	0,58%	Si	0,362
CaO	0,18%	Mg	0,105	MgO	0,24%	Mg	0,0518	MgO	0,14%		
MgO	0,36%	S	6,211	Na2O	0,56%	S	16,26	Na2O	0,49%		
Na2O	0,46%	Sb	16,23	K2O	0,03%	Sb	40,56	K2O	0,01%		
K2O	0,55%	Si	24,22	P2O5	0,03%	Si	4,254	P2O5	0,02%		
P2O5	0,02%	Ti	0,0754	S	15,02%			S	11,80%		
S	5,94%			F	0,22%			F	0,21%		
F	0,16%			Cr	0,00%			Cr	0,00%		
Cr	0,00%			Cu	0,00%			Cu	0,01%		
Cu	0,00%			Pb	0,00%			Co	0,00%		
Pb	0,02%			Co	0,00%			Ni	0,00%		
Co	0,00%			Ni	0,00%			Sr	0,01%		
Ni	0,00%			Sr	0,00%			Sc	0,30%		
Sr	0,00%			Sc	0,26%			Sn	0,00%		
Rb	0,00%			Sn	0,00%			Zr	0,01%		
Sc	0,11%			Zr	0,01%			As	0,00%		
Sn	0,00%			As	0,02%			Y	0,02%		
Zr	0,01%			Y	0,02%			Ga	0,00%		
As	0,01%			Ga	0,00%			Ge	0,00%		
Yb	0,00%			Ge	0,00%			Rh	2,85%		
Ga	0,00%			Rh	2,73%			CYMMMA	30,30%		
Ge	0,00%			CYMMMA	41,14%						
Rh	1,90%										
CYMMMA	95,69%										

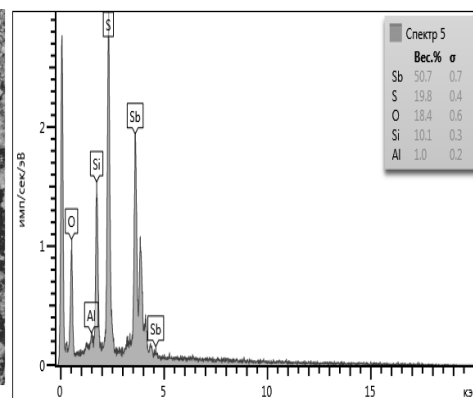
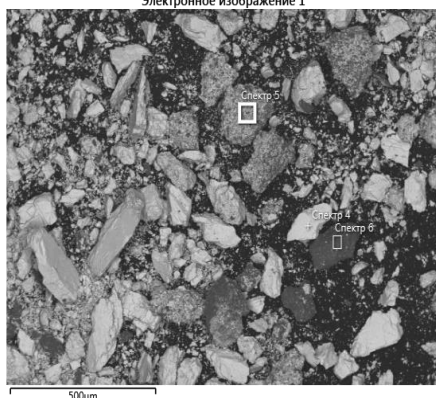
Исследование образца С-2

Электронное изображение 1



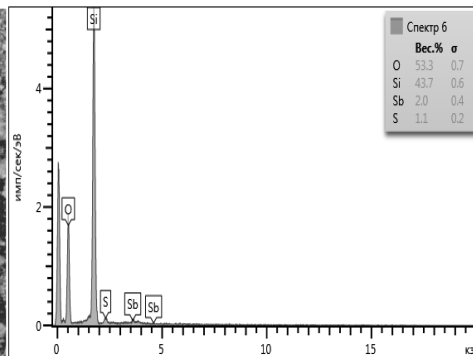
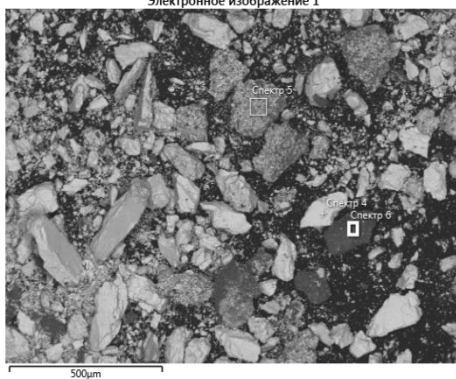
Эле-мент	Вес, %	Сигма Вес, %	Атом. %
S	26.73	0.43	58.08
Sb	73.27	0.43	41.92
Сумма:	100.00		100.00

Электронное изображение 1



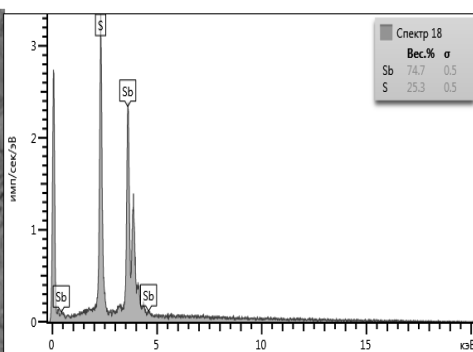
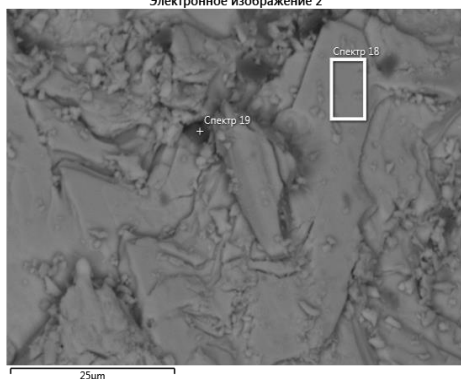
Эле-мент	Вес. %	Сиг-ма Вес. %	Атом. %
O	18.37	0.60	44.53
Al	0.96	0.19	1.37
Si	10.09	0.28	13.94
S	19.84	0.40	23.99
Sb	50.75	0.68	16.17
Сум-ма:	100.00		100.00

Электронное изображение 1

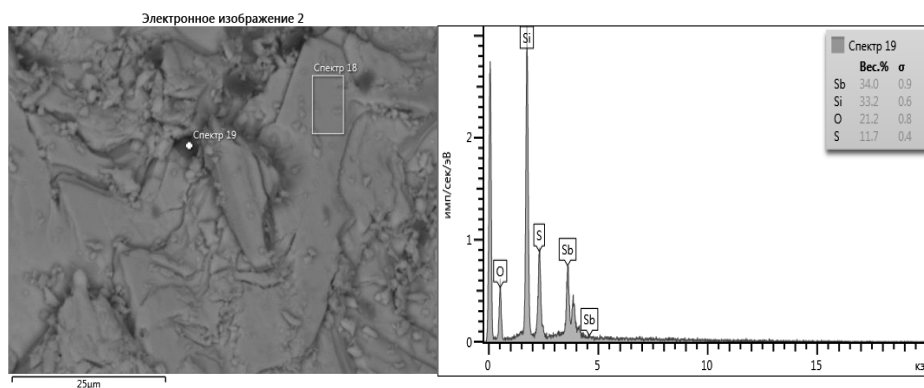


Эле-мент	Вес. %	Сигма Вес. %	Атом. %
O	53.29	0.67	67.48
Si	43.68	0.63	31.51
S	1.07	0.16	0.68
Sb	1.96	0.42	0.33
Сумма:	100.00		100.00

Электронное изображение 2

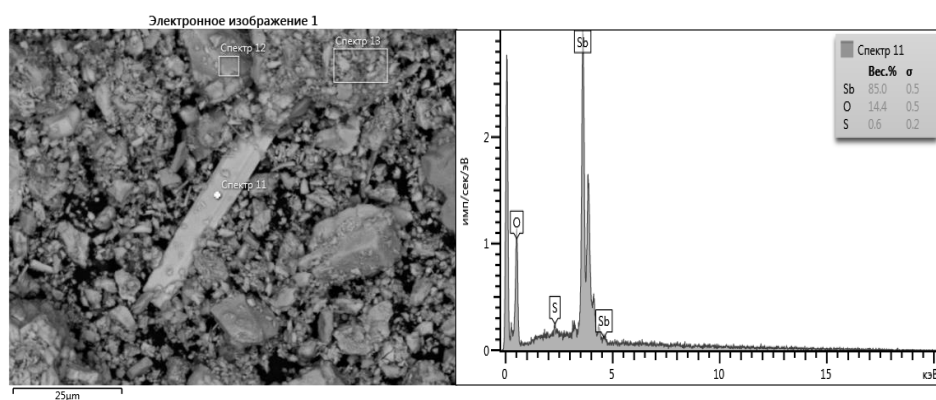


Эле-мент	Вес. %	Сигма Вес. %	Атом. %
S	25.31	0.47	56.27
Sb	74.69	0.47	43.73
Сумма:	100.00		100.00

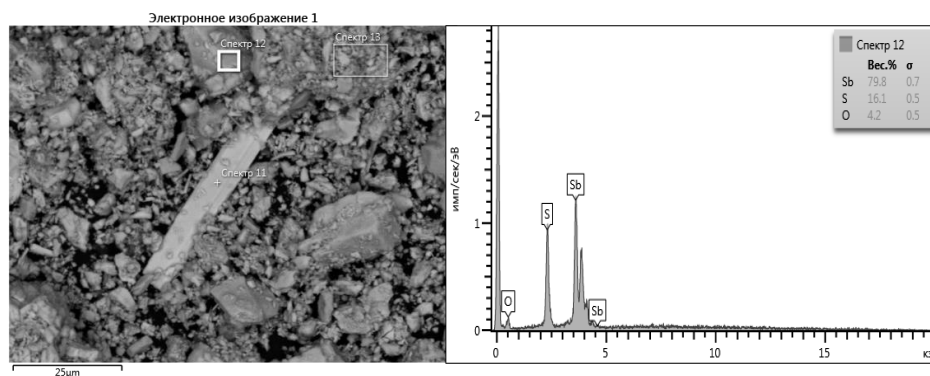


Элемент	Вес. %	Сигма Вес. %	Атом. %
O	21.15	0.78	42.02
Si	33.19	0.63	37.56
S	11.65	0.41	11.55
Sb	34.01	0.88	8.88
Сум-ма:	100.00		100.00

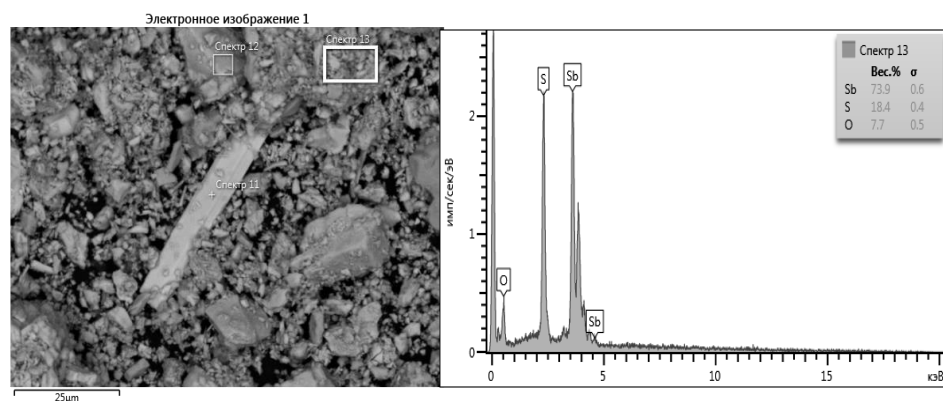
Исследование образца С-3



Элемент	Вес. %	Сигма Вес. %	Атом. %
O	14.45	0.46	55.79
S	0.56	0.17	1.08
Sb	84.99	0.48	43.12
Сум-ма:	100.00		100.00



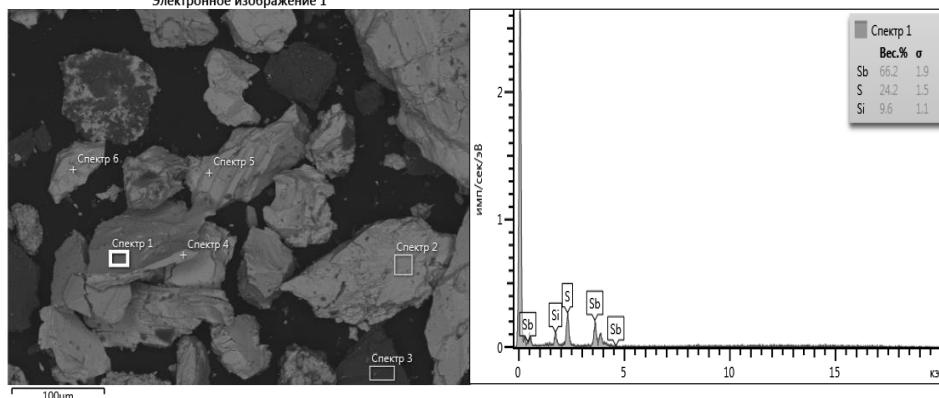
Элемент	Вес. %	Сигма Вес. %	Атом. %
O	4.15	0.51	18.33
S	16.09	0.55	35.42
Sb	79.76	0.71	46.25
Сум-ма:	100.00		100.00



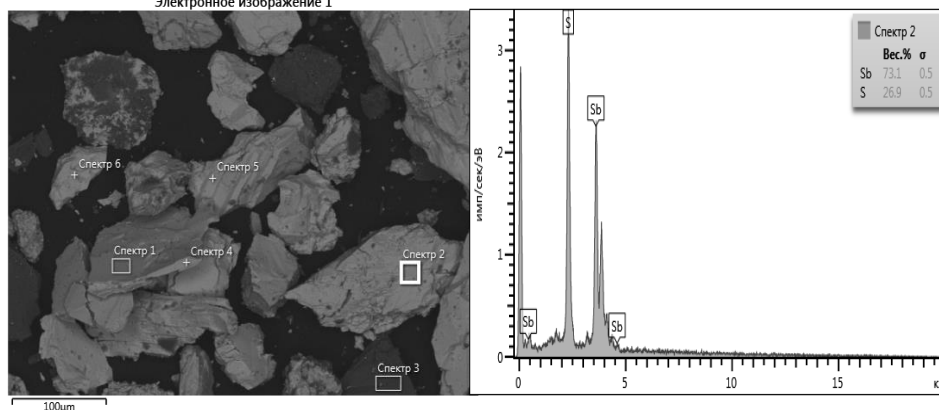
Элемент	Вес. %	Сигма Вес. %	Атом. %
O	7.72	0.53	29.01
S	18.39	0.43	34.50
Sb	73.89	0.62	36.50
Сум-ма:	100.00		100.00

Исследование образца И-2

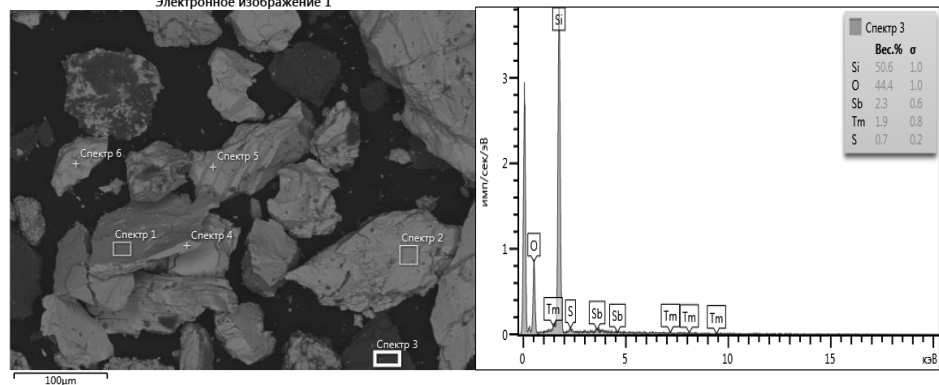
Электронное изображение 1



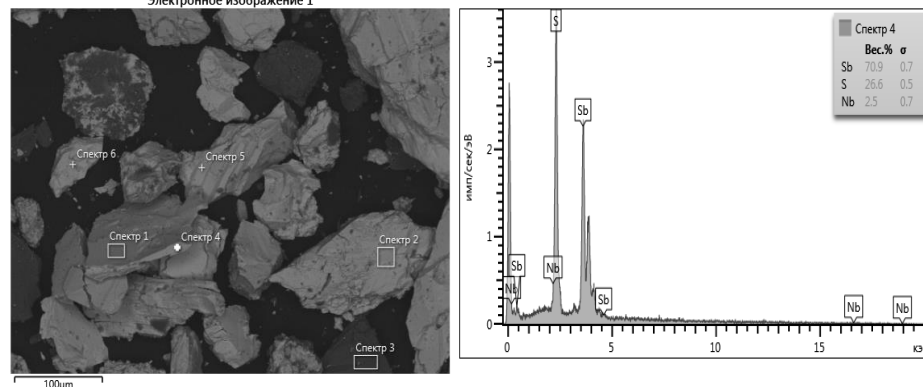
Электронное изображение 1



Электронное изображение 1



Электронное изображение 1



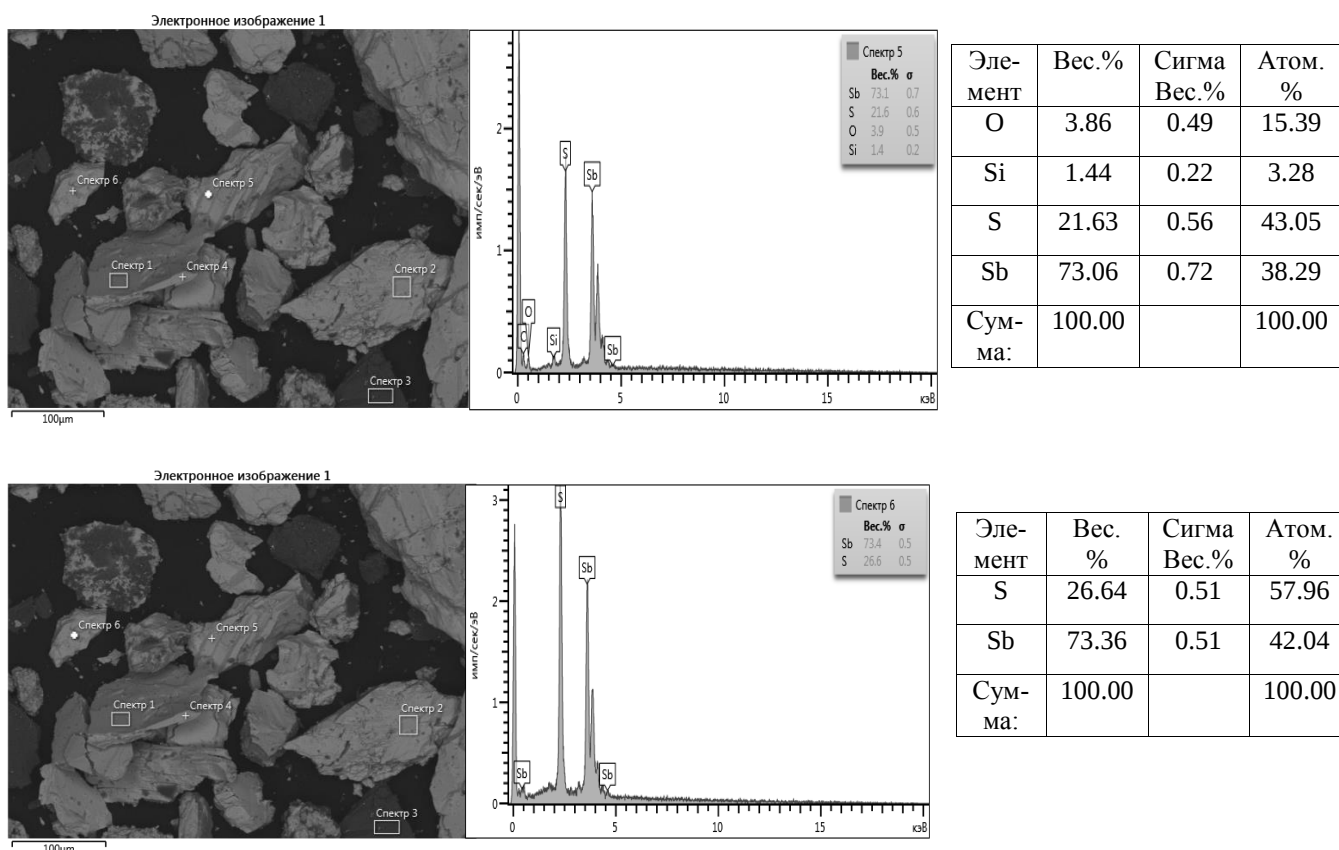


Рисунок 3.8. Электронно-микроскопические изображения минеральных образцов

Данные РФС хорошо согласуются с результатами химического анализа установлено, что основными составляющими являются сурьма, сера, кислород, кремний. Электронно-микроскопические изображения образцов иллюстрируют их состав вкрапленность ценного компонента, контрастность, возможную степень статистического фазового раскрытия при последующем дроблении для разделения минералов методом рентгенорадиометрической сепарации.

Изучением вещественного состава руд Солонеченского и Нарин-Кундуйского месторождений установлено, что данные руды имеют близкий, granulометрический элементный, химический и минералогический состав и могут перерабатываться по аналогичным технологиям, поэтому в дальнейшем исследование руд на обогатимость проводились на пробах, отобранных на Солонеченском месторождении.

3.6. Исследования обогатимости руд с различным содержанием сурьмы методом рентгенорадиометрической сепарации

В экспериментальных исследованиях радиометрической рудоподготовки использовали современное технологическое оборудование для покусковой сепарации – рентгенорадиометрические сепараторы [87;150]. Использование последних в отличие от известных «косвенных» традиционных «мокрых» методов обогащения (флотации, гравитации), основано на прямой оценке содержания сурьмы в сухом кусковом рудном материале.

Техническая характеристика сепаратора СРФ4-3П-150, применяемого при исследовании приведена в Приложении Н. Функциональная схема и конструкция рентгенорадиометрического сепаратора представлены на рисунках 3.9 - 3.10.

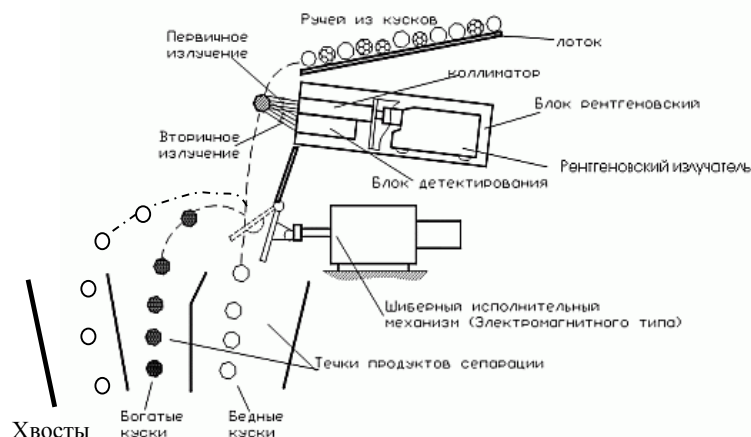


Рисунок 3.9. Функциональная схема рентгенорадиометрического сепаратора

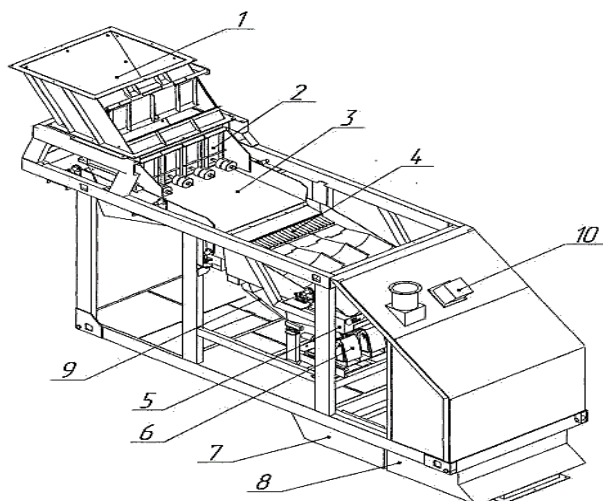


Рисунок 3.10 Конструкция рентгенорадиометрического сепаратора:

- 1 – переходный бункер;
- 2 – бункер-затвор;
- 3 – вибропитатель;
- 4 – раскладчик;
- 5 – блок-рентгеновский;
- 6 – исполнительный механизм;
- 7, 8 – точки продуктов сортировки;
- 9 – точка просыпи;
- 10 – камера датчика видеонаблюдений;
- 11 – штуцер отвода пыли;
- 12 – кожух сепаратора

Технологические схемы экспериментальных испытаний предусматривали проведение РРС на следующих пробах с различным содержанием сурьмы:

1) пробы руды ТПСМ - 1 с содержанием сурьмы 2,2% для определения порога сепарации;

2) пробы руды ТПСМ - 2 с содержанием: сурьмы 2,26%, золота 1,0 г/т одностадиальной сепарацией (рисунок 3.11);

3) пробы руды ТПСМ - 3 с содержанием: сурьмы 6,8%, золота 1,2 г/т двухстадиальной сепарацией (рисунок 3.12.):

- первая стадия для получения отвальных хвостов РРС, которые затем подвергались выщелачиванию для извлечения золота;

- вторая стадия для получения штуфного концентрата и сконцентрированной фракции для извлечения сурьмы по гравитационно-флотационной схеме

4) пробы руды ТПСМ - 4 с содержанием: сурьмы 18,1%, золота 1,15 г/т двухстадиальной сепарацией (рисунок 3.13):

- на 1-й стадии выделялись хвосты и промпродукт (обогащенный), который снова пропусклся через РРС (2-я стадия) с получением промпродукта и концентрата;

- промпродукт (обогащенный Sb) при прохождении через все технологические контакты на 1-й стадии РРС крошится, дробится, шламуется и образуется мелкий класс -20+0 мм, поэтому на вторую стадию РРС он поступает через повторное грохочение, при этом, из промпродукта в класс -20+0 мм просеивается уже более богатый материал, обогащая несортируемую часть;

- несортируемый класс -20+0 мм (первичный и вторичный) представляет отдельный продукт, который направлялся на извлечение сурьмы гравитационно-флотационным методом.



Рисунок 3.11 Сема экспериментальных исследований пробы руды ТПСМ - 2



Рисунок 3.12 Схема экспериментальных исследований пробы руды ТПСМ-3

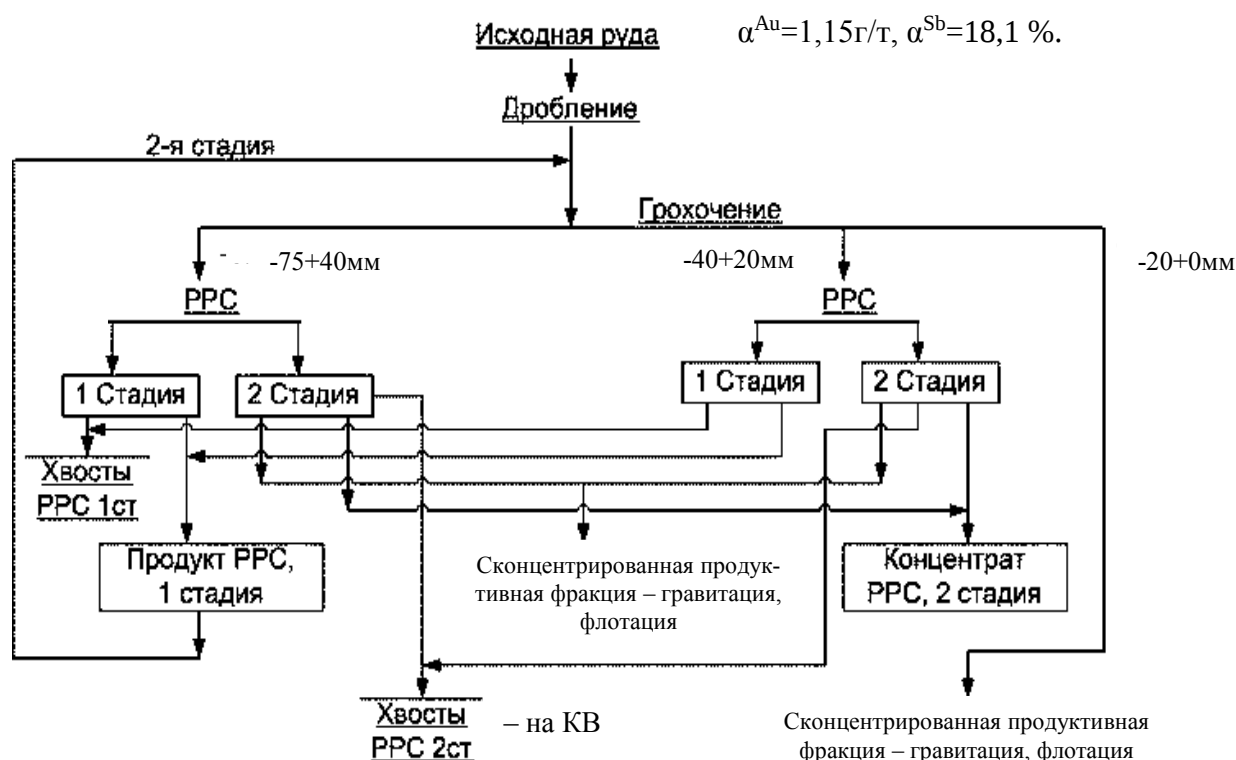


Рисунок 3.13. Схема экспериментальных исследований пробы руды ТПСМ-4

Таблица 3.10 Показатели предварительных испытаний РРС

Уровень порога РРС, %	Наименование продуктов	Выход, %	Содержание сурьмы, %	Извлечение сурьмы, %
ТПСМ-1 (порог разделения $\lambda=0,3\%$ Sb)	Концентрат	19,1	11,13	96,6
	Хвосты	80,9	0,093	3,4
	Исходный	100	2,2	100
ТПСМ-1 (порог разделения $\lambda=0,26\%$ Sb)	Концентрат	27,9	7,71	97,8
	Хвосты	72,1	0,067	2,2
	Исходный	100,0	2,2	100,0

- Экспериментальными исследованиями установлен порог разделения методом РРС (таблица 3.10). Чем выше порог РРС, тем богаче концентрат. Из руды с исходным содержанием Sb 2.2% выделяются концентраты (в зависимости от порога) с содержанием Sb 7,71%, с порогом 0,26 % и 11,13% - с порогом 0,30%;

Результаты экспериментальных исследований технологии РРС на сурьмяных рудах Солонеченского месторождения с различным содержанием ценного и попутного компонентов представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11. Результаты концентрирования сурьмы методом РРС проб руды Солонеченского месторождения

Наименование пробы	Наименование продуктов	Выход, %	Содержание сурьмы, %	Извлечение сурьмы, %
ТПСМ-2(порог разделения $\lambda=0,3\% \text{Sb}$)	Объединенные показатели РРС			
	Концентрат	19,0	11,5	96,9
	Хвосты	81,0	0,093	3,1
	Исходный (без отсева РРС)	100,0	2,26	100,0
ТПСМ-3(порог разделения $\lambda=0,3\% \text{Sb}$)	Объединенные показатели РРС			
	Концентрат	15,27	30,5	68,5
	Промпродукт	43,73	4,53	29,1
	Хвосты	41	0,3	2,4
	Исходный (без отсева РРС)	100,0	6,8	100,0
ТПСМ-4(порог разделения $\lambda=0,3\% \text{Sb}$)	Объединенные показатели РРС			
	Концентрат	21,5	40,9	48,4
	Промпродукт	42,1	21,52	50,05
	Хвосты	36,4	0,77	1,55
	Исходный (без отсева РРС)	100,0	18,1	100,0

Распределение сурьмы в руде по классам крупности в пробе ТПСМ – 3 представлено в таблице 3.13. и на рисунке 3.14



Рисунок 3.14 Диаграмма распределения кусков классов крупности по содержанию сурьмы:

- 1) -75+40мм; 2) -40+20 мм; 3) -20+15 мм; 4) -15+10 мм; 5) -10+5мм;
- 6) -5+3 мм; 7) -3+2мм; 8) -2+1мм; 9) -1+0,63; 10) -0,63+0,4мм; 11) -0,4+0,315мм;
- 12) -0,315+0,21мм; 13) -0,21+0,16 мм; 14) -0,16+0,1мм; 15) -0,1+0,074мм;
- 16) -0,074+0,05мм; 17) -0,05+0мм.

По результатам опытов при содержании сурьмы в руде 6,8% (проба-ТПСМ-3) её содержание в концентрате составляет 30,5% и характеризуется извлечением металла в концентрат РРС 68,5%. При таких низких содержаниях Sb технология РРС решает главную задачу - выделение отвальных хвостов с содержанием Sb 0,3% с выходом крупнокускового отвального материала в пределах 41%, что доказывает её высокую эффективность.

Изучение контрастности руды по классам крупности, начиная с 20 мм и выше, выявило незначительное изменение показателя контрастности M от 0,7 в кл. -75+40 мм до 0,94 в кл. -5 мм (таблица 3.12).

Таблица 3.12 Значения показателя контрастности M в различных классах крупности

Класс крупности руды, мм	Показатель контрастности M в классе, отн.ед.
-75+40	0,70
-40+20	0,80
-20+15	0,90
-15+10	0,91
-10+5	0,87
-5+0	0,94

Исходя из численных значений показателя M и классификации В.А. Мокроусова [73], исследуемые сурьмяные руды Восточного Забайкалья являются контрастными и обогащаемыми, а значит имеются благоприятные условия для применения метода рентгенорадиометрической сепарации.

Таблица 3.13 Распределение сурьмы в руде по классам крупности, %, проба ТПСМ-3

Классы	Исходная проба руды			Дробленая проба кл. -2мм			Дробленая проба кл. -1мм		
	Выход, %	Содержание Sb, %	Извлечение, %	Выход, %	Содержание Sb, %	Извлечение, %	Выход, %	Содержание Sb, %	Извлечение, %
-75+40	3,0	43,29	19,1						
-40+20	54,1	6,54	52,0						
-20+15	9,1	4,4	5,9						
-15+10	17,6	3,78	9,8						
-10+5	3,7	4,22	2,3						
-5+3	2,6	5,23	2,0						
-3+2	1,8	5,28	1,4	8,7	5,28	7,0			
-2+1	1,4	3,88	0,8	22,6	5,25	18,1	0,35	4,94	0,25
-1+0,63	1,0	6,12	0,9	19,0	5,59	16,2	28,9	5,76	24,1
-0,63+0,4	0,9	6,04	0,8	12,6	5,15	9,9	18,5	5,75	15,4
-0,4+0,315	0,5	8,16	0,6	6,1	5,9	5,5	9,4	6,1	8,3
-0,315+0,21	1,0	6,12	0,9	9,7	6,56	9,7	13,3	6,54	12,6
-0,21+0,16	0,8	6,8	0,8	6,5	7,87	7,8	8,7	6,83	8,6
-0,16+0,1	0,1	6,8	0,1	0,5	9,79	10,3	1,2	8,63	1,5
-0,1+0,074	1,0	6,8	1,0	6,4			9,5	9,16	12,6
-0,074+0,05	0,8	7,65	0,9	4,0	11,8	7,2	6,0	10,8	9,4
-0,05+0	0,6	7,93	0,7	3,9	13,96	8,3	4,15	12,07	7,25
Итого:	100,0	6,8	100,0	100,0	6,56	100,0	100,0	6,91	100,0

Результаты распределения сурьмы в руде по классам крупности показывают, что основная масса ценного компонента сконцентрирована в классах -75+40, в классах от -40+20 до -0,05 содержание сурьмы колеблется от 3,88 до 8,16%, что является благоприятным для выделения сурьмы в концентрат в крупнокусковом виде.

Выбор крупности исследуемой руды от -75+40 мм. до -5+0 мм. не случаен, а обусловлен тем, что показатель контрастности M кускового материала этой крупности изменяется от 0,7 до 0,94 и по классификации В.А. Мокроусова [72;73] руды такой крупности считаются обогащаемыми любым методом предконцентрации, что подтверждается показателями таблицы 3.14.

Таблица 3.14. Основные показатели сурьмяных руд (проба ТПСМ – 1, порог разделения $\lambda=0,3\%$ Sb), определяющие возможность их предконцентрации

Показатели	Крупность кусков, мм.		
	-75+40	-40+20	-20+0
Среднее содержание Sb, %	4,25	1,17	1,38
Показатель M , отн. ед.	0,7	0,8	0,89
Выход хвостов, %	69,5	84,5	89,0
Содержание Sb в хвостах, %	0,1	0,09	0,08
Содержание Sb в концентрате, %	15,4	17,7	24,2
Извлечение Sb в концентрат, %	94,8	95,7	99,3

Таким образом, технология предконцентрации сурьмяных руд позволяет получить высокий выход хвостов с низким содержанием ценного компонента и высоким извлечением.

Экспериментальная зависимость извлечения сурьмы в продуктивную фракцию от содержания ценного компонента в исходной руде представлена на рисунке 3.15.

Результаты экспериментальных исследований показывают, что технологические свойства – контрастность, гранулометрический состав, геолого-минералогические характеристики и текстурно-структурные особенности руды Солонеченского месторождения позволяют эффективно осуществлять предварительное концентрирование минералов сурьмы в голове технологического процес-

са методом РРС дифференцированно по различным схемам в зависимости от содержания ценного компонента в исходной руде.

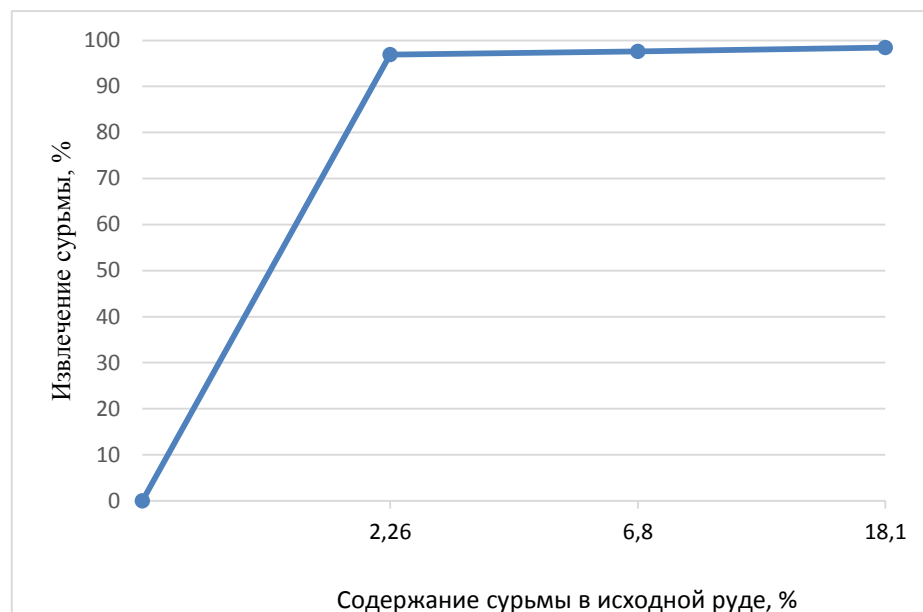


Рисунок 3.15. Зависимость извлечения сурьмы в продуктивную фракцию от содержания ценного компонента в исходной руде

3.7. Технологические исследования по кучному выщелачиванию золота из хвостов радиометрической сепарации

Проведены тестовые испытания по цианированию с целью извлечения золота из хвостов РРС (проба руды ТПСМ-3)

По результатам пробирно-атомно-абсорбционного анализа содержание золота в хвостах РРС составило 0,7 г/т. Для определения форм нахождения золота в пробе проведен фазовый (рациональный) анализ. Фазовый анализ проб позволяет определить основные формы нахождения золота: свободное, в сростках, «ржавое», связанное с сульфидами и пустой породой. Фазовый анализ заключался в последовательном извлечении золота из продукта амальгамацией, цианированием, цианированием остатка солянокислотной обработкой и выщелачиванием «царской водкой» [87]. Схема проведения фазового анализа пробы представлена на рисунке 3.15. Для проведения фазового анализа была отобрана навеска 1 кг. Результаты фазового анализа приведены в таблице 3.15.

Таблица 3.15 Результаты фазового анализа пробы хвостов РРС

Форма нахождения золота в пробе	Содержание, г\т	Распределение, %
1 амальгамация,		
крупность материала - 5 мм		
Свободное золото	0,02	2,86
2 амальгамация,		
доизмельченного до - 0,1 мм		
Свободное (вскрытое) золото	0,18	25,71
1 цианирование		
Золото в сростках	0,39	55,71
2 цианирование		
после хлоридной обработки		
Золото ржавое, покрытое пленками	0,01	1,43
Золото, ассоциируемое с сульфидами	0,08	11,43
Золото в силикатной породе	0,02	2,86
Итого	0,70	100,0

Порядок проведения опытов. Опыты по активному цианированию проводились в бутылочном агитаторе. После 48 час цианирования цианистые растворы до укреплялись до исходной концентрации 0,1%.

Полученная зависимость извлечения золота от продолжительности цианирования приведена в таблице 3.16. Причём с увеличением времени цианирования наблюдается динамика роста извлечения золота в раствор и значительно увеличивается расход цианида.

Таблица 3.16 Зависимость извлечения золота от продолжительности цианирования

Условия опытов	Ед. изм.	Продолжительность цианирования, час		
		24	48	72
Навеска	кг	0,5	0,5	0,5
Плотность пульпы	ж : т	3:1	3 : 1	3 : 1
Расход извести	кг/т	2	2	2
Расход окиси бария	гр	2,5	2,5	2,5
Концентрация цианида	%	0,1	0,1	0.1
Остаточная концентрация цианида	%	0,062	0,033	0,05
Расход цианида	кг/т	0,76	1,37	1,68
Содержание Au в исходном материале	г/т	0,704	0,68	0,684
Содержание Au в хвостах цианирования	г/т	0,40	0,31	0,23
Содержание Au в цианистом растворе	мг/л	0,104	0,127	0,107
Объем цианистого раствора	литр	1,46	1,46	1,70
Извлечение золота в раствор	%	43,2	54,4	66,4

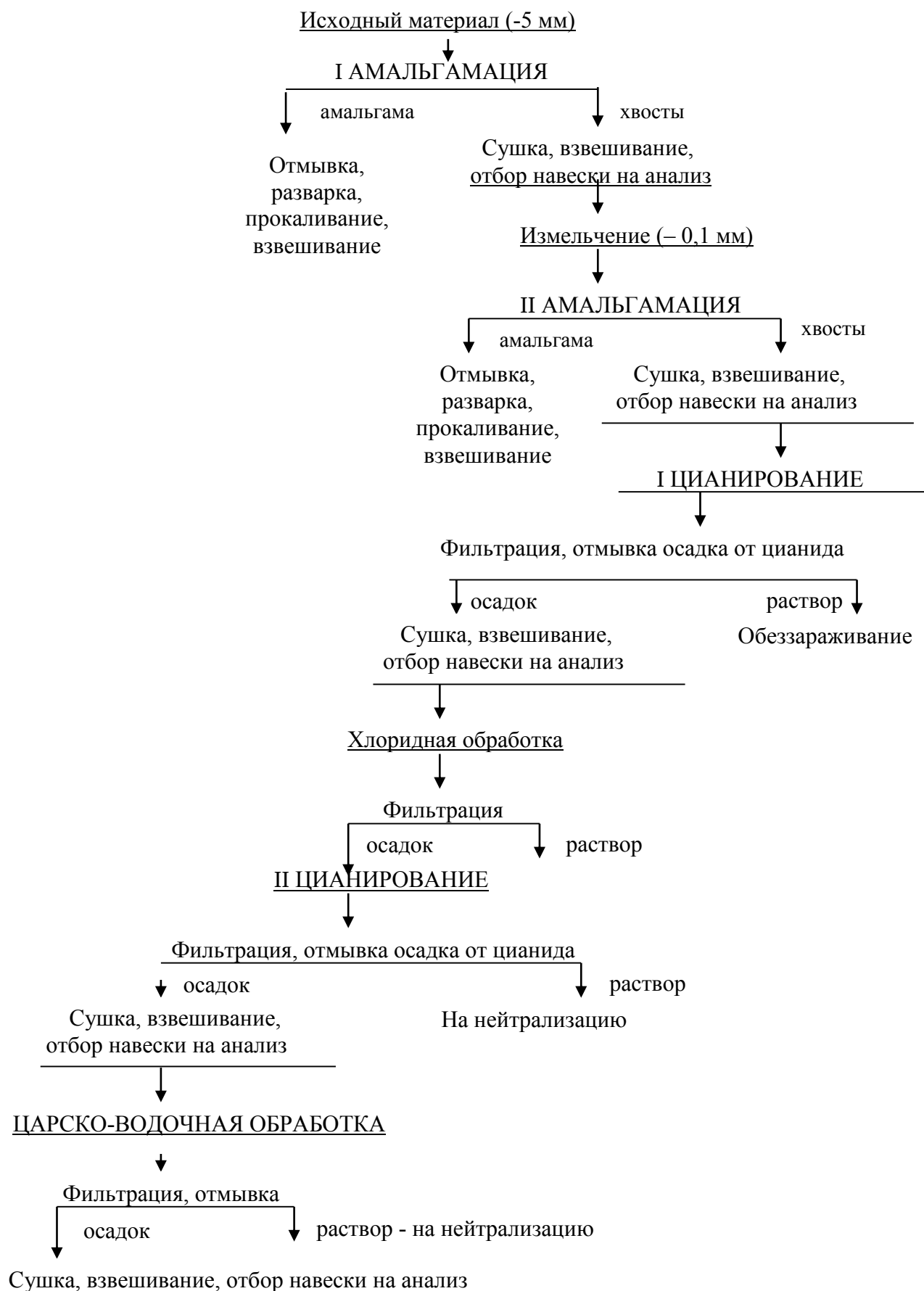


Рисунок 3.16. Схема проведения фазового анализа хвостов РРС

Извлечение золота из материала крупностью -5 мм при 72 часовом цианировании проведено указанной методики составило 66,4%.

В последующем, после получения положительных результатов тестовых опытов по выщелачиванию золота из проб минерального сырья с низким содержанием ценного компонента, проводилось в перколяторах цианирование в лабораторных условиях методом кучного выщелачивания.

Выщелачивание золота из хвостов РРС осуществлялось на фракциях различной крупности с целью определения оптимального размера кусков руды и необходимости ее додробливания. Гранулометрический состав хвостов представлен в таблице 3.17.

Таблица 3.17 Гранулометрический состав хвостов РРС

Размер отверстия сит, мм	-75+40	-40 + 20	-20 + 10	-15 + 10	-10+0
Выход, %	3,0	54,1	9.1	17.6	16.2

Методикой предусматривалось проведение выщелачивания золота, различных фракций крупности одновременно в четырёх перколяторах: диаметр 42 мм; высота 2 м, масса пробы 3 кг. Объем используемого раствора цианида при нисходящем орошении 240-250 мл/сут. Скорость истекания золотосодержащего раствора 200-230 мл/сут. Результаты исследований по выщелачиванию золота приведены в таблице 3.18.

Таблица 3.18. Выщелачивание золота из хвостов РРС

τ, сут	Концентрация цианида C_{CN^-} , г/л	Расход цианида Q_{CN^-} , г	pH	Концентрат Au в р-ре C_{Au} , мг/л	V продуктивного р-ра, мл	Масса Au, q_{Au} , мг	Σq_{Au} , мг	% извлечения
Фракция крупности – 40 мм								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,28	0,22	10,2	1,17	204	0,238	0,238	12,2
20	0,44	0,21	10,5	0,92	210	0,193	0,431	22,1
30	0,36	0,11	10,4	0,74	208	0,154	0,585	30,0
40	0,28	0,085	10,6	0,64	217	0,139	0,724	37,1
50	0,25	0,070	10,5	0,37	214	0,101	0,825	42,3
60	0,17	0,035	10,7	0,25	218	0,054	0,879	45,1
70	0,13	0,01	10,6	0,23	222	0,053	0,932	47,8
80	0,09	0,01	10,7	0,17	229	0,039	0,971	49,8
90	0,05	-	10,6	0,12	225	0,027	0,998	51,2
100	0,03	-	10,6	0,08	220	0,018	1,016	52,1
Фракция крупности – 20 мм								
10	0,27	0,23	10,3	1,28	201	0,259	0,259	13,3
20	0,41	0,21	10,5	1,03	211	0,217	0,476	24,4

Окончание таблицы 3.18

1	2	3	4	5	6	7	8	9
30	0,37	0,12	10,4	0,93	215	0,200	0,676	34,7
40	0,29	0,07	10,7	0,85	218	0,186	0,862	44,2
50	0,26	0,05	10,6	0,72	221	0,160	1,022	52,4
60	0,17	0,03	10,8	0,69	220	0,151	1,179	60,1
70	0,14	0,02	10,7	0,49	222	0,109	1,282	65,7
80	0,08	0,01	10,7	0,24	221	0,053	1,335	68,4
90	0,04	0,01	10,6	0,13	220	0,028	1,363	69,9
100	0,02	-	10,7	0,03	221	0,007	1,370	70,3
Фракция крупности – 10 мм								
10	0,27	0,23	10,5	1,94	203	0,394	0,394	20,0
20	0,41	0,22	10,6	1,40	210	0,294	0,688	35,3
30	0,34	0,11	10,5	1,15	218	0,250	0,938	48,1
40	0,26	0,08	10,8	0,67	219	0,147	1,085	55,7
50	0,24	0,06	10,6	0,57	221	0,126	1,211	62,1
60	0,18	0,03	10,5	0,39	220	0,086	1,297	65,6
70	0,14	0,01	10,7	0,23	224	0,05	1,347	69,1
80	0,09	0,01	10,8	0,22	225	0,049	1,396	71,6
90	0,06	-	10,6	0,18	226	0,041	1,437	73,7
100	0,03	-	10,7	0,10	230	0,021	1,458	74,8
Фракция крупности – 5 мм								
10	0,28	0,22	10,6	2,69	202	0,545	0,545	28,1
20	0,42	0,20	10,4	1,84	214	0,395	0,94	48,4
30	0,37	0,12	10,7	0,96	207	0,20	1,14	58,6
40	0,29	0,09	10,5	0,51	215	0,11	1,25	64,3
50	0,26	0,07	10,7	0,50	220	0,11	1,36	70,1
60	0,17	0,03	10,8	0,31	220	0,07	1,43	73,5
70	0,14	0,01	10,5	0,23	218	0,05	1,48	76,3
80	0,08	0,01	10,6	0,10	224	0,02	1,50	77,7
90	0,05	-	10,7	0,09	223	0,02	1,52	77,9
100	0,03	-	10,6	0,05	222	0,01	1,53	78,5

Зависимость извлечения золота в цианистый раствор из хвостов РРС (по отдельным фракциям крупности) от продолжительности выщелачивания представлена на рисунке 3.17.

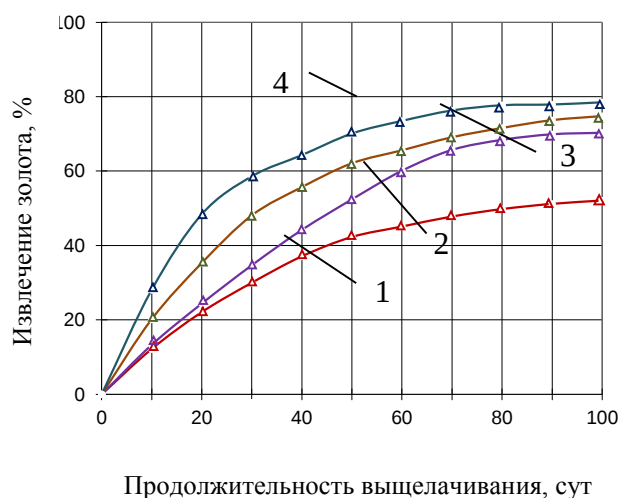


Рисунок 3.17. Зависимость извлечения золота в цианистый раствор от продолжительности выщелачивания, мм:
 1 – фракция крупности -40;
 2 – фракция крупности -20;
 3 – фракция крупности -10;
 4 – фракция крупности -5.

По результатам экспериментальных исследований выявлено, что максимальное извлечение через 100 сут. достигает по фракциям крупности: - 40 мм – 52,1%; - 20 мм – 70,3%; - 10 мм – 74,8%; - 5 мм – 78,5%. Учитывая большие энергетические затраты на дробление и измельчение в дальнейшем принимаем вариант при крупности руды -20 мм.).

Отличительной чертой перерабатываемых сурьмяных руд является повышенное содержание сульфидов (пирит, арсенопирит, маркозит, барьерит, сурьмяные соли свинца и меди). Для образуемых отходов при исследовании сурьмяных руд на обогатимость выявлено незначительное количество в них ртути (а так же SbCl_3 – трёххлорита сурьмы), соединений свинца, растворимых солей свинца, относящихся к первому классу опасности [119].

Токсичность соединений ртути заключается во вредном воздействии иона Hg^+ . Ртуть вступает в соединение с белковыми молекулами в крови в результате чего образуются более или менее прочные комплексы металлопротоиды. Ртуть сильнее всего накапливается в печени и почках, приводя к нарушениям обмена веществ и выделительной функции, в тяжёлых случаях- нефроз в почках и через 5-6 дней -смерть.

Ртуть – один из самых токсичных металлов, постоянно присутствующая в природной среде, поэтому может поступать в избытке в организм человека через желудочно-кишечный тракт вместе с пищей и водой.

Отходы, содержащие цинк, железо относятся к третьему классу опасности. Токсичность цинка невелика и во многом зависит от синергизма или антагонизма с другими металлами.

Отходы обогащения сурьмы в основном содержат мышьяк, сурьму, свинец, которые в отдельности относятся ко второму классу опасности [12-15]

Сурьма. Сурьма – элемент, существующий в состоянии окисления -3+3+5, образует в основном устойчивые катионные соединения [27]. Сурьма способна образовывать комплексные трёхвалентные соединения, оказывающиеся более

токсичными, чем пятивалентные. Действие соединений сурьмы на организм во многом подобен действию мышьяка.

При гидролизе SbCl_3 в организме образуется HCl_3 , приводящая к острому воспалению лёгких дыхательных путей и опасному воздействию на пищеварительную систему. SbCl_3 раздражает глаза, вызывает тошноту, рвоту, понос, мышечную слабость при попадании в желудок.

Мышьяк является сильным ингибитором ряда элементов в организме и способен вызывать острое отравление. Хроническое действие малых доз соединения мышьяка способствует возникновению рака лёгких и кожи.

Свинец – один из наиболее распространённых металлозагрязнителей окружающей среды и, прежде всего, воздуха. Поступает в организм человека ингаляционным путём. Свинец – яд, действующий на всё живое, в особенности на нервную систему, кровь, сосуды.

Результаты исследования, обобщения и анализа материалов по концентрации и техногенной миграции токсичных химических элементов на сурьмяных Восточного Забайкалья обеспечивают достоверную оценку экологической безопасности рентгенорадиометрической сепарации кварц – антимонитовых руд [119].

Для оценки отходов рентгенорадиометрической сепарации к классу опасности для ОПС использован программный расчётный модуль серии «Эколог», разработанный научно-производственной фирмой «Логос», г. Новосибирск совместно с фирмой «Интеграл» г. Санкт-Петербург [78;79;113;119].

Компонентный состав отходов, полученных при проведении опытно-промышленных исследований рентгенорадиометрической сепарации на месторождениях Восточного Забайкалья.

Суммарный индекс опасности отхода РРС для ОПС:

$$K = \sum K_i = K_1 + K_2 + K_3 + K_{\pi} \quad (33)$$

где $K_1 + K_2 + K_3 + K_{\pi}$ показатель степени опасности отдельных компонентов отхода для ОПС

$$K_i = \frac{C_i}{I} = C_i \quad (34)$$

где, C_i – концентрация i – го компонента опасного отхода для ОПС, мг/кг

Результаты химического анализа отходов представлены в таблице 43.

В результате выполненного комплекса исследований, получены конечные результаты расчётным методом показателя степени опасности для отходов – K , таблицы 3.19 - 3.20.

Таблица 3.19. Результаты химического анализа отходов

Компонент	$Sb_{общ}$	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	CaO	NaO	MnO	Fe_2O_3
Содержание в пробе	0,9	42,70	0,71	0,10	0,80	0,20	0,001	6,28
Компонент	$S_{общ}$	Na_2O	K_2O	Zn	Pb	Cu	Ar	As
Содержание в пробе	7,30	0,30	1,90	0,001	0,02	0,001	-	0,02

Таблица 3.20. Данные расчётного метода отнесения отходов к классу опасности для ОПС

Наименование компонента	По пробам отходов PPC		
	Концентрация компонента отхода, C_i , мг/кг	Коэффициент степени опасности компонента отхода, W_i , мг/кг	Показатель степени опасности компонента, K_i
Al_2O_3	710	6372,5	0,2199
SiO_2	42700	100000	0,1641
Sb_2S	900	9488,17	0,408699
SO_3	7300	33113,11	0,578019
K_2O	19900	100000	0,0048
CaO	800	100000	0,2121
TiO_2	100	4677,4	1,321247
MgO	200	2454,7	0,68759
MnO	1	5888,4	0,502853
Fe_2O_3	6280	1000000	0,1314
Na_2O	300	1673,2	0,31241
Cu	1	2454,7	1,466574
Zn	1	2454,7	0,032591
Pb	20	1445,4	1,257534
As	20	1000	1,239508
			$K=8,50$

Таким образом, на основе использования расчётного метода для ОПС установлено:

- доля исходных сурьмяных руд – 4 класс опасности ($10^2 \geq K \geq 10$);
- отходы радиометрического обогащения сурьмяных руд – 5 класс опасности ($K \leq 10$).

3.8. Выводы

1. По результатам экспериментальных исследований установлено, что технологические свойства – контрастность, гранулометрический состав, геолого-минералогические характеристики и текстурно-структурные особенности руды Солонеченского месторождения (с различным содержанием ценного компонента) благоприятны для предварительного концентрирования методом РРС.

2. Исследованием особенностей технологических характеристик сурьмяных руд, определяющих эффективность процесса концентрирования ценного компонента выявлено, что минеральные типы Солонеченского и Нарин-Кундуйского месторождений близки по вещественному составу,

3. Установлена высокая эффективность концентрирования сурьмы из минерального сырья Солонеченского месторождений методом рентгенорадиометрической сепарации. При этом объединённые показатели извлечения сурьмы при пороге разделения, равным 0,3%, имеют следующие значения:

$$\alpha^{\text{Sb}}=2,26\%, \varepsilon^{\text{Sb}}=96,9\%;$$

$$\alpha^{\text{Sb}}=6,8\%, \varepsilon^{\text{Sb}}=97,6\%;$$

$$\alpha^{\text{Sb}}=18,1\%, \varepsilon^{\text{Sb}}=98,45\%;$$

4. Установлены закономерности изменения содержания сурьмы в продуктивной фракции, зависящие от количества ценного компонента в исходной руде и выбора рациональной технологической схемы рудоподготовки.

5. Экспериментально подтверждена эффективность извлечения золота на уровне 70,3% из хвостов РРС крупностью 20 мм кучным выщелачиванием.

6. По результатам экспериментальных исследований можно заключить, что несмотря на принадлежность месторождений к различным геолого-промышленным типам, переработка кварц - антимонитовых руд Восточного Забайкалья на обогатительных фабриках может производиться по принципиально единым технологическим схемам, основанным на применении инновационной рентгенорадиометрической сепарации в голове процесса, позволяющей выделить не менее 30-70% пустой породы.

7. При сравнительной оценке распределения токсичных, потенциально-токсичных элементов в исходных рудах и хвостах обогащения расчётным методом установлено, что выделенные в голове технологического процесса с помощью радиометрической сепарации отходы, содержатся те же вредные вещества, что и в исходном материале. Концентрация токсичных элементов в отходах ниже, чем в исходном сырье, что обусловлено применением РРС для извлечения сурьмы из руд, в результате которой основное количество их переходит в продуктивную фракцию.

8. Установлено, что отходы рентгенорадиометрической сепарации сурьмяных руд Восточного Забайкалья, относятся к 5 классу опасности для ОПС и представляют ценное вторичное сырьё для производства строительных материалов, отвечающих требованиям ГОСТ 8267-93, 8736-9. При наличии в комплексных рудах в качестве попутного компонента – золота (среднее содержание не менее 0,5 г/т), экономически выгодна дальнейшая переработка для доизвлечения благородного металла методом кучного выщелачивания.

ГЛАВА 4. ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ СУРЬМЯНЫХ РУД В ПРОЦЕССЕ РУДОПОДГОТОВКИ

В настоящее время при добыче сурьмяной руды извлекают штучной концентрат селективной выборкой непосредственно в карьере (ручной рудоразборкой). Этот метод отбора не только низкопроизводителен, но и малоэффективен [72], так как визуально определить точное содержание сурьмы в руде невозможно, и в товарную продукцию попадают бедные руды.

В процессе оценки уровня развития техники и технологии извлечения штучного концентрата из сурьмяных руд экспериментально установлено [8;72], что перспективным является радиометрический метод обогащения, где основным фактором разделения является высокая энергия (27 кэВ) характеристического излучения сурьмы (как элемента, так и её основного минерала антимонита) при облучении рентгеновскими лучами. Оценку концентрации сурьмы задавали с помощью метода спектральных отношений, а пороги сепарации устанавливались в процессе предварительных исследований сурьмы (0,25; 0,5; 0,8; 0,9%). В справочной обогатительной литературе [120;133 – 136] отмечается, что технологические схемы целесообразно разрабатывать в нескольких вариантах сопоставления их получаемой прибыли для принятия окончательного решения. Как правило наряду с этим обязательна так же выполняется укрупнённая оценка по результатам технологического испытания руд.

Основные требования, предъявляемые к технологическим схемам: 1. обеспечивать наиболее высокое сквозное извлечение основных ценных компонентов и их минимальные потери с отвальными продуктами; 2. предусмотреть выделение сопутствующих компонентов в самостоятельные виды продукции; 3. решить вопросы извлечения ценных компонентов из сточных вод, оборотных вод и продуктов газоочистки; 4. предусмотреть отдельное складирование некондиционных продуктов обогащения и отходов производства; 5. предусмотреть возможность

использования твёрдых отходов в первую очередь для закладки горных выработок или в качестве стройматериалов в стройиндустрии.

На технологических решениях рудоподготовки отражается наблюдаемая тенденция вовлечения в разработку месторождений руд с уменьшенным содержанием ценных компонентов, а также необходимость комплексного использования минерального сырья и обострение различного рода экологических и экономических проблем.

В последнее время технологические схемы постоянно усложняются, выдвигаются новые подходы к проектно-компоновочным решениям на обогатительных фабриках, предлагаются нестандартные приёмы проектирования и эксплуатации горнорудных предприятий [136]. Очень часто развитие технологические варианты схем, базируется на использовании комбинированных методов переработки на основе сочетания механических, пиро- и гидрометаллургических процессов [128-130;174;181;159;160].

Возможность и результаты сортировки крупнокускового обогащения, как и другие процессы, во многом определяются минеральным составом полезной и породной фаз. Некоторые поверхностные способы радиометрической сепарации – фотометрический, рентгенорадиометрический, люминесцентный – весьма чувствительны к присутствию иных рудных или породообразующих минералов с аналогичными физическими свойствами. Технические приёмы с проникающим излучением либо сочетание методов в одном устройстве способны повысить эффективность разделения. Положительный опыт использования радиометрической сепарации в голове процесса накоплен в урановой промышленности [113].

Сортировка руд в ёмкостях возможна только на основе радиометрической контрольной сортировки. Технологии, включающие радиометрическую контрольную сортировку и радиометрическую сепарацию, целесообразно использовать для рядовой руды. Забалансовые руды в контурах подсчета запасов следует подвергать сортировке, а возможность использования забалансовых руд за промышленным контуром нужно проверить дополнительно.

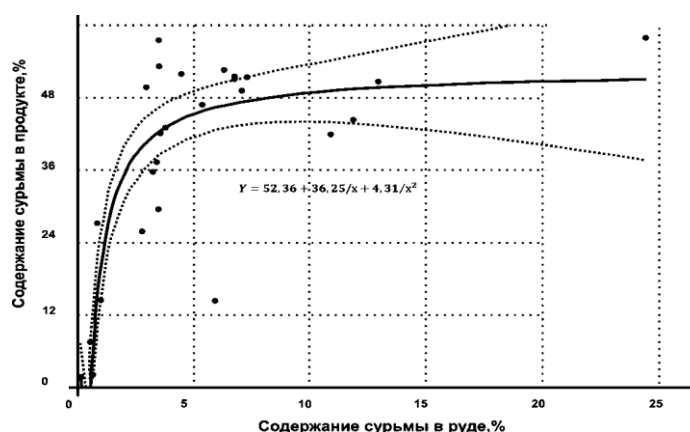
Как и вся технология предварительного обогащения, рентгенорадиометрическая сепарация считается высокоэффективной при относительном выходе отвальных хвостов 15-50%. Показатели этой технологии во многом зависят от выхода несортируемого класса -20+0 мм, который является основной помехой эффективного применения этого метода. В целом возможности технологии определяются не столько работой выбранного оборудования рудосортировочного комплекса, сколько естественными природными свойствами обогащаемой руды, к которым относятся: исходный состав руд и полезного ископаемого; контрастность руды (чем больше различий в содержании ценных компонентов в кусковом материале, тем легче она сортируется); прочность, которая влияет на гранулометрический состав руды при дроблении до необходимых машинных классов; структурно-текстурные особенности, определяющие характер вкрапленности ценных минералов (крупно-, мелковкрапленные, штуфные и проч.), количество сростков, распределение рудных минералов в кусковом материале; состояние поверхности кускового материала (чем больше глины, загрязняющих примазок, тем труднее очистить поверхность кускового материала при дроблении и грохочении, тем хуже руда выпускается из бункеров, а при высокой глинистости необходима отмывка руды); кусковатость, в том числе форма кусков (плоская, кубическая и др.); плотность породной и рудной части.

4.1. Оценка влияния содержания ценного компонента в сурьмяных рудах Восточного Забайкалья на технологические показатели концентрирования в продуктах обогащения

Концентрирование полезного компонента состоит из двух, решающих разные задачи групп операций: 1) дезинтеграции минерального вещества на фазы с разным содержанием полезного компонента; 2) разделения минеральных фаз на основе различия физических свойств и химического состава, которое можно усиливать с помощью химических реагентов, разного вида излучений, силовых полей и т.д. [40].

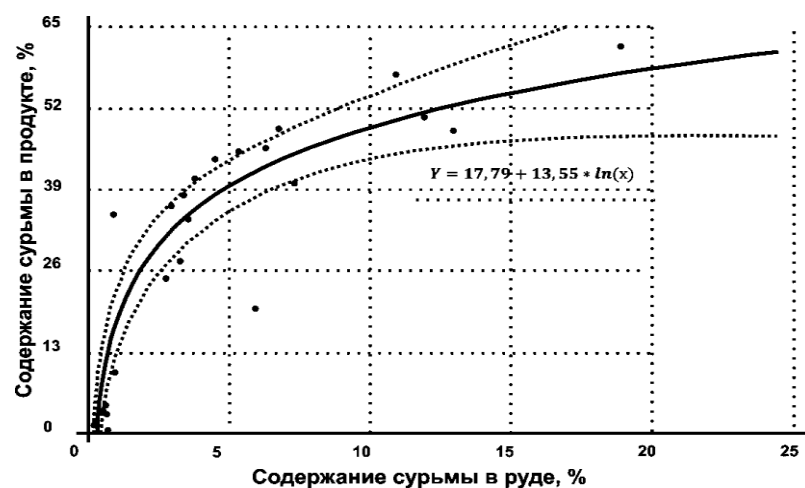
Проанализированы технологические показатели переработки сурьмяных руд Забайкалья, полученные при исследовании минерального сырья на обогатимость. [86]. Для управления качеством минерального сырья различных типов и сортов сурьмяных руд технологическое концентрирование полезного компонента используют различные математические модели [7;24]. В ЗабНИИ провели математическую обработку экспериментальных данных сурьмяных руд применительно к рудам Жипкошинского месторождения [142]. В последующем накопленные данные использованы в диссертации Тюменцева Ю.А. [148] и монографии Павленко Ю.В., Полякова О.А. [86].

Результаты математической обработки данных при концентрации сурьмы в объединенных гравитационно-флотационных продуктах свидетельствуют, что качество суммарного концентрата зависит от содержания металла в бедных рудах (Sb до 3%) (рисунок 4.1.). Аналогичная зависимость, но несколько в меньшей степени характерна для гравитационного концентрата (рисунок 4.2.). Зависимость извлечения Sb в гравитационный концентрат от её содержания в исходной руде представлена на рисунке 4.3).



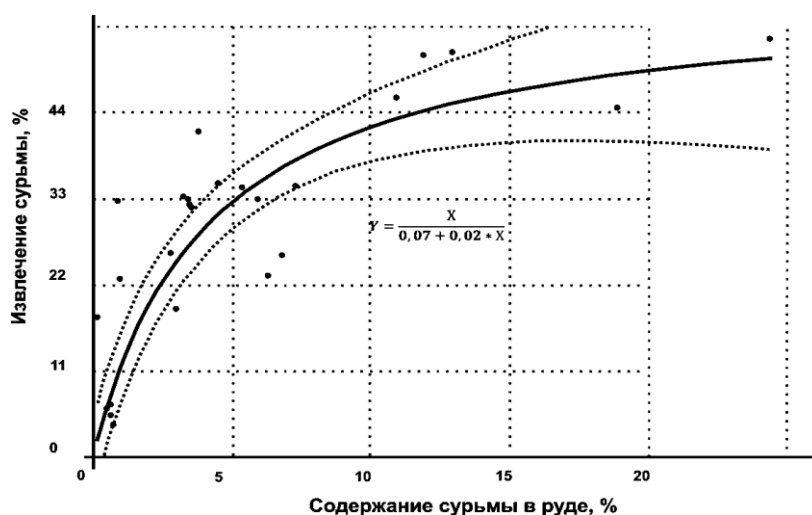
коэффициент корреляции $r = 0,86$; погрешность аппроксимации $\pm G = 9,82$
 доверительные границы по Стьюденту с вероятностью $P = 0.95$

Рисунок 4.1. Зависимость концентрации сурьмы в объединенных продуктах гравитации и флотации от её содержания в руде



коэффициент корреляции $r = 0,87$; погрешность аппроксимации $\pm G = 10,02$
 доверительные границы по Стьюденту с вероятностью $P = 0.95$

Рисунок 4.2. Зависимость изменения концентрации сурьмы в продуктах гравитации от её содержания в исходной руде



коэффициент корреляции $r = 0,92$; погрешность аппроксимации $\pm G = 8,54$
 доверительные границы по Стьюденту с вероятностью $P = 0.95$

Рисунок 4.3. Зависимость извлечения сурьмы в гравитационный концентрат от ее содержания в исходной руде

Согласно полученным кривым все они выражаются дробно-степенно-показательными функциями.

$$Y_{\beta_{Sb}} = A \cdot \alpha^b e^{-c\alpha}, \quad (35)$$

где $Y_{\beta_{Sb}}$ – частность распределения содержания сурьмы в продуктивной фракции, %; α – дискретное значение содержания металла, %; A – постоянный коэффициент; b, c – показатели степени переменного X .

Объединенный концентрат марки КСУФ-4 с Sb 30% возможно получать при содержании Sb в руде 1,5%, а концентрат марки КСУФ-3 с Sb 40% при 3%. При содержании же сурьмы в руде более 7-8% появляется большая вероятность получить концентрат марки КСУФ-2. Гравитационный концентрат с Sb 30% можно получать при содержании Sb в руде около 4% с извлечением металла 28-30%. При содержании Sb 7-8% и более гарантируется выход концентратов более высокого качества с извлечением Sb 38-49% и выше. Однако при использовании комбинированной гравитационно-флотационной технологии переработки сурьмяных руд полнота извлечения ценного не превышает 50%, что технологически явно недостаточно.

4.2. Математическая обработка экспериментальных данных

Обобщением лабораторных экспериментальных данных, представленных в главе 3, и полученных в ходе полупромышленных испытаний (глава 1 Приложения Д, Ж, И, К, Л и глава 4), с использованием законов логарифмического распределения среднего содержания сурьмы при учёте контрастности сурьмяных руд, получили обобщающую экспоненциально – степенную функцию, характеризующую распределение сурьмы в продуктивную фракцию от содержания в исходной руде

$$\frac{100}{\beta} = e^{m\alpha^n}, \quad (36)$$

где β – содержание сурьмы в продуктивной фракции, %; α_p – содержание сурьмы в исходной руде, %; m и n – значения коэффициентов, определяемые особенностями разновидности технологического типа сурьмяного оруденения.

Зависимость извлечения сурьмы в продуктивную фракцию от содержания её в исходной руде показана на рисунках 4.4 – 4.5.

Значения коэффициентов m и n зависят от контрастности определяемых типов и руд. Определение коэффициентов m и n осуществляется графическим методом. Графики строятся на логарифмической сетке и двойной логарифмической сетке. По оси ординат откладываются значения $lg (lg \beta)$ – содержание ценного компонента в продуктивной фракции или $lg (lg \varepsilon)$ – извлечение ценного компонента, по оси абсцисс $lg \alpha$ – содержание ценного компонента в исходной руде. Коэффициент n соответствует углу наклона кривой. Увеличение угла наклона кривой соответствует увеличению содержания ценного компонента в продуктивной фракции.

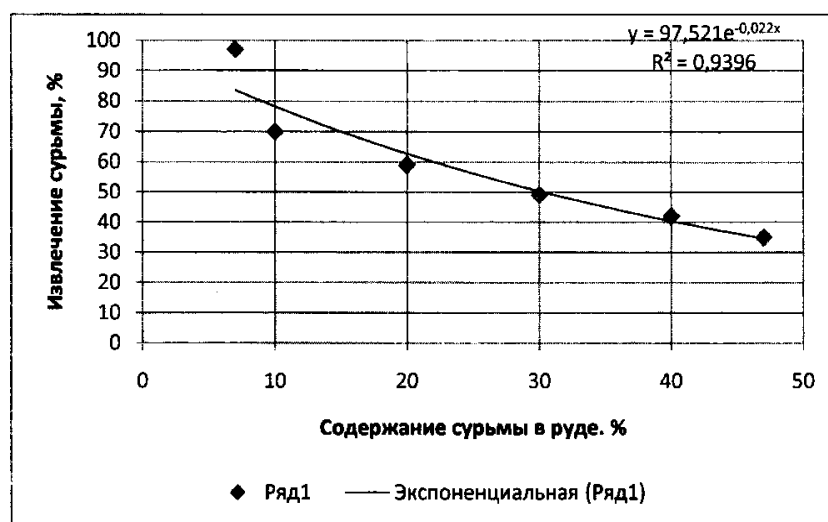


Рисунок 4.4. Зависимость извлечения сурьмы в продуктивную фракцию от содержания сурьмы в руде

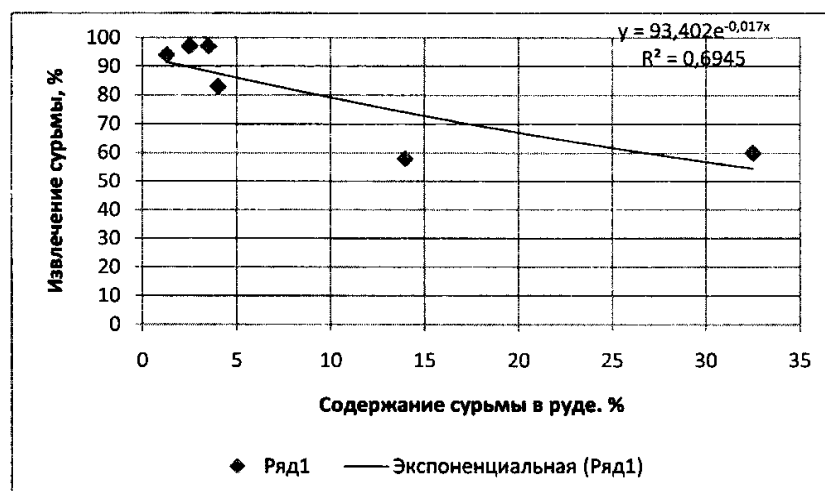


Рисунок 4.5. Зависимость извлечения сурьмы в продуктивную фракцию от содержания сурьмы в руде

При этом полнота перевода сурьмы в продуктивную фракцию подчиняется логарифмической или степенной зависимости. Значение коэффициента составляет 0,9.

При проведении экспериментов установлено, что с повышением содержания сурьмы в исходной руде, извлечение ценного компонента в продуктивную фракцию описывается экспоненциальной функцией, значение R^2 достигает 0,9. Сравнительная оценка различных функций с целью использования их при установлении извлечения сурьмы в продуктивную фракцию от содержания сурьмы в руде – логарифмическая, полиноминая и степенная зависимости представлены на рисунках 4.6 - 4.9. Путём использования двойной логарифмической сетки (рисунок 4.10) представляется возможным определить угол наклона прямой, характеризующей особенность различных типов сурьмяных руд по контрастности. Кривая 1 – легкообогатимые руды, 2 – обогатимые антимонитовые золотосодержащие руды.

Для антимонитовых золотосодержащих руд (образованных при наложении антимонитового оруденения на золотосодержащие), имеющие отдельные участки окисленных и сульфидных минералов этот угол может составлять 18° , т.е. извлечение ценного компонента в продуктивную фракцию будет снижаться на 8-16%. Эти данные подтверждают результаты снижения уровня извлечения для средне- и труднообогатимого сырья, полученные при системной оценке сурьмяных руд в девяностых годах прошлого столетия [144].

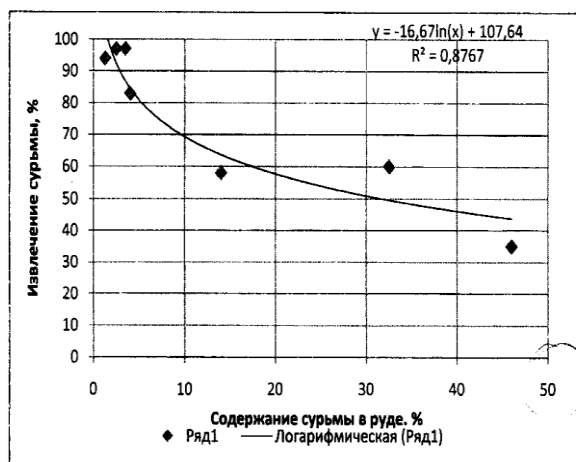


Рисунок 4.6 Зависимость извлечения сурьмы в продуктивную фракцию от содержания сурьмы в руде (логарифмическая зависимости)

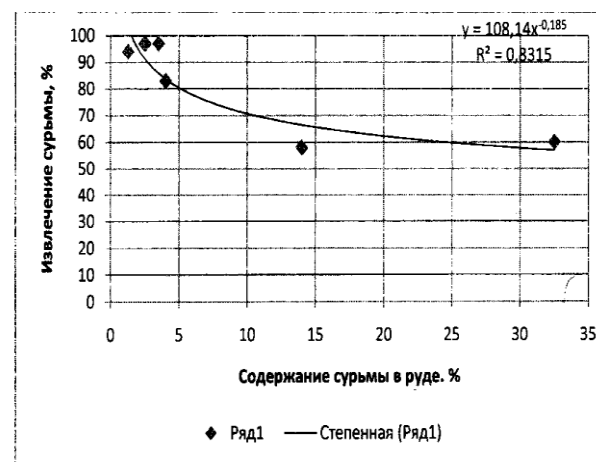


Рисунок 4.7. Зависимость извлечения сурьмы в продуктивную фракцию от содержания сурьмы в руде (степенная зависимости)

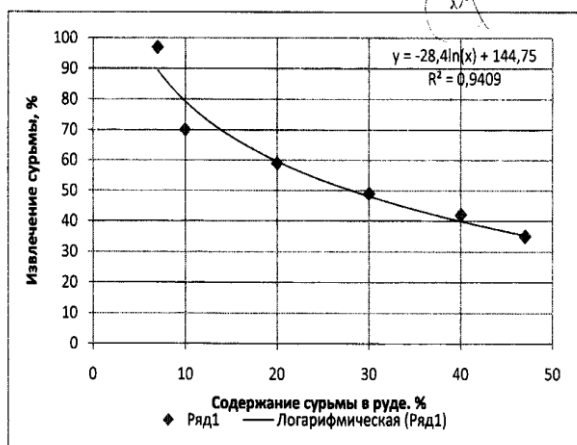


Рисунок 4.8. Зависимость извлечения сурьмы в продуктивную фракцию от содержания сурьмы в руде (логарифмическая зависимости)

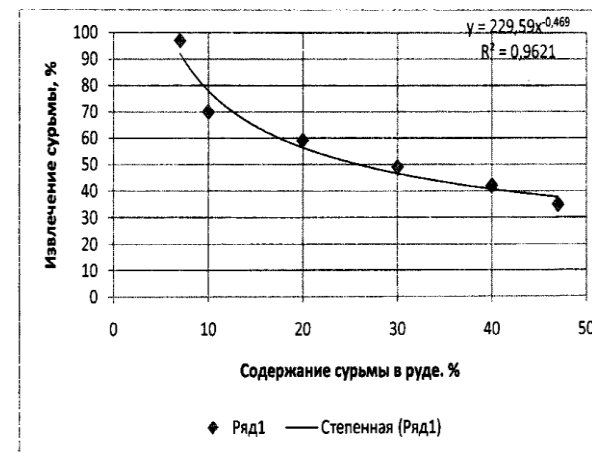


Рисунок 4.9. Зависимость извлечения сурьмы в продуктивную фракцию от содержания сурьмы в руде (степенная зависимости)

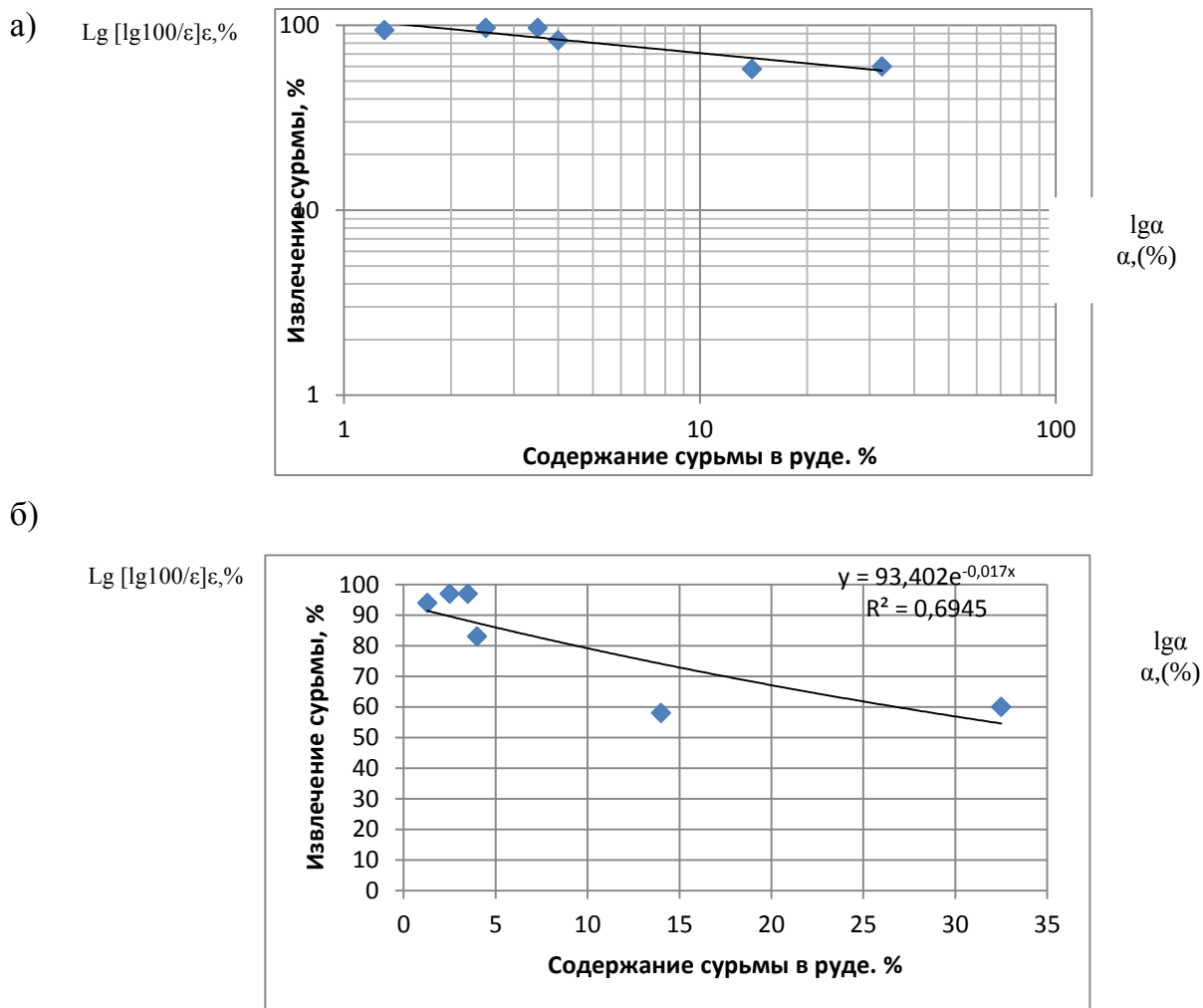


Рисунок 12. Зависимость извлечения сурьмы в продуктивную фракцию от содержания сурьмы в руде: а) - для легкообогащаемых руд; б) - для обогащаемых руд

Выполненный укрупнённый анализ полученных выборок показал, что использование технологии РРС для рудного материала крупностью $-150 + 20$ мм становится эффективным при содержании сурьмы в исходной руде от десятых долей процента до 50%. При этом технически представляется возможным вывести в отвал до 70% исходной практически пустой породы с содержанием сурьмы в хвостах 0,1%. Причём, при двухстадиальной радиометрической сепарации становится возможным получить из руд среднего и высокого качества кондиционный штучный концентрат.

В производственных условиях реальные показатели предварительного обогащения будут колебаться в широких пределах в зависимости от исходного содержания Sb в руде, состояния руды, правильности эксплуатации сепарато-

ров и пр. По результатам выполненных испытаний установлено, что при содержании сурьмы в руде 1,05 - 3,64%, её содержание в продуктивной фракции составляет 4,1-18,8% и характеризуется довольно высоким извлечением металла в концентраты РРС (95-99%). Положительный результат позволяет заключить, что при низких содержаниях Sb технология РРС решает главную задачу - выделение отвальных хвостов с содержанием Sb 0,043 - 0,2 % с выходом крупнокускового материала в пределах 62 – 85%. Этим самым доказывает её высокую эффективность.

Предлагаемые автором технологические схемы РРС для руд с различным содержанием сурьмы, отличается гибкостью, возможностью управления качеством получаемых товарных руд в зависимости от текущих рыночных потребностей, оперативным реагированием на качество добываемых руд. Для концентрирования ценных компонентов при рудоподготовке богатых руд достаточно иметь одну стадию сепарации. При рудоподготовке рядовых и бедных руд необходимо иметь две стадии. В переработку могут вовлекаться не только бедные, но и забалансовые руды.

При этом наиболее эффективно обогащаются рядовые руды (Sb 7-15%), обладающие контрастными технологическими свойствами, из которых выделяется штуфной концентрат. Основные достигаемые показатели – содержание Sb до 51%, выход продукта порядка 16%, извлечении Sb достигает 60%.

Из сурьмяных руд Восточного Забайкалья, различаемых по качеству исходного сырья, за две стадии выделяются три продукта: сконцентрированная наиболее богатая продуктивная фракция (концентрат), промпродукт и хвосты.

На 1-й стадии выделяются хвосты и промпродукт. Последний по мере накопления в рудоподготовке повторно пропускается через РРС (2-я стадия) для получения продукта (Sb 25-30%) и концентрата (Sb 45-50%). Промпродукт 2-й стадии с содержанием Sb около 30% может являться самостоятельной товарной рудой. Несортируемый класс - 20+0 мм (первичный и вторичный) представляет отдельный продукт, который подшихтовывается к обогащенным продуктам.

Результатами исследований доказано, а математической обработкой экспериментальных данных подтверждено, что в процессах рудоподготовки РРС является наиболее эффективным методом обогащения сурьмяных руд. Для бедных и части рядовых руд метод РРС используется для предварительной концентрации минерального сырья, а для большей части рядовых и богатых руд – как основной, обеспечивающий получение кондиционной продукции. Высокая эффективность переработки низкокачественных руд предполагает целесообразность более полного использования бедных и забалансовых руд путем снижения бортового содержания сурьмы, что упрощает дальнейшую подготовку месторождения к эксплуатации, расширяет возможность применения открытого способа отработки запасов; возможности метода по концентрированию полезного компонента требуют расширения перечня марок штуфных сурьмяных концентратов.

Таким образом, разработанная на основе экспериментальных данных информационная система позволяет выдавать рекомендации по управлению технологическим процессом с целью получения наилучших результатов концентрирования ценного компонента различных типов сурьмяных руд.

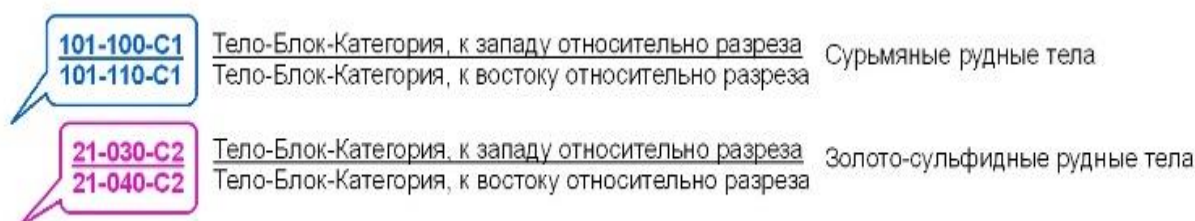
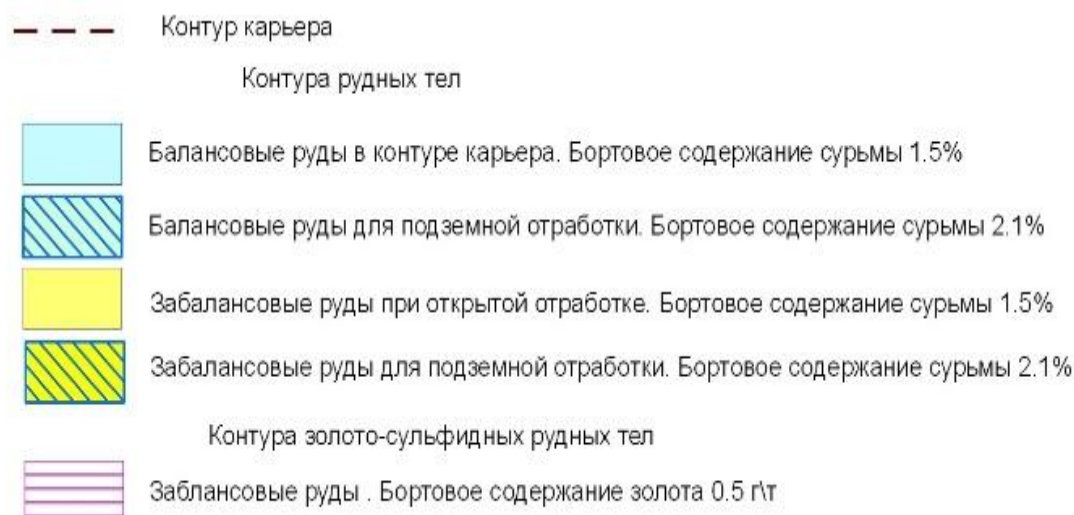
4.3. Классифицирование сурьмяных руд Восточного Забайкалья по сортам и выбор рационального варианта переработки минерального сырья

Для подсчета запасов руды и сурьмы Солонеченского месторождения рекомендованы кондиции: для открытой разработки: бортовое содержание сурьмы в пробе для оконтуривания рудного тела по мощности 1,5%; минимальная мощность рудного тела 3 м, при меньшей мощности, но высоком содержании сурьмы, пользоваться метропроцентом не ниже 4,5; максимальная мощность пустых прослоев и некондиционных руд, включаемых в подсчет запасов, 3м. В соответствии с ТЭО постоянных кондиций подсчитаны запасы Солонеченского месторождения (таблица 4.1) [86].

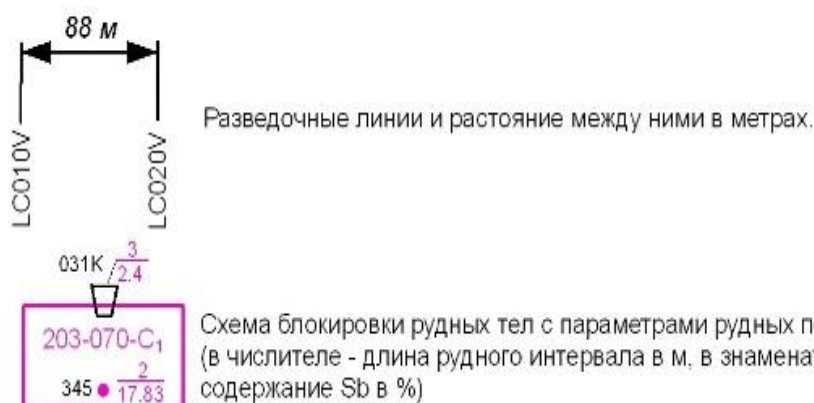
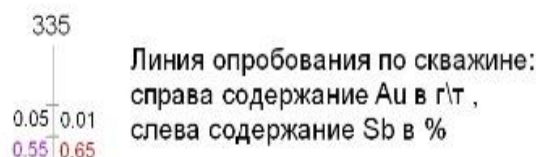
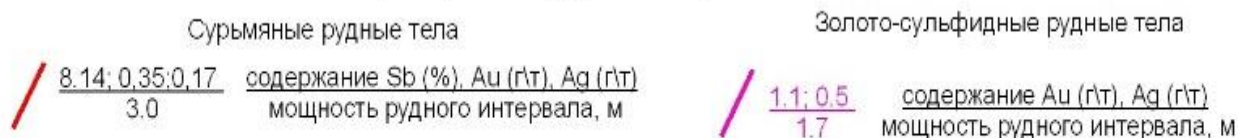
Схемы блокировки рудных тел представлены на рисунках 4.11-4.14.

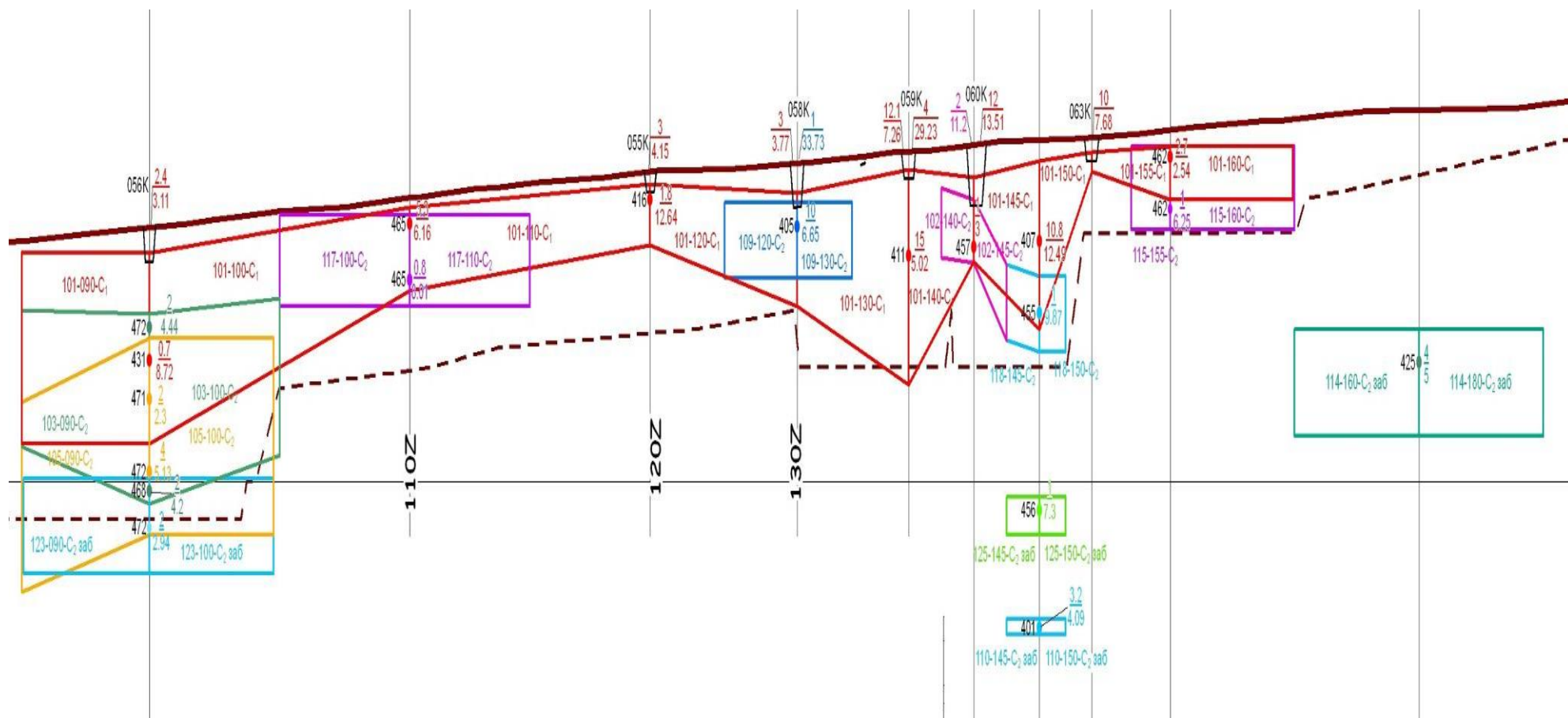
Таблица 4.1 Запасы Солонеченского месторождения по состоянию на 1.10.2009г

Участок	Запасы руды, тыс. т	Содержание сурьмы, %	Запасы сурьмы, тыс. т
Балансовые запасы для открытых работ			
1	2	3	4
Западный, C ₁ +C ₂	126,01	6,89	8,68
В т. ч.: кат. C ₁	76,18	8,13	6,19
кат. C ₂	49,83	5,00	2,49
Восточный, C ₁ +C ₂	133,22	13,92	18,54
В т. ч.: кат. C ₁	124,80	13,41	16,74
кат. C ₂	8,42	21,38	1,80
ИТОГО: балансовых для открытых работ	259,23	10,50	27,22
В т. ч.: кат. C ₁	200,98	11,41	22,93
кат. C ₂	58,25	7,36	4,29
Балансовые запасы для подземной отработки			
Центральный, C ₁ +C ₂	183,87	11,31	20,80
В том числе: кат. C ₁	167,40	11,10	18,58
кат. C ₂	16,47	13,48	2,22
Восточный, кат. C ₁	142,20	10,57	15,03
ИТОГО балансовых для подземной отработки	326,07	10,99	35,83
В том числе: кат. C ₁	309,6	10,86	33,61
кат. C ₂	16,47	13,48	2,22
Забалансовые запасы			
Западный, кат. C ₂	59,60	5,08	3,03
Центральный, C ₁ +C ₂	38,66	4,45	1,72
В том числе: кат. C ₁	17,27	5,44	0,94
кат. C ₂	21,39	3,90	0,78
Всего по месторождению			
Балансовые C ₁ +C ₂	585,30	10,77	63,05
В т. ч.: кат. C ₁	510,58	11,07	56,54
кат. C ₂	74,72	8,71	6,51
Забалансовые, кат. C ₁ +C ₂	98,26	4,83	4,75
В том числе: кат. C ₁	79,87	4,97	3,97
кат. C ₂	21,39	3,90	0,78



Характеристика рудного интервала по скважине:





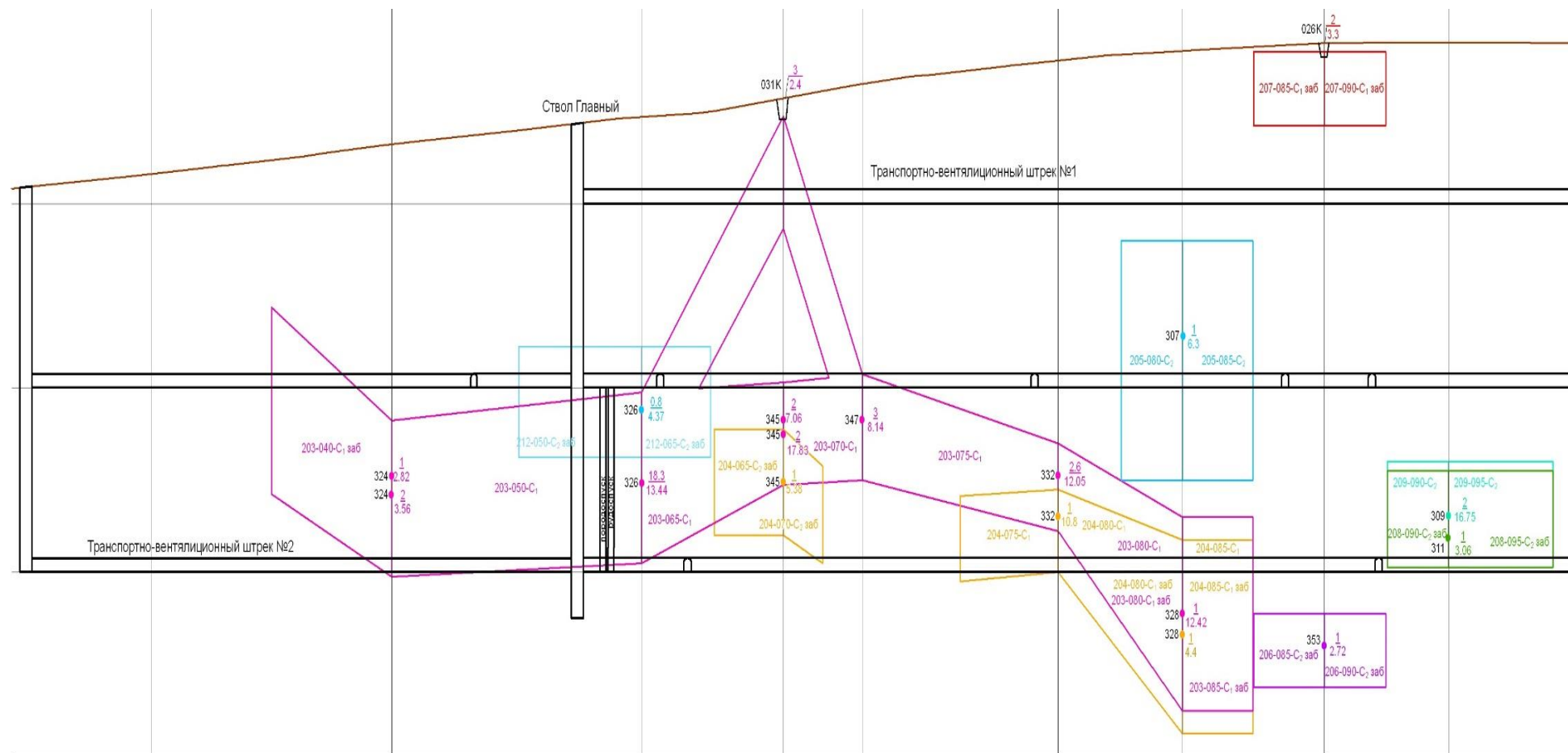


Рисунок 4.13. Схема блокировки рудных тел месторождения Солонеченское по бортовому содержанию Sb 2,1 % (Участок Центральный)

Схемы блокировки рудных тел с различным бортовым содержанием сурьмы позволяют сделать вывод, что по прямым структурно-литологическим и минералогическим признакам (состав вмещающих пород, минеральная форма полезного компонента, структурно-текстурные особенности и пр.) на Солонеченском месторождении намечается один технологический тип и три природных сорта (разновидности) руд: 1 сорт – богатые антимонит-кварцевые руды, пригодные для радиометрической сепарации с получением штуфного концентрата с содержанием сурьмы 16-30% и более (преимущественно руды Восточного участка), которые составляют около 25% всех запасов; 2 сорт – рядовые прожилково-вкрапленные руды в джасперидах с содержанием сурьмы 4-15%, развиты на всех участках; 3 сорт – бедные прожилково-вкрапленные руды в джасперидах с содержанием сурьмы 1.5- 3%, развиты на всех участках [86].

Определив прогнозную контрастность руды в недрах, получаем из данных первичного геологического опробования технологическую информацию, и на её основе устанавливаем фракционный и сортовой составы руд в недрах, корреляционные связи содержаний сурьмы и сопутствующего элемента золота, а также перспективность и возможные показатели сортировки, покусковой сепарации.

В зависимости от детальности разведки общая картина контрастности месторождения, участков, блоков даёт представление о перспективах радиометрических методов, о возможной неравномерности оруденения, рациональной степени раскрытия руд, природных сортах и разновидностях. Разделение сурьмяных руд на сорта и на литологические типы существенно изменяет минеральный состав и технологические свойства образовавшихся продуктов.

Разработка способов количественной оценки вклада составляющей природной неравномерности в степень раскрытия руды, подаваемой на технологический передел, предполагает обобщение, математическую обработку геологических данных и сопоставление их с результатами экспериментального определения степени раскрытия минералов на разных стадиях дезинтеграции. В отличие от геологических работ степень неравномерности оруденения при технологическом анализе характеризуется степенью статистического фазового раскрытия L (формула

2), которая функционально связана с известным показателем контрастности M (формула 3), и с обычными технологическими параметрами [47], которые определяются с помощью кривых контрастности для сурьмяной руды, заданной формулой

$$M = 2 \frac{(\alpha - \theta)\gamma_x}{\alpha} = 2 \frac{(\beta - \theta)\gamma_k}{\alpha} = 2(k_0 - 1)\gamma \quad (37)$$

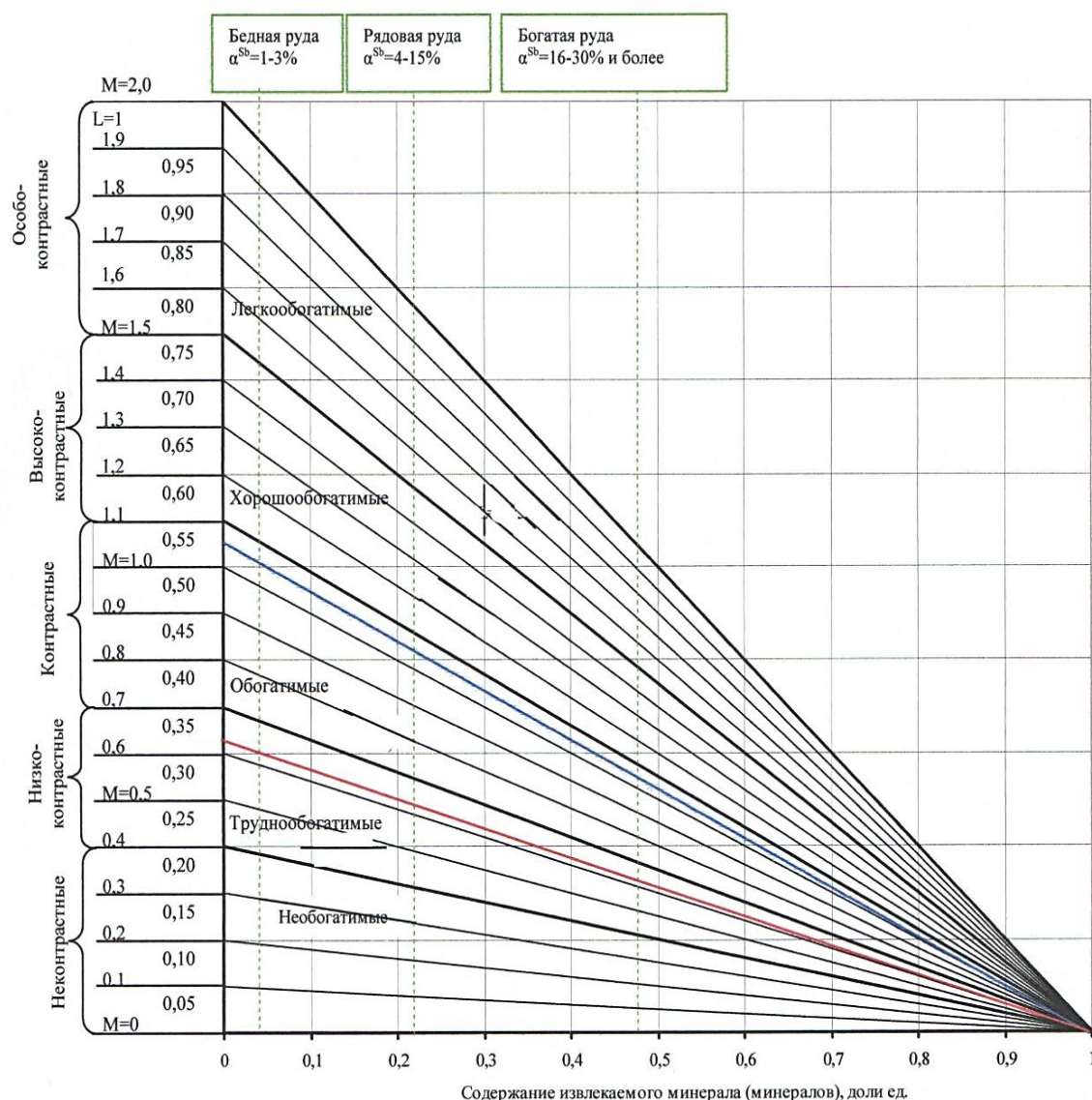
где α_m – средняя массовая доля минералов сурьмы в выборке, доли ед.; L – степень статистического фазового раскрытия, доли ед.; α – среднее содержание сурьмы в выборке, %; γ_x γ_k – выход хвостов или концентрата при граничном содержании $\lambda_m = \alpha$, доли ед.; θ , β – среднее содержание сурьмы в хвостах или концентрате, %; k_0 – коэффициент обогащения концентрата, %.

Номограмма для классификации крупнокусовых фракций полезных ископаемых по теоретической обогатимости в зависимости от содержания извлекаемых минералов (α_m), степени раскрытия (L) и показателя контрастности (M) В.А. Мокроусова и Л.Ч. Пухальского построена для руд $\alpha_m \rightarrow 0$ (руды урана, редких, благородных металлов, алмазов) считая, что $M=2L$. Однако содержание сурьмы в рудах Восточного Забайкалья колеблется в широких пределах от единицы до 30% и более, поэтому построение номограммы сурьмяных руд осуществлялось с использованием формул 2;3;37.

Используя принцип методики построения номограмм для классификации крупнокусовых фракций полезных ископаемых по обогатимости В.А. Мокроусова [72;73], автор представил номограмму классификации комплексных сурьмяных руд Восточного Забайкалья по ряду показателей: контрастности, степени статистического фазового раскрытия минералов сурьмы, обогатимости, сортам.

В зависимости от содержания сурьмы в исходном сырье (от 0 до 1) по данным геологического опробования и экспериментальным данным, бортового содержания сурьмы в пробе для оконтуривания рудного тела, контрастности (от 0 до 2) и статистического фазового раскрытия (от 0 до 1) руды расклассифицированы по следующим признакам (рисунок 4.15): по контрастности:– неконтрастные, низкоконтрастные, контрастные, высококонтрастные, особоконтрастные; по обо-

гатимости – необогащаемые, труднообогащаемые, обогащаемые, хорошообогащаемые, легкообогащаемые; по сортам – богатые (первый), рядовые (второй), бедные (третий).



— Нарин-Кундуйское месторождение;

— Солонеченское месторождение.

Рисунок 4.15. Номограмма для классификации комплексных сурьмяных руд Восточного Забайкалья по ряду признаков

Исходя из комплексного анализа признаков классификации, можно сделать вывод, что руды Солонеченского и Нарин-Кундуйского месторождений со значе-

ниями $M = 0,63-0,82$; $L = 0,32 - 0,53$ относятся к контрастным, обогатимым и представлены тремя промышленными сортами.

По данным номограммы следует, что предельное значение M для руд, содержащих 50% полезного минерала (антимонита с $\alpha_m=0,5$), даже при полном раскрытии не может превысить 1. Величина L изменяется от нуля (все элементарные объемы одинаковы) до единицы (полезные минералы и порода раскрыты и находятся в разных элементарных объемах).

Чем выше L , тем эффективнее возможное разделение руды на сорта и породу. Повышение M при этом увеличивает коэффициент обогащения высшего сорта.

При матричном ранжировании сурьмяных руд в соответствии с данными сигналов рентгенорадиометрического стенда, геологические пробы Солонеченского и Нарин-Кундуйского месторождений приблизительно с одинаковым содержанием сурьмы разделены на три сорта руды: богатые, рядовые и бедные (таблица 4.2).

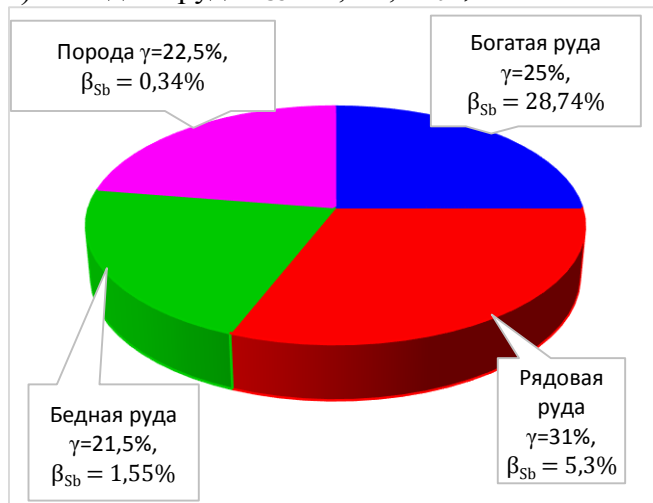
Таблица 4.2. Теоретически возможные показатели разделения сортов руд

Показатель	Значение показателя по продуктам разделения для прогнозных сортов руд				
	богатая руда	рядовая руда	бедная руда	порода	исходная руда
Солонеченское месторождение					
Выход, %	25,0	31,0	21,5	22,5	100
Содержание Sb, %	28,74	5,3	1,55	0,34	10,10
Извлечение, %	71,15	16,34	11,76	0,75	100
Коэффициент обогащения	2,85	0,64	0,15	0,03	
Нарин-Кундуйское месторождение					
Выход, %	20,0	26,0	24,0	30,0	100
Содержание Sb, %	35,1	11,2	1,9	0,4	10,5
Извлечение, %	66,86	27,7	4,3	1,1	100
Коэффициент обогащения	3,34	1,07	0,18	0,044	

Примечание: Содержание золота во всех типах руд в среднем составляет 1-2 г/т

На рисунках 4.16 и 4.17 показаны результаты разделения сурьмяных руд Солонеченского и Нарин-Кундуйского месторождений на промышленные сорта по выходам продуктов и извлечению ценного компонента.

а) Исходная руда $\alpha_{Sb}=10,1\%$, $\alpha_{Au}0,5-2$ г/т



б) Исходная руда $\alpha_{Sb}=10,5\%$, $\alpha_{Au}0,5-2$ г/т



Рисунок 4.16. Результаты разделения сурьмяной руды Солонеченского (а) и Нарин-Кундуйского (б) месторождений на промышленные сорта по выходам продуктов

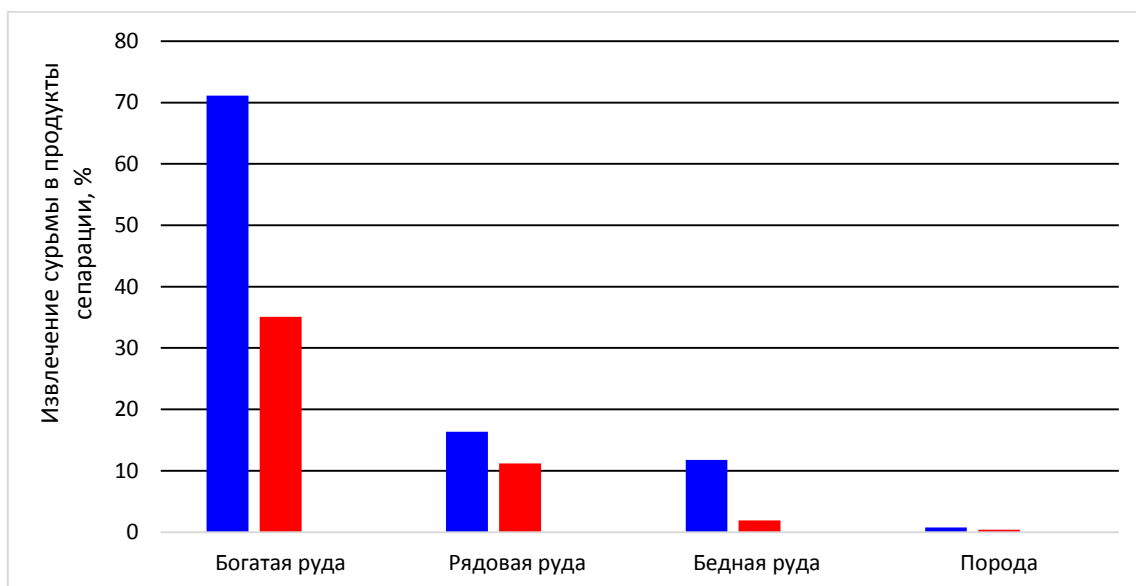


Рисунок 4.17. Результаты разделения сурьмяной руды Солонеченского (■) и Нарин-Кундуйского (■) месторождений на промышленные сорта по извлечению ценного компонента

Из исходной руды выделяется 22,5% и 30,0% породы, а также 25,0% и 30,0% штуфного концентрата марки КСУФ - 4, соответственно по Солонеченскому и Нарин-Кундуйскому месторождений, который минуя процесс рудоподготовки и обогащения направляется непосредственно на металлургический передел.

Получаем отвальные хвосты РРС, удовлетворяющие требованиям к использованию в стройиндустрии. Например, в качестве щебня. При наличии в хвостах экономически выгодного содержания золота, их направляют на дальнейшее доизвлечение благородного металла методом кучного выщелачивания. Этим самым решая вопрос комплексного использования сырья.

Это даёт возможность дифференцированно перерабатывать комплексное минеральное сырьё. В рудах с высокой массовой долей сурьмы весьма высока вероятность получения готовых продуктов (штуфных кусковых концентратов) на стадии сортировки и крупнокусковой сепарации. Рядовые руды представляют собой природный промпродукт, нуждающийся в обогатительных и других методах доводки. Отсюда вытекает и новая стратегия рациональной технологии, а именно руду надо разделять на сорта не после измельчения, а ещё в недрах - при добыче и дроблении. Данное направление несколько усложняет технологические схемы и предопределяет более сложные технологии доводки промпродуктов (основных носителей извлечения сурьмы) и попутного компонента (золота). Такой же подход необходим при переоценке объектов, ранее разведанных, но не принятых к освоению.

Разделение комплексных сурьмяных руд на сорта позволяет существенно повысить эффективность всего передела. Сорта, как показывают испытания и опыт предприятий, характеризуются существенно большей равномерностью основного компонента и минерального состава, чем исходная горная масса. В простейшем случае предварительное обогащение обеспечивает удаление породы и разубоживающей горной массы ещё до стадии мелкого дробления. В отличие от принятых операций усреднения и шихтовки руды предварительное обогащение использует ту часть работы по разделению минералов, которую совершила сама природа. Появляется возможность выбора оптимальной технологии обогащения или другого способа для переработки каждого сорта или типа руды (рисунок 4.18). При этом забалансовая сурьмяная руда, содержащая сурьму ниже минимально промышленного содержания, направляется на склад и рассматривается, как объект освоения в будущем.

Методология построения эффективных технологических схем рудоподготовки кварц-антимонитовых руд разных сортов для получения продуктов заданного качества по гранулометрическому и вещественному составу базируется на использовании комплекса процессов дробления, грохочения, предконцентрации с целью максимального выделения сконцентрированного ценного компонента в «голове процесса» переработки с последующим доизвлечением золота из хвостов радиометрической сепарации кучным выщелачиванием при условии получения достаточного экономического эффекта.

Возможности автоматических методов сокращения объёмов перерабатываемого сырья и улучшения его качества создают предпосылки для разработки высокоэффективных технологий, сочетающих покусковую сепарацию с традиционными способами обогащения (прежде всего, гравитационными и флотационными). А комбинированию процессов покусковой сепарации с кучным выщелачиванием золота благоприятствуют следующие объективные предпосылки. В то время как сепарации подвергаются классы крупнее 25 мм, для кучного выщелачивания необходима крупность менее 25 мм, что заметно снижает затраты на рудоподготовительные операции перед кучным выщелачиванием. Кроме того, при сепарации бедных руд в отвал выделяется до 50 % пустой породы, и вследствие уменьшения объёма перерабатываемой руды снижаются затраты на кучное выщелачивание и повышается концентрация золота в продуктивных растворах.

Для комплексного использования сырья после радиометрической рудоподготовки экономически целесообразно применять кучное выщелачивание золота из хвостов рентгенорадиометрической сепарации [110;87;127-132].

При этом с различным качеством сырья в разных классах крупности сепарацию машинных классов -150 +50 мм и -50 +20 мм необходимо производить раздельно и в разных аппаратах.

Крупность продуктов и условия процессов дробления и измельчения при рудоподготовке определяются требуемой полнотой отделения (раскрытия) извлекаемых минералов с учётом применения двух преобладающих последующих ме-

тодов обогащения сурьмяных руд - флотации и гравитации, а также комбинаций на их основе.

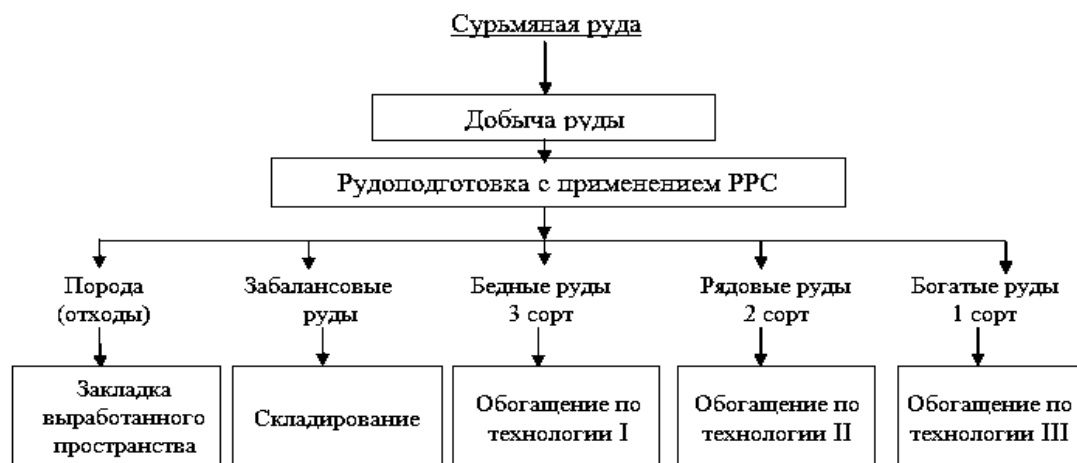


Рисунок 4.18. Классификация сурьмяных руд на промышленные сорта

При этом нужно обязательно учитывать, что каждый тип руды имеет свою экономически выгодную степень дробления. По данным практики установлено, что чем выше содержание сурьмы в руде и крупнее вкраплённость извлекаемых минералов, тем желательней более полное раскрытие сростков. Механизм селективного разрушения руд определяется не только состоянием границ минералов и соотношением упругих и прочностных свойств раскрываемых минералов и вмещающих пород, но также существенно зависит от вида деформаций и нагрузок, прикладываемой к руде в различных стадиях её разупрочнения [93].

Концентрирование ценного компонента-сурьмы и попутное извлечение золота осуществляется дифференцированно для каждого сорта по следующим технологическим схемам: 1) из бедной сурьмяной руды предусматривается одностадийная сепарация с получением промпродукта и хвостов РРС (рисунке 4.19). При наличии золота в руде, хвосты РРС направляются на КВ;

2) из рядовой и богатой руды предусматривается получение трёх продуктов РРС за две стадии сортировки: концентрат, промпродукт, хвосты (рисунки 4.20 - 4.21), при этом двухстадийная сепарация является плавной и органичной трансформацией одностадийной работы дробильно-сортировочной установки (ДСУ) с РРС, при которой из процесса переработки исключаются агрегаты дробления.

Приём руды, дробление, грохочение, подача руды на РРС, образование и утилизация подрешетного продукта класса $-20+0$ мм могут осуществляться на открытой площадке. Оптимально разметить десять сепараторов для богатой и бедной руды в отдельном корпусе РРС и расположить в нём также вспомогательные помещения, приемные бункеры сепараторов, конвейеры отвода продуктов сортировки. Отопление в отделении сепараторов может не предусматриваться, так как за счет собственной автоматизированной системы обогрева они выдерживают температуру до минус 30 - 40.



Рисунок 4.19 Принципиальная схема переработки бедных сурьмяных руд
(3 сорт, технология I)

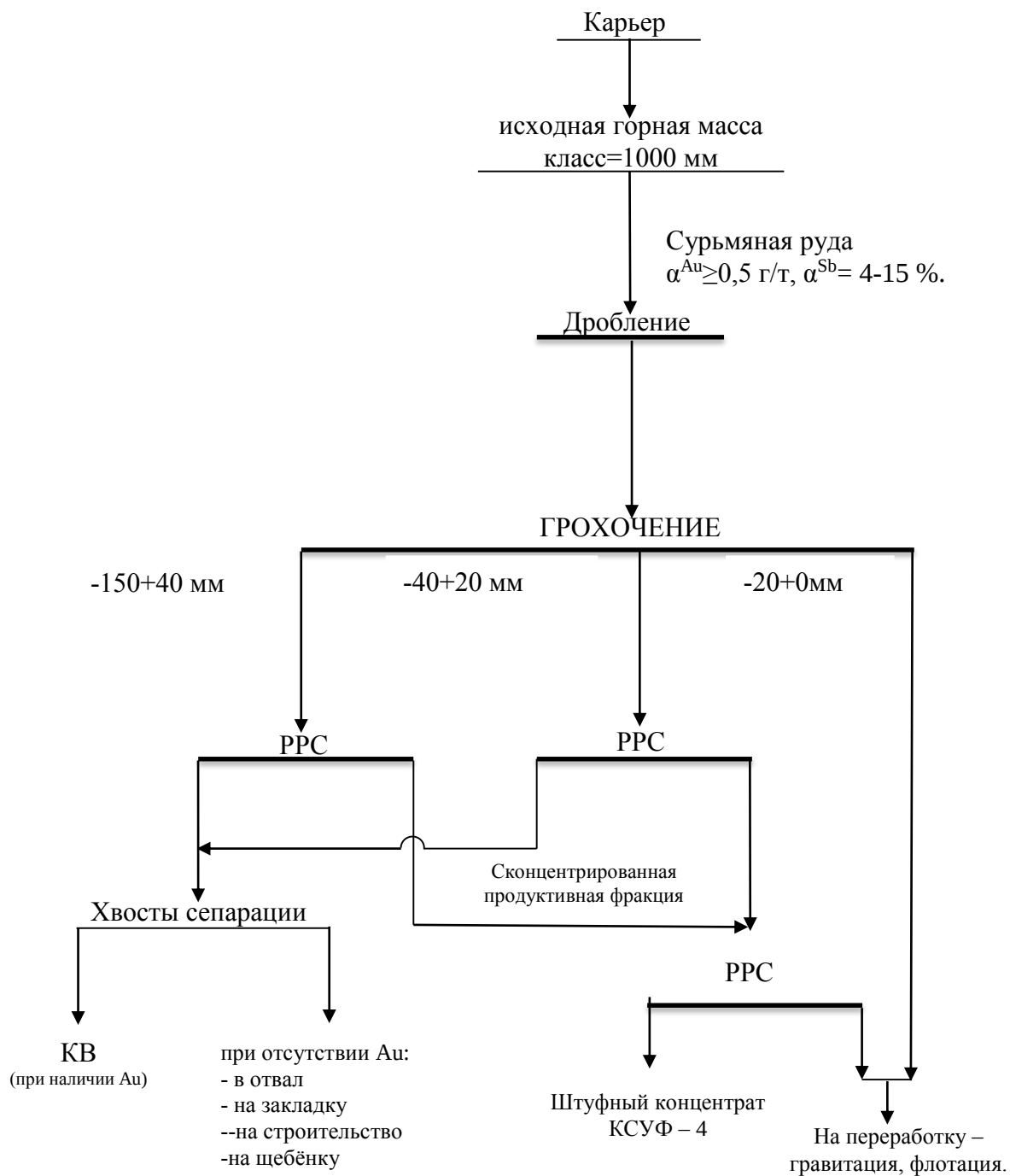


Рисунок 4.20 Принципиальная схема переработки рядовых комплексных сурьмяных руд (2 сорт, технология II)

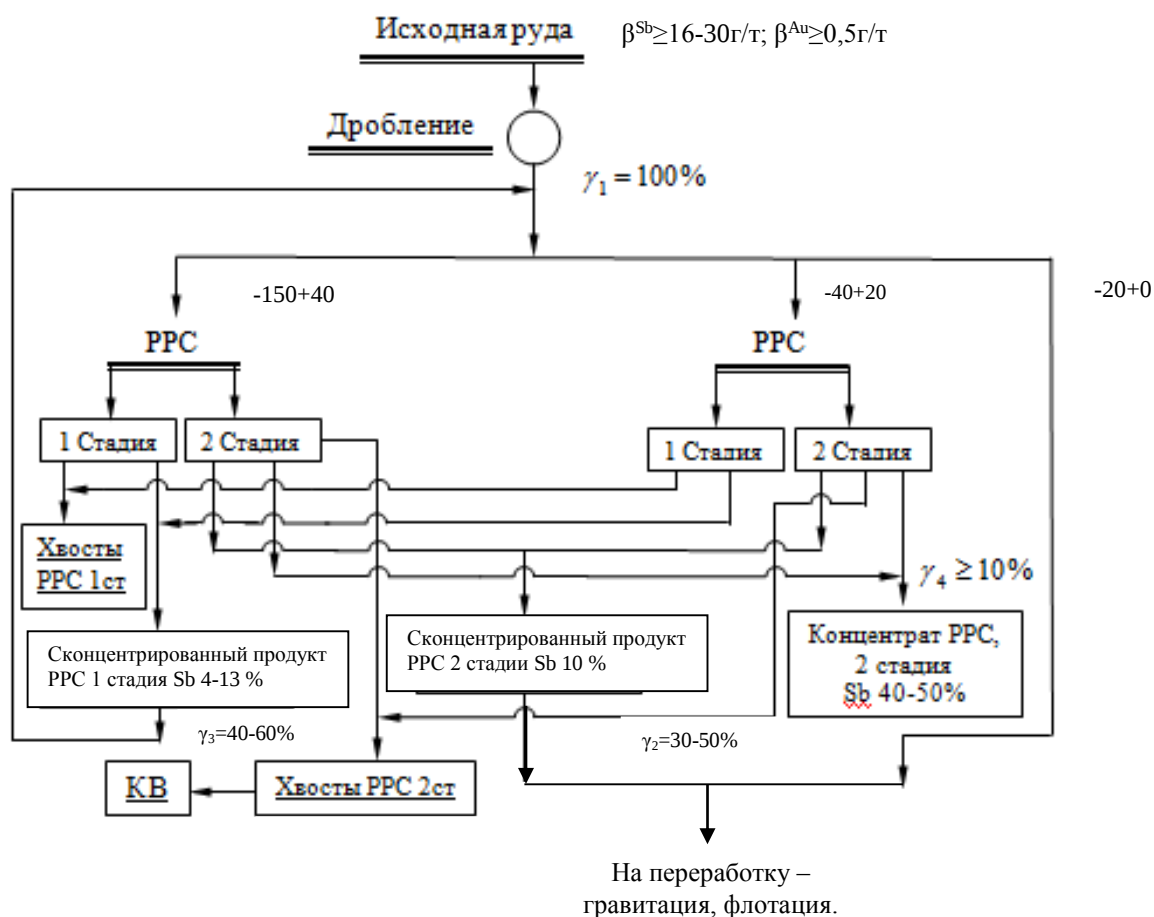


Рисунок 4.21 Принципиальная схема переработки богатых комплексных сурьмяных руд (1 сорт, технология III)

4.4. Обоснование и разработка ресурсосберегающей поточной линии для извлечения сурьмы и круглогодичного выщелачивания золота из комплексных сурьмяных руд

В конце XX – начале XXI столетия предложены и частично реализованы поточные линии переработки сурьмяных золотосодержащих руд, включающая устройства дробления, грохочения и тяжелосредной сепарации [8;87-96;119-122;141;145;148;159-182]. Достоинством предложенных технических решений является возможность выводить бедные руды из процесса в начале технологической схемы [111], а недостатком - высокие эксплуатационные и капитальные затраты на выделение продуктивной фракции сурьмяных руд и, кроме того, высокий (до

60%) выход минерального сырья для дальнейшего гравитационно-флотационного обогащения и магнитной сепарации.

Известна также поточная линия предварительного обогащения руд, включающая для выделения сурьмы устройства дробления, грохочения и радиометрической сортировки [126]. Её несовершенство проявляется в отсутствии комплексности использования сырья: из сурьмяных золотосодержащих руд выделяется в виде продуктивной фракции только один компонент - сурьма, а попутный золотосодержащий компонент в непродуктивной фракции направляется в отвал.

Поточная линия для переработки золото-сурьмянистых руд, наиболее близко к разработанной автором в составе творческого коллектива, включает два радиометрических сепаратора, последовательно соединенные через устройства дробления и грохочения, отсадочную машину, мельницу, гидравлический классификатор, концентрационный стол, мельницу для доизмельчения, гидроциклон, устройство измельчения и классификации по крупности, сгуститель, флотационные машины, чан для выщелачивания [153].

По данной ранее разработанной технологии уже в начале технологического процесса выделяется из общей минерально-сырьевой массы до 30-50 % хвостовых отходов, но попутный ценный компонент – золото - направляется в отвал, что противоречит принципу комплексного использования минерального сырья. При этом остаются высокие эксплуатационные расходы и низкая степень извлечения ценного компонента из полиметаллических руд.

Разработана поточная линия для переработки сурьмяных золотосодержащих руд, которая позволяет повысить комплексность использования сырья и снизить себестоимость продукции за счёт доизвлечения золота из хвостов РРС методом кучного выщелачивания на промышленной площадке (Патент № 2493364 Российской Федерации, рисунок 4.22) [87].

Результат достигается следующим образом. Линия содержит два радиометрических сепаратора, последовательно соединенные через питатель и устройства для дробления и грохочения, а также устройства для флотационной, гравитационной и гидрометаллургической доводки сурьмяного концентрата. Дополнительно

линия снабжена промышленной площадкой для складирования и кучного выщелачивания бедных продуктивных фракций (хвостов РРС). Площадка оборудована противофильтрационным экраном, системой орошения штабеля и лебёдочным скрепером, который связан с магистральным конвейером для транспортировки хвостов в отвал.

Площадка соединена со вторым радиометрическим сепаратором через приёмник-делитель рудного потока и транспортный конвейер с установленными на нём устройствами для разгрузки и послойной укладки руды в рудный штабель. Выход площадки связан с комплексом для сбора продуктивных растворов, соединённым через насосную станцию и трубопровод с узлом выделения ценного компонента из продуктивных растворов (рисунок 4.22).

В линии для выделения сурьмы последовательно установлены друг за другом радиометрические сепараторы 1 и 2, соединённые между собой через питатели 3 и 4; устройства для дробления 5 и грохочения 6; ленточные конвейеры 7, 8 и 9 для удаления богатой (7 и 8) и бедной (9) продуктивных фракций. Линия для выделения золота из хвостов РРС включает приёмник-делитель рудного потока 10 и конвейер с разгрузочными устройствами 11 для послойной укладки руды в рудный штабель на площадке для кучного выщелачивания 12. Площадка оснащена системой цианидного орошения штабеля 13, противофильтрационным экраном 14 и комплексом для сбора продуктивных растворов 15. Комплекс соединён с узлом выделения ценного компонента из растворов 16 через насос 17 с трубопроводом. Выщелоченные породы удаляются в отвал лебёдочным скрепером 18 и магистральным конвейером 19, скрепер оснащён съёмными граблинами 20.

Принцип работы. Исходная сурьмяная золотосодержащая руда поступает в радиометрический сепаратор, где разделяется на сурьмяный черновой концентрат, промпродукт и хвосты. Концентрат удаляется конвейером, а хвосты попадают на конвейер, транспортирующий их в приёмник-делитель рудного потока. Промпродукт через питатель попадает в устройство для дробления.

Дроблёный продукт попадает на грохот, откуда плюсовой продукт подаётся на дальнейшее флотационно-гравитационное обогащение, а минусовой – на пита-

тель, передающий руду в радиометрический сепаратор, где она разделяется на концентрат и хвосты.

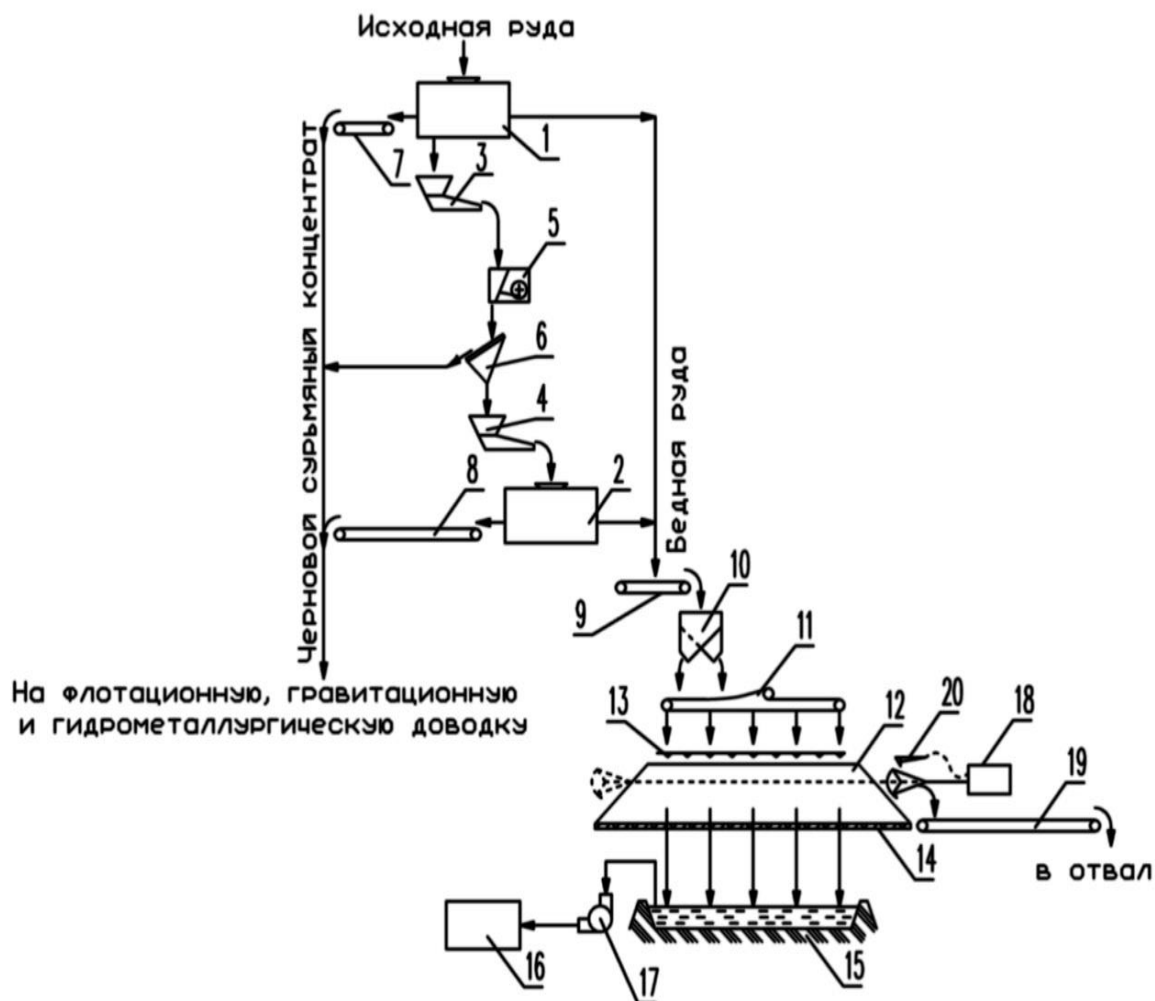


Рисунок 4.22 Поточная линия для переработки сурьмяных золотосодержащих руд

Сурьмяный черновой концентрат удаляется конвейером, объединяется с сурьмяным черновым концентратом с конвейера и поступает на гравитационную, флотационную и гидрометаллургическую доводку. Хвосты попадают на конвейер, он транспортирует их в приёмник-делитель рудного потока, делящий хвосты РРС на равные потоки, каждый из которых попадает на конвейер для равномерной послойной укладки в рудный штабель на промышленной площадке.

Поверхность материала после укладки выравнивается съёмными граблинами, установленными на место съёмного рабочего органа лебёточного скрепера. Затем материал с помощью оросительной системы орошается выщелачивающим

раствором, который, пройдя по дренажной системе штабеля, попадает в комплекс для сбора продуктивных растворов.

Продуктивный раствор насосом по трубопроводу перекачивается в узел для извлечения золота. После окончания процесса выщелачивания посредством лебедочного скрепера со съёмным рабочим органом, вновь установленным на место съёмных граблин, выщелоченный материал поступает на магистральный конвейер, подающий его в отвал.

Учитывая необходимость организации круглогодичного кучного выщелачивания золота из руд, предложена ещё одна поточная линия (Патент № 2493364 Российской Федерации), в которой решены проблемы, возникающие в условиях низких температур и криолитозоны за счёт обеспечения, вместо низкоэффективных диффузионных, фильтрационных режимов и выполнения специальных мероприятий, предохраняющих отдельные элементы технологической системы от замерзания [100], которая содержит последовательно установленные друг за другом рудный штабель 1, систему дренажа 2, железобетонную кювету 3, борт кюветы 4, комплекс для приготовления и доукрепления выщелачивающего раствора 5, трубопровод 6, насос для подачи выщелачивающего раствора 7, устройство для подогрева раствора 8, систему орошения 9, укрытую теплоизолирующим экраном 10, приемное устройство 11 для насыщенных растворов, состоящее из двух установленных последовательно друг за другом модулей, первого 12 на входе, соединенного с решетом 13, и второго 14, соединенного с насосом 15 и трубопроводом 16, и имеющего нагревательные элементы 17 с отдельным источником питания 18, комплекс устройств для сбора и переработки насыщенных растворов 19, размещенный в отдельном утепленном здании, теплогазогенератор паровоздушной смеси 20, выход которого соединен через трубопроводную сеть 21 непосредственно с неподвижными патрубками 22 (также см. фиг.2), закрепленными сверху съёмных вертикальных и наклонных перфорированных труб 23, снабженных закручивающимися крышками 24 и датчиками 25, соединенными гибкой связью 26 с устройством 27 контроля и автоматического регулирования температуры в объеме штабеля .

Схема цепи аппаратов поточной линии для круглогодичного выщелачивания золота представлена на рисунке 4.23. Линия апробировалась в полупромышленных условиях на руде Солонеченского месторождения. Результаты: из рядовой руды участка Западный $\beta^{\text{Sb}} = 12,0 \%$; $\beta^{\text{Au}} = 0,8 \text{ г/т}$ получен сурьмяный концентрат $\beta^{\text{Sb}} = 62,4\%$, $\gamma^{\text{Sb}} = 18,1\%$, $\epsilon^{\text{Sb}} = 94,04\%$ и золото в виде товарной продукции (сплава Доре), $\epsilon^{\text{Au}} = 75,0\%$.

Кроме того, линия дополнительно снабжена теплогазогенератором паровоздушной смеси, системой вертикальных и наклонных перфорированных труб, установленных в штабеле и снабженных датчиками измерения температуры, соединенными гибкой связью с устройством контроля и управления технологическим процессом, при этом вход теплогазогенератора связан с устройством контроля и управления технологическим процессом, а выход соединен с патрубками, закрепленными сверху перфорированных труб.

Отдельный элемент линии – устройство для приема насыщенных растворов выполнено в виде решета и двух последовательно установленных друг за другом модулей, первый из которых на входе соединен с решетом, а второй, снабженный нагревательными элементами для подогрева раствора, на выходе соединен с насосом и напорным трубопроводом, связанными с комплексом устройств для сбора и переработки насыщенных растворов, при этом комплекс размещен в обогреваемом помещении.

Причём в поточной линии расстояние между вертикально установленными перфорированными трубами в штабеле задается теплофизическими свойствами руд, выщелачиваемых при отрицательных температурах, а угол установки наклонных перфорированных труб определяется углом наклона борта кюветы.

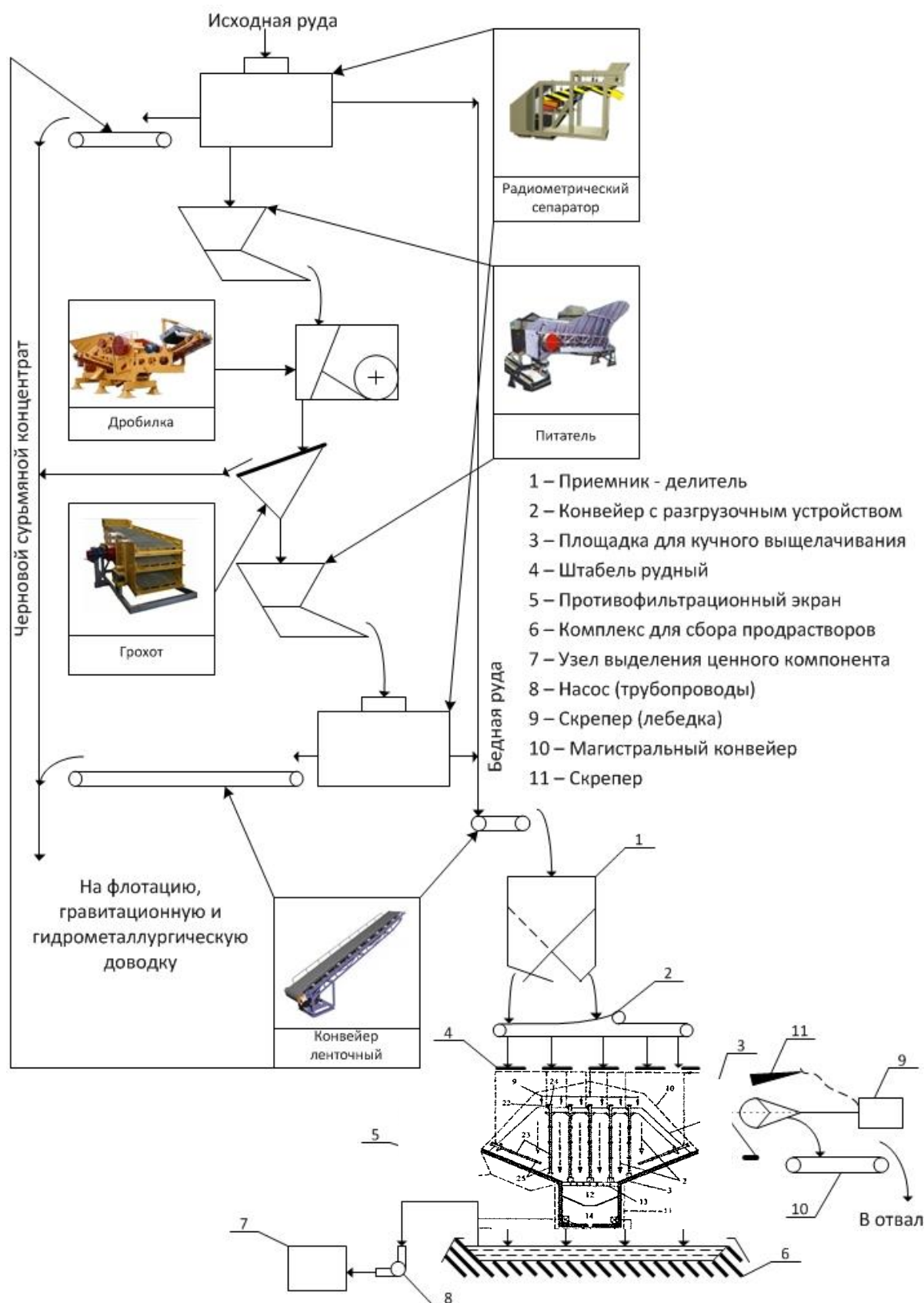


Рисунок 4.23 Схема цепи аппаратов поточной линии для извлечения сурьмы и круглогодичного выщелачивания золота из комплексных сурьмяных руд

На рисунке 4.24 показан поперечный разрез штабеля поточной линии для круглогодичного выщелачивания золота.

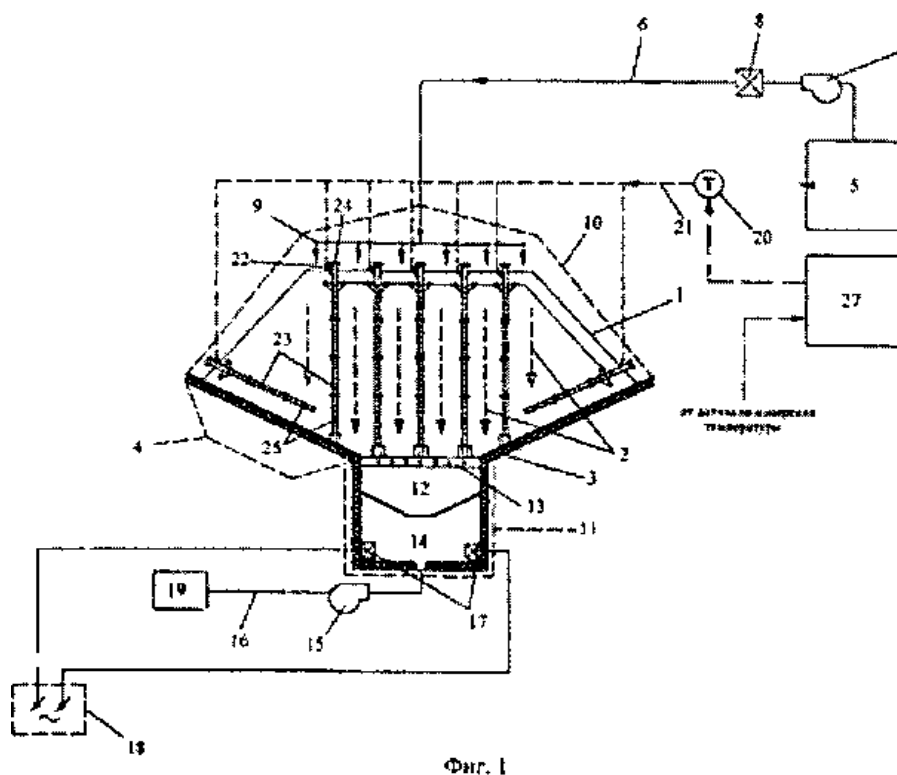


Рисунок 4.24 Поперечный разрез штабеля поточной линии для круглогодичного кучного выщелачивания металлов из руд

Для оценки эффективности предложенных технологических линий переработки сурьмяных руд Восточного Забайкалья потребовалось выполнить применительно к объектам исследования специальный комплекс эколого-экономических расчётов.

4.5. Выводы

1. С использованием методов математической статистики проанализирована частность распределения ($Y_{\beta_{sb}}$) экспериментальных данных, содержания сурьмы в продуктивной фракции при различных методах её концентрирования на рудах Жипкошинского месторождения, полученных разными авторами. Установлено, что в целом она подчиняется дробно-степенной показательной функции вида:

$Y_{\beta_{sb}} = A * \alpha^b * e^{-c\alpha}$, где A – постоянный коэффициент, b, c – показатели степени переменного α .

2. На основе использования законов логарифмического распределения среднего содержания ценного компонента и учёта контрастности сурьмяных руд Восточного Забайкалья, выявлена следующая зависимость в виде обобщающей экспоненциально – степенной функции, характеризующей распределение сурьмы в продуктивной фракции (β) от содержания в исходной руде (α): $\frac{100}{\beta} = e^{m\alpha^n}$, где m, n – значения коэффициентов, определяемые особенностями технологического типа и контрастностью сурьмяных руд.

3. Методом оценки схем блокировки рудных тел Солонеченского и Нарин-Кундуйского месторождений с использованием структурно – металогических и минералогических признаков, установлен один характерный технологический тип.

4. Предложена классификация сурьмяного оруденения Восточного Забайкалья на три технологических сорта руд: богатые антимонит – кварцевые ($\beta^{Sb}=16$ –30% и более), рядовые – прожилково-вкрапленные ($\beta^{Sb}=4$ –15%), бедные – прожилково-вкрапленные ($\beta^{Sb}=1,5$ –3%) на основе оценки схем блокировки рудных тел и номограммы руд, позволяющая осуществлять выбор рационального варианта переработки минерального сырья.

5. Разработана патентнозащищённая поточная линия для переработки сурьмяных руд по комбинированной технологии – сочетание радиометрической сепарации и кучного выщелачивания для сезонной и круглогодичной работы в условиях Забайкалья.

ГЛАВА 5. ТЕХНИКО- И ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЯ НА ОСНОВЕ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕРАБОТКИ СУРЬМЯНЫХ РУД

5.1. Сравнительная оценка технико-экономических показателей освоения комплексных сурьмяных месторождений

Экономическая эффективность промышленного освоения месторождений оценивалась на уровне горно-обогатительного передела в ценах 2010 г. в стоимостном выражении соответственно 5840 и 6000 долларов за тонну сурьмы [6].

Промышленная значимость *Солонеченского месторождения* определена из условия завершённого строительства и ввода в эксплуатацию железной дороги Нарын-Лугокан [147]. ТЭО постоянных кондиций, в котором автор принимал совместное участие как член творческого коллектива установлена, исходя из условий разведочных работ и подчитанных промышленных запасов сурьмы категории C_1 и C_2 . Расчёты выполнены при бортовом содержании сурьмы в пределах от 0,9 до 2,7% при минимальной мощности рудных тел 3 и 1 м.

Для запланированного открытого способа отработки запасов [86] принят вариант бортового содержания сурьмы 1,5% с минимальной мощностью рудного тела 3 м. Максимальной мощностью в 3 м прослоев пустых пород, включаемых в подсчет запасов некондиционных руд.

При рассмотрении подземных работ принято бортовое содержание сурьмы 2,1 %. Минимальная мощность рудного тела 1 м с учётом прослойки пустых пород, включаемых в подсчет запасов некондиционных руд.

Общая производительность горно-обогатительного предприятия в течение семи лет составит 87,1 тыс. т руды. Установлено что, эксплуатационные затраты по вариантам сравнения составят 4082-3488 млн. руб., а удельные затраты на 1т руды - 4657-6606 руб., из них на переработку – 1065-1159 руб.

В качестве оценки основными критериями приняты себестоимость продукции, чистая прибыль, рентабельность производства и чистый дисконтированный доход [112].

Основным показателем сравнения различных поточных линий принята полнота отработки запасов, определяемая бортовым содержанием руд. Выбор величины бортовых содержаний руд *Солонеченского месторождения* основывается на анализе геологических особенностей и технологических свойств полезного ископаемого [86].

В работе рассмотрено три варианта. Первый на уровне минимального промышленного содержания по крупным месторождениям сурьмы, второй и третий – с учётом различий в запасах руды не менее 10-20 %, а четвёртый – с расчётом превышения бортового содержания полезного компонента в хвостах обогащения. При этом разрыв в данных при открытой разработке месторождений составляет 1 % (соответственно 1,50 и 0,49%). Для подземной разработки численное значение ещё больше.

Согласно закономерности $\frac{100}{\beta} = e^{m\alpha^n}$, установленной автором следует, что при среднем содержании Sb в шихте около 7,0% бортовое содержание её может соответствовать 0,7%. Причём содержание Sb в исходной шихте 6,8% и в недрах 7,3%, отвечает бортовому содержанию 0,9% (таблица 5.2). Характерно, что качество промышленных продуктов остается неизменным.

Анализ размещения полезных компонентов в отдельных прослойках пласта не превышает содержание сурьмы 0,9%.

Таблица 5.2. Сравнительно-показательный анализ вариантов бортового содержания комбинированной отработки Солонеченского месторождения

Показатель	Значение показателей по вариантам				Сравнение показателей по вариантам		
	1	2	3	4	$\Delta_{1,2}$	$\Delta_{2,3}$	$\Delta_{3,4}$
Бортовое содержание Sb, %	0,9	1,5	2,1	2,7			
Запасы сурьмы, тыс. т	72,67	69,18	66,33	63,80	3,49	2,85	2,53
Руда, тыс. т	1006,7	752,2	629,6	569,2	254,5	122,6	60,4
Содержание сурьмы, %	7,0	9,24	10,53	11,21	1,37	2,32	4,19

Из табличных данных можно заключить, что при бортовом содержании Sb 0,9% в эксплуатацию будет дополнительно вовлекаться 254,5 тыс. т руды с содержанием Sb 1,37%. Это на 34% больше запасов с бортовым содержанием сурьмы 1,5% (3,49 тыс. т). При применении радиометрической технологии рудоподготовки представляется возможным понизить бортовое содержание. Количество извлекаемой сурьмы относительно величины граничного бортового содержания как для открытой, так и подземной отработки запасов вырастает в несколько раз.

По критериям полноты использования недр и бюджетной эффективности проекта при открытой, и подземной отработки запасов бортового содержания 0,9 % более эффективно. Эффективность открытого способа разработки за весь срок чётко прослеживается по критерию чистой прибыли. По другим критериям: чистый дисконтированный доход (ЧДД), индекс доходности и внутренняя норма доходности, рассчитанные в соответствии с методиками ГКЗ [18], несколько ниже показателей, полученных при более высоких бортовых содержаниях. Величина показателя ЧДД, весьма чувствительна к изменению быстро растущей цены на сурьму и к величине капитальных вложений.

Сравнительной оценкой выявлено, что открытый способ отработки балансовых руд с бортовым содержанием сурьмы 0,7 % относится к числу наиболее рациональных, обеспечивающих наиболее полное использование запасов полезного ископаемого в недрах.

5.2. Техничко-экономические показатели переработки хвостов рентгенорадиометрической сепарации методом кучного выщелачивания

Для оценки эффективности извлечения золота из хвостов руд Солонеченского месторождения принято: промышленные запасы составляют 400 тыс. т, содержание золота (0,7 г/т). Результаты экономической оценки технологии представлены в таблицах 5.3 и 5.4. Расчёт проведён применительно к использованию метода КВ хвостов РРС.

Таблица 5.3 Техничко-экономические показатели переработки хвостов РРС с использованием технологии кучного выщелачивания

Показатель	Значение
Промышленные запасы руды, тыс. т	400,0
Потери, доли ед.	0,092
Разубоживание, доли ед.	0,078
Эксплуатационные запасы руды, тыс. т	472
Содержание золота в руде, г/т	0,8
Годовая производительность по добыче руды, тыс. т	50
Срок отработки месторождения, лет	9,4
Извлечение золота в товарную продукцию, %	75
Годовой выпуск товарной продукции, кг	30
Цена реализации золота руб./ г	1665
Годовая выручка от реализации, тыс. руб.	49 950,0
Капитальные вложения, тыс. руб.	100 082,0
в т ч площадка КВ	9 292,0
цех гидрометаллургии	90 790,0
Годовые затраты на производство продукции тыс. руб.	28 488,7
в т.ч. фонд оплаты труда	2 216,2
страховые социальные отчисления	724,7
реагенты	5 503,3
подготовка основания кучи	630,3
электроэнергия	1 730,4
амортизационные отчисления	11 009,0
обслуживание и ремонт технолог. оборудования	873,9
налог на добычу	2 997,0
затраты на аффинаж	749,3
прочие затраты (14%)	2 054,6
Валовая прибыль, тыс. руб.	21 461,3
Налог на имущество, тыс. руб.	2201,804
Налогооблагаемая прибыль, тыс. руб.	19 259,5
Налог на прибыль, тыс. руб.	3851,9
Чистая прибыль, тыс. руб.	15 407,6
Рентабельность производства, %	54,1

Таблица 5.4. Результаты расчета показателей экономической эффективности извлечения золота технологией кучного выщелачивания хвостов (для руд Солонеченского месторождения)

Показатель	Строительство	Значение показателя по годам								
		первый	второй	третий	четвёртый	пятый	шестой	седьмой	восьмой	девятый
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Объем добычи тыс. т		50	50	50	50	50	50	50	50	27
Приток денежных средств от операционной деятельности, тыс. руб.										
Поступления от продаж		49 950,0	49 950,0	49 950,0	49 950,0	49 950,0	49 950,0	49 950,0	49 950,0	26 973,0
Амортизационные отчисления		11 009,0	11 009,0	11 009,0	11 009,0	11 009,0	11 009,0	11 009,0	11 009,0	11 009,0
<i>Итого</i>		60 959,0	60 959,0	60 959,0	60 959,0	60 959,0	60 959,0	60 959,0	60 959,0	37 982,0
Отток денежных средств от операционной деятельности, тыс. руб.										
Фонд оплаты труда		2 216,2	2 216,2	2 216,2	2 216,2	2 216,2	2 216,2	2 216,2	2 216,2	886,5
Страховые социальные отчисления		724,7	724,7	724,7	724,7	724,7	724,7	724,7	724,7	289,9
Реагенты		5 503,3	5 503,3	5 503,3	5 503,3	5 503,3	5 503,3	5 503,3	5 503,3	2 201,3
Подготовка основания кучи		630,3	630,3	630,3	630,3	630,3	630,3	630,3	630,3	252,1
Электроэнергия		1 730,4	1 730,4	1 730,4	1 730,4	1 730,4	1 730,4	1 730,4	1 730,4	692,2
Обслуживание и ремонт технологического оборудования		873,9	873,9	873,9	873,9	873,9	873,9	873,9	873,9	349,5
Налог на добычу		2 997,0	2 997,0	2 997,0	2 997,0	2 997,0	2 997,0	2 997,0	2 997,0	1 618,4
Затраты на аффинаж		749,3	749,3	749,3	749,3	749,3	749,3	749,3	749,3	404,6
Прочие затраты (14%)		2 054,6	2 054,6	2 054,6	2 054,6	2 054,6	2 054,6	2 054,6	2 054,6	937,2
Налог на имущество		2 201,8	2 201,8	2 201,8	2 201,8	2 201,8	2 201,8	2 201,8	2 201,8	2 201,8
Налог на прибыль		3 851,9	3 851,9	3 851,9	3 851,9	3 851,9	3 851,9	3 851,9	3 851,9	1 226,1
	<i>Итого</i>	23 533,3	23 533,3	23 533,3	23 533,3	23 533,3	23 533,3	23 533,3	23 533,3	11 059,6

Окончание таблицы 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кэш-фло от операционной деятельности, тыс. руб.		37 425,7	37 425,7	37 425,7	37 425,7	37 425,7	37 425,7	37 425,7	37 425,7	26 922,4
Капитальные вложения, тыс. руб.	100 082,0									
Кэш-фло от инвестиционной деятельности, тыс. руб.	100 082,0									
Суммарный денежный поток, тыс. руб.	-100 082,0	37 425,7	37 425,7	37 425,7	37 425,7	37 425,7	37 425,7	37 425,7	37 425,7	26 922,4
Суммарный денежный поток, накопленным итогом, тыс. руб.	-100 082,0	-62 656,3	-25 230,7	12 195,0	49 620,7	87 046,4	124 472,0	161 897,7	199 323,4	226 245,8
Коэффициент дисконтирования (ставка дисконта 12%), тыс. руб.	0,893	0,797	0,712	0,636	0,567	0,507	0,452	0,404	0,361	0,322
Дисконтированный денежный поток, тыс. руб.	-89 358,9	29 835,5	26 638,9	23 784,7	21 236,3	18 961,0	16 929,5	15 115,6	13 496,1	8 668,3
Дисконтированный денежный поток, накопленным итогом, тыс. руб.	-89 358,9	-59 523,4	-32 884,6	-9 099,9	12 136,5	31 097,5	48 027,0	63 142,6	76 638,6	85 306,9
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.										85 306,9
Период окупаемости, лет										3,4
Внутренняя норма доходности, %										34,6
Индекс доходности, доли										0,85

Изменение величины чистого дисконтированного дохода от цены на золото, величины капитальных вложений и себестоимости переработки представлены на рисунке 5.1 [110;105]. Наибольшая чувствительность проекта проявляется при изменении цены на золото. Например, при уменьшении цены золота до 30% величина чистого дисконтированного дохода сокращается до 60%.

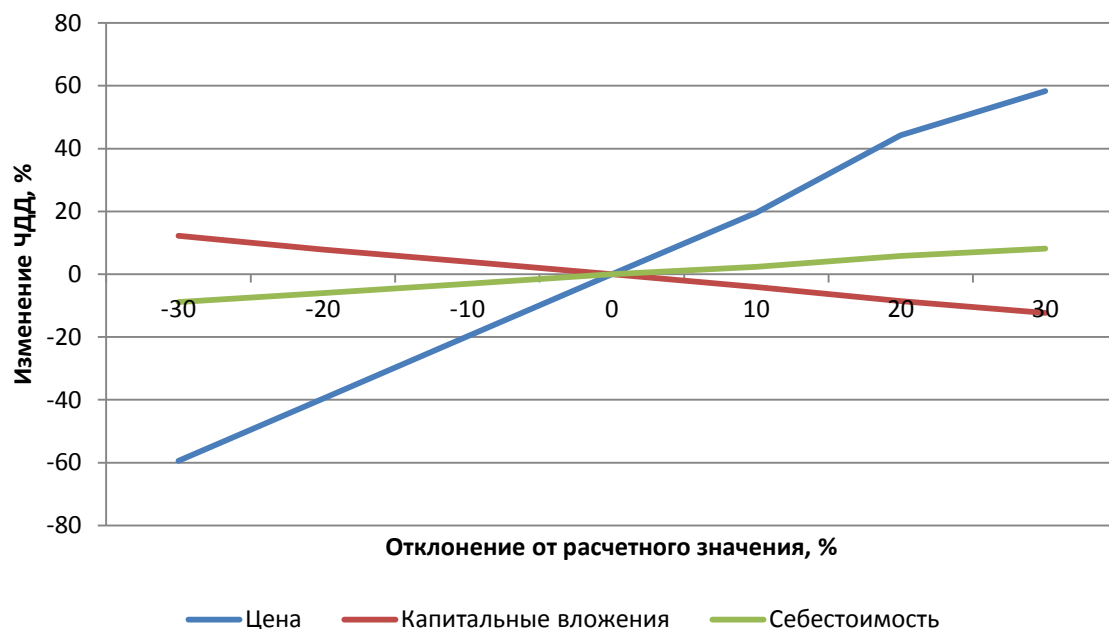


Рисунок 5.1. Чувствительность проекта при извлечении золота из хвостов радиометрической сепарации методом кучного выщелачивания (Солонеченское месторождение)

Результаты экономической оценки извлечения золота для комплексных сурьмяных руд Нарин-Кундуйского месторождения при среднем содержании ценного компонента 1,05г/т представлены в таблицах 52 и 53. Чувствительность проекта при освоении руд Нарин-Кундуйского месторождения представлена на рисунке 5.2. Основные показатели эффективности извлечения золота из комплексных сурьмяных руд приведены в таблицах 5.5 - 5.6.

Таблица 5.5. Техничко-экономические показатели извлечения золота из руд Нарин-Кундуйского месторождения методом кучного выщелачивания

Показатель	Значение
Промышленные запасы руды, тыс. т	87,0
Потери, доли ед.	0,041
Разубоживание, доли ед.	0,075
Эксплуатационные запасы руды, тыс. т	90
Содержание золота в руде, г/т	1
Годовая производительность по добыче руды тыс. т	25
Срок отработки месторождения, лет	3,6
Извлечение золота в товарную продукцию, %	80
Годовой выпуск товарной продукции, кг	23,62
Цена реализации золота руб./ г	1665
Годовая выручка от реализации, тыс. руб.	39 335,6
Капитальные вложения, тыс. руб.	69 496,0
в т ч площадка КВ	4 646,0
цех гидрометаллургии	64 850,0
Годовые затраты на производство продукции тыс. руб.	31 510,6
в т.ч. фонд оплаты труда	2 216,2
страховые социальные отчисления	724,7
реагенты	5 503,3
подготовка основания кучи	630,3
электроэнергия	1 730,4
амортизационные отчисления	7 644,6
обслуживание и ремонт технологического оборудования	873,9
налог на добычу	2 360,1
затраты на аффинаж	590,0
прочие затраты (14%)	1 965,4
Валовая прибыль, тыс. руб.	7 825,0
Налог на имущество, тыс. руб.	1528,91
Налогооблагаемая прибыль, тыс. руб.	6 296,1
Налог на прибыль, тыс. руб.	1259,21
Чистая прибыль, тыс. руб.	5 036,9
Рентабельность производства, %	15,98

Таблица 5.6. Расчетная оценка показателей, характеризующих экономическую эффективность извлечения золота методом кучного выщелачивания (для руд Нарин-Кундуйского месторождения)

Показатель	Строительство	Значение показателя по годам				
		первый	второй	третий	четвёртый	пятый
Объем добычи тыс. т	-	20	20	20	20	10
Приток денежных средств от операционной деятельности, тыс. руб.						
Поступления от продаж	-	39 335,6	39 335,6	39 335,6	39 335,6	15 734,3
Амортизационные отчисления	-	7 644,6	7 644,6	7 644,6	7 644,6	7 644,6
<i>Итого</i>	-	46 980,2	46 980,2	46 980,2	46 980,2	23 378,8
Отток денежных средств от операционной деятельности, тыс. руб.						
Фонд оплаты труда	-	2 216,2	2 216,2	2 216,2	2 216,2	886,5
Страховые социальные отчисления	-	724,7	724,7	724,7	724,7	289,9
Реагенты	-	5 503,3	5 503,3	5 503,3	5 503,3	1 651,0
Подготовка основания кучи	-	630,3	630,3	630,3	630,3	189,1
Электроэнергия	-	1 730,4	1 730,4	1 730,4	1 730,4	519,1
Обслуживание и ремонт тех. оборудования	-	873,9	873,9	873,9	873,9	873,9
Налог на добычу	-	2 360,1	2 360,1	2 360,1	2 360,1	944,1
Затраты на аффинаж	-	590,0	590,0	590,0	590,0	236,0
Прочие затраты (14%)	-	1 965,4	1 965,4	1 965,4	1 965,4	782,5
Налог на имущество	-	1 528,9	1 528,9	1 528,9	1 528,9	1 528,9
Налог на прибыль	-	1 259,2	1 259,2	1 259,2	1 259,2	0,0
<i>Итого</i>	-	19 382,5	19 382,5	19 382,5	19 382,5	7 900,9

Окончание таблицы 5.6

1	2	3	4	5	6	7
Кэш-фло от операционной деятельности, тыс. руб.	-	27 597,7	27 597,7	27 597,7	27 597,7	15 477,9
Капитальные вложения, тыс. руб.	69 496,0	-	-	-	-	-
Кэш-фло от инвестиционной деятельности, тыс. руб.	69 496,0	-	-	-	-	-
Суммарный денежный поток, тыс. руб.	-69 496,0	27 597,7	27 597,7	27 597,7	27 597,7	15 477,9
Суммарный денежный поток, накопленным итогом, тыс. руб.	-69 496,0	-41 898,3	-14 300,7	13 297,0	40 894,7	56 372,5
Коэффициент дисконтирования (ставка дисконта 12 %), тыс. руб.	0,893	0,797	0,712	0,636	0,567	0,507
Дисконтированный денежный поток, тыс. руб.	-62 050,0	22 000,7	19 643,5	17 538,8	15 659,7	7 841,6
Дисконтированный денежный поток, накопленным итогом, тыс. руб.	-62 050,0	-40 049,3	-20 405,8	-2 867,0	12 792,6	20 634,2
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.						20 634,2
Период окупаемости, лет						3,2
Внутренняя норма доходности, %						25,6
Индекс доходности, доли						0,30

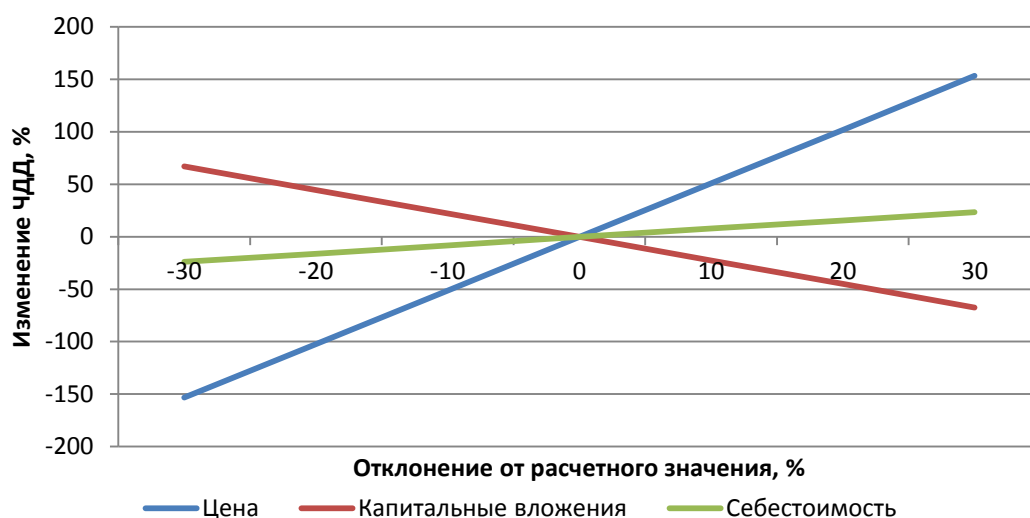


Рисунок 5.2. Чувствительность проекта при извлечении золота методом кучного выщелачивания из руд (Нарин-Кундуйское месторождение)

Основные технико-экономические показатели извлечения золота из хвостов РРС Солонеченского и из забалансовых руд Нарин-Кундуйского месторождений приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7. Сводные технико-экономические показатели применительно к комплексным рудам Солонеченского и Нарин-Кундуйского месторождений

Показатель	Численные значения по месторождениям	
	Солонеченское	Нарин-Кундуйское
Годовая чистая прибыль, тыс. руб.	15 407,6	5 036,9
Рентабельность производства, %	54,1	15,9
ЧДД, тыс. руб.	85 306,9	20 634,0
ИД, доли ед.	0,85	0,3
ВНД, %	34,6	25,6
Срок окупаемости лет	3,4	3,2
ВНД, %	34,6	25,6
Срок окупаемости лет	3,4	3,2

5.3. Экономическая эффективность комплексной переработки сурьмяных руд

Расчёты оценки экономической эффективности переработки комплексных сурьмяных руд применительно к Солонеченскому и Нарин-Кундуйскому месторождениям, представлены в таблицах 5.8, 5.9. Экономический эффект определял-

ся как разница между чистой прибылью по предложенному и базовому вариантам за весь период эксплуатации месторождений.

В качестве базового варианта использован ТЭО кондиций [147], предусматривающего получение концентрата сурьмы традиционными методами. В качестве альтернативного разработанного автором варианта – комбинированная технология получения концентрата сурьмы методом рентгенорадиометрической сепарации, с последующим доизвлечением золота из хвостов РРС методом кучного выщелачивания.

Таблица 5.8. Эффективность освоения комплексных руд Солонеченского месторождения

Показатель	Значение показателя по вариан-там		Отклонение
	базовый	предлагаемый	
Промышленные запасы руды, тыс. т	572,0	572,0	-
Потери, доли ед.	0,092	0,092	-
Разубоживание, доли ед.	0,078	0,078	-
Эксплуатационные запасы руды, тыс. т	674,7	674,7	-
Годовая производительность по добыче руды, тыс. т	81	81	-
Содержание в руде сурьмы, %	11,04	11,04	-
золота, г/т	2,00	2,00	-
Извлечение сурьмы в товарную продукцию, %	96	96	-
Годовой выпуск сурьмы в концентрате, т	7 951,2	7 951,2	-
Цена 1 т сурьмы в товарной продукции, тыс. руб.	1115303	1 115 303,0	-
Годовая выручка от реализации сурьмы, тыс. руб.	1 115 303,0	1 115 303,0	-
Извлечение золота в товарную продукцию, %		75,0	75,0
Годовой выпуск золота, кг		121,5	121,5
Цена реализации золота, руб./г		1 665,0	1 665,0
Годовая выручка от реализации золота, тыс. руб.		202 297,5	202 297,5
Годовая выручка от реализации, тыс. руб.	1 115 303,0	1 317 600,5	202 297,5
Капитальные затраты, тыс. руб.	2 066 489,0	2 172 332,0	105 843,0
Годовые затраты на пр-во продукции, тыс. руб.	508 759,0	550 587,2	41 828,2
Валовая прибыль, тыс. руб.	606 544,0	767 013,3	160 469,3
Налог на имущество, тыс. руб.	45 463,0	47 791,5	2 328,5
Налогооблагаемая прибыль, тыс. руб.	561 081,0	719 221,8	158 140,8
Налог на прибыль, тыс. руб.	112 216,0	143 844,2	31 628,2
Чистая прибыль, тыс. руб.	448 865,0	575 377,6	126 512,6
ЧДД, тыс. руб.	545 520,0	1 133 841,7	588 321,7

Таблица 5.9. Эффективность освоения комплексных руд Нарин-Кундуйского месторождения

Показатель	Значение показателя по вариантам		Отклонение
	базовый	предлагаемый	
Промышленные запасы руды, тыс. т	124,4	124,4	
Потери, %	0,96	0,96	
Разубоживание, %	0,08	0,08	
Эксплуатационные запасы руды, тыс. т	129,0	129,0	
Содержание в руде сурьмы, %	2,96	2,96	
золота, г/т	1,1	1,1	
Извлечение сурьмы в товарную продукцию, %	78,5	78,5	
Годовой выпуск сурьмы в концентрате, т	724,0	724,0	
Цена 1 т сурьмы в товарной продукции, тыс. руб.	119 505,0	119 505,0	
Годовая выручка от реализации сурьмы, тыс. руб.	865 216,2	865 216,2	
Извлечение золота в товарную продукцию, %		75,0	75,0
Годовой выпуск золота, кг		23,6	23,6
Цена реализации золота, руб./г		1 665,0	1 665,0
Годовая выручка от реализации золота, тыс. руб.		39 335,6	39 335,6
Годовая выручка от реализации, тыс. руб.	86 494,0	125 829,6	39 335,6
Капитальные затраты, тыс. руб.	90 273,0	160 698,2	70 425,2
Годовые затраты на пр-во продукции, тыс. руб.	67 500,0	99 143,5	31 643,5
Валовая прибыль, тыс. руб.	18 995,0	26 687,1	7 692,1
Налог на имущество, тыс. руб.	1 627,0	3 176,4	1 549,4
Налогооблагаемая прибыль, тыс. руб.	17 368,0	23 510,8	6 142,8
Налог на прибыль, тыс. руб.	3 473,6	4 702,2	1 228,6
Чистая прибыль, тыс. руб.	13 894,4	18 808,6	4 914,2
ЧДД, тыс. руб.	2 170,0	20 498,4	18 328,4

В результате выполненных расчётов установлено, что основной недропользователь Солонеченского месторождения за девять лет получит чистого дисконтированного дохода в размере 588 млн. руб. При освоении Нарин-Кундуйского месторождения недропользователь за пять лет работы получит 18 млн. руб.

Суммарный экономический эффект, полученный недропользователем должен учитывать также предотвращённый ущерб окружающей среды [74].

5.4. Эколого-экономическая оценка воздействия на окружающую среду технологий извлечения золота из комплексных сурьмяных руд

Из числа наиболее значимых показателей по предотвращению загрязнения окружающей среды следует отнести предельное отчуждение хвостами. В расчёте использованы 4 и 5 классы опасности хвостов, а также рассмотрена минимизация ущерба от других составляющих загрязнения окружающей среды.

Затраты на реализацию природоохранных мероприятий и компенсационные выплаты представлены в таблице 5.10.

Таблица 5.10. Укрупненная оценка затрат на реализацию природоохранных мероприятий при отработке Солонеченского и Нарин-Кундуйского месторождений

Показатель	Значение показателя в удельных величинах, руб./т	
	при однокомпонентной отработке	при попутном извлечении золота
Плата за загрязнение атмосферного воздуха	0,150	0,090
Плата за сброс в водные объекты	0,013	0,010
Плата за размещение отходов	0,093	0,300
Налоговые отчисления за использование водных ресурсов	0,002	0,230
Арендная плата за земельный участок	0,243	-
Плата за наносимый ущерб объектам охотничьего и лесного хозяйства	0,244	0,870
<i>Всего</i>	0,745	1,510

Выполненной укрупнённой оценкой установлено, что при использовании предлагаемой комбинированной поточной линии переработки руды Солонеченского месторождения за весь период эксплуатации затраты на реализацию природоохранных мероприятий составят 862 тыс. руб. При освоении руд Нарин-Кундуйского месторождения затраты достигают 187 тыс. руб. Расчётные данные применительно к освоению Солонеченского месторождения представлены в таблице 5.11.

Таблица 5.11. Технико-экономические показатели эффективности освоения Солонеченского месторождения сурьмы

Наименование показателя	Значение показателя		
	для открытых работ	для подземных работ	общее
1	2	3	4
Промышленные запасы руды, тыс. т	219	353	572
Промышленные запасы сурьмы, т	26286	36827	63113
Содержание сурьмы в промышленных запасах, %	12,01	10,44	11,04
Потери при добыче, доли ед.	0,0224	0,1387	0,092
Разубоживание при добыче, доли ед.	0,0723	0,0963	0,0782
Эксплуатационные запасы руды, тыс. т	231	336	567
Эксплуатационные запасы сурьмы, т	25913	31984	57898
Содержание сурьмы в эксплуатац. запасах, %	11,23	9,51	10,21
Эксплуатационный коэффициент вскрыши, м³/т			2,7
Срок обеспеченности запасами, лет			7
Срок строительства предприятия, лет			2
Годовая производительность по руде, тыс. т	33	48	81
Годовая производительность по вскрыше, тыс. м³	217,0	2,3	219,0
Годовая производительность О.Ф. по руде тыс.т			81
Производительность О.Ф. по сурьм. к-ту, т	7364	9089	16453
Производительность по сурьме в сурьм. к-те, т	3559	4392	7951
Содержание сурьмы в сурьм. к-те на О.Ф, доли ед.			0,5034
Извлечение на О.Ф сурьмы в сурьм. к-те, доли ед.			0,9613
Выпуск сурьмы в сурьм. к-те за весь срок, т	24911	30747	55658
Цена сурьмы в сурьм. к-те, руб./т			140269
Годовой выпуск сурьмы в сурьм. к-те, тыс. руб.	499176	616127	1115303
Товарн. продукция за весь срок отработки, тыс. руб.	3494229	4312889	7807118
Полная себестоимость руды, руб./ т	5566,19	6772,37	6281,63
в т.ч. добычи руды	1262,66	2463,38	1974,87
обогащения руды на О.Ф.			1142,17
налог на добычу	1211,9	1026,02	1101,65
общехозяйственные расходы	1949,45	2140,79	2062,94
Эксплуатац. затраты с амортизацией, тыс. руб.			
годовые	183414	325344	508759
за весь срок отработки	1283900	2277411	3561311
Амортизационные отчисления, тыс. руб.	62830	118220	181050
Год. эксп. затраты без аморт. отчисл., тыс. руб.	120584	207124	327709

Окончание таблицы 5.11

1	2	3	4
Себестоимость сурьмяного к-та, руб./т			32210
Валовая прибыль, тыс. руб.	315761	290783	606544
Налоги по фин. деятельности, тыс. руб.			45463
в т.ч. налог на имущество	16986	28477	45463
Налогооблагаемая прибыль, тыс. руб.	298775	262306	561081
Налог на прибыль, тыс. руб.	59755	52461	112216
Чистая прибыль годовая без амортизации, тыс. руб.	239020	209845	448865
с амортизацией.	301850	328065	629915
за весь срок эксплуатации тыс. руб.	1673141	1468913	3142054
Инвестиционные расходы, тыс. руб.			
Капвложения в ГОК, тыс. руб.			2066489
в т.ч. в горный цех	56912	373870	430783
в обогатительную фабрику	90023	131245	221268
прочие капвложения	625159	789279	1414438
Вложения в оборотные средства, тыс. руб.	30146	51781	81927
Итого инвестиционные расходы, тыс. руб.	802240	1346176	2148416
Производственные фонды, тыс. руб.	741714	1218842	1960556
Уд. кап. вложения пром. назначения, тыс. руб.			25515
в т.ч. горный цех	1727	7782	5319
обогатительная фабрика			2732
Срок окупаемости капвложений, лет			
валовой прибылью	2,4	4,5	3,4
чистой прибылью с амортизацией	2,6	3,9	3,3
Норма дисконтирования, %			12
Дисконт. срок окупаемости кап. вложений, лет	3,47	6,15	4,77
Дисконтированный доход за весь срок, тыс. руб.	1098190	1193566	2291756
Дисконтированные кап. вложения, тыс. руб.	652439	1093797	1746236
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.			545520
Индекс доходности (ИД/PI) доли ед.			1,3
Внутренняя норма доходности (ВНД/IRR)			0,2

Совокупный экономический эффект от реализации комбинированной технологии переработки комплексных сурьмяных руд Солонеченского месторождения за весь период эксплуатации для открытых горных работ (чистой прибыли и предотвращённого ущерба) составит 2535141 тыс. руб.

5.5. Выводы

1. На основе выполненной сравнительной технико- и эколого-экономической оценки освоения комплексных сурьмяных руд месторождений – Солонеченское и Нарин-Кундуйское установлена возможность создания сурьмяного горно-обогатительного комбината производительностью 12,4 тыс. т/год.

2. Удельные затраты на одну тонну руды в среднем составит 5631,5 руб., из них на переработку 1112 руб.

3. Оценка эффективности применения технологии рентгенорадиометрического концентрирования ценного компонента в голове технологического процесса по критерию чистой прибыли установлено, что положительная тенденция чётко прослеживается за весь срок эксплуатации месторождения. При этом изменение показателя ЧДД весьма чувствительно к росту цен на сурьму и величине капитальных вложений.

4. Основные технико – экономические показатели внедрения комбинированной технологии при освоении месторождений Солонеченское и Нарин-Кундуйского составят: чистая прибыль 575,3 млн. руб. и 18,8 млн. руб., ЧДД – 1 133,8 млн. руб. и 20,4 млн. руб., соответственно. Совокупный экономический эффект (чистая прибыль и предотвращённый ущерб) от реализации комбинированной технологии на рудах Солонеченского месторождения за весь период эксплуатации при открытых горных работах составит 2 535,1 млн. рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся научно – квалификационной работой, на основании выполненных автором исследований, решена актуальная научно – практическая задача повышения эффективности переработки минерального сырья, реализация которой позволит внести существенный вклад в обеспечение рационального освоения новой сурьмяной провинции России.

Основные научные и практические результаты выполненной работы:

1. На основе анализа современного состояния производства сурьмы в России и за рубежом сделан вывод, что территорию Восточного Забайкалья следует рассматривать в качестве перспективной сурьмяной провинции России, которая расположена в освоенных горнорудных районах и образует три основных региональных зоны.

2. Усовершенствована методика математического моделирования процессов обогащения на основе графоаналитической трактовки разделения минералов радиометрической сепарацией, что позволяет прогнозировать изменение качества продуктивной фракции и степень извлечения сурьмы.

3. Экспериментально установлены: высокая эффективность концентрирования сурьмы из минерального сырья Нарин-Кундуйского и Солонеченского месторождений методом РРС, в том числе с получением штучного кускового концентрата; закономерности изменения содержания сурьмы в продуктивной фракции, зависящие от количества ценного компонента в исходной руде и выбора рациональной технологической схемы рудоподготовки; возможность извлечения золота из хвостов рентгенорадиометрической сепарации кучным выщелачиванием.

4. Выявлена аналитическая зависимость в виде обобщающей экспоненциально–степенной функции, характеризующей распределение сурьмы в продуктивной фракции (β) от содержания в исходной руде (α): $\frac{100}{\beta} = e^{m\alpha^n}$, учитывая контрастность и технологические типы сурьмяных руд Восточного Забайкалья, что позволяет эффективно управлять процессами рудоподготовки.

5. Предложена классификация сурьмяного орудения Восточного Забайкалья на три технологических сорта руд: богатые антимонит – кварцевые ($\beta^{Sb}=16\text{--}30\%$ и более), рядовые – прожилково-вкрапленные ($\beta^{Sb}=4\text{--}15\%$), бедные – прожилково-вкрапленные ($\beta^{Sb}=1,5\text{--}3\%$) на основе оценки схем блокировки рудных тел и номограммы руд, а также методология построения технологических схем, позволяющие осуществлять выбор рационального варианта переработки минерального сырья.

6. Разработана патентнозащищённая поточная линия для переработки комплексных сурьмяных руд, включающая сочетание радиометрической сепарации и кучного выщелачивания, которая имеет гибкую, оперативно перестраивающую технологию с целью концентрирования ценных компонентов различных промышленных сортов с получением дополнительно от 30 до 50 кг золота в год для сезонной и круглогодичной работы в условиях Забайкалья.

7. Основные технико–экономические показатели внедрения комбинированной технологии при освоении месторождений Солонеченское и Нарин-Кундуйского составят: чистая прибыль 575,3 млн. руб. и 18,8 млн. руб., ЧДД – 1 133,8 млн. руб. и 20,4 млн. руб., соответственно. Совокупный экономический эффект (чистая прибыль и предотвращённый ущерб) от реализации комбинированной технологии на рудах Солонеченского месторождения за весь период эксплуатации при открытых горных работах составит 2 535,1 млн. руб.

8. Результаты исследований приняты для внедрения в производство ООО «Хара-Шибирский сурьмяной комбинат» (акт от 03.03.2012 г.), ООО «Забайкальский ГОК» (акт от 10.02.2012 г.) и ООО «Востокгеология» (акт от 06.06.2012 г.). Совместно с ООО «РАДОС» разработан технологический регламент для проектирования дробильно-сортировочной установки с РРС для бедной сурьмяной руды Жипкошинского месторождения. (технологический регламент, договор №17/03-08Т от 17.03.2008 г.). ООО «Хара-Шибирский сурьмяной комбинат» Разработаны и выполнены мероприятия для пробной партии рядовой руды с целью подготовки технологического регламента на ОАО «Забайкальском ГОКе». (протокол от 01.01.2010 г.).

9. Результаты научной работы используются в учебном процессе ФГБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет» при подготовке специалистов по специальности 130400.65 «Горное дело», специализация 25.00.13 «Обогащение полезных ископаемых» (акт от 04.09.2012г.). Даны рекомендации по изучению возможности применения рентгенорадиометрических сепараторов при обогащении мелкой (-20+2-5 мм) рудной сурьмяной фракции для снижения капитальных и эксплуатационных затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твёрдых полезных ископаемых. Т.1. Обоганительные процессы и аппараты. Т.2. Технология переработки и обогащения минерального сырья. - М.: изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2001.
2. Абрамов А.А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. Кн. 1. Рудоподготовка. - М.: изд-во МГГУ. 2005.
3. Абрамов А.А., Леонов С.Б. Обогащение руд цветных металлов. - М.: Недра, 1991. -407 с.
4. Абрамов. А.А. Флотационные методы обогащения. – М.: Недра, 1993.
5. Авелев Э.А., Туаев В.С., Евсеев Ю.П. Отчет о геофизических и геохимических работах, проведенных в пределах Лугоканского и Солонеченского месторождений в 1977-1979 годах / Лугоканская партия/. – Чита: ЧитГУ, 1979. -102 с.
6. Алабушев П.М. Теория подобия и размерностей. Москва: Высшая школа, 1968.
7. Альфа металл. Ценам на сурьму не страшно падение [Эл. ресурс]. – Режим доступа: http://www.mtodelta.ru/id=news_details&news_id=20201
8. Батунер Л.М., Позин М.Т. Математические методы в химической технике: Москва: Техника, 1968.
9. Башлыкова Т.В., Пахомова Г.А., Лагов Б.С., Живаева А.Б., Дорошенко М.В., Макавецкас А.Р., Шульга Т.О. Технологические аспекты рационального недропользования: Роль технологической оценки в развитии и управлении минерально-сырьевой базы страны. – Москва: МИСИС, 2005. - 576 с.
10. Белаш Ф.Н. Опыт работы Кадамджайской сурьмяной фабрики. Цветные металлы, 1939.
11. Бетехтин А.Г. Курс минералогии: учеб. - М.: Госгеолтехиздат, 1956. 558 с.
12. Бетехтин, А.Г. Курс минералогии: учеб. для геол.-развед. инстит. и фак. 2-е изд., испр. – М.: Госгеолтехиздат, 1956. - 366 с.

13. Бизяев И.О. Оценка прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых Читинской области и Агинского Бурятского автономного округа по состоянию на 01.01.2003 г. Сурьма, ртуть. - Чита: ФГУГП "Читагеолсъемка", 2002.
14. Богданов О.С. Справочник по обогащению руд. Т. 1-4. 1973-1974.
15. Болдырев А.А., Смирнов А.Н. Обогащение сурьмяных руд в СССР. Цветные металлы. 1960.
16. Боровков В.К., Гайворонский Б.А., Барун-Шивеинское месторождение // Месторождения Забайкалья. Т. I, кн. 1. - М.: Геоинформмарк, 1995. С. 142-145.
17. Бортников А.В., Самуков А.Д., Методический подход к выбору рациональной технологии и схемы рудоподготовки // Обогащ. руд. 2010. № 2.
18. Васильев В.Г. Восточно-Забайкальская сурьмяная провинция (типы оруденения, условия образования, перспективы освоения). – Чита: Экспресс-издательство, 2013. - 228 с.
19. Васильев В.Г., Саитов Ю.Г., Болотов Е.С. Перспективы развития сурьмяной отрасли в Забайкальском крае// Горный журнал. - 2011. - №3. -С.63-67.
20. Васильев В.Г. Сурьмяные месторождения. Месторождения Забайкалья; под ред. Н.П. Лаверова. - М.: Геоинформмарк, 1995. Т. 1, кн. II. С.67-75.
21. Васильев В.Г. Сурьмяное оруденения Восточного Забайкалья. Новый век - новые открытия. - Чита, 2001. -147 с.
22. Вольфсон Ф.И., Дружинин А.В. Главнейшие типы рудных месторождений. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1982. -383 с.
23. Геологические исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья / Юргенсон Г.А. [и др.] // История, современное состояние, проблемы, перспективы развития. К 300-летию основания приказа рудокопных дел. - Новосибирск: Наука. Сибирская изд. фирма РАН. 1999. -578 с.
24. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейна рек Будюмкан и Газимур: отчет Лугоканской партии о результатах поисково-съемочных работ масштаба 1:50 000, проведенных в 1982-1988 гг. на Будюмканской площади. / Чипизубов С.В. [и др.]. - Чита: ПГО «Читагеология», 1988. -723 с.

25. Геолого-экономическая оценка прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых Читинской области по состоянию на 01.01.1998 г. / Пилягин В.П. [и др.]. - Чита: ПГО "Читагеология", 1997.
26. Годовиков А.А. Минералогия. 2-е изд., пер. и доп.- М.: Недра, 1983. 647 с.
27. Горная энциклопедия. Т. 1-5. - М.: Сов. энциклопедия, 1981-1991 гг.
28. ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация.
29. ГОСТ 25100-96 Грунты. Классификация.
30. Группа компаний Вояджер. На мировых рынках сурьмы [Эл. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.antimony.ru/news.phpoper=view&nid=129&rid=41>
31. Гудалин Г.Г. Предпроектная экономическая оценка рудных месторождений. - М.: Недра, 1967. - 323 с.
32. Денисов Г.А. Геотехнологическая интерпретация рентгенорадиометрического опробования руд [Текст]/Денисов Г.А. [и др.]. –СПб. Изд. Международной академии наук, экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ), 2002. -130 с.
33. Евразийский химический рынок. Триоксид сурьмы: обзор мирового рынка [Эл. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chemmarket.info.ru/home/article/570/>
34. Евсеев Ю.П., Грабеклис Р.В. Отчет о проведении оценочных работ по выявлению объектов перспективных на оруденение золото-углеродистой формации. – Чита: ЧитГУ, 1976. -100 с.
35. Егоров В.А. Обогащение полезных ископаемых - М.: Недра, 1986.
36. Единые правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом ПБ 03-498-02.
37. Жуковский Н.П., Петров В.А. Новые методы технологических расчётов в обогащении. - Москва: Недра, 1968
38. Зубко В.А., Гульба Н.И. Отчет о работах геофизической партии №1 по Солонеченскому сурьмяному месторождению за 1953-1955 гг. Трест Востсибцветмет-разведка. – Иркутск, 1955. - 37 с.
39. Иванов В.С. Отчет по объекту «Анализ состояния МСБ сурьмы России с целью оценки основных геолого-промышленных типов месторождений и разработка

- критериев, обеспечивающих эффективное проведение геологоразведочных работ в Восточном Забайкалье». – М.: ГЕОРЕДМЕТ, 2008. -191 с.
40. Изоитко В.М. Технологическая минералогия и оценка руд. - СПб. Наука, 1997. - 582 с.
41. Изучение гидрогеологических и инженерно-геологических условий при разведке и освоении месторождений твердых полезных ископаемых / Бабушкин В.Д. [и др.]. - М.: Недра, 1969. - 408 с.
42. Инженерно-геологические, гидрогеологические и геоэкологические исследования при разведке и эксплуатации рудных месторождений: методические рекомендации / Кузькин В.И., Самсонов Б.Г., Россман Г.И. и др. - М.: ВИМС, 2002. - 119 с
43. Информационный отчет по незавершенным прогнозно-поисковым работам на Урово-Мотогорской площади – объект С-33 (листы N-50-132; М-50-11, 12, 23, 24, 35, 36) за 2000-2001 гг. ГФУГП «Центральная геологическая экспедиция» / Кузнецов А.В. [и др.]. – Чита, 2003. 271 с.
44. Каждан А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых; научные основы поисков и разведки: учеб. для вузов. - М.: Недра, 1984. 285 с.
45. Кармазин В.И., Жуковицкий В.И., Заиченко А.И., Чередниченко В.С. Математическое моделирование процессов обогащения Известия ВУЗов, Горный журнал № 6, 1969.
46. Князев Г.И., Красников В.И. Поведение мезозойского гипогенного оруденения Восточного Забайкалья во времени и пространстве // Вопросы рудоносности Восточного Забайкалья. - М.: Недра, 1967. С. 217-226.
47. Комбинированная технология обогащения хромитовых руд на основе сочетания радиометрических и гравитационных способов /Лагов Б.С., Башлыкова Т.В. [и др.] // Горный журнал. 2002. № 6.
48. Комин М.Ф., Ключарев Д.С., Волкова Н.М. Минерально-сырьевая база сурьмы России: проблемы и решения // Разведка и охрана недр. 2006. № 9-10. С. 26-29.
49. VIII Конгресс обогатителей стран СНГ: Сб. мат-в. Т. II «Марганцевые руды, современное состояние радиометрических методов». – М.: МИСиС, 2011. -352 с.

50. Концентрат сурьмяный. ТУ 1726-001-00195245-97. [Дата введ. 01.05.97 г.]
51. Кормилицын В.С., Иванова А.А. Полиметаллические месторождения Широкинского рудного поля и некоторые вопросы металлогении Восточного Забайкалья. – М.: Недра, 1968. -176 с.
52. Кормилицын В.С., Иванова А.А. Широкинское рудное поле и металлогения Восточного Забайкалья. - М.: Недра, 1968. -175 с.
53. Краткая химическая энциклопедия; под ред. И.Л. Кнунянц (отв. ред.). Т. 4. Пирометаллургия. - М.: Сов. энциклопедия, 1965. 1182 стб.
54. Кривошеин В.А. Отчет о гидрогеологических работах Ново-Широкинской партии в 1967-69 гг. для целей водоснабжения Новоширокинского ГРП. – Чита: ЧитГУ, 1969.
55. Критерии отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды: приказ МПР РФ от 15 июня 2001 г. № 511.
56. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Марков К.А. [и др.]. – Л.: Недра, 1978. - 607 с.
57. Кузнецов В.А. Ртутные провинции СССР // Геология рудных месторождений. 1970. №1. С. 3-21.
58. Лагов Б.С. Особенности оценки контрастности руд с высоким абсолютным содержанием полезных компонентов: сб. докл. V конф. по рудничной радиометрии и автоматическим методам сортировки руд. Т. IV. - М., 1974.
59. Лагов Б.С., Башлыкова Т.В. Определение контрастности руд в недрах – новая методика, новые возможности. – ООО «НВП Центр-ЭСТАгео», МИСиС.
60. Лебедева С.И. Микротвердость минералов. - М.: Недра, 1977. -118 с.
61. Лодейщиков В.В. Извлечение золота из упорных руд и концентратов / Технология переработки золото-сурьмянистых руд и концентратов. - М.: Недра, 1968.
62. Лодейщиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд: в 2-х томах. Т. 2. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 1999. -452 с.
63. Лукина К.И., Шилаев В.П., Якушкин В.П. Процессы и основное оборудование для обогащения полезных ископаемых: учеб. пособие; под общ. ред. д.т.н., проф., И.Ф. Мещярикова. – М.: Изд-во МГОУ, 2006.

64. Марфунин А.С. Введение в физику минералов. - М.: Недра, 1974.
65. Методика геолого-экономической переоценки запасов месторождений твердых полезных ископаемых (по укрупненным технико-экономическим показателям). - М.: МПР, ВИЭМС, 2002. - 28 с.
66. Методика статистической обработки эмпирических данных, Издат. Комитета стандартов СССР, 1966.
67. Методические рекомендации по применению «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых: сурьмяные руды». - М.: ГКЗ, 2007. -38 с.
68. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). - М.: ГКЗ, 2007. - 47 с.
69. Методические указания по оценке радиометрической обогатимости урановых руд при геологической разведке месторождений горными выработками / Архипов О.А. – М.: Мингео СССР, 1976.
70. Методы минералогических исследований: справочник; под ред. А.И. Гинсбурга. - М.: Недра, 1985. - 480 с.
71. Михайлов Б.К., Вартамян С.С., Арестов В.В. и др. Сурьма юга Восточной Сибири// Отечественная геология. - 2007.- №3.- С.39-42
72. Мокроусов В.А. Контрастность руд, её определение и использование при оценке обогатимости. Вып. 1. - М.: Госкомиздат, 1960.
73. Мокроусов В.А. Лилеев В.А. Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. - М.: Недра, 1979. - 192 с.
74. Мязин В.П. Инновационные процессы и экономически безопасные технологии обогащения минерального сырья // Вестник Забайк. Центр. РАЕН. № 1 – Чита, 2009.
75. Мязин В.П., Литвиненко В.Г. Совершенствование технологии радиометрического обогащения урановых руд. М.: Горный журнал, 2008. № 8. С. 54-58.
76. Мязин В.П., Сергеев Е.Н. Оценка эффективности технологических схем переработки сложных по составу сурьмяных золотосодержащих руд в России и за

рубежом // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 6. С. 159-163.

77. Нормы технологического проектирования горнорудных предприятий цветной металлургии с открытым способом разработки ВНТП35-86. - М.: Минцветмет СССР, 1986. 109 с.

78. Обухов Л.И. Методические основы разработки ПДК тяжёлых металлов и классификация почв по загрязнению / Л. И. Обухов // Система методов изучения почвенного покрова, динрадирированного под влиянием химического загрязнения: Науч. тр. почвенного ин-та им. В. В. Докучаева. - Москва, 1992. – С. 93-99.

79. Определение контрастности руд в недрах – новая методика, новые возможности / Лагов Б.С. [и др.] // мат. междунар. совещания «Экологические проблемы и новые технологии комплексной переработки минерального сырья». «Плаксинские чтения». – Владивосток: РАН, 2002. С. 23-28.

80. Опыт и практика рентгенорадиометрической сепарации золотосодержащих и других руд / Федоров Ю.О. [и др.] // Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов. Т. 2. Золото. - М.: Изд. дом «Руда и металлы». 2005. С.168-188.

81. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) тяжёлых металлов и мышьяка в почвах. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.0.20-94. – Москва: Госкомсанэпиднадзор России, 1987

82. Оценка экологической безопасности технологий обогащения и переработки минерального сырья Забайкалья / Мязин В.П., Хантургаева Г.И., Сергиенко Е.Н. и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 6. С. 164-180.

83. Павленко Ю.В. Глубинное строение и минералогия Юго-Восточного Забайкалья. - Чита: изд-во ЧитГУ, 2009. -200 с.

84. Павленко Ю.В. К вопросу систематики рудных формаций Юго-Восточного Забайкалья // Геология и минералогия Забайкалья: сб. докл. и статей к научно-произв. конф. посвящ. 60-летию ФГУГП «Читагеолсъемка». 22-23 апреля 2010 г. – Чита, 2010. С. 205-213.

85. Павленко Ю.В, Поляков О.А. Влияние свойств джаспероидного формационного типа антимонит-кварцевых руд на эффективность рудоподготовки // Вестник Чит. гос. ун-та. 2012. №3. С. 19-34.
86. Павленко Ю.В., Поляков О.А. Роль рудоподготовки при геолого-технологической оценке месторождений Восточно-Забайкальской сурьмяной провинции: монография. – Чита: Экспресс-издательство, 2012. 151 с.
87. Пат. 123689 Российская Федерация, МПК В 03 В 7/00. Поточная линия переработки сурьмяных золотосодержащих руд / В.П. Мязин, О.А. Поляков, Б.М. Дашин, А.В. Мязин, М.Ю. Субботин; патентообладатели ООО «Хара-Шибирский сурьмяной комбинат», ФГБОУ ВПО «ЗабГУ». 2012125436/03; заявл. 19.06.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1-2 с.: ил.
88. Пат. АО «Союзцветметавтоматика» - метод радиометрической и покусковой сепарации для обогащения золотосодержащих руд (2165794, С2, МПК-В 03 В 7/00, В 03 В 9/06, 2007 г.)
89. Пат. АО «Союзцветметавтоматика» - устройство для усреднения качества руд в процессе покусковой радиометрической сепарации [2074775, С2, МПК-6 В 07 С5/342, В 03 В 13/06, Е 21 С 41/00, 1993 г.].
90. Пат. ЗАО «АЛРОСА - способ сепарации минералов [2379130, С1, В 07 С5/342, 2008 г.].
91. Пат. Интегра Груп Лимитед - способ рентгенорадиометрической сепарации минерализованной массы [2154537, С1, МПК-В 07 С 5/346, 1999 г.].
92. Пат. ОАО «Научно-производственное предприятие «Буревестник» способ сепарации кускового минерального материала комплексных руд, осуществляющих сортировку радиометрическими методами [2248245(13), С2, МПК-В 03 В 13/06, 2003 г.]
93. Пат. РФ на полезную модель № 74832. Поточная линия для переработки золото-сурьмянистых руд МПК В03 В 7/00, опубл. 20.07.2008, бюл. № 20.
94. Пат. ФГУП «ВНИИ химической технологии» - способ покусковой сортировки руд [2286849, С1, В 03 В 13/06, В 07 С 5/346, 2005 г.].

95. Пат. 2493364 Российская Федерация, МПК E21B43/28. Поточная линия для круглогодичного кучного выщелачивания металлов руд / В.П. Мязин, Д.М. Шестернев, А.Г. Секисов, А.П. Буянов, М.Ю. Субботин, В.Т. Шекиладзе, О.А. Поляков К.И. Карасев; патентообладатель ФГБОУ ВПО «ЗабГУ». - 2012105846/03; заявл. 17.02.2012; опубл. 20.09.2013.
96. Перспективы применения радиометрической сепарации для переработки сурьмяных руд Восточного Забайкалья // Молодежь Забайкалья: Культура здоровья – здоровое общество: X международная молодежная научная конференция: мат-лы конф. – Чита, ИИЦ ЧГМА, 2006. С.-220-222.
97. Повышение эффективности подземной разработки урановых месторождений: монография / Култышев В.И. [и др.]. – М.: МГИУ, 2007. -212 с.
98. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке / Ревнивцев В.И., Азбель Е.И., Баранов Е.Г. [и др.] - М: Недра, 1987. -307 с.
99. Поляков О.А. Графоаналитическая трактовка процесса разделения минералов методом рентгенорадиометрической сепарации. // Вестник Читинского государственного университета - 2013. - № 2 (93). С. 38-48.
100. Поляков О.А., Минин В.В, Лизункин М.В. Минерально-сырьевые ресурсы Забайкальского края. – М.: Горный журнал, 2011. № 3. С. 4-7.
101. Поляков О.А. Особенности рентгенорадиометрической сепарации кварц - антимонитовых руд Восточного Забайкалья при рудоподготовке / Вестник Читинского государственного университета - 2012. - № 2 (81). - С. 20-35.
102. Поляков О.А., Павленко Ю.В. Влияние свойств жильных и штокверковых руд антимонит-кварцевого формационного типа на эффективность рудоподготовки // Вестник Чит. гос. ун-та. 2011. № 5 (72). С. 116-127.
103. Поляков О.А., Павленко Ю.В. Восточно-Забайкальская сурьмяная провинция // Вестник Чит. гос. ун-та. 2010. № 9 (66). С. 77-84.
104. Поляков О.А., Павленко Ю.В. Технологическая типизация основных типов сурьмяных месторождений Восточного Забайкалья. – М.: ГОРНАЯ КНИГА (Препринт), 2012. С. 16-32.

105. Поляков О.А. Перспективы освоения сурьмяных руд Восточного Забайкалья с использованием методов радиометрической рудоподготовки и кучного выщелачивания ценного компонента из хвостов. - М.: ГОРНАЯ КНИГА, ГИАБ №3, 2014. - С. 137-143.
106. Поляков О.А. Роль рентгенорадиометрической сепарации при рудоподготовке сурьмяных руд к обогащению. /Кулагинские чтения: XII Международная научно-практическая конференция. - Чита: ЗабГУ, 2012. - Ч. VI. С. 44-52.
107. Поляков О.А. Рудоподготовка: стадии, процессы. - Чита, ООО «Экспресс-издательство», 2012. -С.92-134.
108. Поляков О.А. Совершенствование процессов рудоподготовки основных типов сурьмяных месторождений Восточного Забайкалья. – М.: ГОРНАЯ КНИГА (Препринт), 2012. С. 3-15.
109. Поляков О.А. Технологические особенности полезного ископаемого, непосредственно влияющих на переработку / О.А.Поляков, Ю.В. Павленко, // - Чита, ООО «Экспресс-издательство», 2012. – С.50-90.
110. Поляков О.А Экономическая эффективность использования технологических схем. - Чита, ООО «Экспресс-издательство», 2012. С.136-147.
111. Производство и импорт сурьмяной продукции ООО «Хаучан» [Эл. ресурс]. – Режим доступа: http://ru.antimony-cn.com/Quality_Cataly.php
112. Пухальский Л.Ч. Теория контрастности урановых руд. - М.: Атомиздат, 1963.
113. Расчет класса опасности отходов (версия 1.0), интеграл 2001-2003 в соответствии с «Критериями отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды»: приказ МПР РФ от 15 июня 2001 г. № 511.
114. Ревнивцев В. И. Рентгенорадиометрическая обогащение комплексных руд цветных и редких металлов / В. И. Ревнивцев, Т. Г. Рыбакова, Е. П. Леман. – Москва: Недра, 1990. – 120 с.
115. Розенфельд М.П. Особенности флотации сульфидов сурьмы и мышьяка. 1984.
116. Рутштейн И.Г. Развитие представлений о геологическом строении и металлогении Восточного Забайкалья в XIX – первой половине XX в. // Геологические

- исследования и горнопромышленный комплекс Забайкалья. – Новосибирск: «Наука» Сибирская изд. фирма РАН, 1999. С. 72-82.
117. Рябчинский А.Д., Юрченко А.В. Технологическое исследование сурьмяно-золотосодержащих руд. - М.: "ЦНИГРИ", 1961.
118. Сазонов В.Д. Прогнозно-металлогеническая оценка бассейна р. Будюмкан и прилегающих территорий: отчет по теме Б.П.4/501 (13) 43-6/259 за 1976-1979 гг. - Чита: ЗабНИИ, 1979. -201 с.
119. Сергеенко Е.Н. Обоснование экологической безопасности рентгенометрической сепарации сурьмяных руд Восточного Забайкалья: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.36. - Чита, 2009. - 21 с.
120. Сергеенко Е.Н., Мязин, В.П. Применение радиометрической сепарации для подготовки руд Жипкошинского месторождения к дальнейшему обогащению // Молодежь Забайкалья: перспектива развития края: материалы XII междунар. молодежной науч.-практич. конф. – Чита: ЗаБИЖТ, 2008. – Ч.II. – С.126-129.
121. Сергеенко Е.Н. Применение радиометрической сепарации для переработки сурьмяных руд Восточного Забайкалья: мат. междунаро. совещания. «Современные проблемы обогащения и глубокой комплексной переработки минерального сырья» Ч. 1 «Плаксинские чтения». – Владивосток: РАН, 2008. С. 113-116.
122. Сергеенко Е.Н. Разработка и основные направления создания рациональной технологии переработки сурьмяных руд Восточного Забайкалья // ГИАБ. 2008. №6. - М.: изд-во МГГУ. С. 186-190.
123. Смирнов С.С. О Тихоокеанском рудном поясе. Сер. «Геология». 1946. №2. - М.: Изд-во АН СССР.
124. Смирнов С.С. Очерк металлогении Восточного Забайкалья. – М.; Л.: Госгеолтехиздат. 1944.
125. Смольянинов Н.А. Практическое руководство по минералогии: учебн. - М.: Госгеолтехиздат, 1955. - 432 с.
126. Современное состояние и основные направления развития технологии покусковой сепарации руд цветных и редких металлов / Татарников А.П. [и др.]: мат. междунаро. совещания. «Инновационные процессы в технологиях комплексной,

- экологически безопасной переработки минерального и нетрадиционного сырья». «Плаксинские чтения». – Владивосток: РАН, 2009. С. 107-111.
127. Соложенкин П.М. Бондаренко Е.В. Комплексное использование сурьмяных руд Забайкальского края: мат. III международ. научн. -практ. конф., посвящ. году планеты Земля и 85-летию Республики Бурятия. – У-Удэ: Правительство Республики Бурятия, 2008. С. 277-279.
128. Соложенкин П.М. Инновационные технологии переработки золото–сурьмяных материалов (на примере извлечения сурьмы и золота из хвостов Сарылахской обогатительной фабрики): мат. международ. совещания «Современные проблемы обогащения и глубокой комплексной переработки минерального сырья» Ч. 1 «Плаксинские чтения». – Владивосток: РАН, 2008. С. 229-232.
129. Соложенкин П.М. Технология обогащения комплексных сурьмяных руд Китая. - М.: ЦНИИ ЭИ ЦМ, 1992. - 55 с.
130. Соложенкин П.М., Бондаренко Е.В., Чертогова Е.В. Обогащение сурьмяных руд Забайкалья // Обогащение руд. 2008. № 1. С. 15-19.
131. Соложенкин П.М., Орлова Л. П., Бочкарева Г.М. Флотация антимонита и киновари поверхностно-активными веществами // Известия отделения геолого-химических и технических наук. 1963.
132. Соложенкин П.М. Технология обогащения сурьмяных руд. Цветные металлы, 1961.
133. Справочник по горнорудному делу; под ред. Гребенюка В. А. [и др.]. - М.: Недра, 1983, -186 с.
134. Справочник по обогащению руд Т. 1-4 / под ред. О.С. Богданова. - М.: Недра, 1972.
135. Справочник по обогащению руд. Т. 1-3 / под редакцией О. С. Богданова. - М.: Недра, 1973-1974.
136. Справочник по проектированию рудных обогатительных фабрик. Кн.1 / Баранов В.Ф [и др.]. - М.: Недра, 1988. -374 с.
137. Стаканова Е.П. Флотация сурьмяных руд. Обогащение руд. 1953.
138. Строна П.А. Главные типы рудных формаций. - Л.: Недра, 1978. -199 с.

139. Татаринов П.М. Условия образования месторождений рудных и нерудных ископаемых. - М.: Госгеолтехиздат, 1955.
140. Технологическая оценка минерального сырья: справочник / под редакцией П. Е. Остапенко. - М.: Недра, 1992.
141. Терещенко С.В., Денисов Г.А., Марчевская В.В. Радиометрические методы опробования и сепарации минерального сырья.
142. Технологический регламент для проектирования дробильно-сортировочной установки с РРС на месторождении «Жипкоша»: договор № 23/03-07Т от 23 марта 2007 г. – Красноярск: ООО «РАДОС», 2008. -35 с.
143. Технология обогащения комплексных руд Китая. – Москва, 1992. -54 с.
144. Томов Т.Г. Обогащение руд в тяжёлых жидкостях. – Москва: Наука, 1969.
145. ТУ 1726-002-00201655-2004.
146. ТУ 3132-015-05820239-2001.
147. ТЭО постоянных разведочных кондиций и подсчет запасов сурьмы Солонеченского месторождения по состоянию на 01.10.2009 г. Отчет о результатах поисковых, оценочных и разведочных работ в пределах Солонеченского рудного поля за 2007-2009 гг.
148. Тюменцев Ю.А. Предпроектная сравнительная оценка эффективных методов обогащения кварц-антимонитовых руд месторождения Жипкоша: автореф. дис. канд. техн. наук: 25.00.13. - Чита, 2009. -23 с.
149. Усреднение руд – один из эффективных способов повышения комплексности использования сырья: мат. науч.-техн. совещания по комплексному использованию месторождений полезных ископаемых / Ждановских Н.П. [и др.]. - М., 1970.
150. Федоров Ю.О. Пособие по рентгенорадиометрической сепарации ООО «Радос», 2006. [Эл. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rados.ru/info-article.htmlst=10>
151. Федотов К.В., Никольская Н.И. Проектирование обогатительных фабрик: Учебник для вузов. – Москва: Издательство «Горная книга», 2012. – 536 с. (Обогащение полезных ископаемых).

152. Формула полез. модели ОАО «Научно-производственное предприятие «Буревестник» - радиометрический сепаратор минералов [39511(13), U1, В 03 В 13/06, 2004 г.].
153. Хейн Х.Я. Окончательный отчет Солонеченской партии Солонеченского сурьмяного месторождения за 1955-56 гг. / Среднее течение реки Будюмкан. - Чита: изд-во ЧитГУ 1957. -74 с.
154. Хопунов Э.А. Исследование механизма селективного разрушения руд // Сб.: «Интенсификация технологических процессов рудоподготовки». – Л.,1987 С. 116–135.
155. Цветные металлы и сплавы, список компаний [Эл. ресурс]. – Режим доступа: http://www.postavka.ru/tree.php?tree_id=111®ion_id=68
156. Цены мирового и российского рынков [Эл. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infogeo.ru/metalls 2>
157. Щеглов А.Д. О некоторых особенностях ртутно-сурьмяно-вольфрамовых месторождений Забайкалья // Записки ВМО. Вып. I. С. 48-59.
158. Экологические проблемы и новые технологии комплексной переработки минерального сырья: тр. междунар. совещания 19.09.2002 «Плаксинские чтения». № 16. – Владивосток. 2002.
159. Bragg W. L. Atomic structure of minerals / Cornell Univ. press. – Ithaca, New York, 1937.
160. Bragg W. L. The crystalline stste. Vol. 1. – A general survey. – New York, 1934. – 352 p.
161. Cameron E. N. Apparatus and techniques for the measurement of certain optical properties minerals in reflected light // Econ. Geol. Vol. 52. – 1957.
162. Cameron E. N., Green L. H. Polarization figures and rotation properties in reflected light and application to the indentification of ore minerals // Econ. Geol. Vol. 45. – 1950.
163. Coker P. A. Antimony. Auztral. Miner. Jnd. Annu. Rev.1986.Canberra.1988. P. 48-50.

164. John N. Greaves, B. S. The recovery of gold from refractory ores by the use of carbon-in-chlorine bleaching / B. S. John N. Greaves, B. S. Glenn R. Palmer, M. S. William W. White III // JOM. – 1990. -Vol. 42. – Iss. 9. - P. 12-14 [Эл. ресурс]. – Режим доступа: <http://link.springer.com>
165. Davy W. M., Farnham C. M. Microscopic examination of ore minerals. – New York, 1920.
166. Edwards A. B. Texture of the ore minerals and their significance // Austral. Inst. Min Metall. – 1954.
167. Goldschmidt V. G., Gordon S. G. Crystallographic tables for the determination of minerals/ Special publ. № 2, Ac. Sc. – Philadelphia, 1928. – 70 p.
168. Goldschmidt V. G. Index der Kristallformen der Mineralien. Bd. 1-3. - Berlin, 1886-1891.
169. Henley, K. J. A review of recent developments in the process mineralogy of gold / K. J. Henley // Extract. Met. Gold and Base Metals: Proc. Int. Conf. Extract. Met. Gold and Metals (Kalgoorlie. Oct. 26-28. 1992). – Melbourne, 1992. – P. 177-194.
170. International Critical Tables of Numerical Data, Physics, Chemistry and Technology / Ed. E. W. Washburn. – National Research Council, USA, 1926-1933.
171. International Tables for the Determination of Crystal Structures. – Ed. 1-2. Berlin, 1937.
172. Kirby, D. Precious metal concentrate production / D. Kirby // Symp. On Precious and Rare Metals (USA, 1988). - Albuquerque, NM, USA, 1988. - P. 85-94.
173. Kumtor Mine Sites, 2012 [Эл. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infomine.com/minesite/kumtor.html>
174. La Brooy, S. R. Review of Gold Extraction from Ores / S. R. La Brooy, H. G. Linge, G. S. Walker // Minerals Engineering. - 1994. - Vol. 7. - No. 10. - P. 1213-1241.
175. Short M. N. Microscopic determination of the ore minerals // U. S. Geol. Sur. Bull.: Vol. 825. – 1931 (Ed. 1); Vol. 914. – 1940 (Ed. 2).
176. Orcel J. L'étude microscopique des minerais métalliques. – Paris, 1934.
177. Schneiderhohn H. Ramdohr P. Erzmikroskopische Bestimmungstafeln. Bd. 2. – Berlin, 1931.

178. Schneiderhohn H. Anleitung zur mikroskopischen Bestimmung von Erzen und Aufbereitungsprodukten, besonders im auffallender Licht. – Berlin, 1922. - 292 s.
179. Schwartz G. M. Classification and definition of texture and minerals structures in ores // Geol. Vol. 46. – 1951.
180. Solozhenkin, P. Flotation of complex antimony ores / P. Solozhenkin, Z. Zinchenko, I. Krilova, N. Ivanova// Proceeding of the 17 th IMPC, Sept. 23-28, 1991 prepr. Dresden. Vol.4.P.163-174.
181. Solozhenkin, P. M. Physical-chemikal study on sorption metals by antimony minerals / P.M. Solozhenkin//Proceeding of the 12 th Balkan International Mineral Processing Congress, June 10-13, 2007. Delphi. P. 163-174.
182. Turner A. W., Benford J. R., Mclean W. J. A Polarized light compensation for opaque miner Econ. Geol. Vol. 40. – 1945.
183. USGS Статистика по сурьме [Эл. ресурс]. – Режим доступа: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/antimony>

ОСНОВНЫЕ СЫРЬЕВЫЕ ПОТОКИ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ.
ЗАПАСЫ И РЕСУРСЫ СУРЬМЫ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ, РАССТОЯНИЕ ДО ЗАБАЙКАЛЬСКОГО ГОКА



Используемое месторождение

1. Жипкоши – **30 км.** Всего запасов (C1+C2)=30 ,6 тыс.тонн.

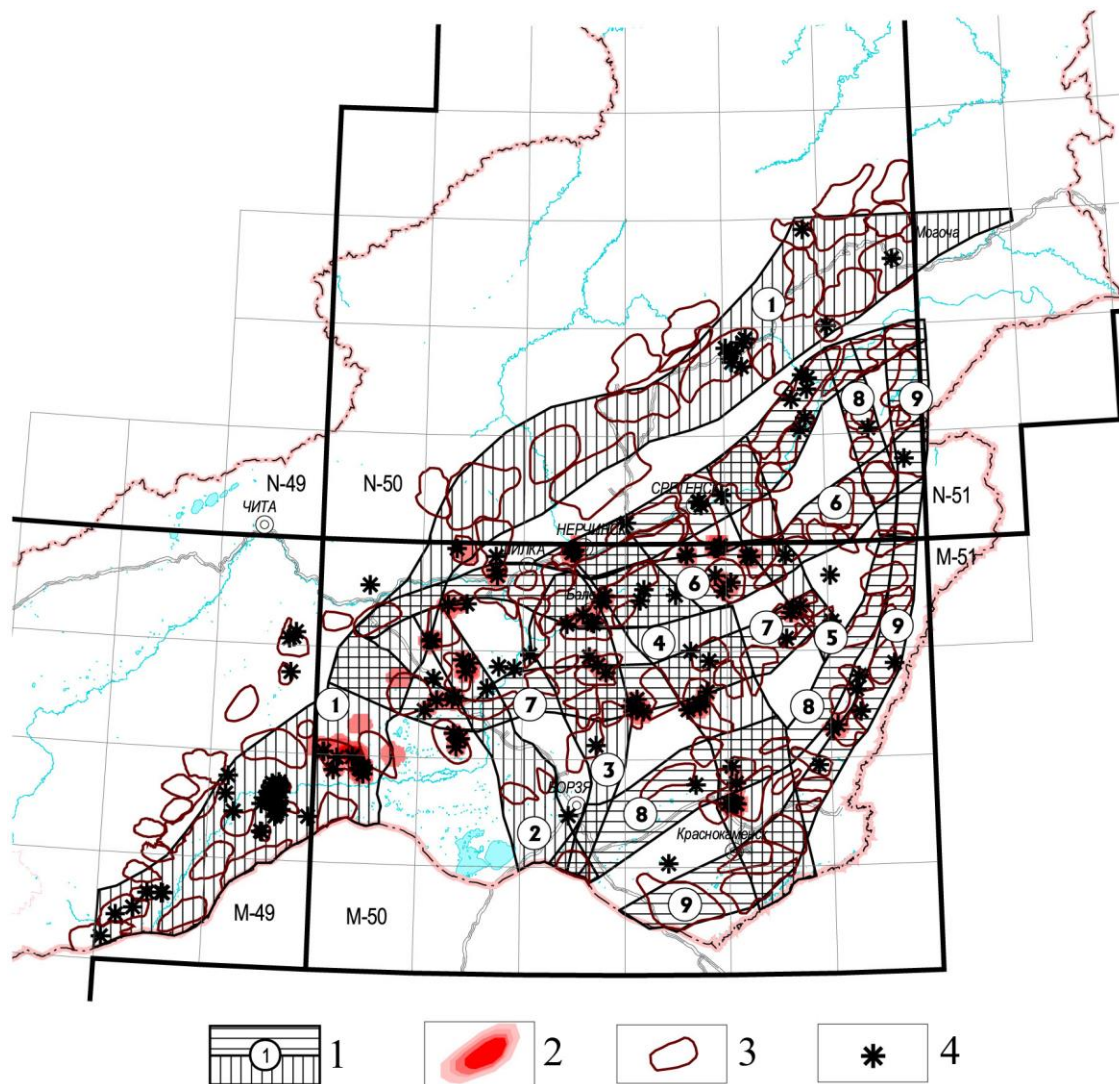
Приобретаемое месторождение

2. Булькта, Южное – **20 км.** Ресурсы (P1+P2)=62,6 тыс. тонн.

Перспективные месторождения

3. Дельмачик – **30 км.** Ресурсы **P2=20,0 тыс. тонн.** Запасы золота (C1+C2) оцениваются в 21,3 т. при содержании золота 3г\т.
4. Октябрьское – **80 км.** Ресурсы (P1+P2)=18,6 тыс. тонн.
5. Тыргетуйское – **120 км.** Ресурсы (P1+P2)=17,3 тыс. тонн.
6. Нарин – Кундуй – **200 км.** Ресурсы (P1+P2)=20,0 тыс. тонн.
7. Солонеченское – **450 км.** (или 200 км. автодорогой плюс 400 км. железнодорожным транспортом). Всего запасов (C1+C2)= **67,8 тыс. тонн.**

ЭКСТЕНСИВНОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СУРЬМЯНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В СТРУКТУРАХ АКТИВАЦИИ ФУНДАМЕНТА



1 – Линейные структуры активизации фундамента (цифры в кружках): 1 – Монголо-Удский шов, 2 – Ононская, 3 – Восточно-Агинская, 4 – Далайнор-Газимурская, 5 – Урово-Газимурская, 6 – Ингода-Куренгинская, 7 – Ага-Урюмканская, 8 – Борзя-Уровская, 9 – Приаргунская; 2 – поля экстенсивности сурьмяной минерализации; 3 – рудные узлы; 4 – месторождения, проявления сурьмы

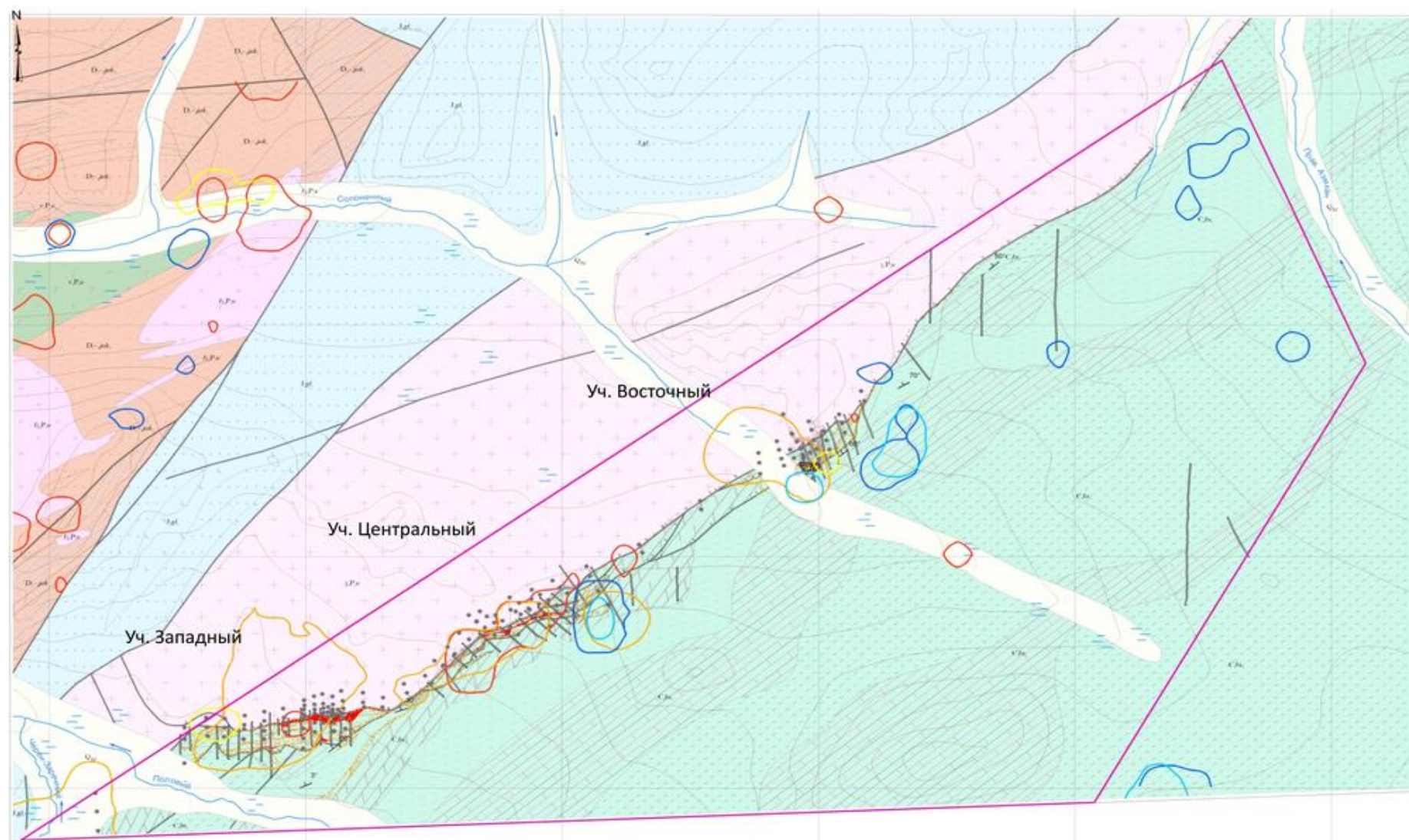
СТАДИЙНОСТЬ МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЯ (по Е.А. Шивохину)

Минерал	Этап			
	Рудный		Пострудный	
	Березитовый	Аргиллизитовый		Гипергенный
		Джаспероиды	Аргиллизиты	
Рудные минералы				
Антимонит				
Арсенопирит				
Аурипигмент				
Блѣклая руда				
Буланжерит				
Галенит				
Киноварь				
Ковеллин				
Лимонит				
Марказит				
Миллерит				
Пентландит				
Пирит				
Пирротин				
Реальгар				
Самородное золото				
Самородное серебро				
Скородит				
Сурьм. охры (стибио- конит. валентинит)				
Сфалерит				
Халькопирит				
Нерудные минералы				
Барит				
Каолинит				
Карбонат (доломит, кальцит)				
Кварц				
Лейкоксен				
Серицит				
Турмалин				
Флюорит				
Халцедон				

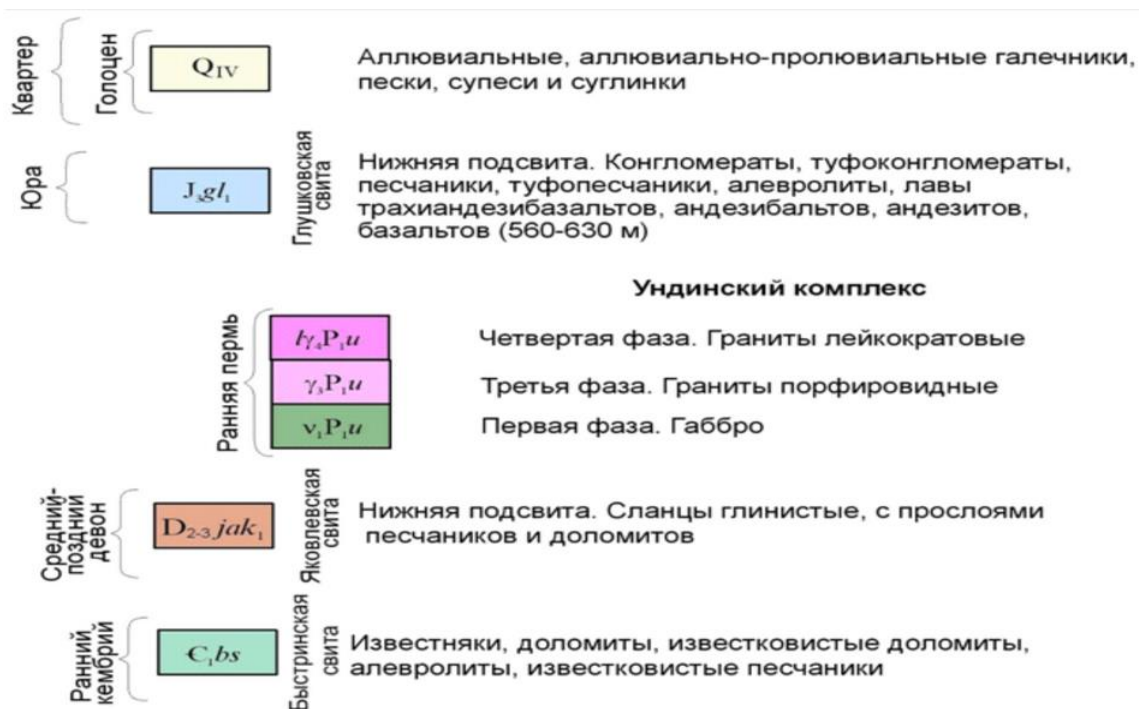
Примечание. Маркировка минералов:

главные второстепен. малораспространѣн. редкие

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА СОЛОНЕЧЕНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ СОЛОНЕЧЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



— Геологические границы между разновозрастными подразделениями

Разрывные нарушения

— Разломы крутопадающие

— Взморо-надвиги, надвиги

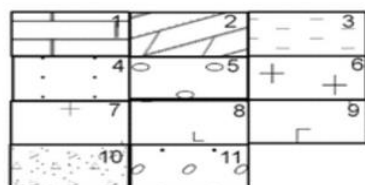
25° — Элементы залегания слоистости



Контур Солонеченского лицензионного участка недр



Сурьмяные золотосодержащие рудные тела



1 - известняки; 2 - доломиты, известковистые доломиты;
 3 - алевролиты; 4 - песчаники; 5 - конгломераты; 6 - граниты порфиоровидные; 7 - граниты мелкозернистые;
 8 - андезибазальты, базальты; 9 - габбро;
 10 - глыбово-песчано-дресвяные отложения (только на разрезах); 11 - валунно-галечно-песчаные отложения (только на разрезах)

Литохимические ореолы рассеяния в рыхлых отложениях



Зоны брекчирования



Зоны джаспероидизации



Скважины



Канавы



Канавы предшественников

Мышьяк, 0.01 %

Золото, 0.02 г/т

Цинк, 0.05 %

Свинец, 0.01 %

Сурьма, 0.01 %

Мероприятия по запуску рядовой руды ООО «ХСК» на ОАО ЗабГОК

«21» января 2010 г.

п. Первомайский

№	Наименование мероприятия	Сроки	Ответственный	Исполнение
1	Подготовка отвалов руды (2-4%) на ХСК для переработке на ЗабГОКе	Декабрь 09 - январь 10 г.	ХСК	+
2	Подготовка пробной партии рядовой руды (500 тонн, 2-4%) на ХСК для отработки технологического регламента на ЗабГОКе	Декабрь 09 - январь 10 г.	ХСК	+
3	Перевозка пробной партии рядовой руды (500 тонн, 2-4%) для отработки технологического регламента на ЗабГОКе	Январь 10 г.	ХСК	+
4	Лабораторные испытания. Отработка технологического регламента на ЗабГОКе в лаборатории с получением показателей обогащения	Январь 10 г.	ЗабГОК	+
5	Полупромышленные испытания. Запуск основного и вспомогательного технологического оборудования на ЗабГОКе на материале пробной партии рядовой руды (500 тонн, 2-4%) для отработки технологического регламента	С 1 февраля - 1 марта 10 г.	ЗабГОК	
6	Подготовка, ремонт основного и вспомогательного технологического оборудования на ЗабГОКе	1 квартал Юг.	ЗабГОК	
7	Правовые аспекты. Завершение сделки по вхождению ООО «НефтеХимМаш» в ЗабГОК.	Февраль 10 г.	ЗабГОК	
8	Договорные аспекты. Подготовка толлингового договора между ООО «ХСК» и ОАО ЗабГОК	Фев - 10 марта 10 г.	ХСК, ЗабГОК	
9	Подписание договора	С 10-15 марта 10 г.	ХСК, ЗабГОК	
10	Подготовка отчета по полупромышленным испытаниям. Технологические показатели Финансовые аспекты: • Определение цены переработки руды ООО «ХСК» на ЗабГОКе • Определение себестоимости по фабрике, по ГОКу	С 1 -10 марта 10 г.	ХСК, ЗабГОК	
11	Сотрудничество и совместная переработка руды. Запуск технологических линий ЗабГОК на руде ХСК.	С 15 марта 10 г.	ХСК, ЗабГОК	
12	Определить представителя ООО «ХСК» на период полупромышленных испытаний	С 1 фев - 10 марта 10 г.	ХСК	
13	Направить специалистов ОАО «ХСК» на период полупромышленных испытаний (флотатор, инженер, экономист)	С 1 фев - 10 марта 10 г.	ХСК	
14	Совместная работа по запуску ДСУ РРС на ООО «ХХЖ»	С 1.06. 10г.		

Подписи:

ООО «ХСК»
 ТОО «K-Antimony»
 ОАО «ЗабГОК»
 ООО «НефтеХимМаш»
 Соискатель

Дашин Б.М.
 Хасенов М.Б.
 Руденко Б.Я.
 Кондратов К.Е.
 Поляков О.А.

УТВЕРЖДАЮ:



Генеральный директор

ООО «Забайкальский ГОК»

К.Е.Кондратов

« 10 » 02 2012 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы «Радиометрическая рудоподготовка комплексных золотосодержащих сурьмяных руд Восточного Забайкалья» на соискание ученой степени кандидата технических наук
Полякова Олега Анатольевича

Мы, нижеподписавшиеся, от ООО «Забайкальский ГОК» заместитель генерального директора Кондинский С.Г., главный геолог Барахоев В.П. д-р геол.-минер. наук Павленко Ю.В. составили настоящий акт в том, что экспоненциально-степенное уравнение $(\alpha): \frac{100}{\beta} = e^{m\alpha^n}$ по критерию контрастности руд сурьмяного оруднения Восточного Забайкалья характеризует зависимость концентрации сурьмы в продуктивной фракции (β) от её содержания в исходном сырье (α).

Представленная патентнозащищенная, комбинированная, технологическая линия концентрирования ценных компонентов (сурьмы, золота) обеспечивает отработку бедных и забалансовых руд, прогнозную оценку эффективности отработки при реализации комплексного использования недр, принята для внедрения в производство ООО «Забайкальский ГОК».

Представители от

ООО «Забайкальский ГОК»:

Заместитель генерального директора

Главный геолог

С.Г.Кондинский

В.П.Барахоев

Представители от ФГБОУ ВПО ЗабГУ:

Д-р геол.-минер. наук

Соискатель

Ю.В.Павленко

О.А. Поляков



АКТ

внедрения результатов диссертационной работы «Разработка радиометрической сепарации концентрирования ценных компонентов сурьмяных руд Восточного Забайкалья» на соискание ученой степени кандидата технических наук
Полякова Олега Анатольевича

Мы, нижеподписавшиеся, от ООО «Востокгеология» заместитель генерального директора Карманов А.Б., главный геолог Кузнецов А.В., секретарь кафедры ОПИ и ВС ФГБОУ ВПО ЗабГУ Филиппова И.И. составили настоящий акт в том, что экспонентально-степенное уравнение $(\alpha): \frac{100}{\beta} = e^{m\alpha^n}$ по критерию контрастности руд сурьмяного оруднения Восточного Забайкалья характеризует зависимость концентрации сурьмы в продуктивной фракции (β) от её содержания в исходном сырье (α).

Представленная патентнозащищенная, комбинированная, технологическая линия концентрирования ценных компонентов (сурьмы, золота) обеспечивает обработку бедных и забалансовых руд, прогнозную оценку эффективности отработки при реализации комплексного использования недр, возможность оперативно перестраивать технологию при переработке различных промышленных сортов сурьмяных руд круглогодично в Забайкалье.

На основании вышеизложенного принять для внедрения в производство ООО «Востокгеология» разработанную инновационную технологию обогащения комплексных золотосодержащих сурьмяных руд, позволяющую повысить полноту использования сырья и вовлекать в эксплуатацию мелкие минерально-сырьевые объекты Восточно-Забайкальской сурьмяной провинции.

Приложение: Протокол совместного заседания ООО «Востокгеология», ООО «ГРК» Быстринское, кафедры ОПИ ВС ФГБОУ ЗабГУ от 15.05.2012г.

Примечание: Акт внедрения в производство хранится на кафедре ОПИ ВС ФГБОУ ЗабГУ (от 06.06.2012г.).

Представители от ООО «Востокгеология:

Заместитель генерального директора

А.Б. Карманов

Главный геолог

А.В. Кузнецов

Представитель от ФГБОУ ВПО ЗабГУ:

И.И. Филиппова

ПРОТОКОЛ

совместного заседания ООО «Востокгеология», ООО «ГРК «Быстринское», ФГБОУ
ВПО Забайкальский государственный университет
(горный факультет, кафедра ОПИ и ВС)

«15 мая» 20 12 г

г. Чита

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

От ООО «Востокгеология»:

Г.А. Шевчук - генеральный директор

А.Б. Карманов - главный геофизик

А.В. Кузнецов - главный геолог

Ю.Ф. Харитонов - начальник геолого-экономического отдела

Е.А. Шивохин - ведущий геолог

От ООО «ГРК «Быстринское»:

П.И. Андрианов - заместитель генерального директора

В.И. Наумов - главный геолог

В.А. Никитин - главный технолог-обогащатель

От ФГБОУ ВПО ЗабГУ;

В.П. Мязин - заведующий кафедрой ОПИ и ВС, д-р тех. наук, проф.

Ю.В. Павленко - д-р геол.-минер. наук

О.А. Поляков – соискатель

ПОВЕСТКА ДНЯ:

Рассмотрение представленных соискателем О.А. Поляковым результатов диссертационной работы на тему: «Разработка радиометрической сепарации концентрирования ценных компонентов сурьмяных руд Восточного Забайкалья».

ОТМЕТИЛИ:

Актуальность работы. Необходимость освоения минерально-сырьевых ресурсов сурьмы (Sb) в России обусловлена тенденцией повышения мировых цен на сурьмяную продукцию за последние десять лет, в связи с резким сокращением поставок сурьмы на мировой рынок, а также созданием новых материалов и технологий. Существенное улучшение состояния минерально-сырьевой базы сурьмы в стране возможно за счет использования крупного ресурсного потенциала Забайкальского края (прогнозные ресурсы категории P_1 и P_2 - 272,4 тыс. т сурьмы - 80% учтённых ресурсов России.), как перспективной сурьмяной провинции.

Основная идея работы. При подготовке комплексного сырья минералы сурьмы направлены концентрируются в продуктивной фракции в голове технологического процесса обогащения руд, а золотосодержащие хвосты направляются на кучное выщелачивание, что предопределяется контрастностью руд - неравномерностью распределения основного ценного компонента между отдельными кусками в исходном питании и содержанием золота в руде.

Цель и задачи исследования. Цель исследования состоит в разработке технологии концентрирования ценных компонентов из комплексных сурьмяных руд на основе комбинирования (сочетания) рентгенорадиометрической сепарации и кучного выщелачивания золота из отвальных хвостов, позволяющей обеспечить эффективное освоение многочисленных мелких месторождений Восточного Забайкалья.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести анализ современного состояния минерально-сырьевой базы сурьмы в России и за рубежом;
- 2) выполнить оценку мирового уровня развития техники и технологий методов концентрирования ценных компонентов в голове технологического процесса;
- 3) провести комплексный анализ минералого-технологических особенностей вещественного состава сурьмяных руд месторождений Восточного Забайкалья и экспериментальные исследования для оценки возможности использования радиометрической сепарации крупнокускового сырья в сочетании с кучным выщелачиванием золота;
- 4) классифицировать сурьмяные руды Восточного Забайкалья по сортам с учётом содержания в них ценных компонентов;
- 5) научно обосновать и разработать комбинированную технологическую схему и поточную линию переработки комплексных сурьмяных руд на основе использования рентгенорадиометрической сепарации и выщелачивания золота из хвостов в голове процесса для сезонной и круглогодичной работы в условиях Забайкалья;
- 6) выполнить сравнительную оценку технико- и эколого-экономических показателей базовых и реализуемых вариантов технологических решений по предварительному концентрированию ценных компонентов в голове технологического процесса.

Направления исследования соответствуют задачам промышленного освоения и дальнейшего изучения минерально-сырьевой базы сурьмы на территории Забайкальского края, изложенным в Федеральной целевой программе «Экономическое и социальное развитие Дальнего Востока и Забайкалья на период до 2013 года», в Федеральном законе «О зонах территориального развития в РФ», в законе Забайкальского края «О стратегических направлениях развития Забайкальского края на период до 2025 года» и в программе «Социально-экономическое развитие Забайкальского края на период 2010 - 2014 годы».

Объект исследования – комплексные сурьмяные руды типовых месторождений Восточного Забайкалья: Нарин-Кундуйское и Солонеченское.

Практическая значимость работы:

1. Разработана комбинированная инновационная технология обогащения комплексных сурьмяных руд, позволяющая повысить полноту использования сырья и вовлекать в эксплуатацию мелкие минерально-сырьевые объекты Восточно-Забайкальской сурьмяной провинции.
2. Рекомендуемая прогрессивная технология переработки руд Нарин-Кундуйского и Солонеченского месторождений делает возможным извлечение двух компонентов (сурьмы и золота) и, кроме того, уменьшает бортовое содержание сурьмы при подсчете запасов, снижает себестоимость обогащения руды за счёт исключения на стадии рудоподготовки около 30-70% вмещающей породы и минимизирует экологическую нагрузку предприятий на окружающую среду.

3. Разработана патентнозащищённая поточная линия для переработки комплексных сурьмяных руд, включающая сочетание радиометрической сепарации и кучного выщелачивания, которая имеет гибкую, оперативно перестраивающую технологию с целью концентрирования ценных компонентов различных промышленных сортов с получением дополнительно от 30 до 50кг золота в год для сезонной и круглогодичной работы в условиях Забайкалья. Ожидаемый экономический эффект от реализации комбинированной технологии на рудах Солонеченского месторождения составит 2 535,1 млн. руб.

ВЫВОДЫ:

1. Эффективность управления технологическим процессом радиометрической рудоподготовки достигается путём использования установленной аналитической зависимости между количеством сконцентрированного ценного компонента (β) и содержанием сурьмы в исходной руде (α): $\frac{100}{\beta} = e^{m\alpha^n}$, где m , n значения коэффициентов, определяемые типом и контрастностью руд.

2. Территорию Восточного Забайкалья следует рассматривать в качестве перспективной сурьмяной провинции России.

3. Автором предложена классификация сурьмяного оруденения Восточного Забайкалья на три промышленных сорта и методология построения технологических схем, позволяющие осуществлять выбор рационального варианта переработки минерального сырья.

4. Разработанная патентнозащищённая комбинированная поточная линия концентрирования ценных компонентов (сурьмы, золота), включающая сочетание радиометрической сепарации и кучного выщелачивания, обеспечивает:

- отработку бедных и забалансовых комплексных сурьмяных золотосодержащих руд;
- прогнозную оценку эффективности отработки при реализации концепции комплексного использования недр;
- возможность оперативно перестраивать технологию при переработке различных промышленных сортов сурьмяных руд круглогодично в Забайкалье.

РЕШИЛИ:

На основании вышеизложенного принять для внедрения в производство ООО «Востокгеология» разработанную инновационную технологию обогащения комплексных золотосодержащих сурьмяных руд, позволяющую повысить полноту использования сырья и вовлекать в эксплуатацию мелкие минерально-сырьевые объекты Восточно-Забайкальской сурьмяной провинции.

Генеральный директор
ООО «Востокгеология»
Г.А. Шевчук

Заместитель генерального директора
ООО «ГРК «Быстринское»
П.И. Андрианов

Заведующий кафедрой
ОПИ ИВС ЗабГУ
В.П. Мязин

Соискатель
ОА Поляков



АКТ

отбора лабораторной минерально-технологической пробы
(участок Восточный Солонеченского месторождения)

Мы, нижеподписавшиеся, главный геолог Кузнецов А.В., профессор кафедры обогащения полезных ископаемых и вторичного сырья (ОПИ и ВС) ГОУ ВПО «ЧитГУ» Шумилова Л.В., соискатель кафедры ОПИ и ВС ГОУ ВПО «ЧитГУ» Поляков О.А., составили настоящий акт о нижеследующем:

1. Для изучения вещественного состава и проведения технологических исследований на участке Восточный Солонеченского месторождения отобрана лабораторная технологическая проба.

2. Проба отобрана в канаве №1 сечением 0,2×0,1 м длиной 2,4 м в интервале 60,3 – 62,7 м. Масса пробы составила 145 кг. Проба представлена брекчированными известняками и алевролитами с гнездовой вкрапленностью антимонита.

3. Материал проб складирован в 7 крафт-мешков, каждый из которых упакован в полипропиленовый мешок.

4. Отобраны образцы минералов (С-1, С-2, С-3).

5. Проведение минералогических, петрографических и технологических исследований запланировано в технологической лаборатории ООО «Востокгеология».

Главный геолог ООО «Востокгеология»

А.В. Кузнецов

Представитель кафедры ОПИ и ВС
ГОУ ВПО «ЧитГУ», профессор.,
д-р техн. наук

Л.В. Шумилова

Соискатель

О.А. Поляков

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

ФГБОУ ВПО "Забайкальский государственный университет"

проф. Н.М.Филиппов



09 2012 г.

АКТ

о внедрении в учебный процесс результатов диссертационной работы
Полякова Олега Анатольевича на тему «Радиометрическая рудоподготовка
комплексных сурьмяных руд Восточного Забайкалья»

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы О.А.Полякова используются в учебном процессе кафедры «Обогащение полезных ископаемых и вторичного сырья» ФГБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет» при чтении курса лекций и проведении практических занятий для студентов специальности 25.00.13 «Обогащение полезных ископаемых и вторичного сырья» направления 130400.65 – «Горное дело» по дисциплинам:

1. Технология обогащения руд цветных, редких и благородных металлов.
2. Комплексная переработка минерального сырья.

Декан Горного факультета
докт. техн. наук, профессор

П.Б. Авдеев

Зав. кафедрой ОПИ и ВС
докт. техн. наук, профессор

В.П.Мязин

Начальник учебно-методического
управления

Т.А. Плюснина

СЕПАРАТОР РЕНТГЕНОРАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ

ТУ 3132-015-05820239-2001

Технические данные	Тип сепаратора
	СРФ4-3П-150
	трехпродуктовый
1. Классы крупности сортируемой руды, мм	30-150
2. Диапазоны класса крупности, мм	30-80 30-100 40-120 50-150
3. Производительность, т/ч * (в зависимости от диапазона)	10-20
4. Источник первичного рентгеновского излучения	Специализированные портативные рентгеновские аппараты ПРАМ-50
5. Детекторы рентгеновского излучения	Блоки детектирования на основе пропорциональных газовых счетчиков
6. Исполнительные механизмы тип (частота срабатывания, Гц)	Быстродействующие электромагнитные шибберные устройства
	МИ 400 (в 2 ряда)
7. Количество каналов сортировки, шт.	4
8. Напряжение электропитания при частоте переменного тока 50 ± 1 Гц, В	220/380
9. Потребляемая мощность, кВт, не более	7,0
10. Габаритные размеры, мм, (длина x ширина x высота)	5070x1500x3390
11. Пульт оператора	Промышленный компьютер
12. Масса, кг, не более	4400
Сепаратора	
Пульта оператора	10

Акт № 22

Настоящий акт составлен « 12 » апреля 2012 г.

(фамилии, имена, отчества лиц, участвующих

в составлении акта)

о приёме в библиотеку от Ставиенко Ю.В., Тюшкова
О.А., ОПИ-ВС
(сведения об источнике поступления книг)

в количестве 10 экземпляров десять
на общую сумму _____
(повторить сумму прописью)

Список книг (или других документов прилагается)

Члены комиссии:



Тюшкова О.В.

Список книг (или других документов) к акту № 22

№ п/п	Автор, название книги или вид документа	Цена	Кол-во	Сумма
	<u>Ставиенко Ю.В. Тюшков О.А.</u>		<u>10</u>	
	<u>Роль рудоподготовки при геологическом</u>			
	<u>технологическом анализе месторождений</u>			
	<u>Восточно-Забайкальской сурьмяной провинции</u>			