

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ХАБАРОВСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

На правах рукописи



Журавлев Кирилл Аркадьевич

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ПОДГОТОВКИ ПЕСКОВ ПРИ ОСВОЕНИИ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Специальность 2.8.8. Геотехнология, горные машины

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель
Кандидат технических наук
Серый Руслан Сергеевич

Хабаровск - 2026

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗОЛОДОДОБЫЧИ И ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДГОТОВКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПЕСКОВ.....	13
1.1 Динамика мировой золотодобычи.....	13
1.2 Современное состояние россыпной золотодобычи в России.....	15
1.3 Обзор существующих способов добычи золота из россыпных месторождений	22
1.4 Обзор промывочных приборов, применяемых на россыпных месторождениях, и оценка их энергоемкости.....	24
1.4.1 Гидроэлеваторные и землесосные промывочные приборы	24
1.4.2 Пластинчатые грохоты	27
1.4.3 Виброгрохоты.....	28
1.4.4 Скруббер-бутары.....	29
1.5 Анализ работы оборудования, применяемого для переработки золотосодержащих песков.....	30
1.5.1 Шлюзовые промывочные комплексы.....	30
1.5.2 Развитые схемы переработки песков	34
1.6 Выводы по главе 1.....	38
2 РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПОДАВАЕМЫХ ПЕСКОВ НА ШЛЮЗА.....	40
2.1 Оценка эффективности работы шлюзовых промывочных комплексов	40
2.2 Исследование параметров и режимов шлюзовых комплексов	43
2.2.1 Исследование режимов работы шлюзового промывочного комплекса на базе драг Д-250 в условиях техногенного месторождения.....	43
2.2.2 Исследование режимов работы шлюзового промывочного комплекса на базе ГИТ-52 в условиях многолетнемерзлых песков	59
2.2.3 Исследование режимов работы шлюзового промывочного комплекса на базе ПБШ-100 в условиях высокого содержания глины.....	62

2.3 Оптимизация работы шлюзов за счет равномерности подачи пульпы	66
2.3.1 Совершенствование системы загрузки песков в скруббер-бутару прибора ПБШ.....	66
2.3.2 Регулирование количества подаваемой воды на прибор в зависимости от загрузки скруббер-бутары породой.....	69
2.3.3 Разработка и применение эффективной системы деления пульпы в питании шлюзов	74
2.4 Выводы к главе 2.....	81
3 ОБОСНОВАНИЕ И РАНЖИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА ПРОМЫВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЕСКОВ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА	82
3.1 Формирование системы показателей выбора промывочного оборудования	82
3.2 Оценка влияния горно-геологических параметров месторождения на выбор технологического оборудования	83
3.3 Оценка глинистости перерабатываемых песков.....	90
3.4 Оценка содержания мелких и тонких классов крупности золота.....	93
3.5 Оценка наличия сопутствующих тяжелых минералов	97
3.6 Интерпретация ранжированных критериев и обоснование выбора промывочного оборудования	100
3.7 Выводы по главе 3.....	105
4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ПБШ-100 С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ Ж:Т.....	107
4.1 Сравнение эффективности применения на высокоглинистом месторождении ручья Сыран промывочных приборов ПГШ и ПБШ.....	107
4.2 Оценка экономической эффективности внедрения системы регулирования пульпы на шлюзах.....	110
4.3 Выводы по главе 4.....	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	117
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ А	131

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. На Дальнем Востоке золотодобыча играет важную роль в экономике регионов и зачастую является единственным источником занятости населения в отдалённых северных регионах. Несмотря на снижение доли россыпей в структуре золотодобычи (с 70-75 % в конце XX века до 24-26 % в настоящее время [1-3]), их разработка по-прежнему актуальна. Это связано не только с природными особенностями россыпных месторождений и быстротой ввода этих месторождений в эксплуатацию, но и с ростом интереса к повторному освоению техногенных объектов и комплексному извлечению из них ценных компонентов.

В течение последних десятилетий в золотодобывающей отрасли России наблюдается устойчивая тенденция превышения объемов добычи золота из россыпных месторождений над приростом запасов по результатам геологоразведочных работ. В результате большая часть легкодоступных россыпей с высокими содержаниями уже отработана, а оставшиеся объекты характеризуются либо небольшими объемами запасов, либо расположением в труднодоступных районах со сложными климатическими условиями и отсутствием необходимой инфраструктуры. Одновременно усложняются технологические свойства вовлекаемых в переработку песков, что повышает требования к эффективности их подготовки и устойчивости режимов работы промывочного оборудования.

Сложившиеся условия стимулируют недропользователей к активному вовлечению в эксплуатацию не только труднодоступных россыпей со сложными горно-геологическими условиями, но и техногенных образований минерального сырья, содержащих преимущественно мелкое и тонкое золото (далее МТЗ) классом крупности -0,25 мм. Такие объекты требуют применения более совершенных и энергоэффективных технологий, а также оборудования для более полного извлечения ценных компонентов.

Современное развитие горной промышленности и переработки минерального сырья характеризуется расширением применения

автоматизированных систем управления, цифровых технологий и средств оперативного контроля технологических параметров. В этих условиях повышение эффективности промывочных комплексов должно рассматриваться не только как задача конструктивной модернизации оборудования, но и как задача управления изменяющимися параметрами технологического процесса в реальном времени [4].

На большинстве россыпных месторождений по-прежнему широко применяются шлюзовые промывочные комплексы, отличающиеся конструктивной простотой и мобильностью. Однако при переработке песков, содержащих значительное количество мелких и тонких классов золота, эффективность таких комплексов определяется не только типом применяемого оборудования, но и эффективностью технологического режима его работы. Существенная часть потерь золота обусловлена неравномерной подачей песков, колебаниями соотношения жидкой и твёрдой фаз пульпы и неравномерным распределением потока по шлюзам. Это приводит к перегрузке шлюзов, нарушению гидродинамического режима потока пульпы и ухудшению условий улавливания мелкого и тонкого золота.

Таким образом, актуальность темы исследования определяется необходимостью решения научно-практической задачи обоснования параметров и режимов работы шлюзовых промывочных комплексов при неравномерной подаче золотосодержащих песков и разработки критериев выбора оборудования для освоения природных и техногенных россыпей со сложными горно-технологическими условиями.

Целью настоящего исследования является разработка научно обоснованного подхода к оценке эффективности процессов подготовки золотосодержащих песков и критериев выбора технологического оборудования при освоении природных и техногенных россыпных месторождений.

Исходя из цели исследования, автором определены следующие задачи:

1. Выполнить комплексный анализ современного состояния россыпной золотодобычи в России и на Дальнем Востоке с оценкой применяемых технологий переработки золотосодержащих песков;

2. Разработать подход к оценке эффективности работы драг и промывочных приборов шлюзового типа при отработке золотосодержащих россыпных месторождений;

3. Провести оценку эффективности регулирования колебаний Ж:Т в процессе подачи песков на прибор и распределения пульпы по шлюзам;

4. Разработать критерии выбора технологического оборудования при отработке месторождений со сложными горно-геологическими параметрами.

5. Выполнить технико-экономическое обоснование внедрения новой системы управления соотношением жидкой и твердой фаз пульпы, подаваемой на шлюза.

Идея исследования заключается в том, что повышение эффективности переработки золотосодержащих песков россыпных месторождений достигается комплексным согласованием типа применяемого промывочного оборудования с геолого-технологическими условиями месторождения и параметрами режима его работы - подачи песков, расхода технологической воды, распределения пульпы между шлюзами и отношения Ж:Т, что обеспечивает устойчивость технологического процесса и снижение потерь мелкого и тонкого золота.

Объект исследования. Шлюзовые промывочные комплексы, применяемые при переработке золотосодержащих песков природных и техногенных россыпных месторождений.

Предмет исследования. Закономерности изменения отношения Ж:Т при регулировании расхода технологической воды в условиях неравномерной подачи песков и равномерности загрузки шлюзов при регулировании распределения пульпы, а также критерии выбора промывочного оборудования с учётом горно-технологических свойств россыпи.

Методы исследования. Методическую основу исследования составили системный и комплексный подходы. В работе использованы анализ научно-технической литературы и производственного опыта; натурные наблюдения; объёмный метод отбора и исследования проб пульпы с определением отношения Ж:Т; хронометражные измерения и расчёт расходов пульпы и твёрдой фазы;

ситовой анализ золота; сравнительные производственные эксперименты; расчётная и статистическая обработка результатов; технико-экономический анализ.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов обеспечиваются применением комплекса научных методов исследования, значительным объёмом натурных измерений, выполненных в условиях действующих горнодобывающих предприятий, статистической обработкой полученных данных, использованием закономерностей работы технологического и насосного оборудования, повторяемостью выявленных закономерностей на различных типах шлюзовых промывочных комплексов, а также производственной апробацией разработанных технических решений на объектах россыпной золотодобычи Хабаровского края и Республики Саха (Якутия).

Защищаемые научные положения:

1. Управление количеством подаваемой воды с эффективным ее распределением в бункере, а также регулирование подачи породы за счет согласования расхода технологической воды с изменяющейся нагрузкой по твёрдой фазе позволяет обеспечивать равномерность подачи пульпы на шлюза. Управление распределением потоков пульпы с использованием делителей обеспечивает стабилизацию подачи пульпы в питание каждого шлюза.

2. Предварительное обоснование выбора промывочного оборудования для переработки песков россыпных месторождений золота должно быть основано на учете системы коэффициентов, отражающих геолого-технологическую сложность объекта и обеспечивающих ранжирование условий переработки мелкого и тонкого золота.

3. Для высокоглинистых россыпных месторождений золота повышение технико-экономической эффективности переработки песков обеспечивается применением промывочных комплексов с регулированием отношения Ж:Т на шлюзах мелкого наполнения, что за счёт стабилизации гидродинамического режима повышает извлечение мелких классов золота и обеспечивает прирост сезонной добычи.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. С использованием установленных закономерностей обоснована возможность повышения равномерности подачи песков и пульпы на шлюза мелкого наполнения за счёт совершенствования конструкции приёмно-подающего узла промывочного прибора, обеспечивающего предварительное распределение материала, снижение налипания глинистых песков и стабилизацию питания шлюзов.

2. Предложен количественный показатель устойчивости режима питания промывочного прибора ПБШ-100 (прибор бочечный шлюзовой производительностью 100 м³/ч), позволяющий оценивать степень отклонения параметров подачи пульпы от среднего уровня при регулируемом и нерегулируемом режимах работы.

3. Разработан способ количественной оценки равномерности загрузки шлюзов по разбросу отношения Ж:Т между ними на основе коэффициента вариации, позволяющий использовать коэффициент загрузки шлюзов в качестве критерия эффективности распределения пульпы.

4. Получены новые экспериментальные данные и оценено влияние регулирующих элементов системы распределения пульпы на сужение диапазона изменения отношения Ж:Т по шлюзам и снижение вариации их загрузки, что способствует уменьшению потерь мелкого и тонкого золота.

5. Предложена новая система коэффициентов для количественного ранжирования геолого-технологических условий переработки песков россыпных месторождений золота и обоснования рационального выбора промывочного оборудования.

6. Установлено влияние регулирования отношения Ж:Т на шлюзах мелкого наполнения ПБШ-100 на извлечение мелкого и тонкого золота и технико-экономические показатели переработки песков высокоглинистых россыпей.

Практическая значимость выполненного исследования заключается в разработке и обосновании решений по регулированию распределения пульпы

между шлюзами и управлению расходом технологической воды в зависимости от нагрузки по твёрдому, обеспечивающих стабилизацию соотношения Ж:Т, снижение неравномерности загрузки шлюзов, уменьшение потерь мелкого и тонкого золота и сокращение эксплуатационных затрат при освоении природных и техногенных россыпей.

Полученные результаты могут быть использованы:

- при введении в эксплуатацию россыпных месторождений, отработка которых затруднена сложностью горно-геологического строения, а также наличием большого количества мелкого и тонкого золота;
- при модернизации существующих промывочных приборов с целью повышения извлечения золота, особенно мелкого и тонкого.

Рекомендации, разработанные в ходе исследования, будут способствовать рациональному использованию минерально-сырьевой базы региона, снижению себестоимости добычи и повышению эффективности работы горнодобывающих предприятий в усложняющихся горно-геологических условиях эксплуатации россыпных месторождений.

Личный вклад автора:

- постановка цели исследования, формулировка основных задач, анализ современного состояния россыпной золотодобычи и обоснование необходимости совершенствования системы управления процессами подачи песков на перерабатывающий комплекс;
- анализ горно-геологических и технологических факторов, влияющих на эффективность промывки песков, включая глинистость материала, гранулометрический состав золота, наличие тяжелых минералов и особенности распределения запасов в пределах месторождения;
- оценка эффективности управления процессами подачи песков, основанная на анализе пространственной неравномерности распределения потоков пульпы на шлюзах и колебаний нагрузки подачи пульпы на шлюза между циклами подачи;

- обоснование и расчет количественных критериев оценки эффективности управления процессами подачи песков, равномерности загрузки шлюзов и стабильности соотношения жидкой и твердой фаз;
- разработка и внедрение технических решений по регулированию распределения потоков пульпы на шлюзовых промывочных приборах, обеспечивающих повышение устойчивости технологического режима и снижение неравномерности подачи золотоносных песков на шлюза;
- выполнение технико-экономической оценки предложенных решений и их обоснование при эксплуатации россыпных месторождений золота со сложными горно-геологическими условиями.

Реализация результатов работы. Основные полученные научные результаты и разработанные на их основе рекомендации использованы при разработке (эксплуатации) россыпных месторождений артелей старателей (А/С) «Восток» и «Ниман» (Хабаровский край). Внедрение результатов в артели старателей «Восток» подтверждено актом, приведённым в приложении А. Отдельные результаты исследования апробированы и внедрены на россыпных месторождениях ООО «Голдрегион» и РПК Охотский (Хабаровский край).

Апробация работы. Основное содержание диссертационной работы и отдельные ее положения представлялись на научно-технических конференциях, семинарах: XVI Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования» (г. Хабаровск, 2022 г.), I Всероссийской научной конференции молодых ученых и аспирантов «Актуальные проблемы освоения георесурсов» (г. Хабаровск, 2022 г.), 9 Всероссийской научной конференции «Проблемы комплексного освоения георесурсов» (г. Хабаровск, 25-29 сентября 2023 г.), 16 Международной научной школе молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (г. Москва, 2023 г.), XXV, XXVI, XXVII и XXVIII краевых конкурсах молодых ученых (г. Хабаровск, 2023-2026 г.), XVIII Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования», проводимой Институтом горного дела Уральского отделения РАН (г. Хабаровск 2024 г.), Китайско-российской научной

конференцией «Проблемы комплексного освоения георесурсов» (г. Харбин, Китай, 24-27 сентября 2025 г.)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ, включая 3 статьи в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования и включенных в международные базы научного цитирования SCOPUS и Web of Science.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Основное содержание работы изложено на 131 странице машинописного текста, который включает: 28 рисунков, 31 таблицу, 29 формул, 1 приложение, список используемых источников из 101 наименования.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю - кандидату технических наук, заведующему лабораторией разработки россыпных месторождений Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук (ДВО РАН) Серому Руслану Сергеевичу за научное руководство, всестороннюю поддержку, ценные рекомендации и консультативную помощь на всех этапах подготовки диссертационной работы.

Автор выражает искреннюю благодарность кандидату технических наук, заместителю директора Института горного дела ДВО РАН по научной и инновационной работе, ведущему научному сотруднику лаборатории разработки россыпных месторождений Алексееву Владимиру Сергеевичу за конструктивные замечания, ценные советы и рекомендации, способствовавшие совершенствованию диссертационной работы.

За содержательное обсуждение результатов исследования, конструктивные замечания и ценные рекомендации, способствовавшие повышению научного уровня и качества диссертационной работы, автор выражает глубокую благодарность академику РАН, доктору технических наук, директору Хабаровского Федерального исследовательского центра ДВО РАН Рассказову Игорю Юрьевичу; доктору технических наук, заместителю директора Института горного дела ДВО РАН по научной работе Секисову Артуру Геннадиевичу; кандидату технических наук, руководителю сектора разрушения горных пород.

Галимьянову Алексею Алмазовичу; кандидату технических наук, главному инженеру Института горного дела ДВО РАН Волкову Андрею Фёдоровичу; кандидату технических наук, ведущему научному сотруднику Института горного дела ДВО РАН Чебану Антону Юрьевичу.

Особую благодарность автор выражает руководству и сотрудникам артелей старателей «Восток», «Ниман», «Альфа» и «Заря» за содействие в организации и проведении экспериментальных исследований в производственных условиях, предоставление необходимой производственной информации, а также помощь в апробации и практическом внедрении полученных результатов исследования.

1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗОЛОДОБОЫЧИ И ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДГОТОВКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПЕСКОВ

1.1 Динамика мировой золотодобычи

В настоящее время золото представляет собой один из наиболее ценных и ликвидных видов минерального сырья. Являясь благородным металлом, оно имеет важное стратегическое и финансовое значение, поскольку выступает средством накопления, резервным активом государства и инструментом обеспечения финансовой устойчивости в условиях экономических рисков. Высокая ценность золота обусловлена также его физико-химическими свойствами и широким применением в ювелирной промышленности, электронике, приборостроении, медицине и других высокотехнологичных отраслях.

По данным геологической службы США - U.S. Geological Survey, в 2025 г. мировая рудничная добыча золота оценивалась в 3300 т против 3280 т в 2024 г. Ведущими производителями оставались Китай, Россия, Австралия, Канада и США, совокупно обеспечившие около 41 % мирового производства золота. Сведения об объёмах добычи золота ведущими странами-производителями приведены в таблице 1.1 [5].

Таблица 1.1 - Лидеры мирового производства золота

Страна	2024 год, т	2025 год, т
Китай	≈377	≈380
Россия	≈330	≈360
Австралия	≈290	≈303
Канада	≈200	≈200
США	≈163	≈160

Мировые совокупные запасы золота в настоящее время оцениваются в объеме 222,6 тыс. тонн (включая уже добытое золото и разведанные запасы). Страны с наибольшими запасами золота в недрах показаны в таблице 1.2 [6].

Таблица 1.2 - Страны с крупнейшими запасами золота в недрах по состоянию на 2025 г.

Страна	Запасы золота, т
Австралия	13 000
Россия	12 000
ЮАР	5 000
Индонезия	3 600
Китай	3 200
Канада	3 200
США	3 000
Бразилия	2 500
Казахстан	2 300
Перу	2 200

Основой мировой и отечественной золотодобычи остаются рудные месторождения золота, характеризующиеся высокой степенью изученности минерально-сырьевой базы, развитой технологической основой и устойчивым ростом показателей промышленного освоения месторождений. Вместе с тем вовлечение в эксплуатацию рудных объектов, как правило, характеризуется высокой капиталоемкостью проектов и значительными сроками (от 6 до 7 лет и более) ввода в эксплуатацию, что ограничивает возможности их оперативного

освоения и, как следствие этого, быстрого наращивания объемов мировой золотодобычи.

С учетом этого обстоятельства, несмотря на постоянный рост объемов добычи рудного золота, освоение россыпных месторождений по-прежнему имеет важное значение. Преимуществом освоения россыпных месторождений в сравнении с рудными являются существенно меньшие капитальные затраты, а также более короткие сроки ввода в эксплуатацию и начала получения прибыли.

1.2 Современное состояние россыпной золотодобычи в России

В Российской Федерации масштабы проявления россыпной золотоносности не имеют аналогов в мире ни по площади распространения, ни по разнообразию генетических типов россыпей (рисунок 1.1). Добыча россыпного золота является традиционной отраслью экономики Дальнего Востока России практически с момента освоения данной территории. За более чем вековой период из россыпей юга Дальнего Востока извлечено свыше 1500 т золота [7].



Рисунок 1.1 - Распределение балансовых запасов россыпного золота категорий A+B+C₁+C₂ по регионам Российской Федерации по состоянию на конец 2021 г.,

%

Значительный вклад в развитие теории и практики освоения россыпных месторождений золота, выбора и эксплуатации промывочных приборов, подготовки горной массы, а также совершенствования шлюзовых и других промывочных комплексов внесли отечественные учёные Н.А. Шило, К.В. Соломин, В.Г. Лешков, О.В. Замятин, Е.И. Богданов, Ю.А. Мамаев, В.С. Литвинцев, Б.В. Невский, А.Г. Лопатин, В.М. Маньков, Г.С. Мирзеханов, Г.П. Пономарчук и другие. Из зарубежных исследователей, чьи работы представляют наибольший интерес для понимания закономерностей работы шлюзов, их режимов работы и повышения извлечения мелкого золота, следует отметить R.R. Clarkson, G.K.N.S. Subasinghe, E.G. Kelly, D.E. Walsh, J.F. Hamilton, M.A. Silva и M.T. Styles.

В настоящее время в большинстве золотодобывающих регионов Дальневосточного федерального округа преобладает добыча золота из рудных месторождений, тогда как доля россыпного золота, как правило, ниже и существенно варьирует по субъектам. В то же время в ряде регионов округа россыпная золотодобыча по-прежнему сохраняет существенное значение, что особенно характерно для Магаданской и Амурской областей [8].

По данным Роснедр, запасы россыпного золота в России оцениваются в 1,1-1,2 тыс. т, а ежегодная добыча составляет около 80 т, что соответствует обеспеченности отрасли запасами на уровне 14-15 лет. При этом состояние минерально-сырьевой базы россыпного золота характеризуется необходимостью её ускоренного воспроизводства и вовлечения в освоение новых объектов, в том числе техногенных. Указанные обстоятельства подтверждают, что россыпная золотодобыча сохраняет существенное значение для минерально-сырьевого комплекса страны и требует дальнейшего совершенствования технологий добычи и переработки песков [9].

Вместе с тем как в целом в России, так и на Дальнем Востоке значительная часть простых по строению и составу россыпей к настоящему времени уже отработана. Вследствие этого для поддержания достигнутого уровня добычи в эксплуатацию всё чаще вовлекаются месторождения со сложными горно-геологическими условиями, расположенные, как правило, в труднодоступных

районах и характеризующиеся повышенным содержанием мелкого и тонкого золота (МТЗ) [10], а также значительным количеством глинистых включений в золотоносных песках [11]. В этой связи перспективы развития россыпной золотодобычи на Дальнем Востоке связаны с освоением новых объектов, включая месторождения с мелким и тонким золотом [12-15] и техногенные образования [16-19], внедрением современных технологических решений при строгом соблюдении экологических требований, а также решением инфраструктурных и административных задач, определяющих доступность объектов и устойчивость производственной деятельности [20-23].

Следует отметить, что значение россыпной золотодобычи для Российской Федерации определяется не только её ролью в обеспечении занятости в удалённых районах, но и существенным вкладом в формирование бюджетных поступлений [24]. Сумма прямых налогов, уплачиваемых предприятиями, занятыми в освоении россыпных месторождений золота, превышает 120 млрд руб. [25]. Общие платежи в бюджет составляют не менее 20 % от суммы реализации золота. Таким образом, при цене 10500 руб./г каждая тонна добытого россыпного золота обеспечивает более 2 млрд руб. поступлений в бюджеты различных уровней [26, 27].

Показательно, что даже в условиях усложнения сырьевой базы, роста доли техногенных объектов, ухудшения качества перерабатываемых песков и высокой капиталоемкости освоения удалённых территорий в период 2010-2021 гг. россыпная золотодобыча в России демонстрировала устойчивое развитие (рисунок 1.2). Объём добычи золота из россыпей за указанный период увеличился с 54,0 до 83,1 т, тогда как число предприятий, осуществляющих разработку россыпных месторождений, возросло с 395 до 658, или почти в 1,7 раза. Основным фактором, обеспечившим данный рост, стало существенное улучшение ценовой конъюнктуры: мировая цена золота увеличилась в 1,47 раза, а внутренняя цена в рублёвом выражении - в 3,57 раза. Это в значительной степени компенсировало действие факторов, сдерживающих развитие отрасли, включая рост затрат на горюче-смазочные материалы, электроэнергию, технику и запасные части, необходимость постоянного проведения геологоразведочных работ,

недостаточность мер государственной поддержки и высокую административную нагрузку. При этом основу отрасли составляют преимущественно малые предприятия, значительная часть которых осваивает техногенные и ранее отработанные россыпи, характеризующиеся более низким содержанием золота и, как следствие, более высокой себестоимостью добычи. В этих условиях благоприятная ценовая конъюнктура длительное время выступала определяющим фактором поддержания экономической устойчивости россыпной золотодобычи. Однако уже в 2022 г. укрепление курса рубля, снижение рублёвой цены золота и введение дисконтов к учётной цене покупки металла существенно ухудшили положение многих предприятий, в результате чего при себестоимости производства золота на уровне 3,2-4,2 тыс. руб./г значительная часть приисков и артелей оказалась у границы рентабельности либо за её пределами. Сейчас положение золотодобытчиков снова улучшилось, благодаря высокой цене на золото, более 10 тыс. руб./г.

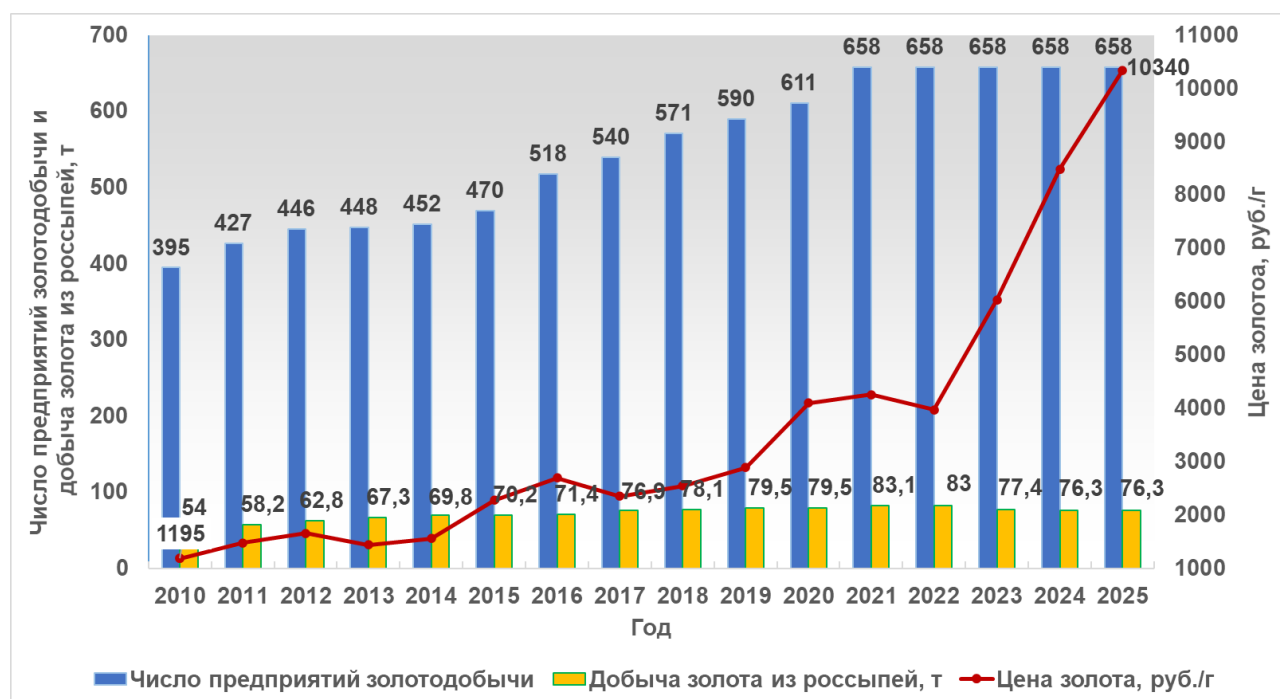


Рисунок 1.2 - Динамика стоимости золота, количества предприятий и объема добычи по годам в россыпной золотодобыче *

* С 2022 г. официальные данные не предоставляются. Данные представлены по заключениям различных экспертов.

Особенности современного состояния россыпной золотодобычи, включая усложнение условий освоения месторождений, высокую зависимость экономической устойчивости предприятий от внешних факторов и возрастающую роль технологической эффективности, в полной мере проявляются на региональном уровне. Одним из наиболее показательных в этом отношении субъектов Российской Федерации является Хабаровский край.

Горнодобывающая отрасль Хабаровского края - важнейший исторически сложившийся элемент экономики региона, её важность обусловлена, в первую очередь, наличием уникальных по структуре и масштабам осваиваемой минерально-сырьевой базы. Горнодобывающий сектор обеспечивает 12 % валового регионального продукта, а налоговые поступления от горной отрасли составляют 21,4 % от общих перечислений [28]. В Хабаровском крае налоговые поступления от горнодобывающей отрасли в 2024 году превысили 23,7 млрд рублей, что формирует существенную долю доходной части краевого бюджета. Показатели добычи металлов и налоговых поступлений приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Показатели добычи металлов и налоговых поступлений в Хабаровском крае в 2020 - 2026 гг.

Год	Золото (всего), т	Россыпное золото, т	Рудное золото, т	Серебро, т	Олово, т	Медь, т	Налоговые поступления, млрд руб.
2020	24,5	3,8	20,7	32,4	2539,1	235,6	9,6
2021	26,9	4,4	22,5	31,0	2907,7	365,8	11,3
2022	27,8	4,2	23,6	44,7	2900	7564,6	11,6
2023	27,9	4,1	23,8	68,5	3003,1	9501,1	14,1
2024	28,1	3,9	24,2	70,2	2466,1	49108,8	23,7
2025	34,4	-	-	-	3500	<210000	-
2026 *прогнозные данные	34,5	-	-	-	3800	<290000	-

В 2020-2025 гг. общий объём добычи золота демонстрирует умеренный рост, при этом основной вклад в увеличение добычи обеспечивают рудные

месторождения, характеризующиеся инерционным характером развития. На этом фоне добыча россыпного золота после достижения максимальных значений в 2021 г. имеет тенденцию к снижению, сохраняя при этом заметную роль в структуре золотодобычи (рисунки 1.3,1.4).

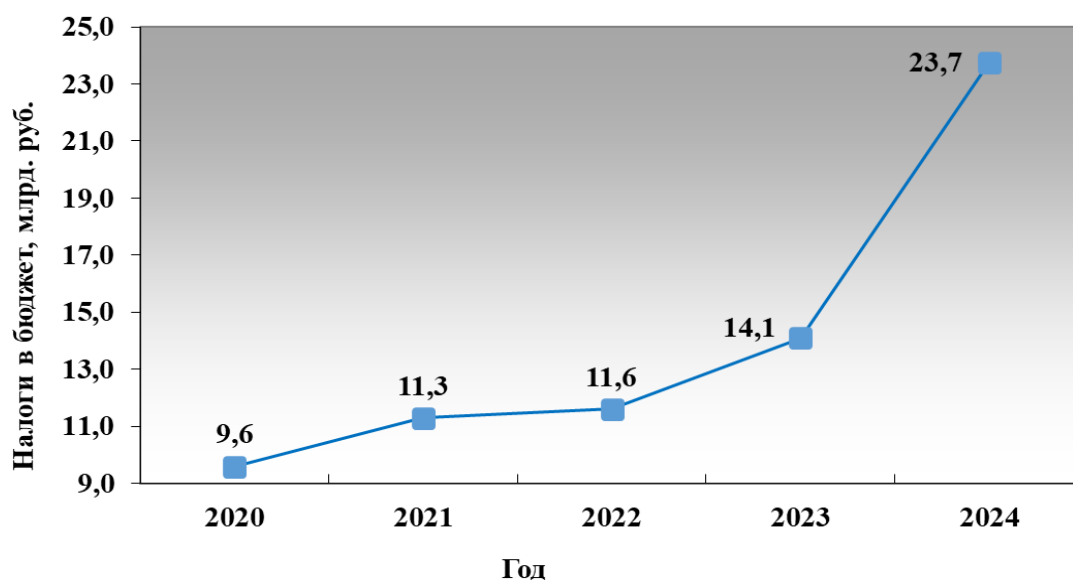


Рисунок 1.3 - Поступления в бюджет Хабаровского края 2020-2024 гг. [29]

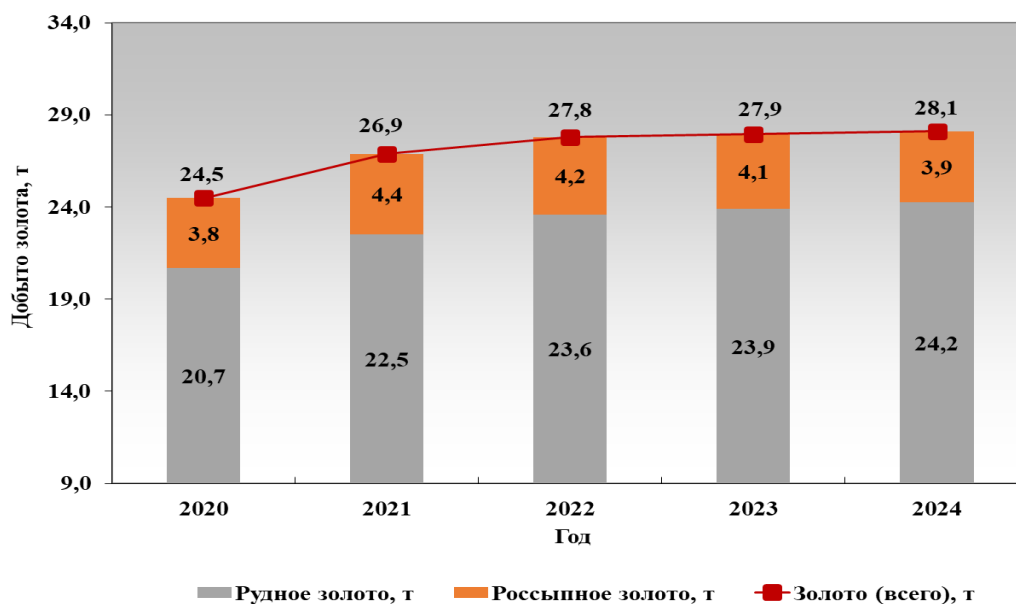


Рисунок 1.4 - Добыча золота в Хабаровском крае по годам 2020-2024 гг. [29]

В 2025 году на территории Хабаровского края деятельность по добыче драгоценных и цветных металлов осуществляли 47 предприятий. Из них 42

организации вели добычу золота, 3 - олова, и по одному предприятию осуществляли добычу платины и меди [29]. Россыпная золотодобыча в крае традиционно сосредоточена в Аяно-Майском, Охотском, Николаевском, Тугуро-Чумиканском, Ванинском, Ульчском районах и районе имени Полины Осипенко [30]. К числу лидеров по добыче россыпного золота относятся артели «Восток», «Дальневосточные ресурсы», «Золото Керби», «Заря» и «Ниман».

Ресурсная база золотодобычи Хабаровского края по-прежнему остаётся значительной. По состоянию на начало 2024 г. государственным балансом учтено 387 месторождений золота, в том числе 34 золоторудных и 353 россыпных, с суммарными балансовыми запасами 807,7 т. Нераспределённый фонд включает 137 месторождений, или 35 % от их общего количества, однако их суммарные запасы составляют лишь 16,5 т, то есть около 2 % запасов золота по краю. Среднее содержание золота в балансовых запасах эксплуатируемых россыпных месторождений составляет 0,44 г/м³, тогда как в россыпях нераспределённого фонда - 0,41 г/м³. При этом доля нераспределённого фонда имеет тенденцию к сокращению: если в 2013 г. в него входило 62 % россыпных месторождений, то к началу 2022 г. - лишь 46,4 %.

Указанные данные свидетельствуют о том, что в современной минерально-сырьевой базе региона преобладают сложно-структурные россыпные месторождения и их техногенные комплексы. Эффективное освоение таких месторождений требует инновационных подходов к выемке и переработке продуктивных минеральных масс и совершенствования технологий подготовки, обеспечивающих экономичность, а также минимизацию экологического ущерба окружающей среде [31-33].

Одной из характерных особенностей развития россыпной золотодобычи в последнее десятилетие является возрастание роли малого и среднего предпринимательства (далее - МСП) [34]. Это обусловлено сравнительно меньшей капиталоемкостью таких производств, а также их большей гибкостью при смене участков работ в зависимости от горно-геологических, экономических и технологических условий. Предприятия МСП в целом демонстрируют более

высокую адаптивность к колебаниям цены на золото и изменениям структуры сырьевой базы, что делает их важной составляющей горнодобывающего сектора региона [35, 36].

Вместе с тем рост роли МСП не устраняет необходимости технологического совершенствования добычных и перерабатывающих комплексов. Напротив, ухудшение качества сырьевой базы и вовлечение в эксплуатацию ранее нерентабельных объектов требуют внедрения более эффективных технических решений. В этой связи в практике россыпной золотодобычи всё шире применяются мобильные модульные комплексы, позволяющие осваивать удалённые и сложные по условиям месторождения с меньшими капитальными затратами [37].

Особое внимание уделяется вопросам экологии. Усиление природоохранных стандартов и контрольных мероприятий становится обязательным условием устойчивого развития россыпной золотодобычи. Внедряются технологии, минимизирующие негативное воздействие на окружающую среду, включая системы закрытого водооборота и современные методы рекультивации земель после завершения добычи [38].

1.3 Обзор существующих способов добычи золота из россыпных месторождений

Для россыпей с мелким и тонким золотом, а также для техногенных образований, наибольшее значение имеют технологии, обеспечивающие: качественную дезинтеграцию песков, эффективное грохочение по мелким классам, устойчивость режима подачи и эффективность распределения пульпы между шлюзами. Следовательно, приоритет должны получать не просто высокопроизводительные способы выемки песков, а такие технологические схемы, в которых обеспечивается эффективность подготовки материала.

Целесообразно рассматривать не все известные способы разработки россыпных месторождений, а только те технологические решения, которые обеспечивают эффективную переработку песков при повышенном содержании

мелкого и тонкого золота, а также при вовлечении в эксплуатацию техногенных россыпей. Такой подход обусловлен тем, что именно указанные объекты в настоящее время представляют наибольший практический интерес и характеризуются повышенными технологическими потерями при их переработке.

Добыча россыпного золота представляет собой многостадийный непрерывный технологический процесс, включающий проведение геологоразведочных работ, подготовку и вскрытие месторождения, рыхление пород, вскрышные работы, формирование отвалов, строительство гидротехнических сооружений, выемку и транспортирование песков к промывочным приборам, их промывку, а также обеспечение технологического процесса водо-, энергоснабжением и ремонтным обслуживанием применяемых техники и оборудования. Эффективность освоения россыпи определяется согласованностью всех звеньев такой производственной цепочки. Наиболее универсальным для указанных условий является открытый раздельный способ разработки с применением экскаваторно-автотранспортной или бульдозерно-экскаваторной схемы и последующей переработкой песков на промывочных приборах. Важен выбор техники, обеспечивающей совмещение перемещения и планировки вскрышных и вмещающих пород при минимальных капитальных затратах, поэтому широко применяются бульдозеры. Наряду с ними используются экскаваторные схемы, отличающиеся высокой технологической гибкостью и возможностью адаптации к различным горно-геологическим и климатическим условиям, включая глубокозалегающие россыпи. Выбор типа экскаваторов, транспортной техники и промывочных приборов фактически определяет общую технологическую схему разработки россыпных месторождений [39, 40].

Транспортирование вмещающих пород и продуктивных песков может осуществляться автосамосвалами, конвейерами и гидротранспортом. Наиболее распространены автосамосвалы благодаря их надёжности, автономности и мобильности. Вместе с тем по сравнению с экскаваторно-бульдозерной схемой применение автотранспорта характеризуется более сложной организацией работ и дополнительными затратами, связанными с перевозкой горной массы и

содержанием дорожной инфраструктуры. В целом, при разработке россыпных месторождений применяются транспортные, бестранспортные и смешанные схемы добычи в зависимости от горно-геологических, природных, климатических условий месторождения и требований к подготовке добываемого полезного ископаемого [41-43].

Гидравлический способ, ранее широко использовавшийся, в настоящее время в значительной степени утратил актуальность из-за развития высокопроизводительной землеройной техники, хотя он объединяет отбойку, транспорт и промывку в единый цикл [44, 45].

При наличии больших запасов россыпного золота и достаточной обводненности месторождений эффективен подводный способ, прежде всего дражный: он обеспечивает высокую механизацию и поточность процесса, высокую производительность труда и сравнительно низкую себестоимость на крупных долинных россыпях, но требует значительных капитальных вложений [46-49]. Земснаряды работают по похожей схеме.

В сложных горно-геологических и природно-климатических условиях, где открытые и подводные способы неэффективны, применяется подземная разработка, главным образом для глубоких и многолетнемёрзлых россыпей. Её основными критериями отработки являются большая глубина залегания и наличие вечной мерзлоты; к преимуществам относятся меньшее нарушение ландшафта и снижение разубоживания.

1.4 Обзор промывочных приборов, применяемых на россыпных месторождениях, и оценка их энергоемкости

1.4.1 Гидроэлеваторные и землесосные промывочные приборы

Гидроэлеваторные шлюзовые промывочные приборы с гидровашгердом типа ПГШ-50 (Прибор гидроэлеваторный-шлюзовой) и ПГШ-75 в течение длительного времени являлись одним из основных видов оборудования, применявшегося при разработке россыпных месторождений золота. Их широкое распространение было

обусловлено конструктивной простотой, технологической надёжностью и приспособленностью к условиям открытой раздельной разработки. В историческом аспекте именно с использованием промывочных приборов данного типа была отработана значительная часть россыпных месторождений в СССР.

Как конструкция, гидровашгерд представляет собой наклонный короб, оборудованный решетками с отверстиями различных диаметров. В процессе перемещения материала по наклонным решетам производится отмыв глинистой примазки и отделение мелочи от крупного материала. Подрешетная фракция в виде обводненной смеси (пульпы) по наклонному лотку короба попадает в бункер, откуда производится гидротранспортирование пульпы гидроэлеватором на шлюза глубокого наполнения (далее ШГН)[50].

Проектная производительность по твердому ПГШ-50 составляет 50 м³/ч, однако фактическая производительность по твердому обычно не превышает 40-42 м³/ч. Поэтому оценку эффективности необходимо проводить не по паспортной производительности, а по энергоёмкости прибора и эксплуатационным затратам на промывку.

Как показала практика применения и эксплуатации, к наиболее энергоёмким (по количеству топлива, затраченному на промывку) относятся элеваторные шлюзовые приборы ПГШ-50, ПГШ-75 и землесосные шлюзовые приборы ПЗШ-100, ПЗШ-130. Для ПГШ, как правило, используется насос 1Д-1250-63 с двигателем мощностью 290 кВт. При дизельном приводе насоса суточный расход топлива составляет около 1 м³. Несмотря на широкое применение в россыпной золотодобыче, наблюдается снижение доли ПГШ из-за их высокой энергоёмкости и сравнительно низкой фактической производительности промывки золотоносных песков [51].

ПЗШ, также как и ПГШ, отличаются высокой энергоёмкостью: на ПЗШ-100 обычно применяется один насос 1Д-1250-63, на ПЗШ-130 - два таких насоса. Однако их применение технологически оправдано, поскольку они обеспечивают подъём и транспортировку песков по пульпопроводу на значительные расстояния

и высокую эффективность дезинтеграции горной массы, сопоставимую со скруббер-бутарными установками.

При выборе промывочного оборудования между ПГШ или ПЗШ необходимо учитывать не только энергопотребление, но и технологический эффект. При этом высокие эксплуатационные расходы ПЗШ связаны как с энергозатратами, так и с заменой дорогостоящих изнашиваемых узлов (землесосов, приводных двигателей, пульпопроводов).

Ограничения ПГШ и ПЗШ наиболее отчётливо проявляются при переработке песков с высоким содержанием мелкого и тонкого золота, а также при усложнении горно-геологических условий. Для таких объектов возрастают требования к полноте дезинтеграции, качеству грохочения, устойчивости режима подачи пульпы и точности регулирования гидродинамических параметров на шлюзах, чего не всегда удается добиться на гидроэлеваторах и землесосах в силу их конструктивных особенностей.

Дальнейшим развитием гидроэлеваторной шлюзовой схемы стали приборы типа ПГШИ-50 и ПГШИ-100 - прибор гидроэлеваторный шлюзовой конструкции Иркутского научно-исследовательского института благородных и редких металлов и алмазов (Иргиредмет), ориентированные на повышение извлечения мелкого золота за счёт выделения подрешётного продукта и его последующей подачи на шлюза мелкого наполнения. Для ПГШИ-50 производительность по твёрдому составляет 50 м³/ч, максимальная крупность питания - 80-100 мм, площадь шлюза глубокого наполнения - 3,2 м², площадь многосекционного гидравлического грохота - 4,3 м², ширина щели - 5-8 мм. В схеме предусмотрено 8 шлюзов мелкого наполнения общей площадью 24,6 м². Для ПГШИ-100 соответствующие показатели составляют 100 м³/ч, 80-100 мм, 6,4 м², 8,6 м², 5 мм и 16 шлюзов мелкого наполнения общей площадью 49,3 м². Такая компоновка обеспечивает выделение класса менее 5 мм и перевод наиболее ценной по мелкому золоту части материала в более управляемый гидродинамический режим [52].

Технологическое преимущество ПГШИ определяется не только усложнением схемы, но и ростом показателей извлечения по мелким классам. По

данным Иргиредмета, на ПГШИ-50 извлечение золота крупнее 1,0 мм составляет 98-99 %, в классе $-1,0+0,5$ мм - 94-98 %, в классе $-0,5+0,25$ мм - 80-85 %, в классе менее 0,25 мм - 45-50 %. По сравнению со стандартным прибором типа ПГШ потери золота снижаются от 2 до 3 раз. Тем самым ПГШИ целесообразно рассматривать как более эффективный вариант шлюзовой схемы для объектов, где доля мелких классов металла уже не позволяет ограничиваться только шлюзом глубокого наполнения.

Ключевое значение для эффективности таких схем имеет узел грохочения. В россыпной практике применяются неподвижные решёта гидровашгердов, бутарные и вибрационные грохоты; при этом выбор определяется требуемой крупностью подрешётного продукта и устойчивостью работы по глинистым пескам. Для россыпей со средним и крупным золотом размер перфорации обычно принимается в пределах 20-30 мм, тогда как при мелком и среднем золоте его уменьшают до 12 мм. Однако уменьшение отверстий повышает качество классификации ценой снижения пропускной способности и роста вероятности забивания сеющей поверхности. Дополнительно следует учитывать сохранение живого сечения: металлические сита в эксплуатации быстро забиваются и теряют его, тогда как применение резиновых и полиуретановых поверхностей повышает срок службы, но при неудачной конструкции также может уменьшать полезную площадь просева [53]. Следовательно, при сравнении ПГШ, ПЗШ и ПГШИ необходимо учитывать не только энергоёмкость и паспортную производительность, но и площадь грохочения, размер отверстий, фактическое живое сечение и возможность устойчивого выделения класса, направляемого на шлюза мелкого наполнения.

1.4.2 Пластинчатые грохоты

В развитие рассмотрения промывочных приборов с гидровашгердом необходимо отметить оборудование с пластинчатым грохотом (дерокером), используемое преимущественно при отработке валунистых россыпей.

Наиболее часто встречаемый промывочный комплекс с дерокером - это грохот гидромеханизированный ГГМ-3 и прибор промывочный модульный ППМ-5. Их паспортная производительность составляет до 70 м³/ч, фактически часто не превышает 65 м³/ч.

Приборы на базе пластинчатого грохота типа «дерокер» имеют значительные показатели энергопотребления, так как используются насосы 1Д-1250-63 для прибора промывочного модульного ППМ-5 и насос 1Д-800-56 для прибора ГГМ-3. Приборы этого типа имеют высокие эксплуатационные расходы, связанные с высокой стоимостью сильно изнашиваемых лент. На таких приборах часто случаются поломки, такие как облом краев лент, обрыв шлангов гидроцилиндров и т.д. Данные приборы имеют очень узкую область применения (валунистые месторождения со средним и крупным золотом), и использование их на месторождениях даже с небольшим содержанием глины в песках приводит к резкому росту потерь золота, но на практике наблюдается картина повсеместного их использования даже на месторождениях с мелким золотом[51].

1.4.3 Виброгрохоты

В последние годы в россыпной промышленности получили применение вибрационные грохоты, используемые для грохочения и дезинтеграции породы.

Рабочие органы вибрационного грохота, сита (или решета), жестко закреплены в коробе, которому сообщаются периодические колебания, в результате чего и происходит классификация сортируемого материала, просеивание его через ячейки сит, т.е. разделение на фракции по крупности. Сита располагаются обычно в 2-3 яруса; каждый следующий (ниже расположенный) ярус имеет сита с меньшими ячейками. Просеивающие поверхности сит - стальные проволочные сетки, решет - либо стальной штампованный лист с отверстиями, либо набор колосников (стальных, резиновых или пластмассовых).

В практике россыпной золотодобычи используются виброгрохоты тяжелого класса - грохот инерционный тяжелый (ГИТ), среднего - грохот инерционный

средний (ГИС) и легкого - грохот инерционный легкий (ГИЛ). Первые два получили наибольшее распространение.

Применение виброгрохотов наиболее оправдано при переработке хорошо и среднепромывистых песков. Вместе с тем, при повышенной глинистости, склонности песков к налипанию и наличии значительной доли мелкого и тонкого золота в сложнопромывистых песках, виброгрохоты теряют в своей эффективности.

Приборы на базе виброгрохота ГИТ-42, ГИТ-52 и ГИТ-62 являются наименее энергоемкими. Расход технологической воды составляет, как правило, 300-1000 м³/ч, мощность насосной установки - до 160 кВт [51].

1.4.4 Скруббер-бутары

Следующим рассматриваемым типом оборудования для подготовки россыпных песков являются скруббер-бутары, технологическая эффективность которых определяется, в том числе, полнотой дезинтеграции и качеством грохочения.

Эффективность дезинтеграции определяется производительностью, размерами грохота и рабочим живым сечением сеющей поверхности, частотой вращения дезинтегратора, углом наклона прибора, конструкцией и конфигурацией дезинтеграторов, количеством и напором подаваемой воды, временем нахождения материала в скруббер-бутаре.

Интенсивность дезинтеграции в промывочных приборах барабанного типа можно повысить за счёт увеличения частоты вращения дезинтегратора (до 70 % критической частоты вращения), уменьшения угла наклона скруббер-бутары, увеличения длины и диаметра дезинтегратора и высоты кольцевого порога скруббер-бутары.

Степень дезинтеграции материала, подаваемого на промывку, возрастает с увеличением частоты вращения, но, как показывают исследования [54], эффективность грохочения песков в этом случае снижается значительно быстрее,

чем повышается эффективность дезинтеграции. Вследствие этого общие потери мелких фракций песков с галей повышаются. Поэтому частоту вращения барабанного грохота необходимо выбирать исходя из условий оптимального грохочения минерального материала, а интенсивность дезинтеграции увеличивать установкой дезинтегрирующих устройств, увеличением времени пребывания песков в грохоте и т. д. [55].

На скруббер-буарах производительностью по переработке песков $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ расход технологической воды составляет от $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $800 \text{ м}^3/\text{ч}$, используется насос 1Д800-566, мощностью 110 кВт. Промывочные приборы на базе скруббер-буары (ПБШ, СБ) являются наиболее универсальными, так как обеспечивают высокую производительность и хорошую дезинтеграцию для среднепромывистых песков, имеют невысокий удельный расход топлива (порядка $0,3 \text{ кг}/\text{м}^3$) [51].

Таким образом, скруббер-буары следует отнести к числу наиболее перспективных и универсальных решений для переработки песков россыпных месторождений. Скруббер-буары обеспечивают качественную дезинтеграцию, устойчивое грохочение и тем самым создают условия для повышения извлечения мелкого и тонкого золота. Именно поэтому в рамках настоящего исследования приборы бочечно-шлюзового типа представляют наибольший практический интерес как основа для дальнейшего совершенствования режимов подачи пульпы и управления соотношением жидкой и твёрдой фаз на шлюзах.

1.5 Анализ работы оборудования, применяемого для переработки золотосодержащих песков

1.5.1 Шлюзовые промывочные комплексы

Шлюзовые промывочные приборы составляют абсолютное большинство среди оборудования в России и за рубежом [56]. Неподвижный шлюз является простейшим аппаратом и представляет собой наклонный желоб прямоугольной формы с параллельными бортами [57]. На дно шлюза укладываются резиновые или полиуретановые коврики, которые могут иметь вафельные, лестничные, ёлочные,

губчатые или плетёные рифли. Форму трафаретов, размер и глубину ячеек выбирают исходя из крупности и формы улавливаемых зёрен россыпного золота. На коврики укладывают металлические трафареты высотой от 30 до 55 мм с расстоянием между планками от 40 до 60 мм и углом наклона планок от 45° до 60° . На дражных шлюзах мелкого наполнения в качестве трафаретов широко используют металлическую цельнотянутую решетку с эллипсовидными отверстиями [58].

Угол наклона шлюзов глубокого наполнения для песков крупностью от 50 до 100 мм составляет от 9° до 13° , шлюзов мелкого наполнения для песков крупностью менее 20 мм составляет от 5° до 8° [59, 60].

Пульпа при оптимальном соотношении жидкой фазы к твёрдой более 6:1 (Ж:Т) подаётся в верхнюю часть шлюза. В наклонном потоке зерна минералов разделяются по плотности и крупности. В процессе работы шлюза зерна тяжёлых минералов заполняют постель между трафаретами, вытесняя лёгкие минералы. Периодически производится сполоск осажённого концентрата для восстановления улавливающей способности постели [61]. Постель шлюза - это сформированный в улавливающей зоне шлюза слой тяжёлых минералов, накапливающийся под трафаретами и между ними в процессе переработки пульпы и обеспечивающий удержание частиц золота и других минералов высокой плотности.

Эффективность извлечения золота на шлюзах определяется совокупностью факторов. К основным относят удельную нагрузку твёрдой части, рассчитываемую на метр ширины или на квадратный метр улавливающей поверхности; скорость и глубину потока пульпы, которые зависят от степени разжижения пульпы и уклона шлюзов; тип улавливающего покрытия; а также содержание тяжёлых минералов и гранулометрический состав золота в перерабатываемых песках [62].

При оценке работы шлюзовых промывочных приборов необходимо учитывать скорость и глубину потока, уклон шлюза, содержание твёрдой фазы, крупность питания и равномерность подачи пульпы. При нарушении этих условий возрастает вероятность выноса мелких частиц золота в хвосты [63-65].

На шлюзах мелкого наполнения основная часть крупного и среднего золота задерживается на первых двух метрах, поэтому для эффективного извлечения мелкой фракции необходима длина шлюза не менее 5-6 м. На шлюзах глубокого наполнения практически полное улавливание достигается при длине 15-20 м [65].

На возможность существенного повышения извлечения золота за счет уменьшения максимальной крупности песков и соответствующего снижения скорости потока указывает практика использования шлюзов глубокого и мелкого наполнения. Предварительная классификация песков по крупности частиц 8-16 мм, общепринятая на драгах, находит все большее применение и на промывочных приборах. Исследования показывают, что ограничение максимальной крупности песков, например до 4-6 мм, является одним из основных способов повышения эффективности работы шлюзов [59].

Исследования, проведенные Ковалевым А.А., Замятиным О.В., Лопатиным А.Г., Чугуновым А.Д., показывают, что потери мелкого тонкого золота снижаются при более частой смене улавливающего покрытия (сполосках) - 3-4 раза в сутки вместо обычной однократной, и при уменьшении скорости пульпы до 0,6-0,8 м/с, что становится возможным при снижении максимальной крупности питания [59].

Так, исследованиями на 210-л драге определено, что при замене улавливающего покрытия через каждый час и нагрузке шлюзов около 5 м³/ч на 1 м ширины извлечение золота класса -0,25+0,074 мм составляло 80-87 %, а при сполосках через 30 мин оно повышалось до 90-95 %. Несмотря на установленные и явные преимущества частых сполосков, они долгое время не внедрялись вследствие значительных затрат немеханизированного труда [66].

В целях сокращения простоев драги на период сполоска улавливающих покрытий были созданы механизированные шлюза, особенностью которых является возможность сполоска концентратов без снятия улавливающего покрытия, путем поворота шлюзов и обмыва их напорной водой с минимальными затратами времени и труда. Применение подвижных металлических шлюзов ШМС и шлюзов с подвижным резиновым покрытием - ШПРП исключает ручной труд при сполоске и позволяет автоматизировать сполоск шлюзов.

Подвижные металлические шлюза ШМС представляют собой стационарные шлюза, укрепленные на двух бесконечных цепях, натянутых на четыре звездочки, насаженные на ведущий и ведомый валы. Последний связан с натяжным устройством, регулирующим натяжение цепи. Ведущий вал присоединен к электродвигателю, с помощью которого осуществляются поворотные движения шлюзов в период сполоска. Улавливающее покрытие аналогично применяемому на стационарных шлюзах. Периодический сполоск производится напорной водой из оросительной трубы при огибании шлюзом направляющей звездочки. Концентрат собирается в поддоне и по желобу направляется на доводочную установку.

Недостатком подвижных металлических шлюзов является большая металлоемкость конструкции, невозможность их размещения в два яруса на драгах существующей конструкции.

Шлюз с подвижным резиновым покрытием ШПРП (или ШНРК-шлюз с непрерывной разгрузкой концентрата) представляет собой бесконечную коробчатую резиновую ленту, выполненную с бортами и улавливающим покрытием в виде ряда порогов и ячеек между ними, натянутую на два барабана, закрепленные на раме. К одному из барабанов присоединен привод, к другому - натяжное устройство. При сполоске шлюза лента со скоростью 0,8 м/мин (может изменяться) движется навстречу набегающему потоку воды. При огибании барабана лента полностью орошается водой, концентрат смывается и по лотку, установленному под лентой, поступает на доводку. Для уменьшения числа приводов их устанавливают на два шлюза (верхний и нижний при двухъярусном их расположении) [67-70].

К достоинствам резиновых подвижных шлюзов следует отнести высокую технологическую эффективность, возможность проведения выборочного сполоска, производительность и простоту в использовании.

Недостатками шлюзов с подвижным резиновым покрытием являются: высокая (почти в два раза) по сравнению с металлическими подвижными шлюзами стоимость изготовления; большое количество приводов, а следовательно, и пускорегулирующей аппаратуры; сложность замены резиновой ленты при обрыве;

неполный смыв золота с ковриков при сполоске зерен золота, которые к тому же могут уноситься потоком воды в хвосты при отсутствии застилки контрольного шлюза.

Проведенными Иргиредметом и Уральским научно-исследовательским и проектным институтом медной промышленности «Унипромедь» испытаниями на драгах шлюзов с подвижным резиновым покрытием и металлических подвижных шлюзов установлено, что даже при значительных удельных нагрузках пульпы (10-13 м³/ч на 1 м ширины шлюза) при трехразовом сполоске в сутки извлечение золота повышается на 3-4 %. При переработке песков с относительно большим количеством мелкого золота частый сполоск эффективен и при меньших нагрузках пульпы на шлюза [70, 71].

В результате проведенного анализа установлено, что основными тенденциями совершенствования шлюзовых агрегатов в настоящее время являются:

1. Улучшение гидродинамических режимов разделения минеральных зерен промываемых песков возможно путём увеличения площади улавливания концентрата и регулирования угла наклона;
2. Непрерывная разгрузка концентрата с последующим сокращением объема промывки на других гравитационных аппаратах;
3. Механизация и автоматизация процессов споласкивания концентрата;
4. Совершенствование улавливающих покрытий на шлюзах.

1.5.2 Развитые схемы переработки песков

Развитые схемы целесообразно рассматривать как совокупность последовательно включённых аппаратов, каждый из которых эффективно работает в определённом диапазоне крупности минеральных частиц. Отсадочные машины, винтовые сепараторы, концентрационные столы и центробежные концентраторы различаются по механизму разделения, требованиям к подготовке питания, чувствительности к содержанию глинистой фракции и устойчивости водного

режима. Поэтому выбор аппаратов в составе развитой схемы должен выполняться с учётом гранулометрического состава золота, содержания тяжёлых минералов, промывистости песков и требуемой степени предварительной классификации [72-74].

Включение отсадочных машин в состав развитых схем переработки требует оценки их рационального применения и технологических ограничений при переработке россыпных песков.

В отсадочных машинах происходит гравитационное разделение минералов по плотности в пульсирующем потоке воды. Тяжелые частицы золота оседают в нижние слои, образуя концентрат, а легкие пустые породы выносятся верхним потоком. Это позволяет эффективно отделять металл от песка и глины [75].

При обогащении золотосодержащих песков на отсадочных машинах обычно применяется искусственная постель толщиной до 30-40 мм из стальной дробы диаметром 4-6 мм или металлической стружки, ферросилиция и других материалов на цементном растворе. В качестве постели иногда используются крупные фракции шлиховых минералов: пирита, магнетита, лимонита и т.д. Толщина постели зависит от крупности, плотности и формы зерен, формирующих постель [76].

Эффективность работы отсадочных машин зависит прежде всего от содержания полезного минерала в россыпи, водного режима промывки, равномерности питания отсадки, отношения Ж:Т в пульпе, характера добываемого золота (размер зёрен, форма, наличие сростков и др.), а также от скорости прохождения пульпы через отсадочную машину.

Большое влияние на технологические показатели отсадки оказывают гранулометрический состав материала, прежде всего содержание глины в обогащаемых песках. Необходимым условием успешной работы отсадки является предварительная подготовка - обезыливание и обезвоживание исходного материала.

Исследованиями Иргиредмета установлено, что предварительное обезвоживание песков, содержащих до 30-40 % частиц мелкого золота, позволяет повысить его извлечение на 8 -10 % (таблица 1.4) [77].

Таблица 1.4 - Режимы отсадки и производительность

Режим отсадки	Исходные пески		Пески после удаления илистой фракции	
Производительность отсадочной машины, м ³ /ч	3,6	4,2	3,2	3,4
Ж:Т в питании	6,5: 1	6,5: 1	6,5: 1	6,5: 1
Крупность питания, мм	-8+0	-8+0	-8+0,074	-8+0,074
Извлечение золота, %	87, 1	90,3	93,8	95,5

Следовательно, применение отсадки в развитых схемах обогащения должно обосновываться не только расчетной эффективностью процесса, но и требованиями к подготовке питания, обеспечивающими эффективную работу оборудования и прирост извлечения.

В развитых схемах обогащения используются не только отсадочные машины, но и винтовые сепараторы. Винтовые сепараторы относятся к аппаратам, в которых разделение материала происходит в безнапорном наклонном потоке пульпы малой глубины. Основой конструкции аппарата служит спиральный гладкий желоб с вертикальной осью, по которому загружаемая в верхнюю часть установки пульпа стекает вниз тонким слоем, а на минеральные частицы, помимо гравитационных и гидродинамических сил, действует центробежная сила. В связи с чем тяжёлые минералы концентрируются у внутреннего борта спирали, а лёгкие - у внешнего. Поперечное сечение желоба соответствует четверти окружности или вытянутому эллипсу.

Разновидность этих аппаратов - винтовые шлюза (например, двухжелобный ШВ-2-1000А) - отличается более широким желобом с меньшим наклоном дна, что обеспечивает эффективное обогащение минеральной массы крупностью <0,074 мм при низких скоростях потока [78].

Преимуществами винтовых сепараторов по сравнению с отсадочными машинами являются: отсутствие движущихся деталей, простота конструкции, наглядность процесса, простота обслуживания, низкие эксплуатационные расходы.

Низкая производительность винтовых сепараторов требует установки каскада таких аппаратов, занимающего значительный объем. Также к недостаткам (сравнительно с отсадочными машинами) следует отнести: большой выход концентрата, низкое извлечение частиц золота округлой комковатой формы, значительный перепад пульпы в аппарате, что затрудняет компоновку оборудования на обогатительных установках.

Включение винтовых сепараторов в состав развитой схемы обогащения должно определяться конкретными свойствами перерабатываемых песков и параметрами технологической воды, при которых их использование становится технологически более целесообразным по сравнению с отсадкой.

В составе развитых схем обогащения отдельного рассмотрения требует применение короткоконусных гидроциклонов. Результаты испытаний короткоконусных гидроциклонов на россыпных месторождениях показывают, что по эффективности извлечения золота эти аппараты не уступают отсадочным машинам и даже концентрационным столам. Установлено, что при значениях угла конусности 90 градусов и более в гидроциклоне возможно разделение зерен по плотности [59,62]. В таблице 1.5 приведены результаты обогащения песков крупностью -1 мм одного из россыпных месторождений. Содержание золота в обогащаемом продукте составляло около 0,8 г/т [59].

Таблица 1.5 - Извлечение россыпного золота различной крупности гравитационными аппаратами [59]

Аппарат	Производительность, кг/ч	Выход концентрата, %	Распределение золота %, по классам, мм			
			+0,5 мм	-0,5 +0,25 мм	-0,25 +0,1 мм	-0,1 +0,05 мм
Концентрационный стол	30-50	7,9	100	100	93,5	79,3
Отсадочная машина	200	9,1	100	100	96,5	79,3
Короткоконусный гидроциклон ($\alpha=120^\circ$, $\Delta=22/4$ мм, $\varnothing$ 75 мм)	600	9,4	100	100	98,5	76,7

Продолжение таблицы 1.5

Аппарат	Производительность, кг/ч	Выход концентрата, %	Распределение золота %, по классам, мм			
			+0,5 мм	-0,5 +0,25 мм	-0,25 +0,1 мм	-0,1 +0,05 мм
То же (Ø 50 мм, $\alpha=120^\circ$, $\Delta=16/4$ мм)	200	7,4	100	100	95,0	83,0

Важным требованием при обогащении в гидроциклоне является подготовка материала по крупности. Существует определенное соотношение между размером гидроциклона и величиной наибольшего зерна обогащаемого материала. Так, в гидроциклоне диаметром 75 мм можно обогащать материал не крупнее 1,5 мм.

На последующих стадиях развитой схемы обогащения решающим показателем становится не прирост производительности прибора, а повышение селективности разделения частиц золота от пустой породы, что вызывает необходимость применения концентрационных столов.

Столы, как известно, обеспечивают высокую степень концентрации ценных минералов, но имеют сравнительно невысокую производительность, вследствие чего не могут применяться для основной концентрации бедных материалов. В основном концентрационные столы применяются в перечистных и доводочных операциях.

Степень концентрации мелкого золота при его обогащении на концентрационных столах значительно выше, чем на всех других применяемых гравитационных аппаратах.

1.6 Выводы по главе 1

1. В 2020-2025 гг., несмотря на существенный рост цен на золото, наблюдается планомерное снижение объемов добычи золота из россыпных месторождений. Дальнейший рост золотодобычи может быть обеспечен

преимущественно за счет повышения эффективности отработки месторождений со сложными горно-геологическими условиями, в том числе техногенных.

2. Анализ существующих способов отработки россыпных месторождений показывает, что основным и наиболее распространенным является открытый раздельный способ разработки с использованием шлюзовых промывочных комплексов, доля которых превышает 80 %.

3. Анализ применяемых технических решений показывает, что к числу наиболее универсальных промывочных приборов для отработки россыпных месторождений относятся скруббер-бутары со шлюзами мелкого наполнения.

4. Анализ литературных данных показал, что повышение извлечения мелкого и тонкого золота на шлюзовых приборах связано с совершенствованием гидродинамических режимов разделения, ограничением крупности питания, увеличением площади улавливания, совершенствованием улавливающих покрытий, а также механизацией и автоматизацией процессов сполоска концентрата. Эти направления следует рассматривать как наиболее перспективные при совершенствовании технологий переработки песков россыпных месторождений.

5. Установлено, что в условиях усложнения сырьевой базы россыпной золотодобычи и увеличения доли месторождений с мелким и тонким золотом ключевое значение приобретает совершенствование параметров переработки, подачи и распределения песков на шлюзовых промывочных приборах, обеспечивающих снижение потерь металла на стадиях дезинтеграции, грохочения и шлюзового улавливания.

2 РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПОДАВАЕМЫХ ПЕСКОВ НА ШЛЮЗА

2.1 Оценка эффективности работы шлюзовых промывочных комплексов

В условиях вовлечения в переработку золотоносных песков, характеризующихся повышенным содержанием мелких и тонких классов крупности золота, особую актуальность приобретает не только выбор типа промывочного оборудования, но и разработка научно обоснованного подхода к оценке эффективности его работы. Практика эксплуатации шлюзовых промывочных приборов в Хабаровском крае показывает, что значительная часть потерь металла обусловлена не только конструктивными особенностями оборудования, но и отклонениями технологического режима от рациональных значений. К числу наиболее существенных факторов относятся неравномерность подачи песков, колебания соотношения жидкой и твёрдой фаз пульпы, изменение удельной нагрузки по твёрдому и нарушение устойчивости гидродинамического режима на шлюзах. При этом в производственных условиях указанные факторы часто не учитываются, что затрудняет выявление причин снижения извлечения золота [33].

В связи с этим эффективность работы шлюзовых промывочных приборов целесообразно определять на основе комплексного анализа взаимосвязанных технических и технологических параметров, непосредственно формирующих условия осаждения и удержания золота на шлюзах. Такой подход позволяет установить причинно-следственные связи между режимом подачи пульпы, распределением нагрузки по шлюзам, параметрами потока и фактическими потерями золота, прежде всего его мелких и тонких фракций.

Исходя из этого, предлагаемый подход реализуется поэтапно и предусматривает последовательное исследование параметров, определяющих устойчивость технологического режима работы шлюзов.

На первом этапе выполняется анализ технических и технологических характеристик оборудования. При этом устанавливаются тип применяемых грохотов, мощность потока пульпы на шлюзах мелкого наполнения, углы наклона шлюзов, консистенция пульпы, определяемая отношением Ж:Т, тип и состояние улавливающих покрытий, а также тип насоса и его рабочие характеристики. Дополнительно с помощью отсечки пульпы со шлюза определяется содержание твёрдой и жидкой фаз на каждом шлюзе в реальном времени - как в период подачи породы в бункер, так и в интервалах между циклами подачи для стационарных промывочных приборов.

На втором этапе, на основе полученных исходных данных, рассчитываются объём выхода пульпы на шлюза и удельная нагрузка по твёрдому. Выделение именно этих показателей обусловлено тем, что они в наибольшей степени характеризуют условия функционирования шлюзового оборудования. Объём выхода пульпы отражает параметры гидравлического режима, тогда как удельная нагрузка по твёрдому характеризует интенсивность поступления твёрдого материала на рабочую поверхность шлюза. Их совместное рассмотрение позволяет оценить, в какой степени фактический режим работы соответствует условиям, необходимым для эффективного осаждения и удержания золота.

Следует отметить, что при соблюдении рациональной удельной нагрузки по твёрдому на шлюзе формируется устойчивая постель, обеспечивающая эффективное улавливание тяжёлых минералов и золота. При избыточной подаче материала поток утрачивает способность к селективному разделению частиц, вследствие чего золото начинает перемещаться совместно с лёгкими фракциями в хвосты. Особенно существенно это проявляется при переработке песков, характеризующихся повышенной глинистостью, высоким содержанием шлиховых минералов и преобладанием мелких классов золота.

Кроме того, расчёт удельной нагрузки по твёрдому имеет значение не только для оценки текущего режима работы, но и для обоснования геометрических параметров шлюзов. На его основе могут быть определены требуемая площадь рабочей поверхности, ширина и длина шлюзов, а также необходимость установки

нескольких шлюзов. Такой подход позволяет увязать производительность промывочного прибора с фактическими возможностями улавливания золота и избежать ситуаций, при которых рост производительности не сопровождается соответствующим повышением извлечения.

Однако сами по себе показатели выхода пульпы и нагрузки по твёрдому ещё не позволяют в полной мере оценить устойчивость технологического режима. Для этого необходимо учитывать согласованность поступления жидкой и твёрдой фаз, поскольку только при их рациональном соотношении формируются условия, при которых лёгкие фракции эффективно удаляются, а тяжёлые минералы и золото концентрируются в зоне рифлей без размыва постели.

На третьем этапе анализируются полученные результаты и производится оценка эффективности и равномерности работы шлюзов по соотношению Ж:Т для каждого шлюза в отдельности, включая интервалы между циклами подачи породы в бункер для промывочных приборов, работающих в условиях цикличной технологии подачи песков. Такой анализ позволяет установить степень равномерности распределения пульпы между шлюзами, выявить колебания режима работы и определить, насколько эти отклонения способны повлиять на извлечение золота.

Принципиально важно, что данный подход применим не только к месторождениям, содержащим преимущественно мелкое и тонкое золото, но и к объектам с более крупным золотом. Однако именно при наличии значительной доли мелких классов неравномерность распределения пульпы по шлюзам и колебания отношения Ж:Т оказывают наиболее существенное влияние на эффективность работы шлюзовых промывочных приборов. В связи с этим оценка указанных параметров должна рассматриваться как необходимый элемент технологического анализа при исследовании причин потерь золота и обосновании направлений совершенствования режима работы оборудования.

2.2 Исследование параметров и режимов шлюзовых комплексов

2.2.1 Исследование режимов работы шлюзового промывочного комплекса на базе драг Д-250 в условиях техногенного месторождения

Исследования проводились на действующем россыпном объекте, разрабатываемом дражным способом. Дражная отработка ведётся многочерпаковыми драгами с номинальной вместимостью черпака 250 л, технические характеристики которых представлены в таблице 2.1, на площадях, представленных техногенными эфельными отвалами, переработка которых сопряжена со сложными горно-геологическими условиями и высоким содержанием мелкого и тонкого золота в золотоносных песках.

В целях предварительной оценки эффективности работы драг № 45 (р. Олга, Хабаровский край) и № 4 (р. Агда, Хабаровский край) проведены измерения отношения жидкой и твердой фаз пульпы, поступающей на шлюза мелкого наполнения (далее - ШМН), выполнена общая оценка работы данных драг, включающая анализ факторов, влияющих на производительность драги: характер золотосодержащих песков и вскрышных пород, извлекаемых драгами и поступающих для дезинтеграции в дражную бочку и далее на ШМН.

Таблица 2.1 - Технические характеристики драги

Показатель	Значение
Номинальная вместимость черпака, л	250
Число черпаков в цепи, шт.	77-85
Скорость движения черпаковой цепи, черп./мин	21-30
Среднечасовая производительность, м³/ч	320-350
Предельная подводная глубина черпания, м	12-15
Мощность разрабатываемой толщи, м	до 15,5
в том числе подводная часть, м	до 12,0
Длина понтона, м	42,8

Продолжение таблицы 2.1

Показатель	Значение
Ширина понтона, м	18,2-18,8
Высота борта, м	около 3,0
Осадка в рабочем состоянии, м	около 2,0

Просеивание шлихового золота, извлеченного с ШМН драг № 45 и № 4 через лабораторные сита показало следующее распределение по классам крупности частиц золота (рисунок 2.1).

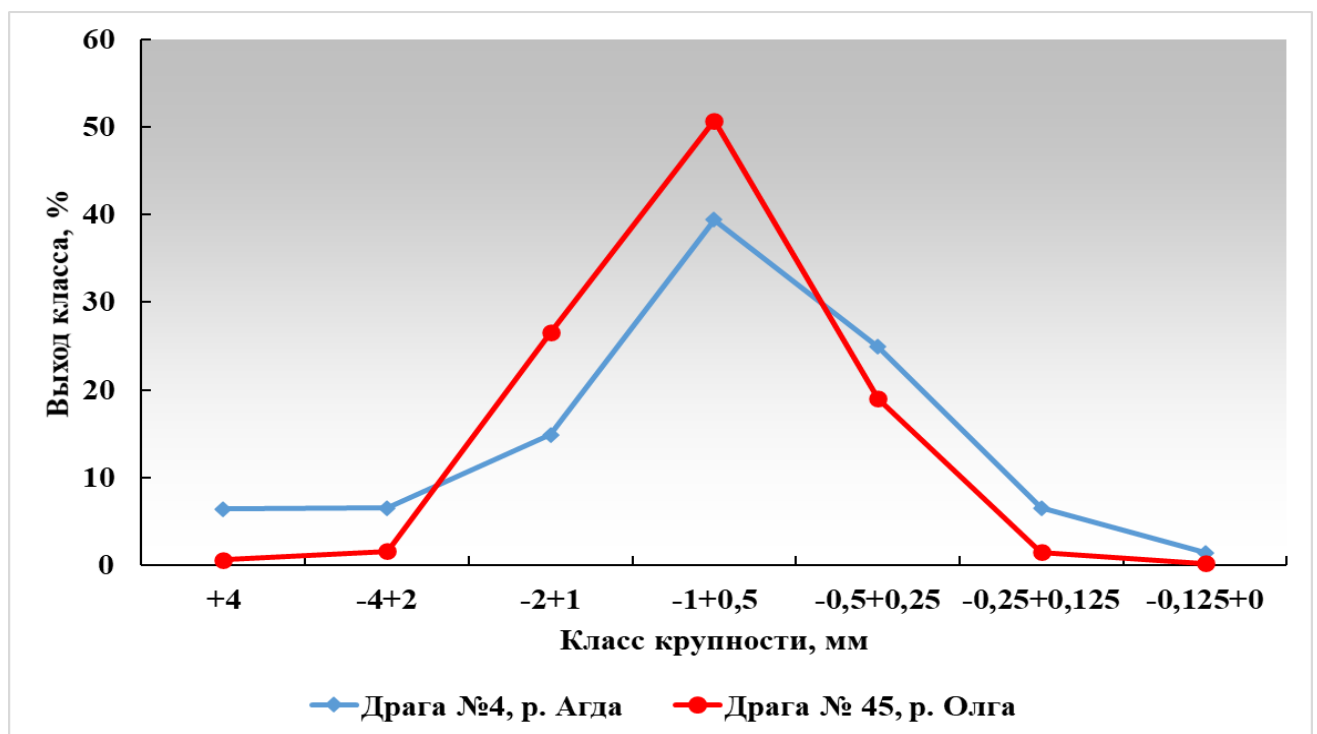


Рисунок 2.1 - Ситовая характеристика золота, извлеченного со шлюзов драг № 4 и №45

На рисунке 2.1 видно, что значительная доля частиц золота, добытых драгами, находится в классах крупности от -1,0 до +0,5 мм (драга № 4 - 39,4 % и драга № 45 - 50 %) и от -0,5 до +0,0 мм (драга № 4 - 32,8 % и драга № 45 - 20,7 %).

Проведенные измерения и расчеты технологического оборудования (таблицы 2.2-2.7), применяемого на добычных участках при отработке полигонов золотосодержащих песков, показали, что на ШМН драг происходит неравномерное

поступление и распределение пульпы, что в свою очередь обусловлено следующим рядом факторов:

- неравномерной подачей горной массы из забоя (различная загруженность черпаков);
- работой шлюзов в условиях минимальной подачи или прекращении подачи горной массы на промывку при проходке мерзлых грунтов, подэфеливании драги, поломках либо отсутствии в необходимом количестве землеройной техники и др.);
- поступлением на промывку различных по гранулометрическому составу пород (торфы, пески, эфели, мёрзлые, а также коренные породы из приплотиковой части).

Перечисленные факторы значительно влияют на эффективность подготовки пульпы на ШМН и, как следствие, на объём добычи полезного ископаемого.

На основании времени наполнения пульпой отсечки, скорости потока пульпы на ШМН рассчитан объём выхода пульпы ($Q_{\text{пульпа}}$) на ШМН на драге № 45.

Таблица 2.2 - Показатели подачи пульпы на ШМН на правой стороне драги № 45

№ шлюза	Номер исследования			Время, с	Расход пульпы на ШМН ($Q_{\text{пульпы}}$) м ³ /ч
	V ₁ породы, л	V ₂ породы, л	V ₃ породы, л		
1	1,20	1,40	1,20	1,50	66,2
2	0,50	0,50	0,30	1,50	66,2
3	0,20	0,20	0,20	1,40	71,0
4	0,20	0,30	0,20	1,40	71,0
5	0,15	0,15	0,15	1,60	62,1
6	0,10	0,10	0,10	1,60	62,1
7	0,15	0,20	0,15	1,35	73,6
8	0,15	0,15	0,15	1,40	71,0
9	0,30	0,30	0,30	1,40	71,0
10	0,25	0,25	0,30	1,40	71,0
11	0,10	0,10	0,10	1,40	71,0
12	0,40	0,40	0,30	1,40	71,0

Расчетный объем выхода пульпы на ШМН вычислялся по формуле (2.1):

$$Q_{\text{пульпы}} = \left(\frac{V_{\text{отсечки}} * \frac{3600}{t_{\text{сек}}}}{1000} \right) \times \frac{b_{\text{шлюза}}}{b_{\text{отсечки}}}, \quad (2.1)$$

где $V_{\text{отсечки}}$ - объем отсечки, л;

$t_{\text{сек}}$ - время отсечки, с.

$b_{\text{шлюза}}$ - ширина шлюза, м;

$b_{\text{отсечки}}$ - ширина отсечки, м;

Подобным образом данное значение вычислялось и для драги № 4.

Расчетный объем выхода пульпы ($Q_{\text{пульпа}}$) на ШМН ($\text{м}^3/\text{ч}$), показывает, что объем переработки пульпы на ШМН характеризуется близкими значениями, плавно увеличивающимися от первых к последним шлюзам (рисунок 2.2).

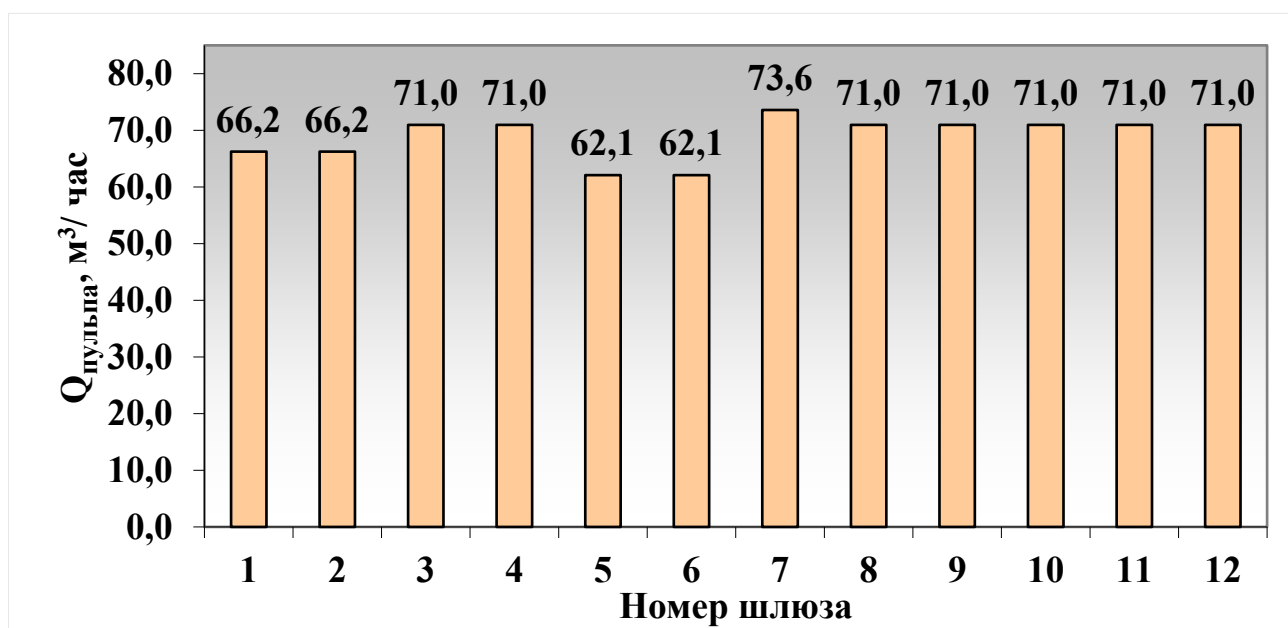


Рисунок 2.2 - Расчетный объем выхода пульпы на ШМН (правая сторона) драги № 45

Таблица 2.3 - Показатели подачи пульпы на ШМН на левой стороне драги №45

№ шлюза	Номер исследования			Время, с	Расход пульпы на ШМН ($Q_{\text{пульпы}}$), $\text{м}^3/\text{ч}$
	V_1 породы, л	V_2 породы, л	V_3 породы, л		
1	1,30	1,50	1,30	1,50	66,2

Продолжение таблицы 2.3

№ шлюза	Номер исследования			Время, с	Расход пульпы на ШМН ($Q_{\text{пульпы}}$), м ³ /ч
	V ₁ породы, л	V ₂ породы, л	V ₃ породы, л		
2	1,10	1,00	1,00	1,50	66,2
3	1,10	1,40	0,70	1,40	71,0
4	0,50	0,50	0,60	1,40	71,0
5	0,30	0,30	0,30	1,60	62,1
6	0,10	0,15	0,10	1,60	62,1
7	0,15	0,20	0,30	1,35	73,6
8	0,05	0,05	0,10	1,40	71,0
9	0,15	0,15	0,15	1,40	71,0
10	0,20	0,30	0,15	1,40	71,0
11	0,10	0,15	0,10	1,40	71,0
12	0,15	0,10	0,15	1,40	71,0

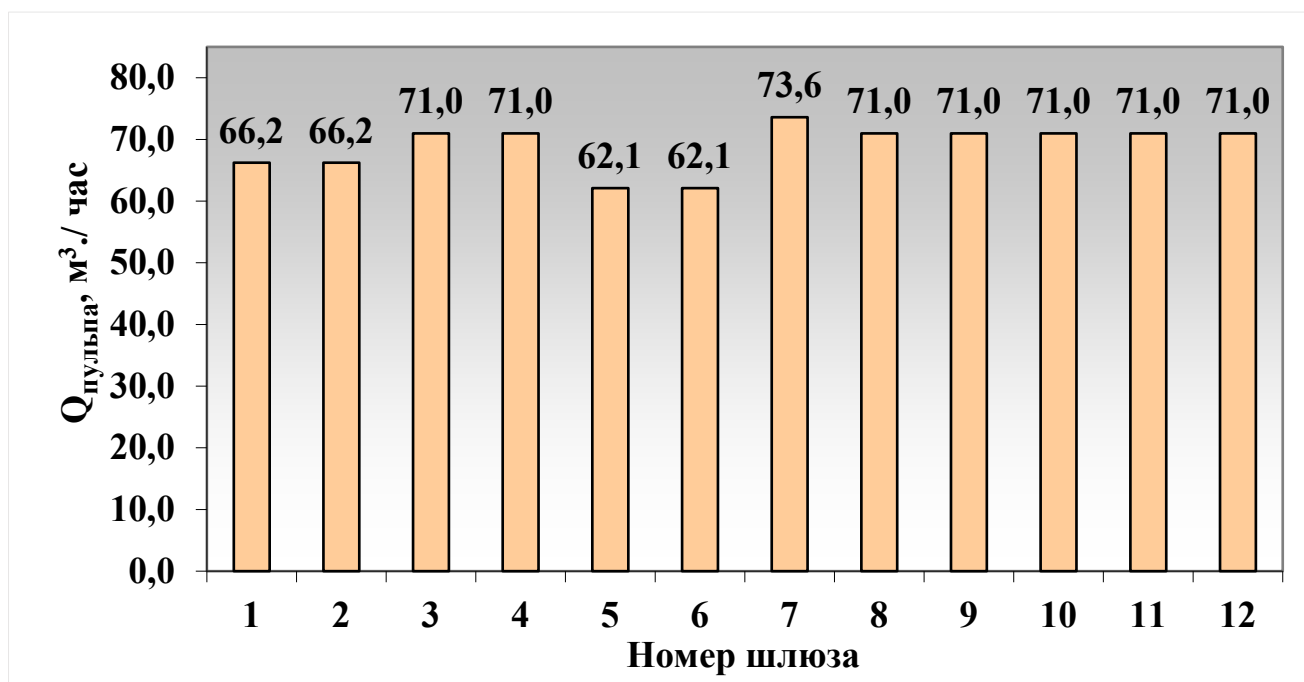


Рисунок 2.3 - Расчетный объем выхода пульпы на ШМН (левая сторона) драги №

Один и тот же расход пульпы (рисунок 2.3) может соответствовать различным значениям $Q_{\text{породы}}$ вследствие изменения концентрации твёрдого;

поэтому после определения $Q_{\text{пульпы}}$ необходимо дополнительно измерить концентрацию твёрдой фазы и определить $Q_{\text{порода}}$.

Ниже представлены диаграммы распределения нагрузки по горной массе ($Q_{\text{порода}}$) на ШМН от 1 до 12 шлюза драги № 45.

Таблица 2.4 - Показатели подачи породы на ШМН на правой стороне драги № 45

№ шлюза	Номер исследования			Время, с	Расход горной массы на ШМН ($Q_{\text{порода}}$) $\text{м}^3/\text{ч}$
	V_1 породы, л	V_2 породы, л	V_3 породы, л		
1	1,20	1,40	1,20	1,50	7,3
2	0,50	0,50	0,30	1,50	2,7
3	0,20	0,20	0,20	1,40	1,1
4	0,20	0,30	0,20	1,40	1,4
5	0,15	0,15	0,15	1,60	0,8
6	0,10	0,10	0,10	1,60	0,5
7	0,15	0,20	0,15	1,35	1,1
8	0,15	0,15	0,15	1,40	0,9
9	0,30	0,30	0,30	1,40	1,9
10	0,25	0,25	0,30	1,40	1,6
11	0,10	0,10	0,10	1,40	0,6
12	0,40	0,40	0,30	1,40	2,3

Расход твёрдой фазы определялся через объёмную концентрацию твёрдого в пульпе. Объёмная доля твёрдого C_v вычислялась как отношение среднего объёма осадка твёрдой фазы, полученного по трём замерам, к объёму пульпы.

Объём выхода горной массы на ШМН вычислялся по формулам (2.2) - (2.4):

$$Q_{\text{порода}} = Q_{\text{пульпы}} \times C_v, \quad (2.2)$$

$$C_v = \frac{V_{\text{пор.ср.}}}{V_{\text{отсечки}}}, \quad (2.3)$$

$$V_{\text{пор.ср.}} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}, \quad (2.4)$$

где V_1 - объем первого измерения, л;
 V_2 - объем второго измерения, л;
 V_3 - объем третьего измерения, л;
 $V_{\text{пор.ср}}$ - объем породы средний, л;
 $V_{\text{отсечки}}$ - объем отсечки, л.

Подобным образом данное значение вычислялось и для драги № 4.

На рисунках 2.4 и 2.5 видно, что на правой стороне ШМН загрузка породой выше значения $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ характерна всего для 3 шлюзов (№ 1, 2, 12).

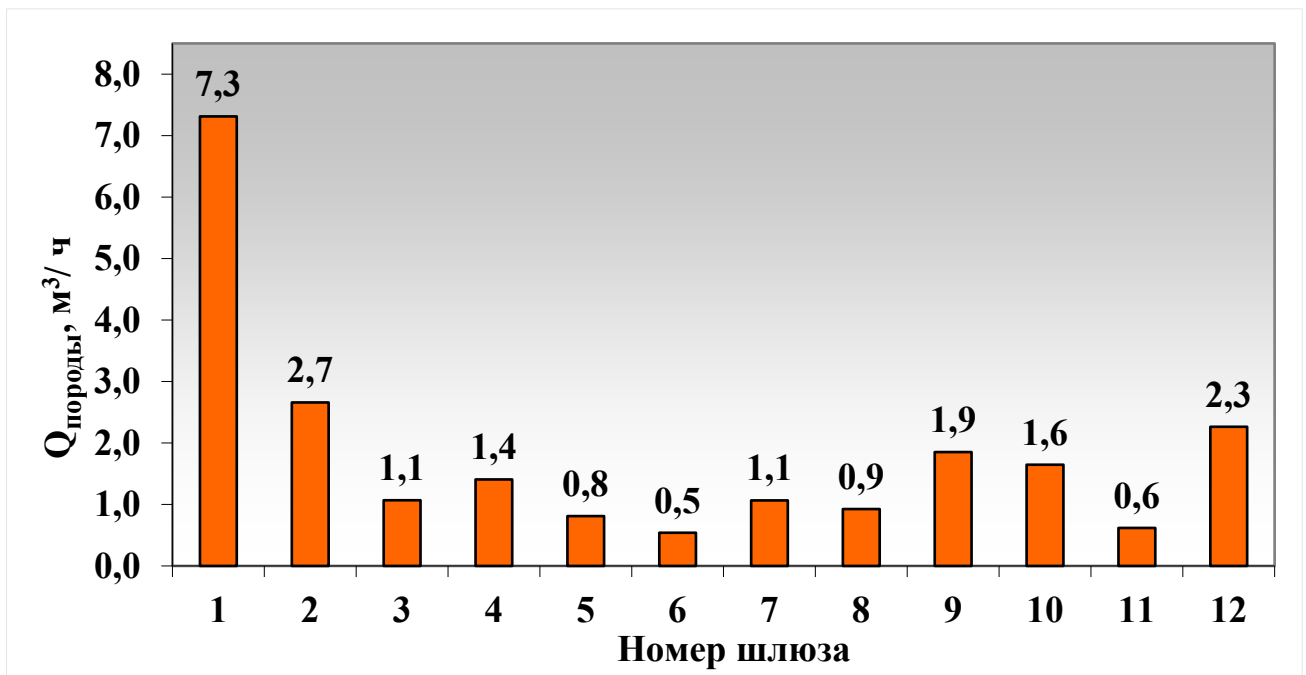


Рисунок 2.4 - Выход горной массы на ШМН (правая сторона) драги №45

Таблица 2.5 - Показатели подачи породы на ШМН на левой стороне драги №45

№ шлюза	Номер исследования			Время, с	Расход горной массы на ШМН ($Q_{\text{породы}}$) $\text{м}^3/\text{ч}$
	V_1 породы, л	V_2 породы, л	V_3 породы, л		
1	1,30	1,50	1,30	1,50	7,8
2	1,10	1,00	1,00	1,50	6,1
3	1,10	1,40	0,70	1,40	6,6
4	0,50	0,50	0,60	1,40	3,4
5	0,30	0,30	0,30	1,60	1,6
6	0,10	0,15	0,10	1,60	0,6

Продолжение таблицы 2.5

№ шлюза	Номер исследования			Время, с	Расход горной массы на ШМН ($Q_{\text{породы}}$) $\text{м}^3/\text{ч}$
	V_1 породы, л	V_2 породы, л	V_3 породы, л		
7	0,15	0,20	0,30	1,35	1,4
8	0,05	0,05	0,10	1,40	0,4
9	0,15	0,15	0,15	1,40	0,9
10	0,20	0,30	0,15	1,40	1,3
11	0,10	0,15	0,10	1,40	0,7
12	0,15	0,10	0,15	1,40	0,8

Основная нагрузка по твёрдому на левой стороне драги №45 сосредоточена именно на первых четырёх шлюзах. Начиная с пятого шлюза наблюдается резкое снижение загрузки до 0,4-1,6 $\text{м}^3/\text{ч}$, что свидетельствует о выраженной неравномерности распределения твёрдой фазы по длине ШМН и существенной недогрузке последующих шлюзов.

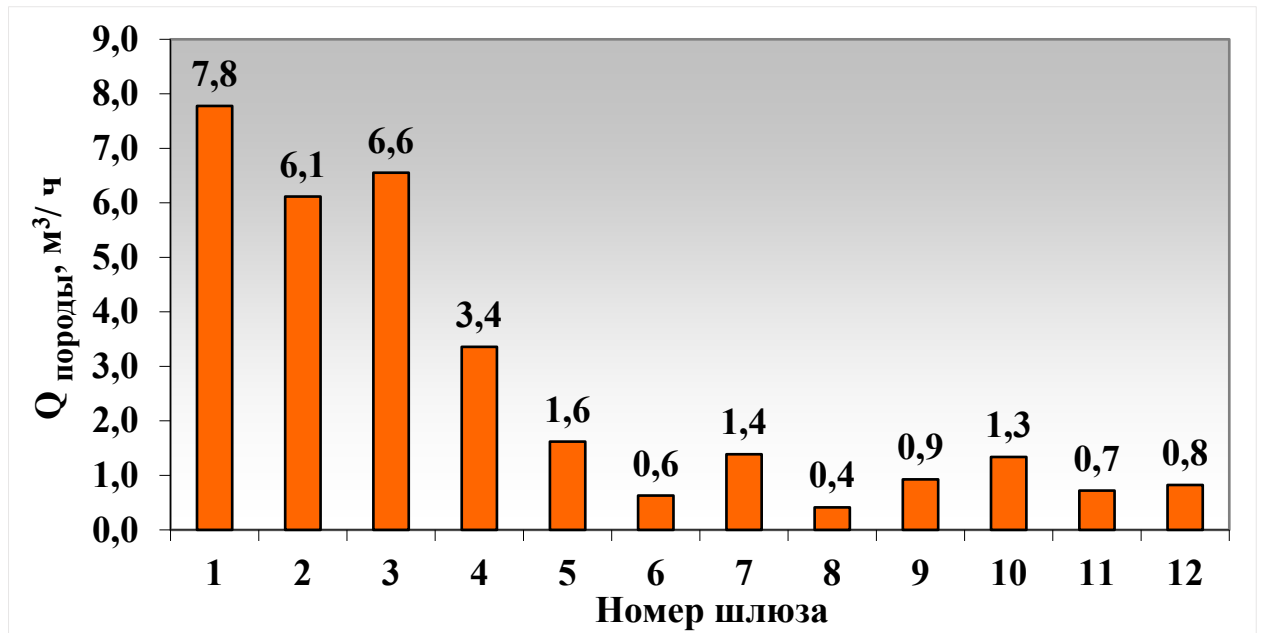


Рисунок 2.5 - Выход горной массы на ШМН (левая сторона) драги № 45

Отношение Ж:Т является интегральным показателем режима работы шлюза, поскольку обобщает влияние расхода пульпы и концентрации твёрдой фазы и характеризует структуру двухфазного потока в целом.

Таблица 2.6 - Анализ измерений Ж:Т на ШМН на правой стороне драги № 45

№ шлюза	Номер исследования			Время, с	Ж:Т, среднее
	V ₁ породы, л	V ₂ породы, л	V ₃ породы, л		
1	1,20	1,40	1,20	1,50	8
2	0,50	0,50	0,30	1,50	24
3	0,20	0,20	0,20	1,40	65
4	0,20	0,30	0,20	1,40	49
5	0,15	0,15	0,15	1,60	76
6	0,10	0,10	0,10	1,60	114
7	0,15	0,20	0,15	1,35	68
8	0,15	0,15	0,15	1,40	76
9	0,30	0,30	0,30	1,40	37
10	0,25	0,25	0,30	1,40	42
11	0,10	0,10	0,10	1,40	114
12	0,40	0,40	0,30	1,40	30

Ж:Т среднее вычислялось по формуле (2.5):

$$\text{Ж: Т} = \frac{V_{\text{отсечки}} - V_{\text{пор.ср.}}}{V_{\text{пор.ср.}}}, \quad (2.5)$$

где $V_{\text{отсечки}}$ - объем отсечки, л.

$V_{\text{пор.ср}}$ - объем породы средний, л;

При относительно равномерном распределении пульпы на шлюзах, на рисунках 2.6 и 2.7 прослеживается явная тенденция резкого увеличения значения жидкой фазы в пульпе драги № 45, поступающей на ШМН, начиная с 3-4 шлюза и до 12. Причем на некоторых шлюзах значения доходят до 100 и выше.

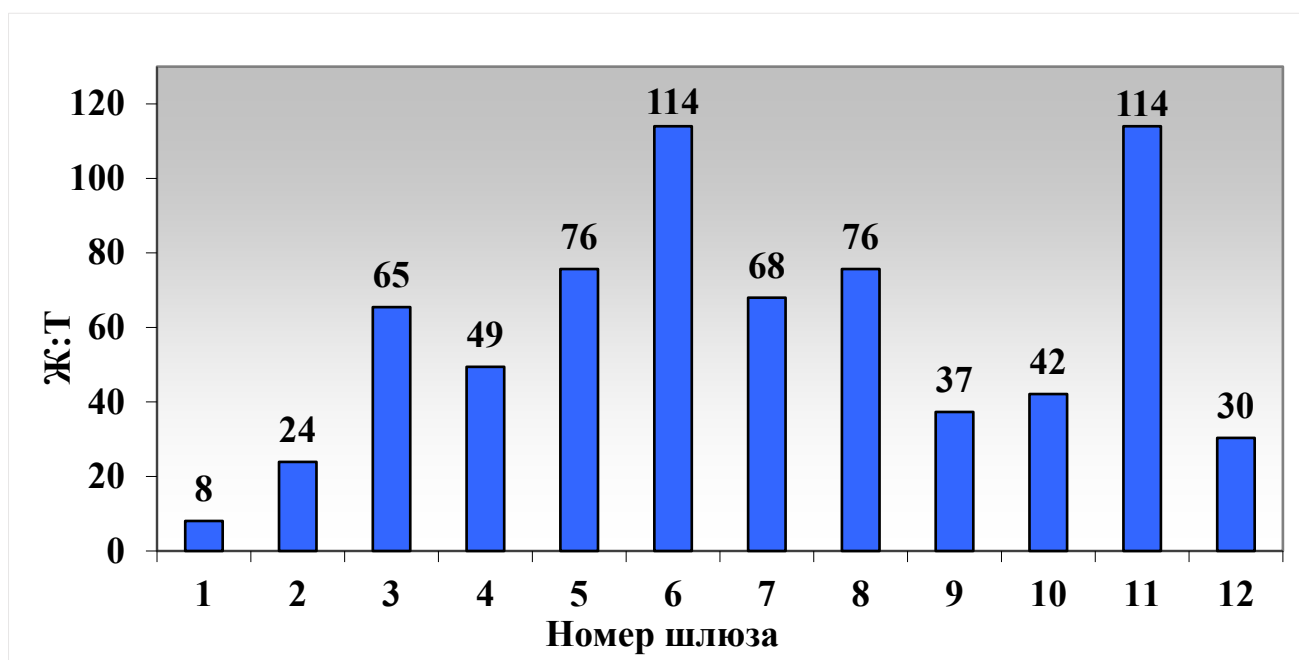


Рисунок 2.6 - Отношение Ж:Т (к одной части твердой фазы), правая сторона
ШМН драги № 45

Таблица 2.7 - Анализ измерений Ж:Т на ШМН на левой стороне драги № 45

№ шлюза	Номер исследования			Время, с	Ж:Т, среднее
	V ₁ породы, л	V ₂ породы, л	V ₃ породы, л		
1	1,30	1,50	1,30	1,50	8
2	1,10	1,00	1,00	1,50	10
3	1,10	1,40	0,70	1,40	10
4	0,50	0,50	0,60	1,40	20
5	0,30	0,30	0,30	1,60	37
6	0,10	0,15	0,10	1,60	98
7	0,15	0,20	0,30	1,35	52
8	0,05	0,05	0,10	1,40	172
9	0,15	0,15	0,15	1,40	76
10	0,20	0,30	0,15	1,40	52
11	0,10	0,15	0,10	1,40	98
12	0,15	0,10	0,15	1,40	85

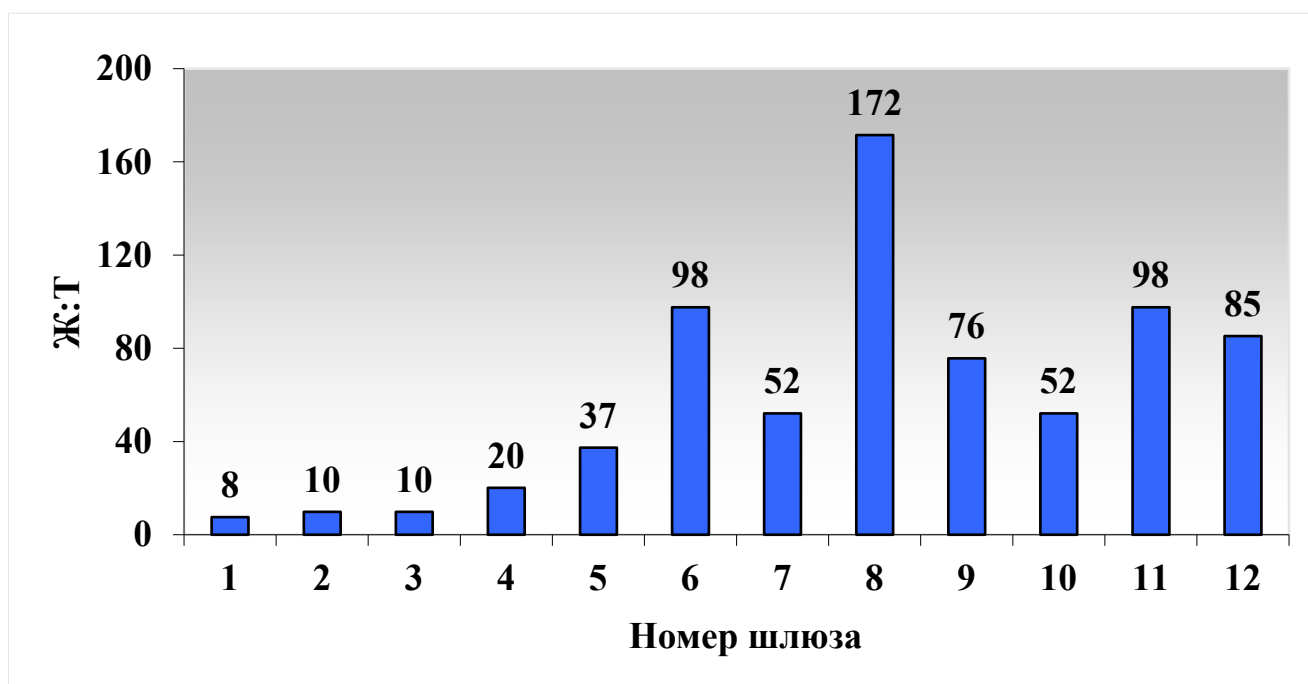


Рисунок 2.7 - Отношение Ж:Т (к одной части твердой фазы), левая сторона ШМН драги №45

Из многолетней практики дражной золотодобычи диапазон нормального значения соотношения Ж:Т для ШМН принимается от 6 до 15. Значения Ж:Т, превышающие данные величины, приводят к сверхнормативным потерям полезного ископаемого. Значения в диапазоне от 15 до 20 соответствуют значениям приемлемым для работы шлюзов глубокого наполнения. Соотношение Ж:Т выше 20:1 считается нежелательными и для ШГН.

На основании выведенных отношений Ж:Т в пульпе, времени наполнения пульпой мерной емкости, скорости потока пульпы на ШМН были рассчитаны объемы выхода пульпы ($Q_{\text{пульпа}}$), горной массы ($Q_{\text{порода}}$) и Ж:Т на ШМН на драге №4 (Рисунок 2.8 - 2.13).

Расчетный объем выхода пульпы ($Q_{\text{пульпа}}$) на ШМН ($\text{м}^3/\text{ч}$), в которой основную долю составляет жидкая фаза, показывает следующее:

- на правой стороне ШМН - значения объёмов пульпы, имеют сопоставимые значения, без резких перепадов, плавно возрастающие от первых к последним шлюзам (рисунок 2.8);

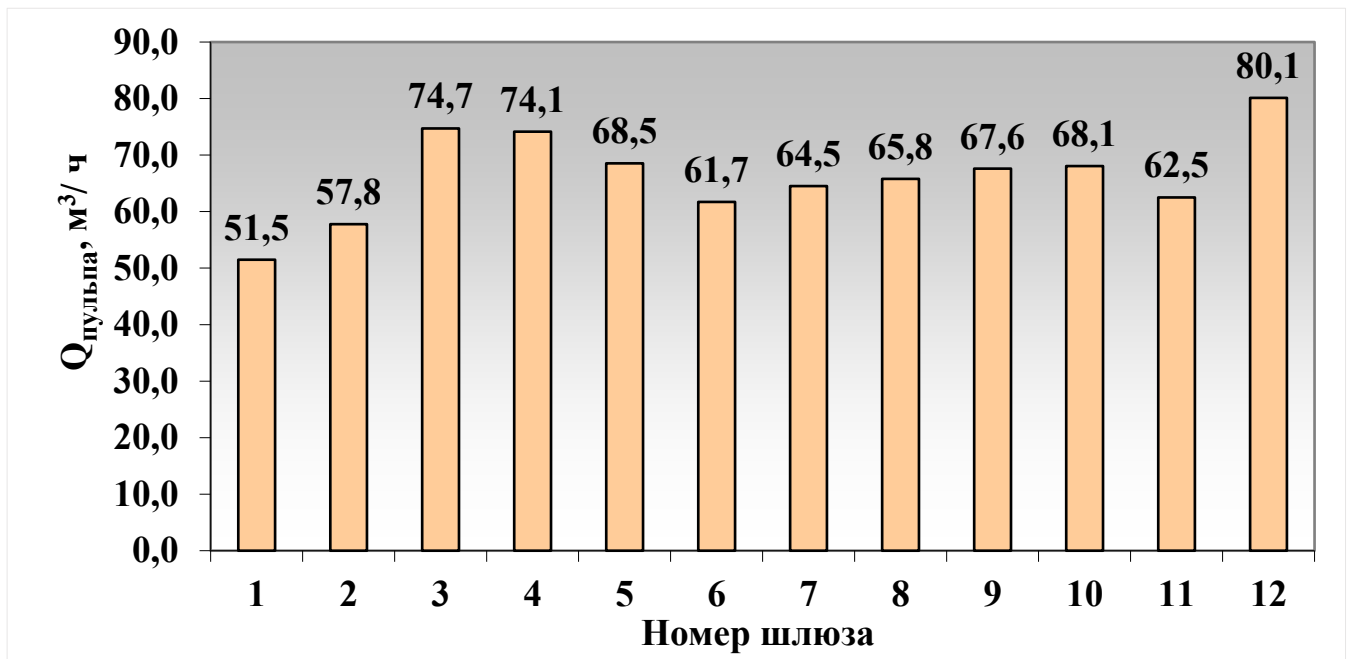


Рисунок 2.8 - Расчетный объем выхода пульпы на ШМН (правая сторона) драги №4
 - на левой стороне ШМН объёмы пульпы, имеют сопоставимые, но неравномерно возрастающие от первых к последним шлюзам, кроме 2, 3, 4, где наблюдаются значения Ж:Т хотя и ниже средних, но имеющие избыточное количество жидкой фазы (рисунок 2.9).

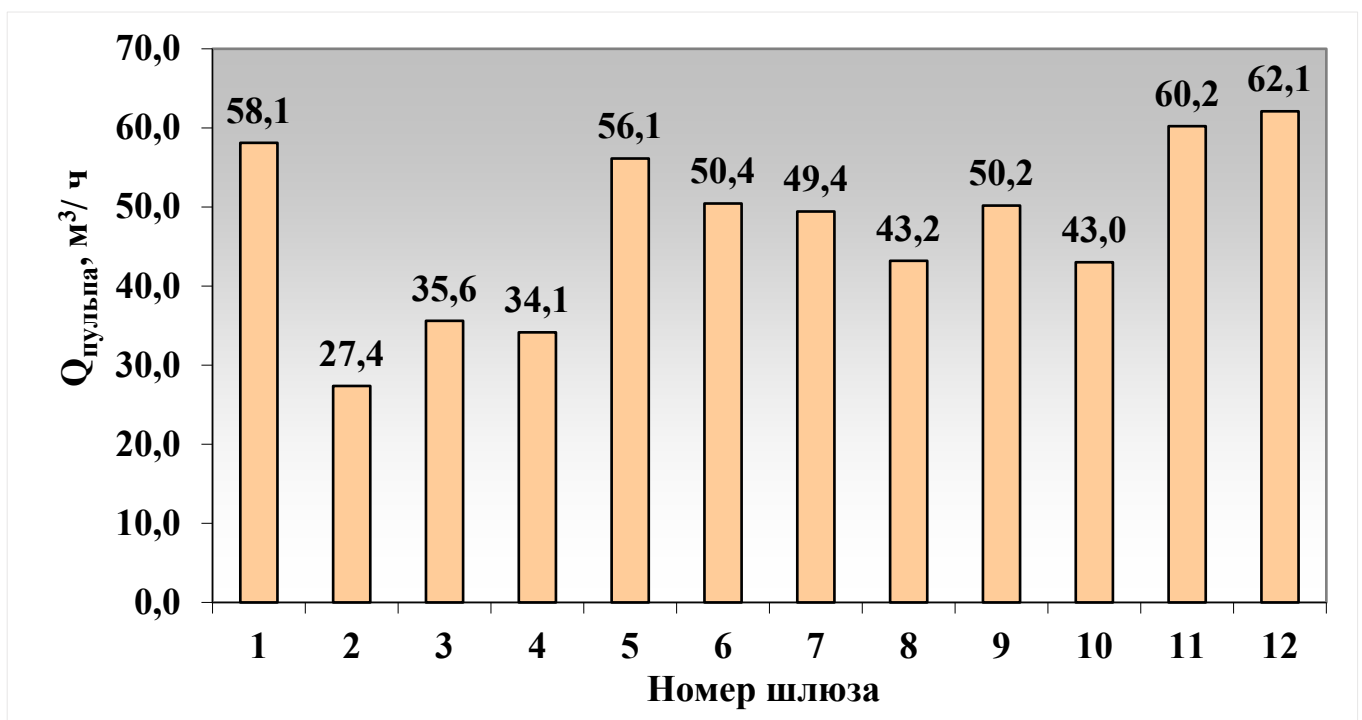


Рисунок 2.9 - Расчетный объем выхода пульпы на ШМН (левая сторона) драги № 4

Расчетное распределение горной массы ($Q_{\text{порода}}$) на ШМН на драге №4 ($\text{м}^3/\text{ч}$) представлено на рисунках 2.10, 2.11.

На рисунках 2.10, 2.11 видно, что расчетный объем переработки горной массы ($Q_{\text{порода}}$) на ШМН, характеризуется следующим:

- на правой стороне объем переработки составляет от 1,3 до 2,6 $\text{м}^3/\text{ч}$ (за исключением 3 и 6 шлюзов, где объем переработки более чем в два раза превышает объем переработки на других шлюзах ШМН);
- на левой стороне, на ШМН перерабатывается от 1,1 до 2,8 $\text{м}^3/\text{ч}$ (за исключением первого шлюза, где объем переработки горной массы превышает переработку на других шлюзах ШМН в 2,1-5,5 раза).

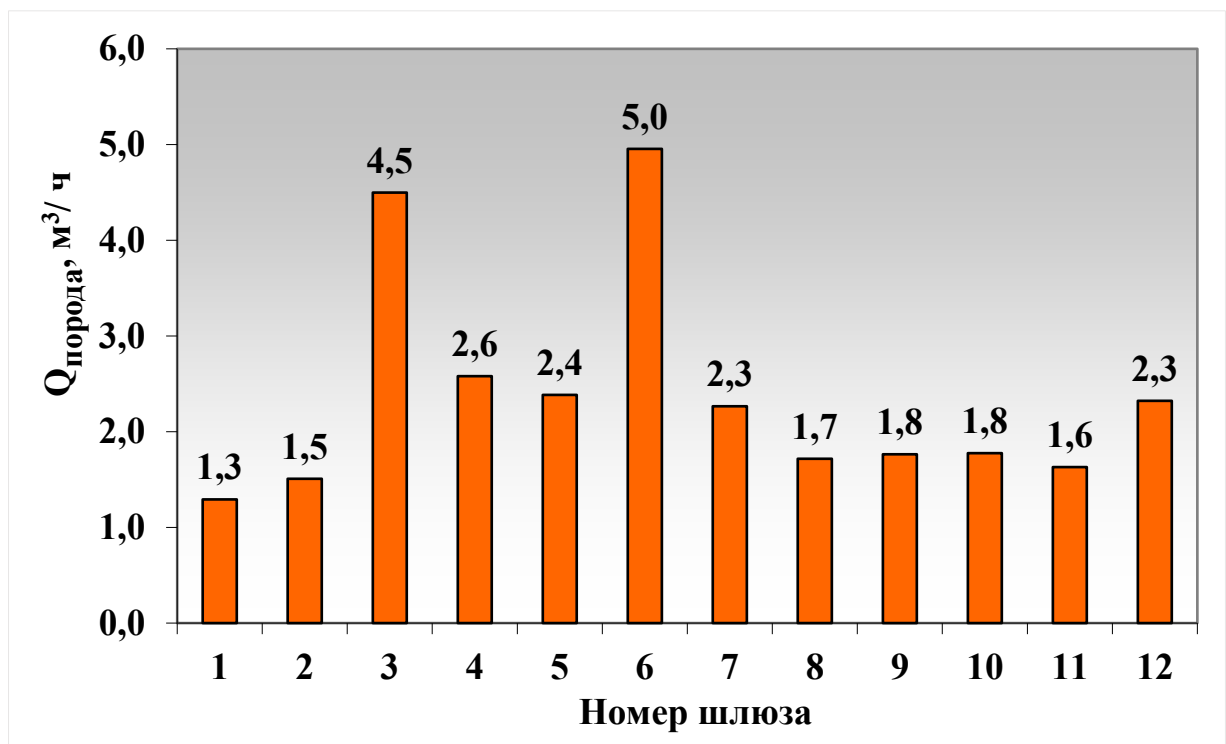


Рисунок 2.10 - Выход горной массы на ШМН (правая сторона) драги №4

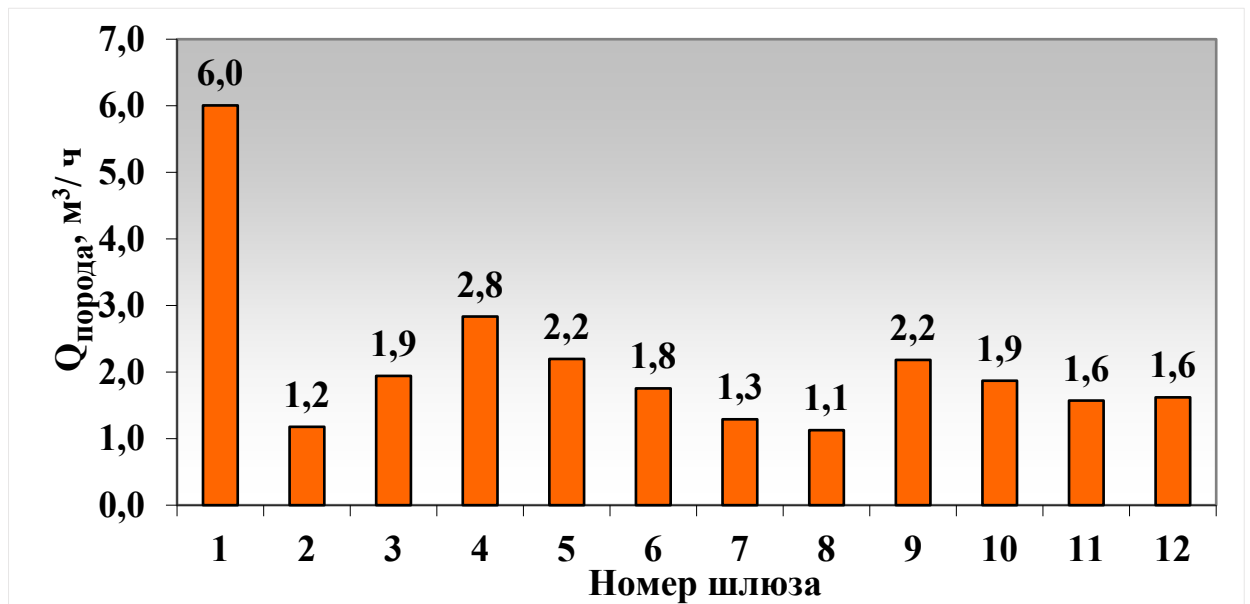


Рисунок 2.11 - Выход горной массы на ШМН (левая сторона) драги №4

В данном случае полученные отношения Ж:Т в пульпе драги № 4 (рисунок 2.12 и 2.13) имеют значительный разброс значений (кроме трех шлюзов с обеих сторон), а также высокие значения Ж:Т, превышающие 30:1 на многих ШМН.

Также необходимо отметить, что в целом при относительно равномерном распределении объёма пульпы по шлюзам с обеих сторон ШМН, наблюдается высокое значение отношения Ж:Т практически на всех шлюзах ШМН драги № 4.

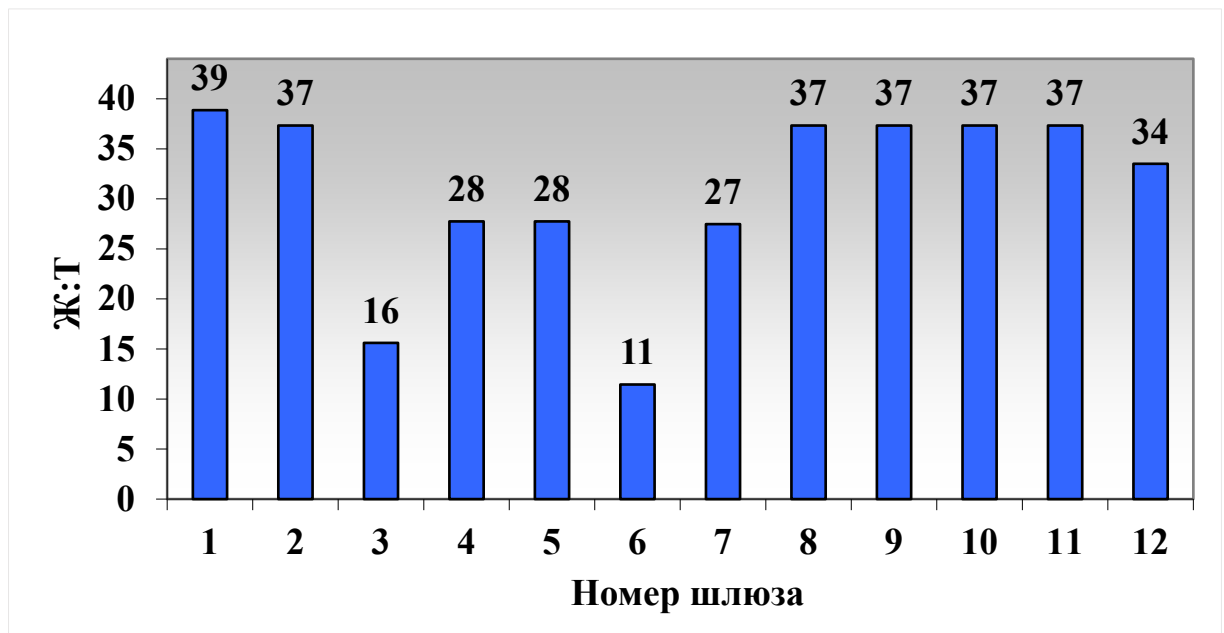


Рисунок 2.12 - Отношение Ж:Т (к одной части твердой фазы), правая сторона ШМН драги № 4

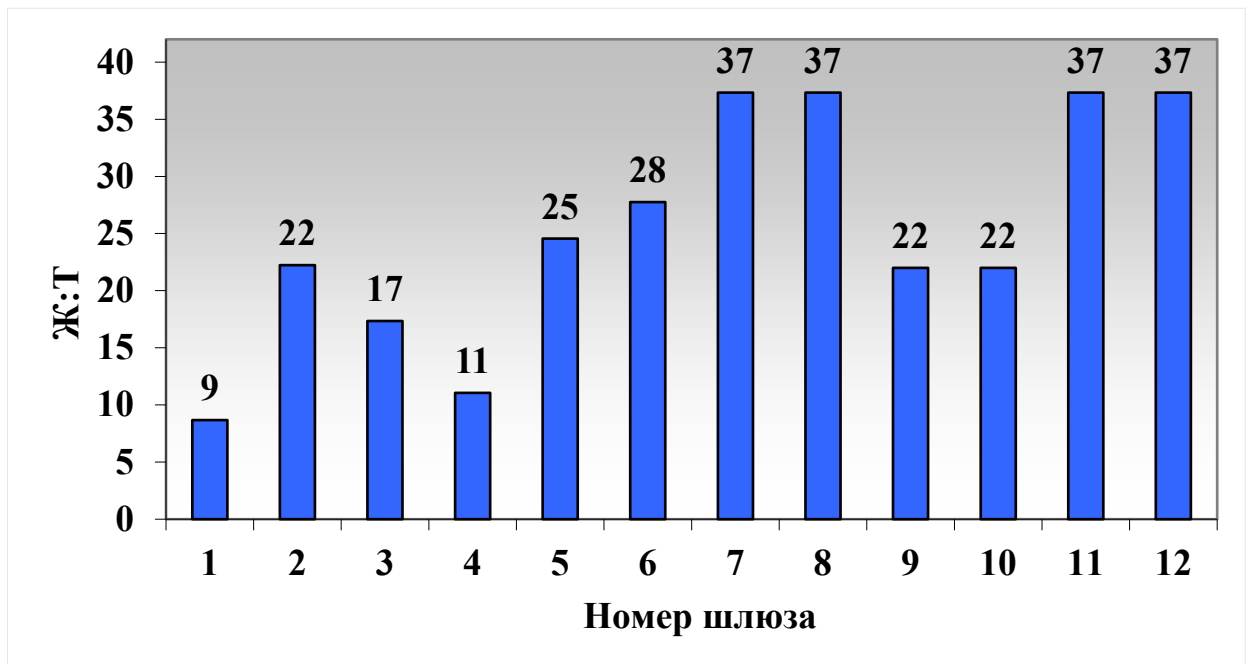


Рисунок 2.13 - Отношение Ж:Т, левая сторона ШМН драги №4

Визуальные наблюдения за работой ШМН выявили следующее: шлюза ШМН драг застилаются резиновыми дражными коврами, прижатыми металлическими трафаретами лестничного типа с высотой рифлей 25 мм. Механическое крепление трафаретов к переворачиваемым на 180° шлюзам (при сполоске ШМН) производится устанавливаемыми по краям шлюза деревянными брусками размером 50×50 мм и клиньями, прижимающими бруски к трафаретам.

К недостаткам данной схемы крепления можно отнести то, что при ширине шлюза 760 мм, рабочая (продуктивная) часть шлюза, участвующая в осаждении песков, уменьшается до 660 мм, т.е. более чем на 13 %. Кроме этого, металлические трафареты подвергаются интенсивному абразивному износу и коррозии, что вызывает необходимость замены трафаретов в течение промывочного сезона, что приводит к простоям драги и дополнительным затратам на изготовление и монтаж новых трафаретов.

Проведенные измерения соотношения Ж:Т пульпы на ШМН драг № 4 и 45 показали то, что при относительно равномерном объеме жидкой фракции пульпы (колебания в пределах 20-30 %) и объеме горной массы (колебания от 40 до 60 м³/ч), поступающих на промывку, разброс колебаний соотношения Ж:Т изменяется от 8:1 до 172:1. Полученные результаты указывают на неравномерный характер

распределения пульпы по длине эфельной ванны и вследствие чего большинство шлюзов ШМН недогружены песками.

Так, на момент проведения измерений на драге № 45 суммарная расчетная производительность по переработке горной массы ($Q_{\text{порода}}$) на ШМН составила около 54 м³/ч, при одновременном прохождении жидкой фазы через все шлюза ШМН в объеме около 1600 м³/ч, т.е. объем подачи воды на шлюза избыточен в 3 раза.

Аналогичная ситуация сложилась и на драге № 4. Расчетная производительность по переработке горной массы ($Q_{\text{порода}}$) на ШМН составила около 57 м³/ч, при одновременном прохождении жидкой фазы (воды) через все шлюза ШМН в объеме около 1 260 м³/ч, т.е. объем подачи воды на шлюза избыточен в 2,2 раза.

Таким образом, в ходе процесса дезинтеграции горной массы в дражной бочке необходимо оперативное (автоматизированное) регулирование объема подаваемой насосными установками технологической воды.

В процессе исследования установлено, что необходимо изменить:

- конструкцию распределителя ШМН, оптимизировать работу насосного оборудования для минимизации колебания Ж:Т и адаптации режимов подачи воды на шлюза;
- определить диапазоны регулировок оборотов двигателей насосных установок драг для минимальных, номинальных и максимально допустимых режимов подачи воды;
- разработать алгоритмы для автоматического управления частотными преобразователями режимов работы двигателей насосов драг во время переработки горной массы.

Кроме этого, необходимо рассмотреть возможность модернизации технологического оборудования (дражных бочек, водоподающих патрубков, ШМН, эфельной ванны и др.) и осветления заборной воды, подаваемой на промывку горной массы [79].

2.2.2 Исследование режимов работы шлюзового промывочного комплекса на базе ГИТ-52 в условиях многолетнемерзлых песков

Для оценки работы шлюзовых промывочных комплексов в условиях переработки легкопромывистых песков были проведены исследования на россыпных месторождениях севера Республики Саха (Якутия). Данные объекты отрабатываются преимущественно открытым раздельным способом; подготовка песков осуществляется на промывочных приборах с вибрационным грохотом ГИТ-52, после чего подрешётный продукт поступает на шлюзы мелкого наполнения. Технические характеристики виброгрохота ГИТ-52 приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 - Технические характеристики виброгрохота ГИТ-52

Показатель	Значение
Число ярусов	2-3
Размер просеивающей поверхности, мм	верхний ярус 1750×3915; нижний ярус 1750×4100
Площадь просеивающей поверхности, м ²	верхний 6,85; нижний 7,18
Допустимая крупность питания, мм	до 400
Производительность, м ³ /ч;	220-260
Угол наклона, °	10-30
Амплитуда колебаний, мм	5-8
Частота колебаний, с ⁻¹	12-16±0,25
Мощность привода, кВт	18,5-22
Масса, кг	5560

По данным технического проекта, золото на данном месторождении хорошо окатанное, крупное (медианная крупность золота - 3,8 мм). На долю мелкого класса крупности (-0,5+0,0 мм) приходится всего 10 % золота.

Ситовой анализ извлекаемого золота показывает, что более 50 % золота находится в классе крупности -5,0+1,0 мм, а на долю мелкого (-0,5+0,0 мм) золота приходится около 14 % (рисунок 2.14).

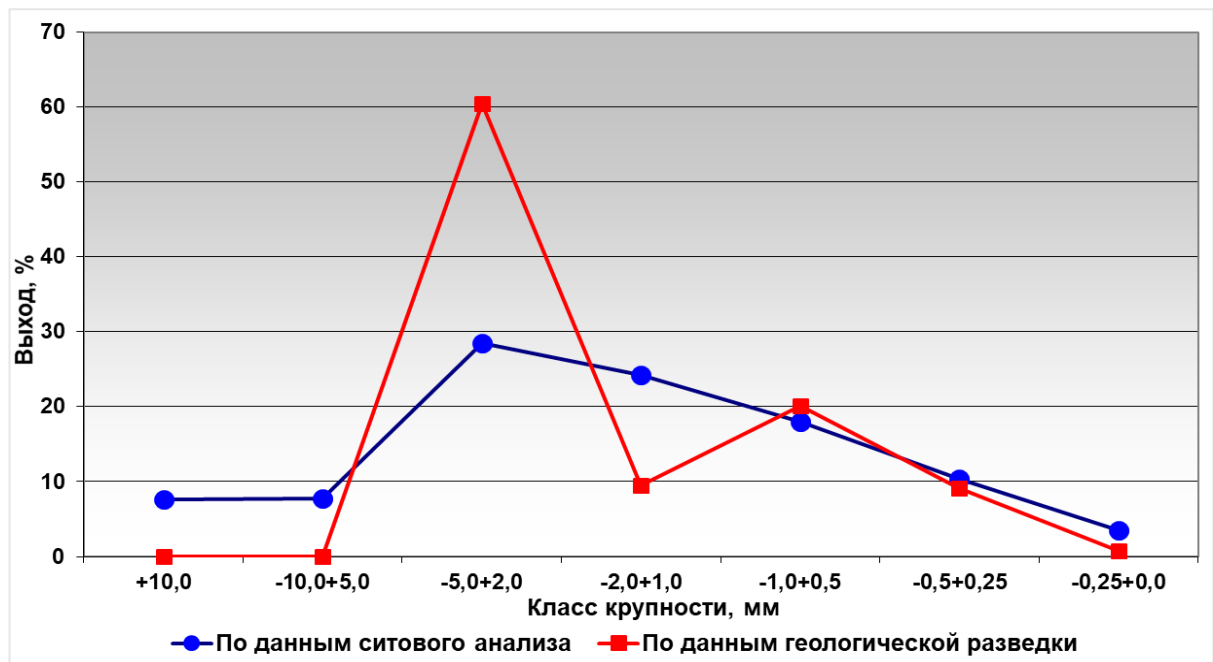


Рисунок 2.14 - Распределение золота по классам крупности

Шлюзовые приставки, используемые на этом месторождении, трех видов:

- два шлюза шириной по 1 м и длиной 7 м,
- три шлюза шириной по 0,72 м и длиной 7 м,
- один шлюз шириной 1 м, переходящий в два шлюза суммарной длиной 11

м.

Подача песков на прибор осуществляется двумя способами:

- погрузчиками с объемом ковша 3,9 м³;
- автосамосвалами в приемный бункер с гидравлической регулировкой выпуска породы на прибор.

Анализ работы промывочного прибора показал, что при подаче песков погрузчиком в один или два захода (2,5-3 м³), загрузка происходит за 20-30 с, в течение которых подрешетная фракция поступает на шлюза и за 50-60 с промывается на них. Остальное время в цикле подачи на шлюзах идет вода без породы. Таким образом, при цикле подачи 2-2,5 мин, промывочный прибор половину времени работает в режиме перегрузки (до 200 м³/ч), а вторую половину времени в цикле подачи - с нулевой производительностью. Эти данные подтверждаются произведёнными замерами Ж:Т на хвостах эфельных фракций (рисунок 2.15). При каждом замере количество твердой фракции в сливе эфельных

хвостов составляло 4-5 и более л, что соответствует значению Ж:Т 2:1 (при нормативе 7:1-10:1) и показывает перегрузку шлюзов по породе.



Рисунок 2.15 - Твердый остаток в пульпе на сливе ГИТ-52

При работе промывочных приборов отмечено:

- примазка песков не полностью смывается с галечной фракции;
- система орошения не учитывает характеристики насосов, напор на оросительных форсунках не обеспечивает их эффективной работы;
- металлические сита с размером ячейки 50 мм дают большую нагрузку на шлюза, т.к., согласно гранулометрическому анализу песков, фракция $-55+0,0$ мм составляет 90 %.
- склонность металлических сит к забиванию;
- неравномерное распределение нагрузки между шлюзами (для приставок с 2 и 3 шлюзами);
- низкое качество технологической воды ввиду малых объемов илоотстойников.

Несмотря на большое количество крупного золота в золотоносных песках, потери с эфельной фракцией составляют около 15 %, что превышает расчетные технологические потери для данной крупности золота (3,8 %) более чем в 3 раза. Причиной этого стало нарушение параметров смыва породы с бункера и распределения пульпы по шлюзам.

2.2.3 Исследование режимов работы шлюзового промывочного комплекса на базе ПБШ-100 в условиях высокого содержания глины

В процессе исследований выполнен анализ эффективности работы шлюзового оборудования на высокоглинистом месторождении Хабаровского края (руч. Сыран), где отработка ведется с использованием промывочного прибора ПБШ-100.

Россыпь руч. Левый Сыран относится к мелкозалегающим аллювиальным россыпям долинного типа и представлена лентообразной залежью, характеризующейся невыдержанностью ширины и мощности продуктивного пласта, а также неравномерным распределением золота. Протяжённость россыпи составляет 6440 м, средняя ширина - 53 м, средняя мощность торфов - 5,3 м, песков - 0,7 м. Запасы песков категории С2 составляют 249,5 тыс. м³, запасы золота - 265,6 кг при среднем содержании 1065 мг/м³.

Разработка месторождения осуществляется открытым способом и включает осушение участка посредством руслоотводных и нагорных каналов, вскрытие торфов, подготовку приборостоянок, промывку песков и последующую рекультивацию. По данным техпроекта, для россыпи руч. Левый Сыран характерно золото с пробностью 813, при этом в морфологии преобладают окатанное и среднеокатанное золото, а доля слабоокатанного и неокатанного металла незначительна. На долю золота крупнее 0,5 мм приходится 61,2 %, а на долю классов менее 0,5 мм - 38,8 %, что указывает на заметную роль мелких классов в формировании технологических потерь по данным таблицы 2.9.

Таблица 2.9 - Распределение золота по фракциям, по данным ситового анализа руч. Сыран

Класс крупности, мм	+2,0	-2,0+1,0	-1,0+0,5	-0,5+0,25	-0,25+0,125	-0,125+0,0	Итого
Выход, %	8,2	22,3	30,7	29,8	7,9	1,1	100

Промывочный прибор ПБШ-100 (рисунок 2.16) предназначен для хорошо- и среднепромывистых песков. За счет применения полиуретановых сит обеспечивается высокая производительность промывки (для хорошо промывистых песков до 150 м³/ч).



Рисунок 2.16 - ПБШ-100 со шлюзовой приставкой

В таблице 2.10 представлены основные технические характеристики прибора.

Таблица 2.10 - Технические характеристики ПБШ-100

Показатель	Значение
Средняя производительность по пескам, м ³ /ч	100
Масса прибора, т	23
Суммарная установленная мощность привода скруббер-будары, кВт	60
Регулируемая частота вращения скруббер-будары, об./мин	9,5 - 14
Габаритные размеры прибора в сборе, Д×Ш×В, мм	13000×2400×4200
Габаритные размеры несущей рамы - саней, Д×Ш, мм	10500×2400
Длина бочки скруббер-будары, мм	9300

Продолжение таблицы 2.10

Показатель	Значение
Диаметр входного отверстия скруббер-бутары, мм	900
Диаметр скруббер-бутары, мм	1900
Длина дезинтегрирующего става, мм	3500
Длина сеющего става, мм	4500
Внутренняя поверхность дезинтегрирующего става футерована полиуретановыми лифтерами-дезинтеграторами, шт.	120
Приемный бункер (загрузочная часть) Д×Ш, мм	2400×2400
Труба оросительная завалочного бункера, диаметр, мм	50
Труба оросительная скруббер-бутары, диаметр, мм	159

На данном приборе реализовано грохочение по двум классам: - 20 мм и - 70+20 мм (таблица 2.11). Пески крупностью -70+20 мм подаются на шлюз самородкоуловитель, на котором установлен шлюз среднего наполнения с металлическими трафаретами высотой 50 мм.

Таблица 2.11 - Технические характеристики шлюзовой приставки ПБШ-100

Показатель	Значение
Сита полиуретановые с защитными ребрами, шт.	168
Размер отверстий полиуретановых сит, мм	7-20
Шлюза мелкого наполнения 4 шт. Д×Ш, мм	8000×750
Высота трафаретов лестничных, мм	25
Ковры дражные, м ²	21
Производительность насоса 1Д-800-566, м ³ /ч	700
Напор, развиваемый насосом, м	40

В рамках оценки равномерности распределения пульпы по шлюзам мелкого наполнения ПБШ-100 автором были проведены замеры содержания твёрдой и жидкой фаз на каждом шлюзе в процессе работы прибора (таблица 2.12-2.14). Измерения выполнялись в реальном времени в течение нескольких циклов подачи

породы в бункер, без применения каких-либо регулирующих устройств распределения потока.

Определение соотношения жидкой и твердой фаз (Ж:Т) осуществлялось методом отсечки пульпы на каждом шлюзе с последующим расчётом Ж:Т (все измерения проводились в литрах).

Таблица 2.12 - Ж:Т на ПБШ-100 без регулировки, первая итерация

Номер\Шлюз	1		2		3		4	
	V _т	V _ж	V _т	V _ж	V _т	V _ж	V _т	V _ж
1	1,0	10,0	0,8	10,2	1,0	11,0	1,5	10,5
2	1,5	10,0	0,8	11,2	0,4	11,6	1,4	10,6
3	1,4	10,1	1,0	10,0	0,8	11,2	1,8	10,2
Ж:Т	8		12		15		7	

Таблица 2.13 - Ж:Т на ПБШ-100 без регулировки, вторая итерация

Номер\Шлюз	1		2		3		4	
	V _т	V _ж	V _т	V _ж	V _т	V _ж	V _т	V _ж
1	1,8	9,7	0,7	10,8	0,6	10,9	1,3	10,7
2	1,6	10,4	1,0	10,9	0,5	10,9	1,5	10,7
3	1,5	10,4	0,7	10,8	1,0	10,9	1,2	10,1
Ж:Т	6		14		16		8	

Таблица 2.14 - Ж:Т на ПБШ-100 без регулировки, третья итерация

Номер\Шлюз	1		2		3		4	
	V _т	V _ж	V _т	V _ж	V _т	V _ж	V _т	V _ж
1	1,4	9,8	0,9	10,0	0,6	10,9	1,6	10,3
2	2,1	10,0	1,0	10,1	1,0	10,9	1,5	9,9
3	2,1	10,0	0,9	10,1	1,0	10,9	1,5	10,5
Ж:Т	5		11		13		7	

Данные исследования показывают, что задачи равномерного распределения пульпы, стабилизации загрузки между циклами подачи и дезинтеграции (размыва) на большинстве приборов остаются нерешёнными.

2.3 Оптимизация работы шлюзов за счет равномерности подачи пульпы

2.3.1 Совершенствование системы загрузки песков в скруббер-бутару прибора ПБШ

Возможность внедрения питателей и конвейеров, обеспечивающих равномерную подачу песков и пульпы, на многих месторождениях Дальнего Востока России ограничивается рядом факторов. Режим работы питателей и конвейеров часто определяется горно-геологическими условиями месторождения: различные по грансоставу пески, наличие глины и валунов, наличие мерзлых пород усложняют применение традиционных питателей с конвейерными лентами.

Дополнительным ограничением выступает эксплуатационный фактор. Равномерность подачи достигается не только наличием оборудования, но и его настройкой: необходим подбор скорости движения ленты/пластин, частоты и амплитуды колебаний вибропитателя (если он применяется), согласование с объемом подачи воды и оперативная корректировка при изменении свойств песков. Нехватка квалифицированного персонала на местах приводит к простоям оборудования.

В этих условиях повышение равномерности подачи песков целесообразно обеспечивать не только за счёт применения специализированных питателей, но и путём совершенствования самого приёмно-подающего узла. Одним из таких решений является бункер улучшенной конструкции (рисунки 2.17 и 2.18), обеспечивающий предварительное распределение материала, снижение налипания глинистых песков и более стабильное поступление песков в скруббер-бутару.

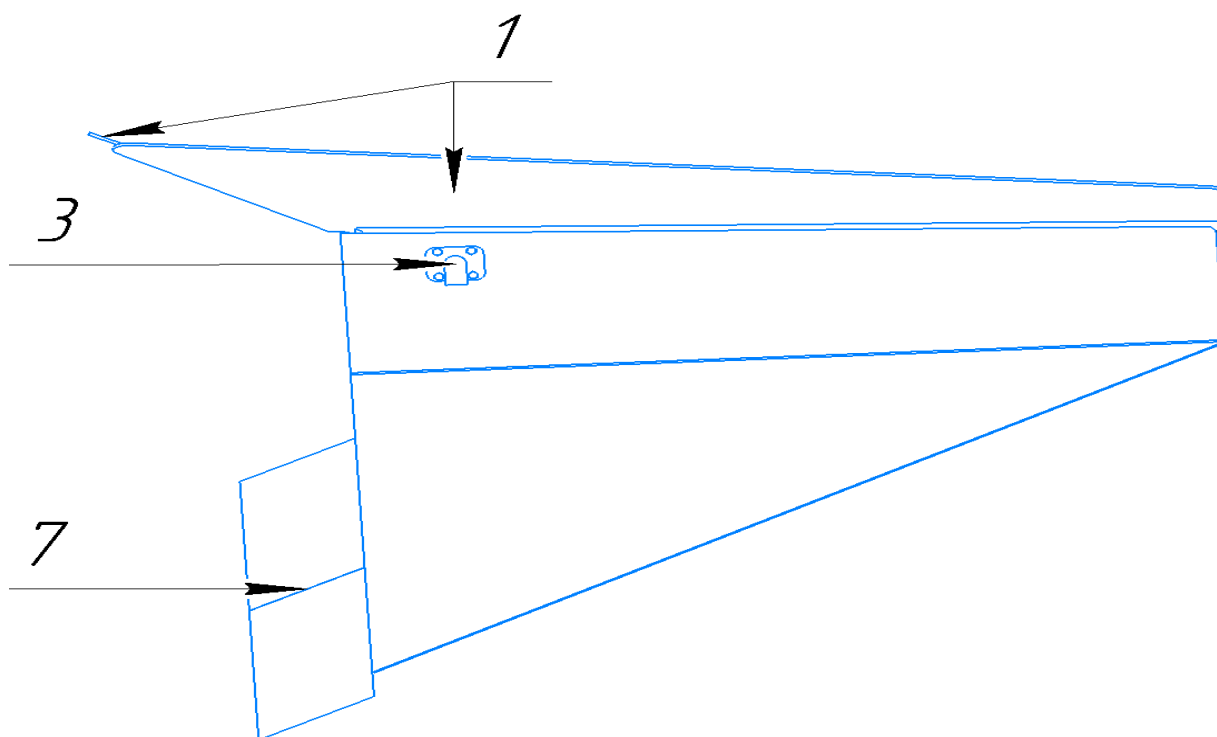


Рисунок 2.17 - Модернизированный бункер промывочного прибора ПБШ-100 вид
сбоку

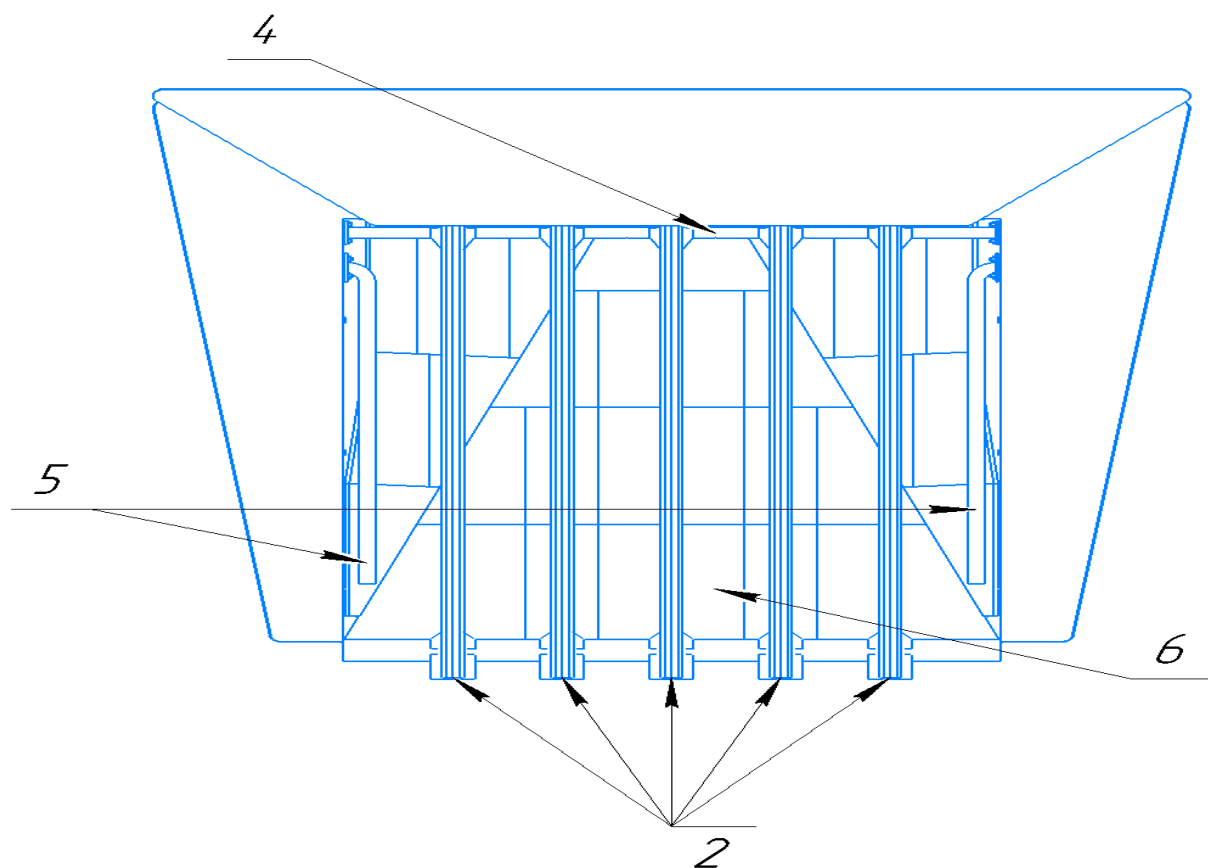


Рисунок 2.18 - Модернизированный бункер промывочного прибора ПБШ-100 вид
сверху

Крылья бункера 1, расположенные в верхней части, увеличивают эффективную зону загрузки, предотвращают просыпание материала за пределы бункера, направляют поток песков к центральной части загрузочного узла и способствуют более равномерному распределению материала по ширине приёмной зоны, что снижает локальные перегрузки и улучшает условия последующей дезинтеграции и грохочения.

В приёмной части бункера установлены колосники 2, обеспечивающие предварительную классификацию загружаемого материала: они отделяют негабаритные и крупнокусковые включения, ограничивая их поступление в скрубберную часть, обеспечивают более равномерную подачу песков по крупности, снижают вероятность перегрузки и ударного износа футеровки.

Система подачи воды для орошения 3 предназначена для предварительного увлажнения поступающего материала в пределах приёмного бункера. Труба встречного орошения 4 с установленными форсунками обеспечивает послойный размыв загружаемых песков, предварительную дезинтеграцию глинистых и сцементированных комков, а также формирует более равномерные условия питания скруббер-бутары. Труба бокового орошения 5 с форсунками, установленная в боковых зонах бункера, предназначена для разрыхления и смыва песков из пристеночных областей. Её применение предотвращает накопление материала у стенок бункера и быстрый смыв песков. Полиуретановая футеровка 6, расположенная на внутренних поверхностях бункера, служит для защиты стенок, днища и рабочих поверхностей от абразивного износа и ударных нагрузок, возникающих при загрузке и перемещении материала. Её применение позволяет снизить интенсивность изнашивания стенок, днища и рабочих поверхностей, уменьшить вибрационные воздействия при контакте с крупнокусковым материалом. Кроме того, полиуретановая футеровка способствует снижению налипания влажных глинистых песков на поверхность за счет более благоприятных антиадгезионных свойств материала.

Выходной узел 7, расположенный в нижней части бункера, предназначен для выпуска предварительно размытого материала в скрубберную часть.

2.3.2 Регулирование количества подаваемой воды на прибор в зависимости от загрузки скруббер-бутары породой

Даже при рекомендуемом уклоне шлюзов, расходе воды и нагрузке устойчивость параметров Ж:Т остаётся уязвимой к колебаниям подачи песков: любые остановки экскаватора, пересменки или перерывы на техобслуживание мгновенно нарушают соотношение Ж:Т.

Для сохранения оптимальных условий промывки золотосодержащих песков, разработана и внедрена система автоматического регулирования подачи воды, которая синхронизирует производительность насосов с фактической нагрузкой песками согласно рассчитанным зависимостям.

Для обучения системы выполняются измерения фактической производительности экскаватора и значений загрузки промывочного прибора, под которые подбирается необходимое количество воды, согласно паспортным данным насосного оборудования с учетом изменения частоты. Обученная в конкретных горно-геологических условиях система в автоматическом режиме через шкаф управления задает параметры работы насосов и поддерживает скорость потока и отношение Ж:Т пульпы в заданном диапазоне в процессе работы в течение суток.

Регулировка расхода воды осуществляется путем изменения частоты вращения насосов с использованием преобразователя частоты. В основу алгоритма положены законы подобия центробежных насосов, согласно которым при изменении частоты вращения ротора электродвигателя выполняются соотношения, которые можно определить по формулам (2.6)-(2.8):

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (2.6)$$

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2, \quad (2.7)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3, \quad (2.8)$$

где Q - подача насоса, м³/ч;

H - напор, м;

P - мощность на валу, кВт;

n - частота вращения ротора электродвигателя, об/мин.

С учетом того, что частота вращения ротора асинхронного электродвигателя пропорциональна частоте колебаний электрического тока, справедлива формула (2.9):

$$\frac{n_2}{n_1} \approx \frac{f_2}{f_1}, \quad (2.9)$$

где f - это частота электрического тока, Гц, что позволяет установить зависимость управления расходом воды по следующим формулам (2.10) - (2.12):

$$Q_2 = Q_1 \times \frac{f_2}{f_1}, \quad (2.10)$$

$$H_2 = H_1 \times \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^2, \quad (2.11)$$

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^3, \quad (2.12)$$

Таким образом, путем изменения частоты f электрического тока обеспечивается пропорциональное регулирование расхода воды, что повышает эффективность подготовки горной массы.

Зная номинальное количество оборотов, частоту вращения ротора электродвигателя, производительность насоса можно определить частоту, соответствующую заданной производительности насоса. Например, для насоса 1Д-800-56Б частота вращения электродвигателя составляет 1450 об/мин, расход - 700 м³/ч, частота электрического тока - 50 Гц. При частоте электрического тока на электродвигателе насоса в 40 Гц, по формуле (2.10) считаем расход:

$$Q_{40\text{Гц}} = 700 \times \frac{40}{50} = 560 \text{ м}^3/\text{ч}$$

В результате обработки данных получена зависимость количества подаваемой воды от производительности прибора по переработке песков. Коричневым графиком (рисунок 2.19) показаны колебания подачи песков в реальном времени, синим графиком показан объем подачи воды, красным графиком показана номинальная производительность насоса.



Рисунок 2.19 - Динамика подачи песков и воды насосом 1Д 800-56Б - 110 кВт

На графиках видно, что изменения загруженности прибора по переработке песков приводят к синхронному снижению объема подачи воды. В свою очередь синхронные колебания подачи воды позволяют снижать колебания Ж:Т. Такие колебания связаны с неравномерной подачей песков на переработку, но технологическая система работает в пределах нормы, обеспечивая минимальные отклонения режимов переработки. Пульсации связаны с изменениями нагрузки и согласуются с циклом подачи песков.

По данным графика на рисунке 2.19 выполнена оценка устойчивости условий подачи пульпы по неравномерности подачи пульпы и воды на промывочный прибор.

В технологическом смысле $K_{рп}$ - коэффициент неравномерности режима питания по показателю Ж:Т, который позволяет количественно оценить, насколько эффективно регулировка подачи воды на промприбор компенсирует колебания

производительности прибора по пескам и удерживает гидродинамический режим вблизи оптимального Ж:Т.

Следовательно, увеличение K_{rp} свидетельствует о возрастании неравномерности режима питания, то есть о более выраженных отклонениях параметров потока от устойчивого состояния. Это означает, что в отдельные моменты времени возрастает вероятность перегрузки шлюзов по твёрдому либо, наоборот, чрезмерного разжижения пульпы, что сопровождается нарушением условий формирования рабочей постели и ухудшением удержания золота на шлюзах. Наиболее чувствительны к таким отклонениям мелкие и тонкие классы золота, для которых устойчивость гидродинамического режима имеет решающее значение.

Для расчёта требуется показатель, который функционально связан с соотношением Ж:Т и позволяет оценивать колебания условий питания промывочного прибора во времени по формуле (2.13).

$$\Theta_i = \frac{Q_{\text{вода},i}}{Q_{\text{ПБШ},i}}, \quad (2.13)$$

где Θ_i - соотношение Ж:Т промывочного прибора ПБШ-100 с регулировкой и без регулировки подачи воды в разный момент времени;

$Q_{\text{вода},i}$ - подача воды насосом в i -й момент наблюдения, $\text{м}^3/\text{ч}$;

$Q_{\text{ПБШ},i}$ - производительность прибора ПБШ-100 по пескам в тот же момент, $\text{м}^3/\text{ч}$.

При расчёте исключена точка с $Q_{\text{ПБШ}}=0$, поскольку в этом случае отношение Θ не определяется.

Рассматриваются два режима - с регулировкой подачи воды и номинальный режим работы насоса, рассчитанные по формуле (2.14) и формуле (2.15).

$$\Theta_i^{\text{рег}} = \frac{Q_{\text{вода},i}^{\text{рег}}}{Q_{\text{ПБШ},i}}, \quad (2.14)$$

где $\Theta_i^{\text{рег}}$ - соотношение Ж:Т промывочного прибора ПБШ-100 с регулировкой Ж:Т;

$Q_{\text{вода},i}^{\text{рег}}$ - подача воды насосом в i -й момент наблюдения, $\text{м}^3/\text{ч}$, с регулировкой частоты.

$$\Theta_i^{\text{ном}} = \frac{Q_{\text{вода},i}^{\text{ном}}}{Q_{\text{ПБШ},i}}, \quad (2.15)$$

где $\Theta_i^{\text{ном}}$ - соотношение Ж:Т промывочного прибора ПБШ-100 для номинального режима работы;

$Q_{\text{вода},i}^{\text{ном}}$ - подача воды насосом в i -й момент наблюдения, $\text{м}^3/\text{ч}$, для номинального режима работы.

Считается сумма показателей для соотношения Ж:Т промывочного прибора ПБШ-100 для режима работы с регулировкой Ж:Т

$$\sum \Theta_i^{\text{рег}} = 1962,40$$

Далее считается среднее значение показателя $\Theta_i^{\text{рег}}$ и $\Theta_i^{\text{ном}}$ по 239 точкам

Среднее значение Ж:Т за рассматриваемый интервал наблюдений

$$\bar{\Theta}_{\text{рег}} = \frac{1962,4}{239} = 8,21$$

Для каждого наблюдения рассчитывается коэффициент отклонения от среднего уровня Ж:Т по формуле (2.16)

$$K_i = \max\left(\frac{\Theta_i}{\bar{\Theta}}, \frac{\bar{\Theta}}{\Theta_i}\right), \quad (2.16)$$

Пример расчета при $Q_{\text{ПБШ}}=73 \text{ м}^3/\text{ч}$, $Q_{\text{вода}}=579,3 \text{ м}^3/\text{ч}$

$$\Theta^{\text{рег}} = \frac{579,3}{73} = 7,94$$

$$K_i = \max\left(\frac{7,94}{8,21}, \frac{8,21}{7,94}\right) = \max(0,97, 1,03)$$

Затем считается итоговый коэффициент:

$$K_{\text{рп}} = \bar{K}_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i, \quad (2.17)$$

где n - число учитываемых наблюдений режима работы;

$$\sum K_i^{\text{per}} = 290,34$$

$$K_{\text{rp}}^{\text{per}} = \frac{290,34}{239} = 1,21.$$

Затем таким же способом рассчитаны коэффициенты для номинального режима подачи насоса.

Расчёт коэффициента неравномерности отношения Ж:Т на промывочном приборе ПБШ-100 (при исключении точки с нулевой загрузкой прибора) показал, что для режима работы насоса мощностью 110 кВт с регулированием $K_{\text{rp}}=1,21$, тогда как для номинальной подачи воды $K_{\text{rp}}=1,35$. Полученный результат свидетельствует о том, что регулирование подачи воды снижает колебания Ж:Т по сравнению с режимом подачи воды без регулировки.

2.3.3 Разработка и применение эффективной системы деления пульпы в питании шлюзов

Регулирование Ж:Т в питании шлюзов следует рассматривать как управление гидродинамическими параметрами, от которых зависит поведение твёрдой и жидкой фазы в потоке. При перегрузке твёрдым (низкое Ж:Т) происходит заиливание или забуторивание шлюзов и возрастают потери мелкого и тонкого золота. При чрезмерном разжижении (высокое Ж:Т) течение воды меняется с турбулентного на ламинарное, ухудшается формирование рабочей постели и снижается эффективность удержания тонких фракций на ковриках. В обоих случаях отклонение от устойчивого режима повышает потери золота.

В промывочных приборах типа ПБШ-100, регулирование Ж:Т целесообразно выполнять непосредственно в зоне выхода пульпы с эфельной ванны на шлюза. При самотёчном режиме питания шлюзов распределение пульпы в значительной степени определяется случайными факторами (изменчивость гранулометрического состава, пульсации подачи и др.). Установка регулирующих шиберов (рисунок 2.20) в зоне распределения пульпы переводит шлюза к управляемому режиму, в котором оператор может целенаправленно изменять параметры подачи.

Шибер представляет собой заслонку, вводимую в поток, и с точки зрения гидравлики работает как запорно-регулирующее устройство. Изменяя проходное сечение канала, шибер изменяет величину местных потерь напора. При частичном закрытии шибера проходное сечение уменьшается, потери возрастают и расход по данному направлению снижается. При наличии параллельно установленных шлюзов снижение расхода в одном шлюзе сопровождается перераспределением части потока в другой шлюз при условии, что суммарная подача на распределителе остаётся примерно постоянной.

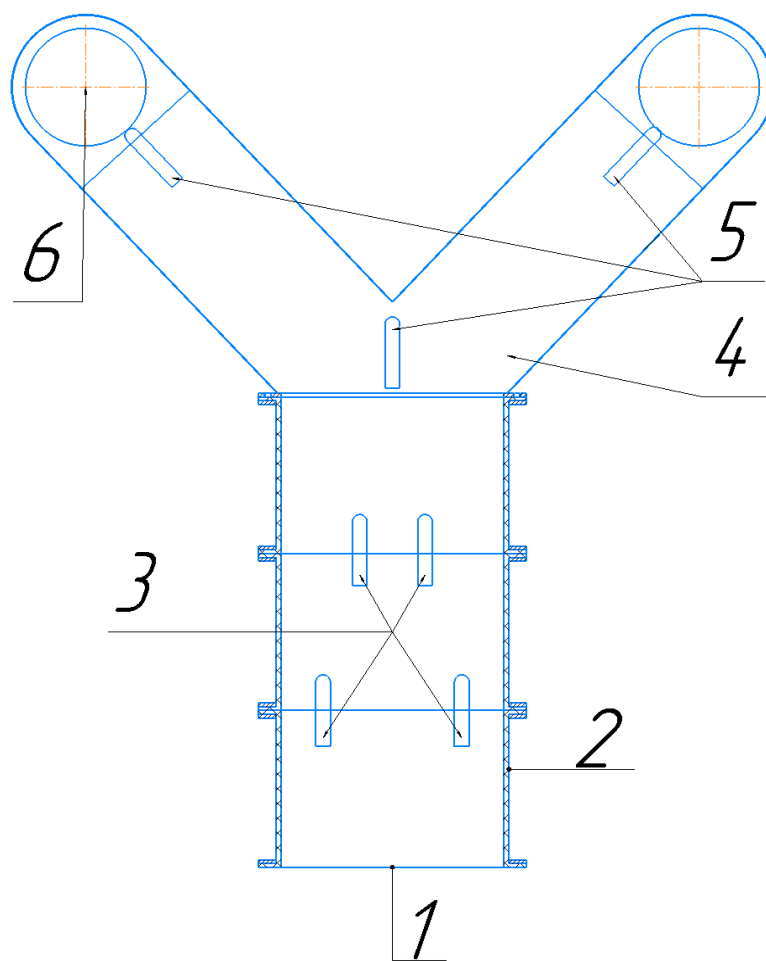


Рисунок 2.20 - Распределитель пульпы на ШМН

На рисунке 2.20 представлена система распределения пульпы на шлюзы мелкого наполнения. Пульпа из эфельной ванны поступает через выход 1 в распределитель 2, после чего её подача регулируется магистральными шиберами 3. Далее поток направляется в распределитель типа Y 4, на ветвях которого установлены регулирующие шиберы 5, обеспечивающие изменение подачи пульпы

по отдельным направлениям. После прохождения распределителя типа Y пульпа через выходы 6 поступает непосредственно на шлюзы мелкого наполнения.

По приборам типа ПБШ-100 оценена эффективность установки шиберов на выходе с эфельной ванны на шлюза и детально проанализировано их влияние на равномерность распределения пульпы.

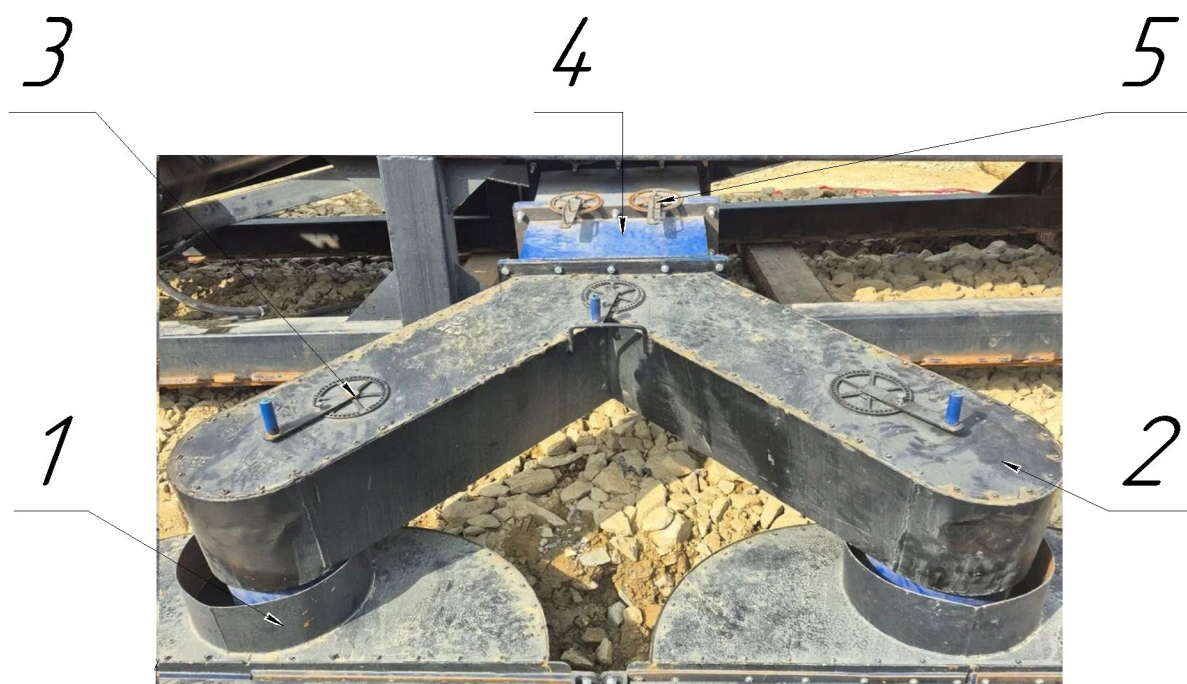
Функционально выделим две группы шиберов:

Первая группа - магистральные (общие) шиберы, расположенные на выходе с эфельной ванны до зоны разветвления. Они снижают скорость пульпы и выравнивают поток на каждую пару шлюзов перед распределителем типа Y на шлюза. Магистральные шиберы позволяют стабилизировать гидросток, уменьшая вероятность того, что одна пара шлюзов систематически работает в режиме перегруза, а другая - недогруза. При этом шиберы создают условия, при которых Ж:Т на входе в шлюз становится более стабильным и управляемым в процессе эксплуатации.

Вторая группа - шиберы на распределителе типа Y, установленные на каждой ветви распределителя перед выходом пульпы на шлюза.

Шибера в распределителе типа Y позволяют оперативно перераспределять поток пульпы между шлюзами, за счёт чего изменяется фактическое соотношение Ж:Т на каждом из них. Устраняется одна из причин технологических потерь: неравномерная подача приводит к перегрузу или недогрузу шлюза и высокой или низкой скорости потока, где золото не успевает оседать на шлюзах, либо уносится в отвал.

Таким образом, магистральные шиберы задают общий режим работы при выходе пульпы с эфельной ванны, а шиберы на распределителе типа Y - обеспечивают равномерность распределения по шлюзам (Рисунок 2.21).



1 - шлюза, 2 - распределитель типа Y, 3 - шиберы на распределителе типа Y, 4 - распределитель пульпы на выходе с эфельной ванны, 5 - магистральные шиберы

Рисунок 2.21 - Распределитель потока с шиберами в полевых условиях

Для количественной оценки равномерности распределения нагрузки по шлюзам автором измерен и проанализирован разброс соотношения жидкой и твёрдой фаз по четырём шлюзам (рисунок 2.22). Все измерения проводились в литрах. На начальной стадии регулирования (таблица 2.15) значения Ж:Т варьировались в диапазоне от 7 до 15 к одному, что свидетельствует о существенной неравномерности гидравлического режима. По результатам регулировки (таблицы 2.16-2.18) диапазон изменения Ж:Т сузился до 11-14.

Таблица 2.15 - Исходные измерения Ж:Т на шлюзах

Номер\Шлюз	1		2		3		4	
	V _т	V _ж	V _т	V _ж	V _т	V _ж	V _ж	V _т
1	1,0	10,0	0,8	10,2	1,0	11,0	1,5	10,5
2	1,5	10,0	0,8	11,2	0,4	11,6	1,4	10,6
3	1,4	10,1	1,0	10,0	0,8	11,2	1,8	10,2
Ж:Т	8		12		15		7	

Таблица 2.16 - Вторая итерация регулирования Ж:Т на шлюзах шиберами

Номер\Шлюз	1		2		3		4	
	V _Т	V _ж	V _Т	V _ж	V _Т	V _ж	V _ж	V _Т
1	1,8	9,7	0,7	10,8	0,6	10,9	1,3	10,7
2	1,6	10,4	1,0	10,9	0,5	10,9	1,5	10,7
3	1,5	10,4	0,7	10,8	1,0	10,9	1,2	10,1
Ж:Т	6		14		16		8	

Таблица 2.17 - Третья итерация регулирования Ж:Т на шлюзах шиберами

Номер\Шлюз	1		2		3		4	
	V _Т	V _ж	V _Т	V _ж	V _Т	V _ж	V _ж	V _Т
1	1,4	9,8	1,0	10,4	0,6	10,9	1,6	10,3
2	2,1	10,0	1,0	10,4	1,0	10,9	1,5	9,9
3	2,1	10,0	1,1	10,5	1,0	10,9	1,5	10,5
Ж:Т	5		10		13		7	

Таблица 2.18 - Результат регулировки Ж:Т на шлюзах шиберами

Номер\Шлюз	1		2		3		4	
	V _Т	V _ж	V _Т	V _ж	V _Т	V _ж	V _ж	V _Т
1	1,4	10,4	0,9	9,8	0,9	10,5	0,6	10,9
2	1,0	10,0	0,8	10,3	0,9	10,8	0,7	10,2
3	0,5	10,3	0,9	10,0	0,5	10,6	1,2	10,7
Ж:Т	11		12		14		13	

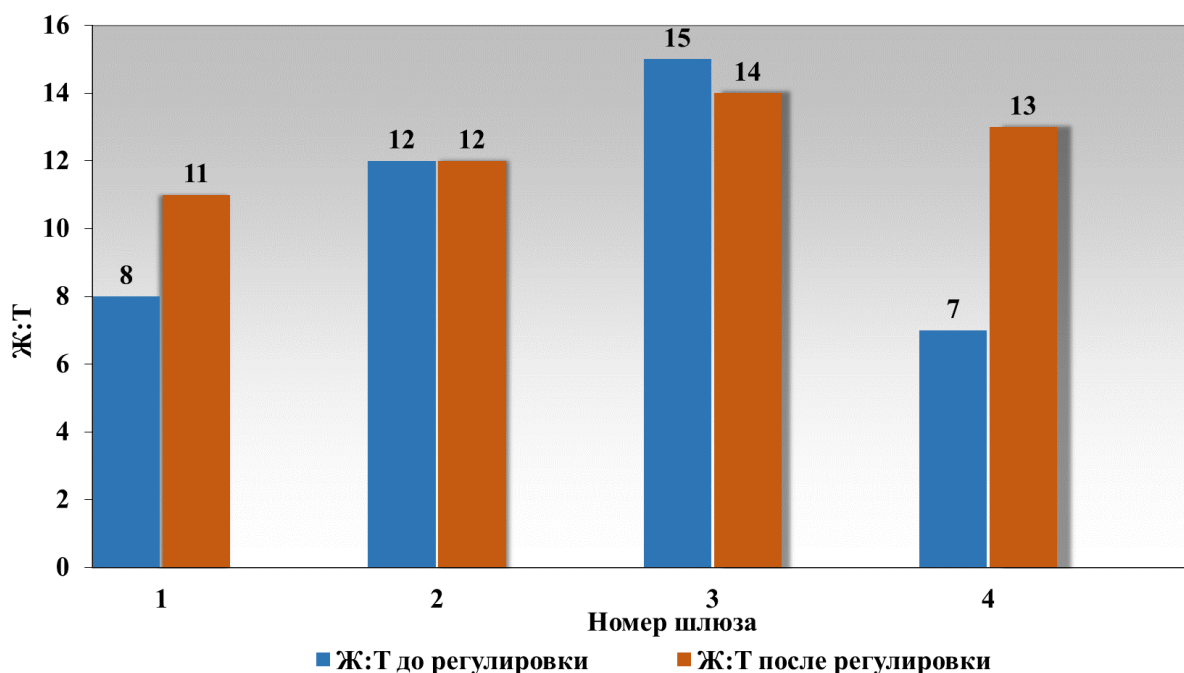


Рисунок 2.22 - Разница в Ж:Т до и после установки шибера

Для перехода от качественной к количественной оценке неоднородности распределения использован коэффициент загрузки шлюзов K_3 , вычисляемый по формуле (2.18) через коэффициент вариации распределения пульпы по шлюзам мелкого наполнения V_i , определяемый по формуле (2.19) как отношение среднеквадратического отклонения к среднему значению показателя измерений Ж:Т на шлюзах.

$$K_3 = 1 + \frac{V_i}{100}, \quad (2.18)$$

Коэффициент вариации измерений Ж:Т на шлюзах:

$$V = \frac{\sigma_i}{\bar{x}_i} * 100\%, \quad (2.19)$$

где σ_i - среднеквадратическое отклонение измерений Ж:Т на шлюзах.

$\bar{x}_i$ - среднее арифметическое измерений Ж:Т на шлюзах.

Среднее арифметическое измерений Ж:Т на шлюзах рассчитывается по формуле (2.20):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.20)$$

где x_i -значения Ж:Т для каждого шлюза.

n - число шлюзов в рассматриваемой группе.

Среднеквадратическое отклонение измерений Ж:Т на шлюзах рассчитывается по формуле (2.21):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2.21)$$

1-я итерация измерений Ж:Т на шлюзах, считаем по формулам (2.18)-(2.21)

$$\bar{x}_1 = \frac{8 + 12 + 15 + 7}{4} = 10,5$$

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{(8 - 10,5)^2 + (12 - 10,5)^2 + (15 - 10,5)^2 + (7 - 10,5)^2}{4}} \approx 3,2$$

$$V_1 = \frac{3,2}{10,5} * 100\% \approx 30,5\%$$

$$K_3 = 1 + \frac{30,5}{100} = 1,305$$

4-я итерация измерений Ж:Т на шлюзах (результат)

$$\bar{x}_4 = \frac{11 + 12 + 14 + 13}{4} = 12,5$$

$$\sigma_4 = \sqrt{\frac{(11 - 12,5)^2 + (12 - 12,5)^2 + (14 - 12,5)^2 + (13 - 12,5)^2}{4}} \approx 1,12$$

$$V_4 = \frac{1,12}{12,5} * 100\% \approx 8,96\%$$

$$K_3 = 1 + \frac{8,96}{100} = 1,0896$$

Установлено, что на первой итерации регулирования шлюзов шиберами коэффициент вариации Ж:Т составил около 30-35%, что соответствует неравномерности распределения нагрузки по шлюзам. По итогам регулировки

коэффициент вариации снизился до $\approx 8,96\%$ и коэффициент загрузки шлюзов $K_3 \approx 1,0896$, что характеризует малый разброс колебаний Ж:Т между шлюзами.

По результатам регулировки шлюзов достигнуто существенное снижение разброса Ж:Т в пульпе, что создаёт предпосылки для уменьшения потерь мелкого и тонкого золота, обусловленных перегрузкой или недогрузкой шлюзов.

2.4 Выводы к главе 2

1. Установлено, что ключевыми параметрами эффективности работы шлюзов являются: удельная нагрузка по твёрдому и соотношение Ж:Т. Отклонение Ж:Т приводит к нарушению гидродинамики потока, ухудшению формирования постели и росту потерь мелкого и тонкого золота.

2. Для драг № 45 (р. Олга) и № 4 (р. Агда) установлена выраженная неравномерность распределения пульпы по ШМН, разброс Ж:Т достигает от 8:1 до 172:1, при этом суммарная подача воды на Шлюза является избыточной (для драги № 45 - примерно в 3 раза, для драги № 4 - примерно в 2,2 раза относительно фактической загрузки по твёрдому).

3. На примере ПБШ-100 показана практическая реализуемость управления Ж:Т за счёт регулирования распределения потока. При отсутствии регулировки значения Ж:Т по четырём шлюзам составляли 8; 12; 15; 7, что свидетельствует о существенной неравномерности загрузки; после регулировки шиберами диапазон Ж:Т был сужен до 11-14 (11; 12; 14; 13).

4. Обоснована, описана и внедрена система регулирования расхода технологической воды по нагрузке по твёрдому, реализуемая через шкаф управления и преобразователь частоты электродвигателя.

5. В результате проведенных исследований и сопоставлений данных о работе приборов были выведены два технологических коэффициента, которые показывают равномерность подачи песков между циклами работы экскаватора и их относительное распределение между шлюзами.

3 ОБОСНОВАНИЕ И РАНЖИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА ПРОМЫВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПЕСКОВ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА

3.1 Формирование системы показателей выбора промывочного оборудования

По результатам анализа современного состояния россыпной золотодобычи установлено, что в переработку всё чаще вовлекаются месторождения со сложными горно-геологическими условиями, повышенной глинистостью песков и значительным содержанием мелкого и тонкого золота. Для таких объектов эффективность работы промывочных комплексов определяется не только типом применяемого оборудования, но и его соответствием свойствам перерабатываемых песков, а также возможностью поддержания эффективного технологического режима промывки. На примере высокоглинистого месторождения ручья Сыран показано, что повышение технологической эффективности достигается не только за счёт замены промывочного прибора, но и за счёт рационального выбора оборудования с учётом свойств песков и возможности регулирования подачи и распределения пульпы.

Поскольку условия переработки россыпных песков определяются совокупностью многочисленных природных и технологических факторов, в настоящей работе для последующего анализа выделены только те из них, которые наиболее существенно влияют на извлечение мелкого и тонкого золота, определяют пригодность оборудования к работе в конкретных условиях и могут быть установлены на ранних стадиях проектирования по материалам геологоразведки и технологического опробования. К таким факторам отнесены: тип и условия залегания россыпного объекта, глинистость песков, гранулометрический состав золота, прежде всего доля его мелких и тонких классов, а также содержание сопутствующих тяжёлых минералов. Указанные факторы различаются по своей природе и не могут быть непосредственно сопоставлены

между собой, поэтому для их формализованной сравнительной оценки в работе используется система коэффициентов, позволяющая привести основные геолого-технологические признаки месторождения и перерабатываемых песков к сопоставимому виду и выполнить их ранжирование по степени влияния на выбор оборудования. Методологической основой такого подхода послужили работы Г.С. Мирзеханова [11, 16, 36], в которых влияние ряда указанных факторов учитывается посредством поправочных коэффициентов при оценке технологических потерь золота. В настоящем исследовании данный подход адаптирован для решения иной задачи - не прямого расчёта потерь, а предварительного обоснования выбора промывочного оборудования и ранжирования условий переработки по степени их технологической сложности. Практическая значимость предложенной системы заключается в возможности её применения на ранних стадиях проектирования, когда полный объём исходных данных для детальных технологических расчётов ещё отсутствует, но уже имеются сведения, достаточные для предварительного отбора наиболее рациональных технических решений.»

3.2 Оценка влияния горно-геологических параметров месторождения на выбор технологического оборудования

Разработка россыпных месторождений золота в современных условиях характеризуется снижением рентабельности, что обусловлено совокупным влиянием организационно-технических и ресурсных факторов: высокой стоимостью нового оборудования, сокращением объёмов геологоразведочных работ, недостаточным использованием результатов научных исследований и слабым внедрением новых технологий [80-82]. В этих условиях возрастает значение научно обоснованного выбора технологических решений, учитывающего не только текущие производственные возможности предприятия, но и геолого-структурные особенности конкретного объекта разработки [83].

Одной из ключевых тенденций россыпной золотодобычи является постепенное истощение запасов традиционных (относительно простых по

строению и условиям освоения) месторождений и смещение сырьевой базы в сторону более сложных объектов [84, 85]. В настоящее время значительная часть остаточных и вновь вовлекаемых запасов приурочена к глубокозалегающим и техногенным россыпям, освоение которых требует применения более сложных и затратных технологий [82]. Это приводит к росту энергоёмкости и себестоимости добычи, особенно в удалённых и труднодоступных районах, и, следовательно, повышает требования к обоснованности выбора оборудования уже на стадии предварительной оценки объекта.

В этой связи фактор типа месторождения по происхождению должен рассматриваться как один из базовых при подборе оборудования, поскольку он интегрально отражает условия формирования, степень нарушенности строения продуктивного пласта техногенных месторождений, особенности пространственного распределения запасов и сложность технологического освоения.

Для целей предварительной сравнительной оценки условий переработки в настоящей работе принято условное деление россыпных объектов по степени техногенной нарушенности в пределах контура отработки: при отсутствии нарушенности объект рассматривается как природный, при доле техногенно нарушенной части менее 50 % - как природно-техногенный, а при доле нарушенной части более 50 % - как техногенный.

Пороговое значение 50 % принято, как граница преобладания техногенно нарушенной части в пределах рассматриваемого контура отработки, при которой техногенные особенности строения и состава песков начинают определять общий характер условий переработки.

Для интегральной оценки влияния основных горно-геологических и геотехнологических особенностей объекта на выбор оборудования в настоящей работе предложен коэффициент геолого-технологической сложности месторождения $K_{гт}$, рассчитываемый как произведение частных коэффициентов, характеризующих тип объекта по происхождению, условия залегания и степень неоднородности распределения запасов, рассчитанную по формуле (3.1).

$$K_{\text{гт}} = K_{\text{пр}} \times K_{\text{зал}} \times K_{\text{нрз}}, \quad (3.1)$$

где $K_{\text{пр}}$ - характеризует тип объекта по происхождению (природное, природно-техногенное, техногенное);

$K_{\text{зал}}$ - условия залегания (в том числе мелко- или глубокозалегающее);

$K_{\text{нрз}}$ - степень неоднородности распределения запасов в пределах контура отработки;

Выделение коэффициента $K_{\text{пр}}$ обусловлено тем, что природные, природно-техногенные и техногенные россыпи существенно различаются по условиям освоения. Для техногенных и природно-техногенных объектов обычно характерны более сложное строение и неоднородный состав вскрыши и песков. Поэтому для их отработки требуется более универсальное оборудование, которое можно лучше подстраивать под разные горно-геологические условия. В связи с этим тип месторождения по происхождению оказывает непосредственное влияние на выбор класса оборудования и допустимые режимы его работы.

Подкоэффициент $K_{\text{зал}}$ вводится для учёта влияния глубины и характера залегания продуктивных пластов. С увеличением глубины залегания, наличием погребённых участков и усложнением горно-геологических условий возрастает трудоёмкость добычных работ. Одновременно усложняются процессы вскрытия и транспортирования песков, а также повышаются требования к производительности и универсальности оборудования. В результате даже при сопоставимых запасах и одинаковой площади месторождения различия в условиях залегания могут обуславливать выбор разных технических решений по типу промывочных приборов.

Особое значение при обосновании выбора оборудования имеет неоднородность распределения запасов в границах месторождения, учитываемая коэффициентом $K_{\text{нрз}}$, рассчитанным по формуле (3.2).

Для большинства россыпных объектов характерна сложная структура с выраженной неравномерностью содержания металла в песках [86-89]. Согласно данным различных исследований, участки продуктивного пласта с повышенным

содержанием золота занимают, как правило, лишь 25-40 % площади россыпи, однако в их пределах сосредоточено 65-80 % запасов металла [86].

Указанное соотношение свидетельствует о неравномерности распределения запасов россыпного золота и их концентрации в пределах отдельных участков, что обуславливает необходимость дифференцированного подхода к освоению месторождения и выбору технологических решений.

$$K_{\text{нрз}}(\text{исх}) = \frac{P_{\text{зап}}}{P_{\text{пл}}}, \quad (3.2)$$

где $P_{\text{зап}}$ - доля запасов золота, сосредоточенная в обогащённых зонах, %;

$P_{\text{пл}}$ - доля площади месторождения, занимаемая этими зонами, %.

Например, если в обогащённых песках сосредоточено 40 % запасов золота, а занимают они 20 % площади, то исходный показатель неоднородности составляет $40/20 = 2,0$. Такой объект относится к интервалу 1,5-2,0, и для него в таблице принимается коэффициент 1,05. При дальнейшем увеличении отношения запасов к площади коэффициент возрастает, поскольку возрастает риск резких изменений качества песков, поступающих на промывку.

С практической точки зрения это означает, что применение единого технологического решения на всей площади россыпи не всегда является рациональным. При наличии участков с различной концентрацией запасов и различной сложностью строения целесообразно рассматривать варианты дифференцированного подбора оборудования и режимов работы, в первую очередь ориентируя более эффективные (и, как правило, более капиталоемкие) решения на зоны с повышенным содержанием россыпного золота. Таким образом, коэффициент $K_{\text{нрз}}$ позволяет формализовать пространственную неоднородность объекта и использовать её при ранжировании участков по приоритетности применения тех или иных технологических схем.

Дополнительным фактором, усиливающим необходимость учёта $K_{\text{нрз}}$, является валовая выемка минеральной массы на сложно-структурных участках, которая приводит к перемешиванию более продуктивных и рядовых песков, а также к их разубоживанию некондиционными породами. Это сопровождается

увеличением объёмов перерабатываемой горной массы, снижением среднего содержания металла в питании и ростом себестоимости конечной продукции. Следовательно, предварительная оценка пространственной неоднородности запасов имеет не только технологическое, но и прямое экономическое значение.

Практическое значение предлагаемого подхода проявляется при анализе конкретных россыпных объектов, для которых необходимо учитывать пространственную структуру минерализации и соотношение ранее отработанных и перспективных участков. В качестве иллюстративного объекта в настоящей работе рассмотрено месторождение р. Бом (Амурская область), поскольку для него характерны длительный период эксплуатации, наличие ранее нарушенных площадей, а также выраженная пространственная неоднородность залегания и распределения запасов. Схема расположения разведанных блоков и площадей прошлых отработок в бассейне нижнего течения р. Бом (рисунок 3.1) приведена как пример объекта, на котором пространственная неоднородность и степень техногенной нарушенности оказывают существенное влияние на выбор технологической схемы и оборудования. Представленный рисунок показывает соотношение ранее отработанных участков и вновь выявленных перспективных площадей, а также их распределение в пределах бассейна, что подтверждает сложную пространственную структуру россыпи [90].

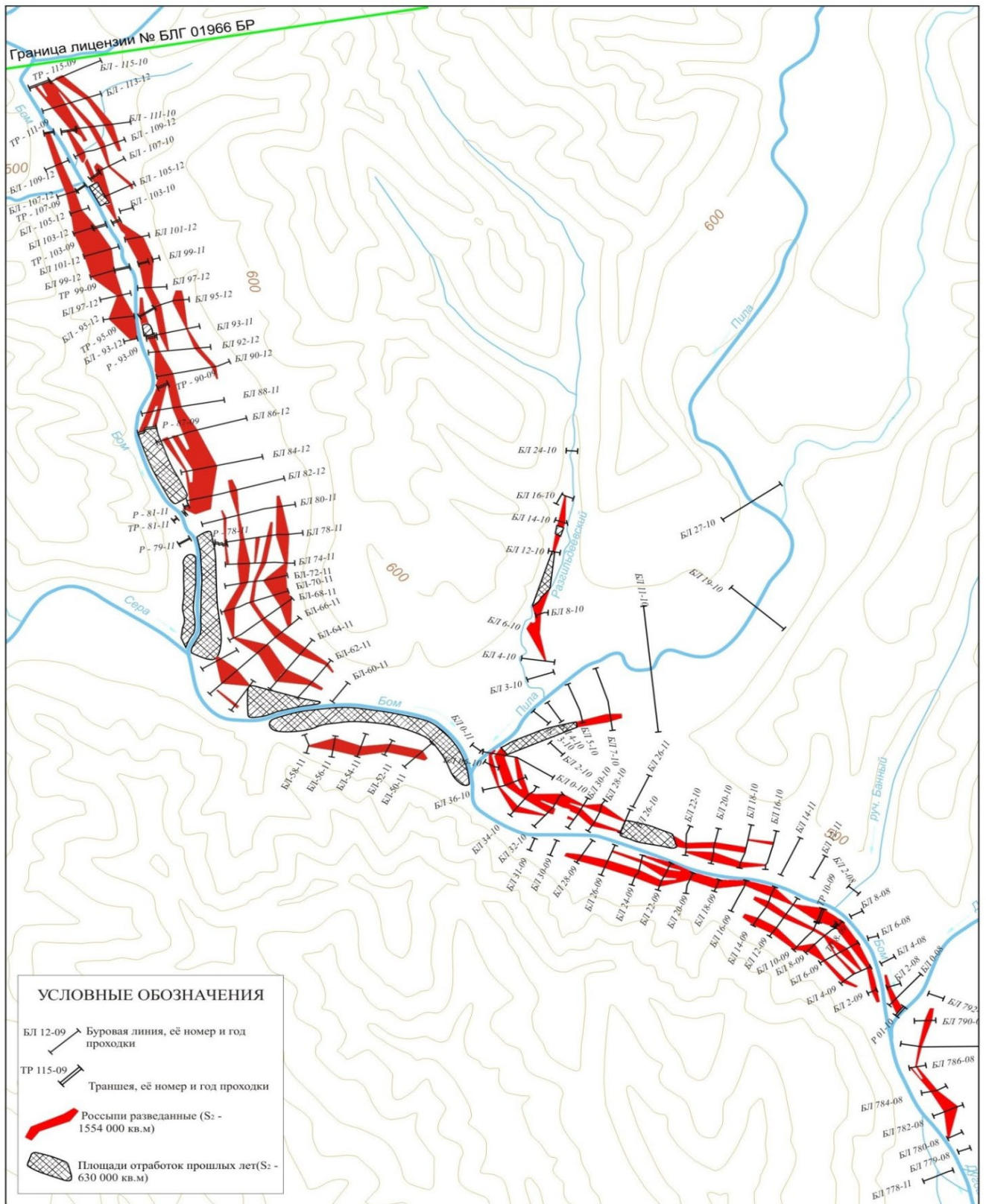


Рисунок 3.1 - Схема геологической разведки россыпного месторождения р. Бом

Принятые значения коэффициентов, характеризующих генезис месторождения, условия залегания и неоднородность распределения запасов, сформированы на основе экспертно-аналитического ранжирования геолого-

технологической сложности россыпного объекта. За базовое состояние принято природное мелкозалегающее месторождение с относительно равномерным распределением запасов; для такого варианта коэффициенты принимаются равными 1,00, поскольку условия выемки, подготовки и подачи песков на промывочный прибор являются наименее осложнёнными.

Для природно-техногенных месторождений коэффициент генезиса принят в пределах 1,10-1,20, что отражает увеличение сложности переработки примерно на 10-20 % по сравнению с природной россыпью вследствие частичной нарушенности строения песков, перемешивания продуктивного материала и повышения неоднородности его состава. Для техногенных месторождений коэффициент увеличен до 1,20-1,40, поскольку такие объекты, как правило, характеризуются повторным перемещением песков, снижением среднего содержания металла, повышенной долей мелкого и тонкого золота и более выраженной изменчивостью качества материала, поступающего на переработку.

Коэффициент условий залегания принят равным 1,00 для мелкозалегающих россыпей и 1,20 для глубокозалегающих. Увеличение на 20 % связано не с прямым снижением извлечения золота, а с усложнением горнотехнических условий: ростом объёма вскрышных работ, увеличением плеча транспортирования, усложнением водоотведения, снижением оперативности подачи песков и большей вероятностью колебаний производительности промывочного комплекса.

Коэффициент неоднородности распределения запасов определяется через относительную концентрацию запасов в пределах обогащённых зон. Для этого используется отношение доли запасов золота, сосредоточенной в обогащённых участках, к доле площади, занимаемой этими участками. При значении данного отношения до 1,5 распределение запасов считается низконеоднородным, поэтому коэффициент принят равным 1,00, так как такие условия несколько благоприятнее среднего варианта. При отношении 1,5-2,0 коэффициент принят равным 1,05, что соответствует умеренной неоднородности. При отношении 2,0-2,5 коэффициент увеличивается до 1,20, поскольку значительная часть металла сосредоточена на ограниченной площади, что повышает вероятность резких изменений качества

песков в процессе выемки. При отношении более 2,5 коэффициент принят равным 1,35, так как высокая концентрация запасов в локальных обогащённых зонах приводит к наиболее выраженной неравномерности подачи песков различного качества на промывочный прибор и требует более гибкой настройки технологического режима.

3.3 Оценка глинистости перерабатываемых песков

Глинистость перерабатываемых песков является одним из определяющих факторов, влияющих на выбор технологической схемы и оборудования при отработке россыпных месторождений [91, 92]. В отличие от параметров, характеризующих условия залегания россыпи, глинистость непосредственно определяет особенности подготовки песков к переработке, прежде всего процессы дезинтеграции, грохочения и формирования устойчивого режима подачи минеральной массы на промывочные приборы.

Недостаточное разрушение глинистых частиц приводит к неполному раскрытию минеральных зёрен, ухудшению грохочения и повышению вероятности выноса золота в гале-эфельные отвалы. Поэтому для таких песков необходимо применять промывочные комплексы, обеспечивающие интенсивное разрушение глинистой составляющей, эффективную классификацию материала и возможность регулирования водного режима [93].

Вследствие этого учет глинистости необходим уже на стадии выбора оборудования, поскольку именно она в значительной степени определяет возможность обеспечения требуемой технологической эффективности при заданной производительности комплекса.

Одновременно глинистость следует рассматривать не только как литологическую, но и как технологическую характеристику песков, непосредственно связанную с величиной потерь полезного компонента. Как показано в работах Г.С. Мирзеханова [94], при повышенном содержании глинистого материала ухудшаются условия дезинтеграции песков, образуются

устойчивые глинистые агрегаты и комки различного размера, внутри которых могут удерживаться зерна золота. При недостаточно эффективном разрушении таких образований металл не успевает высвободиться и вместе с ними выносятся в хвосты, что обуславливает закономерный рост технологических потерь [95].

В практике к глинистым относят породы, в которых содержание частиц менее 5 мкм превышает 3 %, а к собственно глинам - породы, в которых содержание данной фракции превышает 30 % [96]. Вместе с тем в технологическом отношении существенное значение имеет не только минералогическое определение глинистости, но и степень влияния тонкодисперсной глинисто-илистой составляющей на промывистость песков, полноту их дезинтеграции и эффективность последующего грохочения.

По данным Б.В. Невского и Л.П. Мацуева [97, 98], промывистость песков может быть оценена по затратам энергии, необходимой для их дезинтеграции в барабанном грохоте стандартных размеров. Приведенные данные в таблице 3.1 показывают, что с увеличением содержания глинисто-илистой фракции возрастают продолжительность и энергоемкость промывки, одновременно снижается коэффициент грохочения надрешетного продукта. Это указывает на то, что рост глинистости закономерно осложняет подготовку песков и повышает требования как к технологической схеме, так и к характеристикам применяемого оборудования.

Таблица 3.1 - Затраты энергии для промывки разных типов песков

Степень промывистости	Выход глинистых и илистых фракций (<0,005 мм), %	Расход электроэнергии для механического разрыхления (кВт·ч)/м ³	Затраты времени на промывку в барабанном грохоте, мин	Коэффициент грохочения фракции >0,5 мм в барабанном грохоте, %
Легкопромывистые	<10	0,15	50	>80
Среднепромывистые	10-15	0,3-0,4	70-80	70-75
Труднопромывистые	15-20	0,6	100	50-60
Весьма труднопромывистые	>30	-	120	40

Существенное влияние глинистости на величину потерь подтверждается также опытно-экспериментальными данными по гидроэлеваторным промывочным приборам, согласно которым при содержании глинистого материала 10 % потери полезного компонента возрастают в 1,4 раза, при глинистости 12 % - в 1,8 раза, а при содержании 23 % - в 2,8 раза [90]. Принципиально важно, что в подобных условиях фактические потери могут значительно превышать расчетные значения, определяемые без должного учета глинистости, что свидетельствует о необходимости специального учета данного фактора при технологической оценке песков и выборе оборудования.

Следует отметить, что пески с повышенной глинистостью нередко формируют эфельные отвалы, представляющие интерес для повторной переработки. Это связано с тем, что в процессе длительного воздействия выветривания и многократного промораживания глинистая составляющая постепенно разрушается, вследствие чего ранее законсервированное в агрегатах золото может быть высвобождено.

Резюмируя вышесказанное, в настоящей работе фактор глинистости учитывается посредством коэффициента $K_{\text{гл}}$, характеризующего уровень глинистости песков по содержанию глинисто-илистой фракции. Использование данного коэффициента позволяет формализовать влияние глинистой составляющей на технологические условия переработки и применять его при сравнительной оценке вариантов оборудования и схем подготовки песков.

Для практического применения коэффициента $K_{\text{гл}}$ целесообразно использовать шкалу, основанную на содержании глинисто-илистой фракции класса ($-0,005$ мм), поскольку именно этот показатель наиболее тесно связан с образованием устойчивых агрегатов, ухудшающих дезинтеграцию и грохочение. В рамках предлагаемого ранжирования при низкой глинистости значения $K_{\text{гл}}$ принимаются равными единице, что соответствует благоприятным условиям переработки; при базовых условиях - близкими к единице; при повышенной и высокой глинистости - больше единицы, что отражает возрастание

технологической сложности переработки, требований к оборудованию и риска потерь золота при недостаточной эффективности подготовки песков. В качестве литературной основы такого ранжирования могут быть использованы данные о поправочных коэффициентах влияния глинистости на потери металла, приведенные Г. С. Мирзехановым [90].

Значения коэффициента глинистости отражают степень усложнения процессов дезинтеграции, грохочения и шлюзового обогащения при увеличении массовой доли глинистой составляющей в песках. Базовому состоянию соответствуют пески с содержанием глинистой фракции до 3 %, при котором глинистость не оказывает определяющего влияния на работу промывочного прибора, поэтому коэффициент принимается равным 1,00. При увеличении содержания глины до 3-10 %, 10-20 %, 20-30 % и более 30 % коэффициент возрастает, поскольку возрастает вероятность образования сцементированных комков, неполной дезинтеграции песков, забивания просеивающих поверхностей, ухудшения классификации и нарушения устойчивости потока на шлюзах. Повышенные значения коэффициента для высокоглинистых песков отражают не прямую величину потерь золота, а относительный рост технологической сложности переработки и необходимость применения оборудования с более развитой системой дезинтеграции, грохочения и регулирования водного режима.

3.4 Оценка содержания мелких и тонких классов крупности золота

При оценке технологических потерь золота существенное значение имеет не только гранулометрический состав металла, но и морфологические особенности золотин. Наличие пластинчатых, игольчатых и иных уплощённых форм может обуславливать увеличение фактических потерь по сравнению с расчётными значениями, полученными только на основании ситового анализа. Это объясняется тем, что частицы такой формы легче уносятся пульпой и хуже удерживаются на шлюзовых и отсадочных промывочных приборах. Вместе с тем при выборе промывочного оборудования первостепенное значение имеет именно

гранулометрический состав золота, поскольку содержание мелких и тонких классов в значительной степени определяет качество улавливания золота шлюзами.

Значимость содержания мелких и тонких классов золота как технологического фактора для подбора оборудования подтверждается результатами анализа минерально-сырьевой базы россыпных месторождений [86], и данными по извлечению золота по классам крупности для промывочных приборов различных типов, представленными в таблице 3.2 [97-100]. В течение длительного времени в практике россыпной золотодобычи широкое распространение имели гидроэлеваторные промывочные приборы. Несмотря на постепенное снижение их доли, на ряде предприятий они до настоящего времени составляют основу промывочного оборудования, что делает сопоставление их технологических возможностей с более современными шлюзовыми промывочными комплексами ПБШ особенно актуальным.

По приведённым данным в таблице 3.2, переход к бочечно-шлюзовой схеме позволяет снизить потери по классу $-0,5+0,25$ мм с 30,0 до 14,5 % (на 15,5 %) и по классу $-0,25+0$ мм - от 65,0 до 39,7 % (на 25,3 %).

Таблица 3.2 - Нормативные коэффициенты извлечения золота на промывочных приборах по классам крупности

Класс крупности, мм	Средняя крупность d.p, мм	Вид промывочного прибора	
		Гидроэлеваторные	Бочечно- шлюзовые
-50+30	40	0,950	1,000
-30+20	25	0,980	1,000
-20+10	15	0,991	0,970
-10+5	7,5	0,995	0,995
-5+2	3,5	0,994	0,995
-2+1	1,5	0,964	0,980
-1+0,5	0,75	0,905	0,931
-0,5+0,25	0,35	0,700	0,855
-0,25+0	0,1	0,350	0,603

Приведённые данные показывают, что по мере увеличения доли мелких и особенно тонких классов золота возрастает влияние типа применяемого оборудования на итоговое извлечение металла. Следовательно, содержание мелких и тонких классов золота должно рассматриваться не только как характеристика гранулометрического состава металла, но и как показатель технологической сложности переработки россыпных песков.

Это согласуется с их подразделением на легкообогатимые, среднеобогатимые и труднообогатимые, где содержание мелкого золота выступает одним из определяющих показателей. В связи с этим фактор содержания мелких и тонких классов золота целесообразно выразить в виде самостоятельного коэффициента $K_{\text{мтз}}$, характеризующего исходную технологическую сложность извлечения золота по гранулометрическому признаку. Иными словами, коэффициент $K_{\text{мтз}}$ отражает не фактические потери металла, а потенциальную склонность золота к потерям, обусловленную повышенной долей мелких и тонких классов. Чем выше значение $K_{\text{мтз}}$, тем более высокие требования должны предъявляться к типу промывочного прибора с точки зрения его способности обеспечивать эффективное улавливание мелкого и тонкого золота [101] (таблица 3.3).

Таблица 3.3 - Категории обогатимости песков

Категория песков по обогатимости	Содержание мелкого золота (-0,2 мм), %	Содержание валунов (+400 мм), %	Выход эфелей (-15 мм), %	Содержание самородков (+10 мм), %
Легко	Менее 3	0-5	Менее 40	0
Средне	3-10	Более 5	40-70	0
Трудно	Более 10	Более 5	Более 70	1

Поскольку коэффициент $K_{\text{мтз}}$ предназначен для подбора рационального промывочного прибора, в его содержательный смысл должны включаться только признаки, характеризующие объект переработки до начала обогащения. По этой причине параметры подготовки песков и гидродинамического режима, такие как

крупность питания шлюзов, соотношение жидкой и твёрдой фаз пульпы, удельная нагрузка и скорость потока, не входят в состав коэффициента $K_{\text{мтз}}$, а рассматриваются как условия реализации технологических возможностей уже выбранного оборудования.

Вместе с тем значение указанных параметров для извлечения мелких и тонких классов золота является принципиальным, поскольку именно они определяют, в какой степени потенциальная склонность металла к потерям будет реализована в конкретных технологических условиях. Это подтверждается результатами исследований, выполненных на одной из малолитражных драг при обогащении песков различной крупности на шлюзах. По данным Замятина [59], в первом случае на шлюза поступали пески из дражной бочки крупностью -16мм при соотношении Ж:Т = (20-24):1, при этом удельная нагрузка составляла 2,0-2,5 м³/ч на 1 м ширины шлюза. Во втором случае на шлюза подавался материал, дополнительно прошедший вторую стадию грохочения на грохоте с многокамерным поддоном. После двойного грохочения на шлюза поступали пески крупностью -4 мм, что позволило уменьшить разжижение пульпы до Ж:Т = (8-12):1, снизить поверхностную скорость потока до 1 м/с и при этом обеспечить удельную нагрузку около 3,0-3,5 м³/ч на 1 м ширины шлюза.

По результатам опробования и анализа россыпного золота установлено, что во втором случае общее извлечение золота составило 94-95 %, тогда как в первом - 88-90 %. Таким образом, повышение общего извлечения составило 4-7 %. Анализ распределения золота по классам крупности показывает, что прирост извлечения в рассматриваемом случае обеспечивается преимущественно за счёт более полного улавливания мелкого и среднего по крупности золота. Следовательно, при повышенном содержании мелких и тонких классов золота эффективность их извлечения определяется не только самим фактом их присутствия в составе металла, но и способностью выбранного промывочного прибора обеспечить такие условия подготовки и движения пульпы, при которых потери данных классов минимизируются.

Коэффициенты, характеризующие содержание мелких и тонких классов золота, назначены дифференцированно по классам крупности, как указано в формуле (3.3). Для класса $-0,5+0,25$ мм влияние на выбор оборудования оценивается как умеренное, так как такие частицы при правильно подобранных режимах шлюзового обогащения ещё достаточно эффективно улавливаются. Для классов $-0,25+0,125$ мм и особенно $-0,125$ мм коэффициенты увеличены, поскольку с уменьшением крупности возрастает вероятность сноса золота потоком и повышается чувствительность процесса к колебаниям Ж:Т, скорости потока и удельной нагрузки по твёрдому.

$$K_{\text{МТЗ}} = K_{\text{МТЗ}-0,5+0,25} + K_{\text{МТЗ}-0,25+0,125} + K_{\text{МТЗ}-0,125}, \quad (3.3)$$

где $K_{\text{МТЗ}-0,5+0,25}$ - частный коэффициент, учитывающий содержание золота класса $-0,5+0,25$ мм;

$K_{\text{МТЗ}-0,25+0,125}$ - частный коэффициент, учитывающий содержание золота класса $-0,25+0,125$ мм;

$K_{\text{МТЗ}-0,125}$ - частный коэффициент, учитывающий содержание золота класса $-0,125$ мм.

Градации по содержанию золота в указанных классах приняты как относительные интервалы технологической значимости: до 3 % - низкое влияние, 3-10 % - базовое, 10-30 % - повышенное, более 30 % - высокое. Таким образом, приведённые коэффициенты отражают относительное увеличение требований к схеме переработки при возрастании доли мелкого и тонкого золота, а не являются нормативными показателями извлечения.

3.5 Оценка наличия сопутствующих тяжелых минералов

Наряду с факторами, характеризующими гранулометрический состав золота и глинистость песков, существенное влияние на эффективность шлюзового обогащения оказывает содержание тяжёлых минералов в исходной горной массе. Данный фактор определяет интенсивность заполнения постели шлюза, её

фактическую ёмкость, объём получаемого концентрата и сложность его последующей доводки. В связи с этим при выборе промывочного оборудования и схемы переработки песков необходимо учитывать среднее содержание тяжёлой фракции в исходном материале.

Количество шлиховых минералов в золотоносных россыпях изменяется в очень широких пределах - от 25-40 г/м³ до 15-50 кг/м³ и более. Соответственно, при суточной промывке 1000 м³ горной массы вместе с золотом может извлекаться от нескольких десятков килограммов до десятков тонн тяжёлой фракции. Такая изменчивость шлиховой нагрузки существенно влияет на условия работы шлюзовых приборов, эффективность улавливания золота и выбор рациональной технологии переработки. Поэтому данный фактор должен учитываться в количественной форме.

Для количественного учёта указанного фактора в настоящей работе предложено использовать коэффициент наличия сопутствующих тяжёлых минералов $K_{\text{тм}}$, характеризующий общий уровень шлиховой нагрузки по содержанию тяжёлых минералов в исходных песках. Необходимость введения данного коэффициента подтверждается как практическим опытом исследований, так и литературными данными. В частности, в работах Г. С. Мирзеханова отмечается, что при повышенном содержании тяжёлых минералов, особенно близких по крупности к золоту, потери металла возрастают вследствие ухудшения условий его осаждения и удержания в постели шлюза [90].

Необходимость введения $K_{\text{тм}}$ также подтверждается расчётной оценкой ёмкости постели шлюза. В качестве примера рассмотрен шлюз шириной 0,75 м, длиной 6 м и толщиной постели 0,07 м, для которого объём постели составляет 0,315 м³. Однако фактическая ёмкость постели ниже геометрической, поскольку в ней накапливаются не только тяжёлые минералы, но и более лёгкие частицы песчано-гравийно-галечных отложений, удерживаемые ковриками и трафаретами. Следовательно, даже при одинаковых геометрических параметрах шлюзов фактическая эффективность улавливания золота в значительной степени определяется величиной шлиховой нагрузки.

Механизм отрицательного влияния повышенного содержания тяжёлых минералов заключается в следующем. С одной стороны, золото в потоке пульпы находится в общей массе тяжёлой фракции, что затрудняет его своевременное осаждение и закрепление в постели шлюза. С другой стороны, по мере накопления тяжёлых минералов ячейки постели заполняются и уплотняются, вследствие чего ухудшаются условия удержания золота улавливающим покрытием. В результате металл, прежде всего мелкий, тонкий, чешуйчатый и находящийся в сростках, начинает выноситься в хвосты. Аналогичные выводы приводятся и в литературе, где при повышенной шлиховой нагрузке рекомендуется многократный сполоск шлюзов для предупреждения роста потерь [90].

При низком содержании тяжёлых минералов - не более 100 г/м^3 - и объёме промывки до $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ суточный выход шлихов составляет менее 100 кг, что соответствует благоприятным условиям работы шлюзовой постели: её ёмкость является достаточной, потери золота сравнительно невелики, а объём концентрата после сполоска остаётся небольшим. В этих условиях для последующей переработки концентрата, как правило, достаточно применения относительно простых схем доводки.

При повышенном содержании шлихов ($1\text{-}2 \text{ кг/м}^3$) к концу смены постель шлюза оказывается значительно заполненной тяжёлой фракцией, её поверхность становится более плотной, вследствие чего снижается удерживающая способность ковриков и трафаретов. С дальнейшим ростом содержания тяжёлых минералов ускоряется заполнение постели и раньше начинается снос золота. При высоком содержании тяжёлой фракции - порядка $20\text{-}30 \text{ кг/м}^3$ - шлюзовые приборы к концу смены способны эффективно удерживать преимущественно более крупное и зернистое золото, тогда как мелкие и тонкие формы в большей степени выносятся в хвосты. В этих условиях снижение потерь может быть достигнуто либо за счёт более частого сполоска шлюзов, либо за счёт совершенствования конструкции улавливающей поверхности и общей схемы переработки песков.

Таким образом, содержание тяжёлых минералов в исходных песках следует рассматривать как самостоятельный технологически значимый фактор,

определяющий условия работы шлюзовых приборов и полноту извлечения золота. По мере роста шлиховой нагрузки ухудшаются условия осаждения и удержания металла, возрастает скорость заполнения постели шлюза и увеличиваются технологические потери, что обосновывает необходимость введения повышающих значений коэффициента $K_{\text{тм}}$.

Значения коэффициента влияния сопутствующих тяжёлых минералов приняты с учётом шлиховой нагрузки на улавливающую поверхность шлюзов. При содержании тяжёлой фракции до $0,10 \text{ кг/м}^3$ её влияние на заполнение постели и снижение улавливающей способности шлюза минимально, поэтому коэффициент принят меньше единицы. Диапазон $0,10-1,0 \text{ кг/м}^3$ рассматривается как условно базовый, при котором содержание тяжёлых минералов не требует существенного усложнения технологической схемы. При дальнейшем увеличении содержания тяжёлой фракции коэффициент возрастает, поскольку повышается интенсивность заполнения постели шлиховыми минералами, ухудшаются условия осаждения частиц золота, сокращается эффективное время работы шлюза между сполосками и возрастает вероятность сноса мелких классов золота. Поэтому высокие значения коэффициента для интервалов более $2,0 \text{ кг/м}^3$ отражают необходимость применения более устойчивых режимов промывки, увеличения площади улавливания, более частого сполоска или включения дополнительных шлихоулавливающих аппаратов в схему обогащения.

3.6 Интерпретация ранжированных критериев и обоснование выбора промывочного оборудования

Проведённая в подразделах 3.2-3.5 оценка влияния отдельных горно-геологических и технологических факторов позволяет перейти от рассмотрения частных признаков к их комплексной интерпретации применительно к задаче выбора промывочного оборудования. Результаты ранжирования, представленные в таблице 3.4, позволяют систематизировать совокупное влияние природных и технологических факторов и использовать их в качестве основы для

предварительного обоснования рациональной области применения различных типов промывочного оборудования.

Таблица 3.4 - Факторы выбора промывочного оборудования и значения коэффициентов

Наименование фактора		Условие	Коэффициент
Тип месторождений по генезису происхождения	Коэффициент происхождения месторождения $K_{\text{пр}}$	Природное месторождение	1,00
		Природно-техногенное	1,10-1,20
		Техногенное месторождение	1,20-1,40
	Коэффициент условий залегания $K_{\text{зал}}$	Мелкозалегающее	1,00
		Глубокозалегающее	1,20
	Коэффициент неоднородности распределения запасов в границах месторождения $K_{\text{нрз}}^*$	Низкая $\leq 1,5$	1,00
		Умеренная 1,5-2,0	1,05
		Повышенная 2,0-2,5	1,20
		Высокая $>2,5$	1,35
Глинистость перерабатываемых песков (по массовой доле глинистой составляющей в перерабатываемых песках, %) $K_{\text{гл}}$		$\leq 3\%$ Низкий	1,00
		$>3-10\%$ Средний	1,30
		$>10-20\%$ Повышенный	1,80
		$>20-30\%$ Высокий	2,40
		$>30\%$ Очень высокий	3,00
Коэффициент содержания мелких и тонких классов золота	-0,5+0,25 мм	$\leq 3\%$ Низкий	1,00
		$>3-10\%$ Базовый	1,05
		$>10-30\%$ Повышенный	1,10
		>30 Высокий	1,15
	-0,25+0,125 мм	$\leq 3\%$ Низкий	1,00
		$>3-10\%$ Базовый	1,10
		$>10-30\%$ Повышенный	1,25
		>30 Высокий	1,35

Продолжение таблицы 3.4

Наименование фактора		Условие	Коэффициент
Коэффициент содержания мелких и тонких классов золота	-0,125 мм	≤3% Низкий	1,00
		>3-10% Базовый	1,20
		>10-30% Повышенный	1,35
		>30 Высокий	1,45
Коэффициент влияния сопутствующих тяжелых минералов К _{тм} (по содержанию тяжелой фракции в песках, кг/м³)		≤0,10 кг/м³ (до 100 г/м³)	0,90
		>0,10-1,0 кг/м³	1,00
		>1,0-2,0 кг/м³	1,20
		>2-10 кг/м³	1,50
		>10-30 кг/м³	2,00
		>30 кг/м³	3,00

Для количественного обобщения совокупного влияния рассмотренных факторов в настоящей работе предлагается использовать интегральный показатель технологической сложности переработки песков $K_{\text{инт}}$, определяемый как произведение основных частных коэффициентов, рассчитываемый по формуле (3.4):

$$K_{\text{инт}} = K_{\text{гт}} \times K_{\text{гл}} \times K_{\text{мтз}} \times K_{\text{тм}}, \quad (3.4)$$

где $K_{\text{гт}}$ - коэффициент геолого-технологической сложности месторождения;

$K_{\text{гл}}$ - коэффициент глинистости перерабатываемых песков;

$K_{\text{мтз}}$ - коэффициент содержания мелких и тонких классов золота;

$K_{\text{тм}}$ - коэффициент влияния сопутствующих тяжёлых минералов.

Величина $K_{\text{инт}}$ не является прямым показателем технологических потерь золота и не заменяет собой детальные расчёты извлечения, однако характеризует совокупную технологическую сложность переработки песков и может использоваться как обобщённый критерий предварительного выбора рациональной технологической схемы и типа промывочного оборудования. При

этом коэффициент $K_{\text{мтз}}$ определяется как сумма частных коэффициентов по отдельным классам мелкого и тонкого золота, вследствие чего минимально возможное значение $K_{\text{инт}}$ даже для наиболее благоприятных условий превышает единицу.

При значениях $K_{\text{инт}}$ в пределах 2,5-5,0 условия переработки следует относить к сравнительно благоприятным. Для таких объектов характерны простые геолого-структурные условия, низкая глинистость песков, ограниченное содержание тяжёлых минералов и сравнительно невысокая доля мелкого и тонкого золота. В данных условиях допустимо применение простых шлюзовых и гидроэлеваторных схем, если содержание тонких классов золота не является определяющим фактором технологических потерь.

При значениях $K_{\text{инт}}$ в диапазоне 5,0-10,0 условия переработки следует рассматривать как умеренно сложные. Для данной группы объектов характерны средняя или повышающаяся глинистость песков, умеренное содержание мелкого золота, наличие природно-техногенной нарушенности, а также усиление пространственной неоднородности распределения запасов. В подобных условиях наиболее рациональным решением становится использование стандартных бочечно-шлюзовых либо скрубберно-шлюзовых приборов.

При значениях $K_{\text{инт}}$ в пределах 10,0-15,0 объект следует относить к категории технологически сложных. Для данной области характерны повышенная глинистость, существенная доля мелкого и тонкого золота, а также возрастание шлиховой нагрузки. В таких условиях рациональным решением является применение бочечно-шлюзовых приборов с развитой схемой подготовки песков, более эффективной дезинтеграцией, дополнительным грохочением и возможностью регулирования расхода воды и распределения пульпы.

При значениях $K_{\text{инт}} > 15,0$ условия переработки следует относить к категории высокой технологической сложности. Обычно это техногенные либо глубокозалегающие объекты, характеризующиеся одновременно высокой глинистостью, значительной долей тонкого золота и повышенным содержанием тяжёлых минералов. В подобных условиях рациональным является применение

технологически эффективных промывочных комплексов, обеспечивающих регулируемый режим работы, устойчивое соотношение жидкой и твёрдой фаз пульпы, равномерное распределение потока по шлюзам и повышенную эффективность улавливания мелкого и тонкого золота (применение отсадочных или иных схем с непрерывным выходом концентрата).

Практическое значение предлагаемого подхода может быть проиллюстрировано на условном примере россыпного объекта со следующими характеристиками: месторождение техногенное ($K_{\text{пр}} = 1,30$), глубокозалегающее ($K_{\text{зал}} = 1,20$), с высокой неоднородностью распределения запасов ($K_{\text{нрз}} = 1,35$), глинистостью песков 18 % ($K_{\text{гл}} = 1,80$), содержанием золота класса $-0,5+0,25$ мм на уровне 15 % (1,10), класса $-0,25+0,125$ мм - 12 % (1,25), класса $-0,125$ мм - 8 % (1,20), а также содержанием тяжёлых минералов $1,5 \text{ кг/м}^3$ ($K_{\text{тм}} = 1,20$). В этом случае

$$K_{\text{гт}} = 1,30 \times 1,2 \times 1,35 = 2,106;$$

$$K_{\text{мтз}} = 1,10 + 1,25 + 1,20 = 3,55$$

тогда:

$$K_{\text{инт}} = 2,106 \times 1,80 \times 3,55 \times 1,20 = 16,15$$

Полученное значение соответствует высокой технологической сложности переработки, при которой наиболее обоснованным решением является использование бочечно-шлюзового комплекса с развитой схемой подготовки песков, эффективной дезинтеграцией, регулируемым расходом технологической воды и возможностью стабилизации параметров пульпы, подаваемой на шлюза.

Таким образом, предложенная система ранжированных критериев и их комплексная интерпретация позволяют установить научно обоснованную связь между геолого-технологическими характеристиками россыпного месторождения и рациональной областью применения различных типов промывочного оборудования. Практическая ценность данного подхода заключается в возможности уже на стадии предварительного проектирования определить, в каких условиях допустимо использование простых промывочных схем, а в каких требуется переход к более совершенным бочечно-шлюзовым комплексам с развитой системой подготовки песков и регулирования технологического режима.

3.7 Выводы по главе 3

1. Установлено, что выбор промывочного оборудования для переработки песков россыпных месторождений золота должен осуществляться на основе комплексного учёта горно-геологических и технологических условий объекта. Показано, что определяющее значение для обоснования технологической схемы имеют тип месторождения, условия его залегания, степень неоднородности распределения запасов, глинистость песков, гранулометрический состав золота и содержание сопутствующих тяжёлых минералов, поскольку именно совокупность этих факторов формирует технологическую сложность переработки и влияет на полноту извлечения золота.

2. Для количественной оценки условий переработки предложена система коэффициентов, включающая коэффициент геолого-технологической сложности месторождения $K_{гт}$, коэффициент глинистости песков $K_{гл}$, коэффициент содержания мелких и тонких классов золота $K_{мтз}$, коэффициент влияния сопутствующих тяжёлых минералов $K_{тм}$, а также интегральный показатель технологической сложности переработки $K_{инт}$. Показано, что использование данной системы позволяет формализовать влияние основных природных и технологических факторов, сопоставить объекты по степени сложности переработки и использовать результаты ранжирования для предварительного выбора рационального типа промывочного оборудования.

3. Установлено, что по мере усложнения условий переработки - при повышении глинистости песков, увеличении доли мелкого и тонкого золота, росте шлиховой нагрузки, а также при техногенной нарушенности и высокой неоднородности распределения запасов - возрастают требования к технологической эффективности и адаптивности применяемых промывочных комплексов. Это подтверждает, что использование простых промывочных схем рационально лишь при сравнительно благоприятных условиях, тогда как для сложных объектов требуется применение более совершенных технических решений.

4. В результате интерпретации ранжированных критериев установлена научно обоснованная связь между геолого-технологическими характеристиками россыпного месторождения и рациональной областью применения различных типов промывочного оборудования. Показано, что при возрастании коэффициента интегральной технологической сложности наиболее обоснованным является переход к бочечно-шлюзовым комплексам с развитой схемой подготовки песков, эффективной дезинтеграцией, регулируемым расходом технологической воды и возможностью стабилизации параметров пульпы, подаваемой на шлюза.

4 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ПБШ-100 С СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ Ж:Т

4.1 Сравнение эффективности применения на высокоглинистом месторождении ручья Сыран промывочных приборов ПГШ и ПБШ

В рамках диссертационной работы основной акцент сделан на обосновании актуальности и экономической эффективности модернизации промывочного оборудования на участке ручья Сыран (Хабаровский край), необходимость которой обусловлена снижением эксплуатационных затрат и повышением извлечения золота при сохранении объёмов добычи. До 2022 г. технологическая схема включала две установки ПГШ-II-50, обеспечивающие суммарную производительность около 100 м³/ч, однако требующие повышенного расхода топлива и значительных трудозатрат на обслуживание и имеющие большие потери россыпного золота, начиная с классов крупности 0,5 мм и ниже.

Для объективной оценки экономической эффективности перехода на ПБШ-100 и сравнения показателей этих двух промывочных приборов логично сначала проанализировать, как в аналогичных условиях работает базовый вариант - элеваторный промывочный прибор ПГШ-II-50, использующийся на месторождении ручья Сыран. Такой анализ позволяет количественно определить конструктивные ограничения и технологические потери исходной схемы и формирует исходную базу для последующего сравнительного исследования.

Элеваторные промывочные приборы ПГШ-II-50 на месторождении ручья Сыран имеют практически одинаковые параметры (длина шлюзов, ширина, размеры вашгердов). Фактическая производительность составляет примерно 40-45 м³/ч. Все приборы работают в паре с насосной установкой 1Д-1250-63 с двигателем ЯМЗ-240М2.

Промывочный прибор ПГШ-II-50 состоит из шлюза глубокого наполнения длиной 7,6 м и шириной 1 м. Первая треть шлюза отделена порогом, второй порог установлен перед сеющей поверхностью в конце шлюза, далее идет сеющая

поверхность, на которой происходит рассев по классу крупности -12 мм (-16 мм). Сеющая площадь составляет около 1,6 м², после которой установлено три шлюза: центральный шлюз (контрольный) - шириной 0,6 м и длиной 3,5 м; справа и слева установлены два шлюза мелкого наполнения шириной 1 метр и длиной 3,5 метра. После отсева фракция -12 мм поступает на ШМН, а фракция -70+0 мм поступает на контрольный шлюз. Суммарная площадь улавливания на приборе составляет 16 м².

По конструктивным особенностям прибора стоит отметить, что обогащение золота фракций -0,5 мм на шлюзах глубокого наполнения будет малоэффективно, ввиду большой скорости потока (2,5-3 м/с), большой концентрации взвеси в оборотной воде (50 г/л и выше), что приводит к значительному сносу металла со ШГН. Грохочение на полиуретановых ситах в питании ШМН площадью 1,6 м² недостаточно, чтобы эффективно произвести рассев такого количества поступающих на них песков. Классическая конструкция ПГС-II-50 с боковой установкой 4-6, а иногда и 10 шлюзов мелкого наполнения имеет, как правило, сеющую площадь 4 м² и более, что в 2,5 раза больше, чем на приборах месторождения руч. Сыран.

Площадь улавливания ШМН составляет всего 7 м², при этом на приборах с боковым выходом ШМН их площадь составляет от 10 до 22,5 м². При этом увеличение площади грохочения на таких приборах приведет к перегрузке двух ШМН, поэтому конструкция прибора разработана таким образом, что большая часть породы проходит по контрольному шлюзу шириной всего 0,6 метра, минуя ШМН.

В результате анализа ситовых характеристик, представленных на рисунке 4.1, видно, что пески, обогащаемые на промывочных приборах месторождения руч. Сыран, содержат, в основном, частицы золота в классе крупности -1,0 мм, выход этого класса составляет от 70% до 75 %, а класса крупности менее 0,5 мм - 38,8 %.

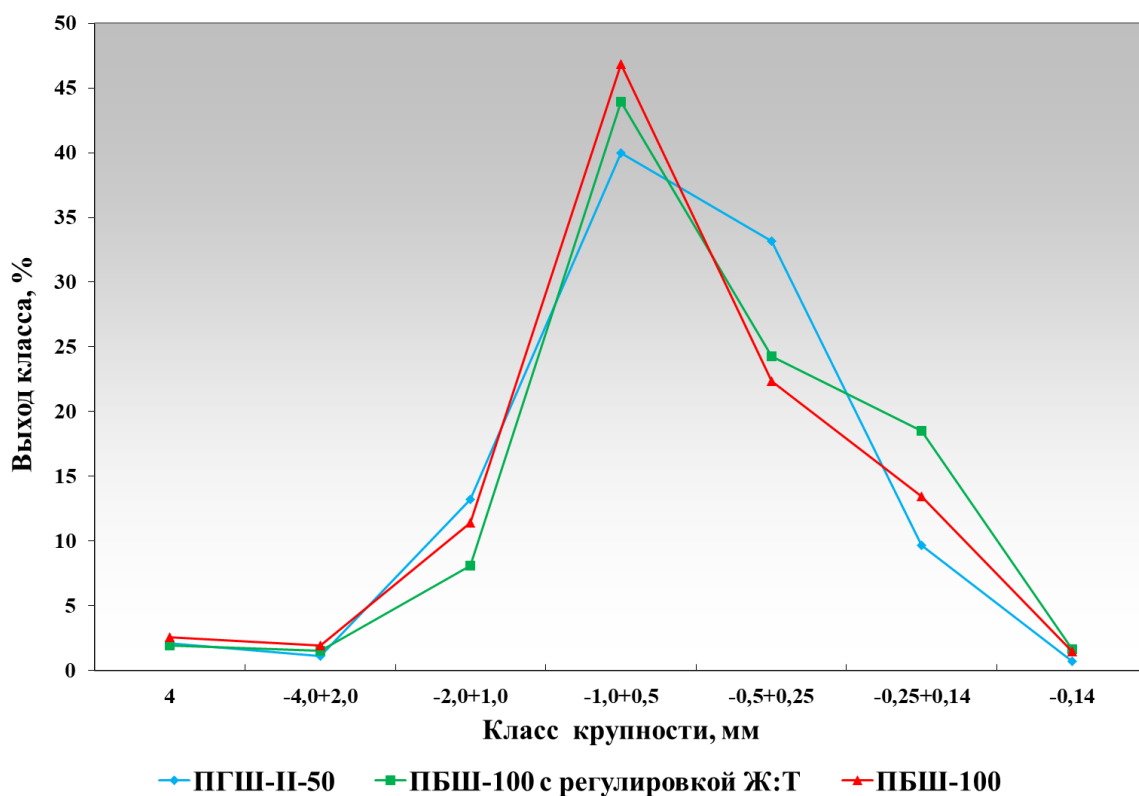


Рисунок 4.1 - Сравнение ситовок с приборов ПБШ-100 и ПГШ-II-50 по касе

Установленные и уже ранее известные конструктивные и технологические ограничения ПГШ-II-50 определяют следующую задачу исследования - определить, какие именно эксплуатационные параметры шлюзов вызывают наибольшие потери драгоценного металла и в какой мере регулировка этих параметров на ПБШ-100 способна их снизить.

Одна из основных причин повышенных потерь золота во время промывки песков - снос частиц золота со шлюзов вследствие перегруженности шлюзов по Ж:Т, а также неравномерности их загрузки и заэфеливания. Указанные процессы, в свою очередь, зависят от уклона шлюза, объема расхода воды, нагрузки и крупности материала, поступающего на шлюз.

На гидроэлеваторных приборах типа ПГШ из четырех названных параметров три являются постоянными. Уклон шлюза задают в пределах 6-8 градусов. Расход воды определяется остаточным напором на насадках гидроэлеватора и гидромонитора и их проходными сечениями. Только один параметр - нагрузка на шлюз - может изменяться в широких пределах вследствие несовершенства устройств для дозирования питания гидроэлеватора и, достигая предельной

транспортирующей способности потока, вызывать эфеление шлюза. Учитывая, что обеспечить равномерность подачи питания в бункер гидроэлеватора весьма трудно, рекомендуется придерживаться средней нагрузки, которая на 40-45% ниже предельной нагрузки.

В отличие от гидроэлеваторных установок, на ПБШ-100 все четыре параметра могут регулироваться и, следовательно, должны подбираться в оптимальных сочетаниях, исключающих эфеление шлюза и обеспечивающих наибольшее извлечение как крупного, так и мелкого золота.

Но на ПБШ-100 предотвращение сноса золота достигается совместной корректировкой уклона, расхода воды, крупности питания и нагрузки, с обязательной регулировкой Ж:Т. Поддержание этих параметров в рекомендуемых пределах обеспечивает стабильную работу шлюзов и минимальные потери золота.

4.2 Оценка экономической эффективности внедрения системы регулирования пульпы на шлюзах

Корректировка расхода воды в реальном времени стабилизировала гидродинамический режим на ШМН ПБШ-100, что напрямую отразилось на извлечении мелкого золота (таблица 4.1-4.3).

Сопоставление таблиц 4.1-4.3 позволяет сделать вывод, что наибольший эффект регулирование Ж:Т оказывает именно на извлечение тонких классов золота. Так, масса фракций менее 0,25 мм увеличивается с 27,84 г на ПГШ-II-50 до 36,71 г на ПБШ-100 без регулировки и до 48,05 г на ПБШ-100 с регулировкой Ж:Т. Это подтверждает, что совершенствование режима подачи пульпы и стабилизация соотношения жидкой и твёрдой фаз на шлюзах обеспечивает более эффективное улавливание мелкого и тонкого золота, которое в наибольшей степени подвержено потерям при нарушении гидродинамического режима.

Представленные данные позволяют заключить, что переход от ПГШ-II-50 к ПБШ-100 уже сам по себе повышает извлечение тонких фракций, а дополнительное регулирование Ж:Т усиливает этот эффект. Следовательно, различия между

таблицами 4.1-4.3 отражают не просто изменение гранулометрического состава шлиха, а подтверждают технологическое преимущество ПБШ-100 с регулируемым режимом работы при переработке песков, содержащих значительную долю мелкого и тонкого золота.

Таблица 4.1 - Ситовой анализ россыпного золота с прибора ПБШ-100

	Класс крупности, мм							Всего
	+4,0	-4,0+2,0	-2,0+1,0	-1,0+0,5	-0,5+0,25	-0,25+0,14	-0,14	
Масса шлихового золота, г	6,35	4,81	28,06	115,34	55,05	33,08	3,63	246,31
Доля шлиха, %	2,58	1,95	11,39	46,82	22,35	13,43	1,48	100,00

Таблица 4.2 - Ситовой анализ россыпного золота с прибора ПБШ-100 с регулировкой Ж:Т

	Класс крупности, мм							Всего
	+4,0	-4,0+2,0	-2,0+1,0	-1,0+0,5	-0,5+0,25	-0,25+0,14	-0,14	
Масса шлихового золота, г	4,65	3,70	19,35	104,85	57,95	44,10	3,95	238,55
Доля шлихового золота, %	1,95	1,55	8,11	43,95	24,29	18,49	1,66	100,00

Таблица 4.3 - Ситовой анализ россыпного золота с прибора ПГШ-II-50

	Класс крупности, мм							Всего
	+4,0	-4,0+2,0	-2,0+1,0	-1,0+0,5	-0,5+0,25	-0,25+0,14	-0,14	
Масса шлихового золота, г	5,61	3,04	35,33	106,89	88,58	25,87	1,97	267,29
Доля шлихового золота, %	2,10	1,14	13,22	39,99	33,14	9,68	0,74	100,00

Гранулометрический анализ шлихового золота, отобранного со шлюзов обоих приборов, показал существенный прирост содержания тонкого золота (фракции $< 0,25$ мм) при работе ПБШ-100 (таблица 4.4).

Таблица 4.4 - Масса тонких классов и прирост извлечения по ПБШ-100 и ПГШ-II-50 за сутки

Наименование прибора	Масса, г			Σ фракций -0,25мм, г	Доля фракций -0,25мм, %
	шлиха	-0,25 + 0,14 мм	-0,14 мм		
ПГШ-II-50	267,29	25,87	1,97	27,84	10,42
ПБШ-100	246,31	33,08	3,63	36,71	14,90
ПБШ-100 с регулировкой Ж:Т	238,55	44,10	3,95	48,05	20,15
Разница в выходе тонких фракций ПБШ-100 и ПБШ-100 с регулировкой Ж:Т				11,34	5,25

По данным таблицы 4.4, при применении ПБШ-100 с регулированием отношения Ж:Т масса извлечённых фракций золота крупностью менее 0,25 мм составила 48,05 г, что превышает соответствующие показатели ПГШ-II-50 и ПБШ-100 без регулирования на 20,21 и 11,34 г, или на 72,6 и 30,9 % соответственно. Доля указанных фракций в общей массе извлечённого золота при этом увеличилась с 10,42 % для ПГШ-II-50 и 14,90 % для ПБШ-100 без регулирования до 20,15 % при использовании ПБШ-100 с регулированием Ж:Т, что соответствует росту доли фракций -0,25мм на 93,4 и 35,2 % относительно исходной доли этих фракций.

Основное влияние на увеличение извлечения оказало регулирование соотношения жидкого к твёрдому в пульпе на шлюзах мелкого наполнения ПБШ-100 модернизированного.

С экономической точки зрения увеличение доли мелкого золота в концентрате непосредственно отражается на итоговом извлечении металла и, следовательно, на выручке предприятия.

Прирост количества тонкой фракции концентрата для ПБШ-100 модернизированного и ПГШ-II-50 можно определить по формуле (4.1):

$$\Delta m_{\text{конц}} = m_{\text{ПБШ-100М}} - m_{\text{ПГШ-II-50}}, \quad (4.1)$$

где $m_{\text{ПБШ-100М}}$ - масса тонкой фракции концентрата, полученная на приборе ПБШ-100 модернизированном, г/сут;

$m_{\text{ПГШ-II-50}}$ - масса тонкой фракции концентрата, полученная на приборе ПГШ-II-50, г/сут.

$$\Delta m_{\text{конц}} = 48,05 \text{ г/сут.} - 27,84 \text{ г/сут.} = 20,21 \text{ г/сут.}$$

Так как промывочный сезон в среднем длится 150 сут., сезонный прирост добычи можно определить по формуле (4.2):

$$Q_{\text{доп}} = \Delta m_{\text{конц}} \times D, \quad (4.2)$$

где D - длительность промывочного сезона, сут.

$$Q_{\text{доп}} = 20,21 \text{ г/сут} \times 150 \text{ сут} = 3031,5 \text{ г}$$

После замены промывочного прибора и введения регулировки Ж:Т дополнительную выручку можно определить по формуле (4.3):

$$\Delta R = Q_{\text{доп}} \times P, \quad (4.3)$$

где P - цена реализации золота.

$$\Delta R = 3031,5 \text{ г} \times 12,2 \text{ тыс. руб./г} = 36984,3 \text{ тыс. руб.}$$

Прирост массы тонкой фракции концентрата для модернизированного ПБШ-100 и ПБШ-100 в базовой версии можно определить по формуле (4.4):

$$\Delta m_{\text{конц}} = m_{\text{ПБШ-100М}} - m_{\text{ПБШ-100}}, \quad (4.4)$$

где $m_{\text{ПБШ-100М}}$ - масса тонкой фракции концентрата, полученная на приборе ПБШ-100 с регулировкой Ж:Т, г/сут;

$m_{\text{ПБШ-100}}$ - масса тонкой фракции концентрата, полученная на приборе ПБШ-100, г/сут.

$$\Delta m_{\text{конц}} = 48,05 \text{ г/сут.} - 36,71 \text{ г/сут.} = 11,34 \text{ г/сут}$$

Сезонный прирост добычи можно определить по формуле (4.2):

$$Q_{\text{доп}} = 11,34 \text{ г/сут} \times 150 \text{ сут} = 1701 \text{ г}$$

После замены промывочного прибора и введения регулировки Ж:Т дополнительную выручку можно определить по формуле (4.3):

$$\Delta R = 1701 \times 12,2 = 20752,2 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, даже без учёта прочих эксплуатационных преимуществ ПБШ-100 модернизированного, одна лишь регулировка Ж:Т увеличивает долю мелкого и тонкого золота в шлихе относительно сравниваемых вариантов оборудования на 93 % по сравнению с ПГШ-II-50 и на 35 % по сравнению с ПБШ-100 без модернизации. При плановом объёме добычи 35 кг золота регулировка соотношения Ж:Т обеспечивает дополнительное извлечение около 3,03 кг золота для ПГШ-II-50 и 1,7 кг для ПБШ-100 в базовом варианте, что соответствует приросту добычи и, соответственно, дохода на 8,7 % и 4,9 %.

Проведённый анализ и расчеты показали, что основным источником потерь драгоценного металла на установках ПГШ-II-50 является нестабильность гидродинамического режима шлюзов, обусловленная конструктивными особенностями прибора, а также периодической неравномерностью подачи песков. Фиксированные значения уклона шлюзов, расхода воды и крупности питания ограничивают возможности оперативной настройки процесса регулировки Ж:Т.

Переход на ПБШ-100 позволяет в значительной степени устранить указанные ограничения за счёт возможности регулирования основных технологических параметров процесса, включая уклон, расход воды, крупность питания, нагрузку по твёрдому и Ж:Т на шлюзах между циклами подачи и во время подачи песков. Это создаёт условия для поддержания рационального соотношения жидкой и твёрдой фаз пульпы даже при изменении производительности промывочного прибора.

Дополнительную стабилизацию технологического режима обеспечивает разработанная и внедрённая автором система автоматического управления подачей воды в промывочный прибор ПБШ-100, синхронизирующая расход технологической воды с фактическим объёмом подаваемых песков. При снижении подачи золотосодержащих песков, система уменьшает расход воды, что позволяет удерживать отношение Ж:Т в расчётных пределах и снижать вероятность сноса частиц золота в эфельные отвалы.

Совокупность указанных технических решений подтверждает технологическую и экономическую целесообразность модернизации промывочного оборудования. Применение ПБШ-100 с возможностью

регулирования отношения Ж:Т обеспечивает более полное извлечение золота различных классов крупности, способствует снижению энергетических и эксплуатационных затрат, повышает экологическую эффективность процесса и создаёт надёжную экспериментальную базу для дальнейших исследований, направленных на оптимизацию режимов работы промывочных приборов.

4.3 Выводы по главе 4

1. Установлено, что конструктивные особенности ПГШ-II-50, применяемых на горнодобывающем участке, ограничивают эффективность извлечения тонкого золота.

2. По результатам ситового анализа показано, что в песках месторождения руч. Сыран основная доля золота сосредоточена в классе -1,0 мм (70-75 %), при этом доля классов менее 0,5 мм составляет 33-36 %, что обосновывает необходимость целенаправленного управления гидродинамическими параметрами именно для повышения извлечения тонких фракций.

3. Доказано, что регулирование соотношения Ж:Т на ПБШ-100 в сочетании с регулировкой объема расхода воды в автоматическом режиме стабилизирует гидродинамический режим на ШМН и приводит к существенному росту извлечения мелкого и тонкого золота. Для ПБШ-100 с регулировкой Ж:Т сумма мелких фракций составила 48,1 г (20,2 %) против 27,8 г (10,4 %) на ПГШ-II-50 и 36,7 г (14,9 %) на ПБШ-100 без регулировки. Абсолютный прирост извлечения золота составил 20,2 г и 11,3 г, относительный - 93 % и 35 % соответственно.

4. Выполненная экономическая оценка показала, что внедрение ПБШ-100 с регулировкой Ж:Т обеспечивает существенный прирост сезонной добычи золота и как следствие этого увеличение выручки: при длительности сезона 150 суток дополнительный прирост по сравнению с ПГШ-II-50 составляет около 3030 г и 36984,3 тыс. руб., а по сравнению с ПБШ-100 без регулировки - 1701 г и 20752,2 тыс. руб. Регулировка подачи песков и соотношения Ж:Т позволяет

повысить извлечение золота, а значит, является одним из наиболее простых способов увеличения эффективности промывки.

5. Результаты главы подтверждают, что управление процессами подачи песков на шлюза и распределения пульпы (а не только замена оборудования) является эффективным способом повышения извлечения золота в конкретных горно-геологических условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена научно-техническая задача обоснования параметров и режимов работы шлюзовых промывочных комплексов при неравномерной подаче золотосодержащих песков и разработки критериев выбора оборудования для освоения природных и техногенных россыпей со сложными горно-технологическими условиями.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Разработан подход к оценке эффективности работы драг и промывочных приборов шлюзового типа, основанный на учёте ключевых технологических параметров.

2. Установлено, что большое влияние на эффективность извлечения на шлюзах оказывают удельная нагрузка по твёрдому, соотношение Ж:Т, равномерность распределения пульпы по шлюзам, гранулометрический состав золота, глинистость песков и содержание сопутствующих тяжёлых минералов. Предложенный подход позволяет оценивать работу оборудования не только по валовой производительности, но и по устойчивости гидродинамического режима и условиям, благоприятным для извлечения мелких и тонких классов металла.

3. Доказано, что регулирование распределения потока позволяет существенно сократить диапазон колебаний Ж:Т и обеспечить более равномерную загрузку шлюзов. Проведённая оценка эффективности регулирования колебаний соотношения твёрдой и жидкой фаз в процессе подачи песков на прибор и их распределения по шлюзам показала, что неравномерность Ж:Т является одной из основных причин нарушения гидродинамического режима, ухудшения формирования постели и роста потерь золота. На примере действующих объектов установлено, что при отсутствии регулирования разброс значений Ж:Т по шлюзам достигает значительных величин, а подача воды нередко оказывается избыточной по отношению к фактической загрузке по твёрдому.

4. В результате технико-экономического расчета установлено, что применение ПБШ-100 с регулированием Ж:Т и управлением расходом технологической воды даёт прирост сезонной добычи золота и обеспечивает значительный экономический эффект, что подтверждает практическую целесообразность разработанного решения.

5. Разработаны критерии выбора технологического оборудования для отработки месторождений со сложными горно-геологическими параметрами. Для количественной оценки условий переработки предложена система коэффициентов, включающая показатели геолого-технологической сложности месторождения, глинистости песков, содержания мелких и тонких классов золота, влияния сопутствующих тяжёлых минералов и интегральный показатель технологической сложности переработки. Установлено, что по мере усложнения условий отработки возрастает необходимость применения более совершенных промывочных комплексов, способных обеспечивать эффективную дезинтеграцию, регулируемый расход воды и стабилизацию параметров пульпы, подаваемой на шлюза.

6. Результаты исследования подтверждают, что повышение эффективности переработки песков россыпных месторождений золота достигается не только выбором более совершенного промывочного оборудования, но и организацией управляемого режима подачи песков, распределения пульпы и регулирования соотношения Ж:Т. Это позволяет рассматривать предложенную систему управления как эффективный инструмент снижения технологических потерь и повышения технико-экономических показателей эксплуатации россыпных месторождений золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвинцев, В. С. Научно-технологические проблемы освоения россыпных месторождений в Дальневосточном регионе России [Электронный ресурс] / В. С. Литвинцев // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - № 12. - С. 266-273. - Режим доступа: https://giab-online.ru/files/Data/2007/12/34_Litvintsev16.pdf (дата обращения: 08.04.2026).
2. Анализ состояния золотодобычи из россыпей юга Дальнего Востока по результатам экспертизы нормативов потерь полезных ископаемых / И. Ю. Рассказов, Г. П. Пономарчук, В. С. Литвинцев, В. А. Кравцов // Недропользование - XXI век. - 2009. - № 3. - С. 66-70.
3. Якубчук, А. Российской золотодобыче 30 лет [Электронный ресурс] / А. Якубчук // ПРАЙМ ЗОЛОТО. - 2021. - 24 апр. - Режим доступа: <https://gold.1prime.ru/20210424/406870.html> (дата обращения: 08.04.2026).
4. Jämsä-Jounela, S.-L. Automation and Robotics in Mining and Mineral Processing / S.-L. Jämsä-Jounela, G. Baiden // Springer Handbook of Automation / ed. by S. Y. Nof. - 2nd ed. - Cham : Springer, 2023. - P. 909-921. - DOI: 10.1007/978-3-030-96729-1_41.
5. Sheaffer, K. N. Gold [Электронный ресурс] / K. N. Sheaffer // Mineral Commodity Summaries 2026 / U.S. Geological Survey. - Reston, VA : U.S. Geological Survey, 2026. - P. 90-91. - DOI: 10.3133/mcs2026. - Режим доступа: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2026/mcs2026-gold.pdf> (дата обращения: 22.05.2026).
6. Gold [Электронный ресурс] // Indonesia Investments : сайт. - Режим доступа: <https://www.indonesia-investments.com/business/commodities/gold/item167> (дата обращения: 22.05.2026).
7. Мамаев, Ю. А. Проблемы добычи золота из россыпей Дальнего Востока на современном этапе / Ю. А. Мамаев // Материалы научно-практического семинара. - Хабаровск, 1997. - С. 15-22.

8. Туровский, Р. Бюллетень EastRussia: отраслевой аналитический обзор горнодобычи ДФО - весна 2025 [Электронный ресурс] / Р. Туровский, Е. Шамсутдинова // EastRussia. - 2025. - 28 марта. - Режим доступа: <https://www.eastrussia.ru/material/byulleten-eastrussia-otraslevoy-analiticheskiy-obzor-gornodobychi-dfo-vesna-2025/> (дата обращения: 16.04.2026).
9. В Хабаровске проходит I Всероссийский форум «Россыпное золото России: пути развития, регулирование, технологии» [Электронный ресурс] // Федеральное агентство по недропользованию. - 2025. - 19 авг. - Режим доступа: <https://rosnedra.gov.ru/press/news/v-khabarovske-prokhorit-i-vserossiyskiy-forum-rossypnoe-zoloto-rossii-puti-razvitiya-regulirovanie-t/> (дата обращения: 24.04.2026).
10. Куликов, В. И. Опыт внедрения современных технологий обогащения золотосодержащих песков на предприятиях Иркутской области / В. И. Куликов, Б. А. Байбородин, К. Л. Ястребов // Вестник ИрГТУ. - 2003. - № 2. - С. 63-67.
11. Мирзеханов, Г. С. Ресурсный потенциал техногенных образований отработанных россыпей / Г. С. Мирзеханов, З. Г. Мирзеханова // Горный журнал. - 2005. - № 1. - С. 37-43.
12. Таракановский, В. И. Россыпная золотодобыча в России: состояние, проблемы и решения [Электронный ресурс] / В. И. Таракановский // zolotodb.ru. - 2021. - 21 июля. - Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/12605/?page=all> (дата обращения: 15.05.2025).
13. Ван-Ван-Е, А. П. Ресурсная база природно-техногенных золотороссыпных месторождений / А. П. Ван-Ван-Е. - М. : Горная книга, 2010. - 268 с.
14. Рассказов, И. Ю. Ресурсная база техногенных россыпных месторождений и основные направления их освоения / И. Ю. Рассказов, В. С. Литвинцев, Ю. А. Мамаев // Золотодобывающая пром-сть. - 2011. - № 1. - С. 14-20.
15. Литвинцев, В. С. О ресурсном потенциале техногенных золотороссыпных месторождений / В. С. Литвинцев // ФТПРПИ. - 2013. - № 1. - С. 118-126.

16. Мирзеханов, Г. С. Ресурсный потенциал техногенных образований россыпных месторождений золота / Г. С. Мирзеханов, З. Г. Мирзеханова. - М. : МАКС Пресс, 2013. - 288 с.
17. Беневольский, Б. И. О потенциале техногенных россыпей золота Российской Федерации / Б. И. Беневольский, Т. П. Шевцов // Минеральные ресурсы. - 2000. - № 1. - С. 14-18.
18. Емельянов, В. И. Основные направления развития россыпной золотодобычи в Российской Федерации / В. И. Емельянов, В. В. Гудовичев // Открытые горные работы. - 2000. - № 2. - С. 28-31.
19. Мамаев, Ю. А. Рациональное освоение техногенных россыпей золота в Дальневосточном регионе / Ю. А. Мамаев // Открытые горные работы. - 2000. - № 1. - С. 38-43.
20. Levchenko, E. N. Typomorphic and process-related features of associated gold in complex placer deposits / E. N. Levchenko, A. V. Grigoreva // Obogashchenie Rud. - 2021. - Iss. 3. - P. 24-32. - DOI: 10.17580/or.2021.03.05.
21. Remote sensing of the Earth as a part of research of assessing the volume of technogenic raw and the environmental situation during the exploitation of placers / V. S. Litvintsev, V. I. Usikov, Yu. A. Ozaryan, V. S. Alekseev // Georesursy. - 2021. - Vol. 23, Iss. 4. - P. 116-123. - DOI: 10.18599/GRS.2021.4.13.
22. Organizational mechanism and technology development of placer gold mining waste / S. I. Evdokimov, T. E. Gerasimenko, Y. V. Dmitrak, K. K. Baymatov // Sustainable Development of Mountain Territories. - 2020. - Vol. 12, Iss. 1. - P. 116-127. - DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-1-116-127.
23. Мурзин, Н. В. Анализ структуры техногенных россыпей и оценка опыта их разработки / Н. В. Мурзин, Б. Л. Тальгамер // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. - 2023. - Т. 334, № 2. - С. 147-153. - DOI: 10.18799/24131830/2023/2/3829. - EDN: CMPFZG.
24. Производство золота в России [Электронный ресурс] // Золотодобыча. - 2015. - 20 июля. - Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/10922/?page=all> (дата обращения: 16.04.2026).

25. Луняшин, П. Д. Финансовая отдача от россыпной золотодобычи в России: налоговая эффективность в цифрах [Электронный ресурс] / П. Д. Луняшин // Золотодобыча. - 2025. - 27 мая. - Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/13365> (дата обращения: 14.09.2026).

26. Таракановский, В. И. Россыпная золотодобыча в России: основные проблемы и пути решения [Электронный ресурс] / В. И. Таракановский, Н. М. Юдаков, П. Д. Луняшин // zolotodb.ru. - 2025. - Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/13397> (дата обращения: 16.04.2026).

27. Луняшин, П. Д. Нужна ли России россыпная золотодобыча? / П. Д. Луняшин // Золото и технологии. - 2023. - № 3 (37). - С. 6-9.

28. Рассказов, И. Ю. Горнодобывающая промышленность Хабаровского края: векторы перспективного развития / И. Ю. Рассказов, А. Г. Леонтьев, Ю. А. Архипова // Горный журнал. - 2025. - № 7. - С. 43-50. - DOI: 10.17580/gzh.2025.07.06.

29. Леонтьев, А. Г. К новым рекордам [Электронный ресурс] / А. Г. Леонтьев // Деловой курс. - 2025. - № 1. - С. 5-9. - Режим доступа: <https://www.khfr.ru/assets/files/banners/delovoj-kurs-01-25.pdf> (дата обращения: 02.06.2025).

30. 28,1 тонны золота - результат Хабаровского края в 2024 году [Электронный ресурс] // NEDRADV (Недра ДВ). Новости добычи. - 2025. - 22 янв. - Режим доступа: https://nedradv.ru/nedradv/ru/page_news?obj=5cb21d81ca0b4736ce49b687ba0b077f (дата обращения: 16.04.2026).

31. Добыча золота в Хабаровском крае [Электронный ресурс] // Золотодобыча. - 2025. - 20 янв. - Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/11272/?page=all> (дата обращения: 22.05.2026).

32. Литвинцев, В. С. Особенности технологического развития золотодобычи на Дальнем Востоке России : отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) / В. С. Литвинцев, Т. Н. Александрова, С. И. Корнеева. - М. : Горная книга, 2012. - 12 с.

33. Алексеев, В. С. Исследование эффективности работы промывочных приборов при отработке россыпных месторождений благородных металлов / В. С. Алексеев, Р. С. Серый, Т. С. Банщикова // Горный журнал. - 2024. - № 6. - С. 82-87. - DOI: 10.17580/gzh.2024.06.13. - EDN: WSNWNF.

34. Флеров, И. Б. Техногенные россыпи - неоцененный ресурс золота России / И. Б. Флеров // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. - 2004. - № 4. - С. 41-44.

35. Россыпная золотодобыча: проблемы и способы их решения [Электронный ресурс] // NEDRADV (Недра ДВ). Обзор отрасли. - 2025. - 31 окт. - Режим доступа: https://nedradv.ru/nedradv/ru/page_industry?obj=413a2429518d72b7365bc1004b6840ae (дата обращения: 16.04.2026).

36. Мирзеханов, Г. С. Организационно-управленческие проблемы эффективного развития россыпной золотодобычи: тенденции и варианты решения / Г. С. Мирзеханов, З. Г. Мирзеханова // Маркшейдерия и недропользование. - 2025. - Т. 25, № 2. - С. 53-59. - DOI: 10.56195/20793332-2025-25-2-53-59. - EDN: EPFGYL.

37. Соляников, В. А. Разработка и внедрение мобильных шлихообогатительных установок при отработке техногенных россыпных месторождений золота Магаданской области / В. А. Соляников, Р. С. Серый // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. - 2025. - № 1. - С. 625-639. - EDN: TRIQJU.

38. Приходько, Т. С. Разработка инструментов контроля экономической безопасности для золотодобывающих предприятий / Т. С. Приходько // Вестник науки. - 2025. - Т. 3, № 6 (87). - С. 316-325.

39. Шорохов, С. М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений / С. М. Шорохов. - 2-е изд., доп. и перераб. - М. : Недра, 1973. - 765 с., 1 л. схем.

40. Агошков, М. И. Разработка рудных и россыпных месторождений : учебник / М. И. Агошков, С. С. Борисов, В. А. Боярский. - М. : Гос. науч.-техн. изд-во лит-ры по горному делу, 1962. - 680 с.

41. Сулин, Г. А. Техника и технология разработки россыпей открытым способом / Г. А. Сулин. - М. : Недра, 1974. - 232 с.
42. Шашурин, С. Л. Разработка россыпей открытым способом / С. Л. Шашурин. - М. : Гос. науч.-техн. изд-во лит-ры по горному делу, 1959. - 208 с.
43. Лешков, В. Г. Разработка россыпных месторождений : учебник для техникумов / В. Г. Лешков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Недра, 1985. - 568 с.
44. Орлов, Е. И. Справочник по разработке россыпей. Вып. 3 : Гидравлический способ разработки россыпей / Е. И. Орлов ; ред. В. П. Березин. - Магадан : [б. и.], 1959. - 172 с.
45. Хныкин, В. Ф. Гидравлическая разработка россыпных месторождений : учеб. пособие / В. Ф. Хныкин. - М. : Изд-во МГРИ, 1988. - 90 с.
46. Лешков, В. Г. Справочник дражника / В. Г. Лешков. - М. : Недра, 1968. - 496 с.
47. Ершов, В. А. Целенаправленное преобразование россыпных месторождений при дражной разработке / В. А. Ершов // Горная промышленность. - 2010. - № 5. - С. 70-72.
48. Johnson, K. Gold Dredging in the Klondike and Number 4 / K. Johnson, A. Mackenzie // Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering. - Edmonton, 2012. - Vol. 1. - P. 211-220.
49. Пономарчук, Г. П. Повторная разработка крупномасштабных россыпей на основе реструктуризации отвального комплекса 250-литровых драг / Г. П. Пономарчук, Р. С. Серый, П. П. Сас // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - № S16. - С. 196-203. - EDN: MUONAL.
50. Гущенко, В. В. Выбор энергоэффективного оборудования для грохочения в установках переработки песков [Электронный ресурс] / В. В. Гущенко // Золотодобыча. - 2015. - № 205 (декабрь). - Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/11443/?page=all> (дата обращения: 22.05.2026).
51. Серый, Р. С. Анализ энергоемкости и эксплуатационных расходов при промывке песков россыпных месторождений золота различными типами

промприборов / Р. С. Серый, В. С. Алексеев // Недра Сибири - 2019 : материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Иркутск, 2020. - С. 82-95.

52. Замятин, О. В. Извлечение мелкого золота на гидроэлеваторных и землесосных промприборах [Электронный ресурс] / О. В. Замятин, В. М. Маньков ; Иргиредмет // Золотодобыча. - 2000. - № 21, авг. - Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/11088> (дата обращения: 22.05.2026).

53. Серый, Р. С. Опыт применения полиуретановых дражных ковриков и сит при отработке россыпных месторождений золота [Электронный ресурс] / Р. С. Серый // Золотодобыча. - 2015. - 2 нояб. - Режим доступа: <https://zolotodb.ru/article/11349> (дата обращения: 22.05.2026).

54. Никулин, В. В. Экспериментальные исследования влияния скорости вращения барабанного грохота на эффективность грохочения горной массы : научный труд / В. В. Никулин, В. А. Светловский ; Свердловский горный ин-т ; руководитель В. А. Мещеряков. - Свердловск, 1973. - 109 с.

55. Краснов, Г. Д. Интенсификация разделения минералов в тяжелых суспензиях / Г. Д. Краснов, В. Б. Струхов. - М. : Недра, 1980. - 168 с.

56. Васюта, А. Д. Анализ работы шлюзовых промывочных приборов и оценка их энергоемкости / А. Д. Васюта, К. А. Журавлев // Проблемы недропользования. - 2023. - № 2 (37). - С. 32-39. - DOI: 10.25635/2313-1586.2023.02.032.

57. Богданов, Е. И. Оборудование для транспорта и промывки песков россыпей / Е. И. Богданов. - М. : Недра, 1978. - 240 с.

58. Van Loon, S. Yukon Placer Mining Industry Report 2010-2014 / S. Van Loon, J. D. Bond. - Whitehorse : Yukon Geological Survey, 2014. - 230 p.

59. Обогащение золотосодержащих песков и конгломератов / О. В. Замятин, А. Г. Лопатин, Н. П. Санникова, А. Д. Чугунов. - М. : Недра, 1975. - 264 с.

60. Alabi, O. O. Investigating the Potentials of Sluice Box Angle of Tilt on the Beneficiation of Birnin-Gwari Gold Deposit / O. O. Alabi, Y. E. Gbadamosi // FUOYE Journal of Engineering and Technology. - 2021. - Vol. 6, No. 2. - P. 88-91. - DOI: 10.46792/fuoyejet.v6i2.620.

61. Кизевальтер, Б. В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения / Б. В. Кизевальтер. - М. : Недра, 1979. - 295 с.
62. Шохин, В. Н. Гравитационные методы обогащения / В. Н. Шохин, А. Г. Лопатин. - М. : Недра, 1980. - 245 с.
63. Таганов, В. В. Исследование закономерностей распределения полезных компонентов на шлюзовых приборах при отработке россыпных месторождений [Электронный ресурс] / В. В. Таганов, А. Н. Семенов // Проблемы недропользования. - 2019. - № 2 (21). - С. 138-142. - DOI: 10.25635/2313-1586.2019.02.138. - Режим доступа: <https://trud.igduran.ru/index.php/psu/article/view/427> (дата обращения: 14.09.2026).
64. Optimization of Sluice Box for Small-Scale Mining Using Computational Fluid Dynamics (CFD) [Электронный ресурс] / E. Yin, E. Taylor, E. Quaicoe, E. K. Asiedu // Ghana Mining Journal. - 2024. - Vol. 24, No. 1. - P. 178-187. - Режим доступа: <https://journals.umat.edu.gh/index.php/gmj/article/download/700/186> (дата обращения: 14.09.2026).
65. Styles, M. T. Good Practice in the Design and Use of Large Sluice Boxes [Электронный ресурс] / M. T. Styles, J. Simpson, E. J. Steadman. - Keyworth : British Geological Survey, 2002. - 25 p. - (Commissioned Report CR/02/029N). - Режим доступа: <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/538088/> (дата обращения: 14.09.2026).
66. Ковалёв, А. А. Интенсификация процессов гравитационного обогащения золотосодержащих россыпей / А. А. Ковалёв. - Владивосток : ДВО АН СССР, 1991. - 200 с.
67. Мацуев, Л. П. Некоторые итоги исследований обогащения золотосодержащих песков на шлюзовых обогатительных установках / Л. П. Мацуев // Труды ВНИИ-1. - Магадан, 1967. - Т. 26. - С. 365-409.
68. Чугунов, А. Д. Повышение эффективности шлюзового процесса и механизации съемки концентрата / А. Д. Чугунов // Бюллетень технической информации. - 1961. - № 21. - С. 23-28.
69. Обоснование способа получения концентрата тяжелых минералов из песков россыпных месторождений золота / В. С. Алексеев, А. Г. Секисов, В. В.

Таганов, Т. Г. Конарева, К. А. Журавлев // Горная промышленность. - 2025. - № 4S. - С. 4-7. - DOI: 10.30686/1609-9192-2025-4S-04-07.

70. Барабанов, В. Д. Обезвоживающие элеваторы дражного типа / В. Д. Барабанов, Э. А. Кизлер // Цветная металлургия. - 1968. - № 4. - С. 34-36.

71. Чугунов, А. Д. Результаты испытаний и внедрение саморазгружающихся шлюзов / А. Д. Чугунов, А. П. Бондаренко // Цветная металлургия. - 1966. - № 18. - С. 19-23.

72. Ambrós, W. M. Jigging: A Review of Fundamentals and Future Directions / W. M. Ambrós // Minerals. - 2020. - Vol. 10, No. 11. - Article 998. - DOI: 10.3390/min10110998.

73. Veiga, M. M. Gravity Concentration in Artisanal Gold Mining / M. M. Veiga, A. J. Gunson // Minerals. - 2020. - Vol. 10, No. 11. - Article 1026. - DOI: 10.3390/min10111026.

74. Bouffard, S. C. Benefits of process control systems in mineral processing grinding circuits / S. C. Bouffard // Minerals Engineering. - 2015. - Vol. 79. - P. 139-142. - DOI: 10.1016/j.mineng.2015.06.006.

75. Соломин, К. В. Обогащение песков россыпных месторождений полезных ископаемых / К. В. Соломин. - М. : Госгортехиздат, 1961. - 399 с.

76. Разработка новых, усовершенствование существующих обогатительных процессов и аппаратов / О. В. Замятин [и др.] // Труды Иргиредмета. - М. : Недра, 1971. - Вып. 23. - С. 184-202.

77. Замятин, О. В. К вопросу применения отсадочных машин на драгах / О. В. Замятин, К. В. Соломин // Колыма. - 1965. - С. 23-25.

78. Аникин, М. Ф. Винтовые сепараторы для обогащения руд / М. Ф. Аникин, В. Д. Иванов, М. Л. Певзнер. - М. : Недра, 1970. - 293 с.

79. Журавлев, К. А. Анализ факторов, влияющих на потери драгоценных металлов при разработке россыпных месторождений / К. А. Журавлев, А. Д. Васюта // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2023. - № 12-2. - С. 53-63. - DOI: 10.25018/0236_1493_2023_122_0_53.

80. Алексеев, В. С. Новый стратегический подход к освоению техногенных и малых россыпных месторождений золота / В. С. Алексеев, Р. С. Серый, В. В. Таганов // Актуальные проблемы освоения георесурсов : материалы I Всероссийской научной конференции молодых ученых и аспирантов, Хабаровск, 18-19 мая 2022 г. - Хабаровск : Институт горного дела ДВО РАН, 2022. - С. 4-10.

81. Litvintsev, V. S. Current state and main directions of innovative development of placer gold mining in Far East Federal District / V. S. Litvintsev, P. P. Sas // E3S Web of Conferences. - 2018. - Vol. 56. - Article 04004. - DOI: 10.1051/e3sconf/20185604004.

82. Бойко, А. В. Минерально-сырьевой потенциал российского Дальнего Востока, динамика и перспективы его освоения / А. В. Бойко, А. Н. Прилуков // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2007. - № S9. - С. 143-154.

83. Минерально-сырьевой потенциал Дальневосточного федерального округа / А. А. Данилов, В. Е. Кузнецов, И. С. Неменман, А. Н. Прилуков // Горный журнал. - 2006. - № 3. - С. 2-7.

84. Чемезов, В. В. Техногенные россыпи (образование, оценка и эксплуатация) : монография / В. В. Чемезов, Б. Л. Тальгамер. - Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2013. - 239 с.

85. Истратова, К. Российские золотые запасы: мифы и реальность / К. Истратова // Добывающая промышленность. - 2019. - № 4 (16). - С. 158-164.

86. Чебан, А. Ю. Повышение эффективности разработки россыпей, содержащих большое количество мелкого золота / А. Ю. Чебан // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. - 2024. - № 3. - С. 388-397.

87. Ermakov, S. A. Complex-structure gold placer mining in Yakutia / S. A. Ermakov, A. M. Burakov // Journal of Mining Science. - 2013. - Vol. 49, No. 2. - P. 273-278. - DOI: 10.1134/S1062739149020093.

88. Чебан, А. Ю. Анализ парка горных машин горнодобывающих предприятий Амурской области / А. Ю. Чебан, И. Ю. Рассказов, В. С. Литвинцев // Маркшейдерия и недропользование. - 2012. - № 2. - С. 41-50.

89. Бянкин, М. А. Повышение эффективности разработки глубокозалегающих россыпей с «тонким» золотом / М. А. Бянкин // Недропользование XXI век. - 2023. - № 1-2. - С. 96-99.
90. Мирзеханова, З. Г. Техногенные образования россыпных месторождений золота: ресурсно-экологические аспекты отработки : монография / З. Г. Мирзеханова, Г. С. Мирзеханов, И. Д. Дебеляя. - Хабаровск : ДВО РАН, 2014. - 297 с.
91. Семенов, А. Н. Исследование процессов дезинтеграции труднопромывистых песков россыпных месторождений золота / А. Н. Семенов, Р. С. Серый // Известия вузов. Горный журнал. - 2019. - № 8. - С. 88-96. - DOI: 10.21440/0536-1028-2019-8-88-96.
92. Хрунина, Н. П. Совершенствование комплекса средств для переработки высокоглинистых золотоносных песков россыпей / Н. П. Хрунина // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. - 2021. - Т. 19, № 2. - С. 14-22. - DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-2-14-22.
93. Хрунина, Н. П. Обоснование гидродинамической дезинтеграции минеральной составляющей гидросмеси высокоглинистых песков россыпей благородных металлов / Н. П. Хрунина, А. Ю. Чебан // Георесурсы. - 2018. - Т. 20, № 1. - С. 51-56. - DOI: 10.18599/grs.2018.1.51-56.
94. Мирзеханов, Г. С. Гранулометрия и морфология золота техногенных россыпей юга Дальнего Востока / Г. С. Мирзеханов, Е. В. Курбатов // Тихоокеанская геология. - 2002. - Т. 21, № 6. - С. 99-104.
95. Серый, Р. С. О необходимости комплексного подхода к решению вопроса дезинтеграции труднопромывистых песков россыпей / Р. С. Серый, В. В. Нечаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2009. - № S4. - С. 268-274.
96. Мязин, В. П. Технология обогащения золотосодержащих песков [Электронный ресурс] : учебное пособие / В. П. Мязин, О. В. Литвинцева, Н. И. Закиева ; под ред. В. П. Мязина. - Чита : ЧитГУ, 2006. - 269 с. - ISBN 5-9293-0091-

7. - Режим доступа: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-tehnologiya-obogashcheniya-zolotosoderzhashchih-peskov.pdf> (дата обращения: 15.09.2026).

97. Мацуев, Л. П. Справочник по разработке россыпей. Вып. 6 / Л. П. Мацуев. - Магадан : Магаданское книжное издательство, 1961. - 230 с.

98. Невский, Б. В. Обогащение россыпей / Б. В. Невский. - М. : Металлургиздат, 1947. - 335 с.

99. Серый, Р. С. Анализ работы шлюзовых промывочных приборов при отработке россыпных месторождений золота Хабаровского края [Электронный ресурс] / Р. С. Серый // NEDRADV. - 2018. - 19 янв. - Режим доступа: https://nedradv.ru/nedradv/ru/page_industry?obj=d63bd630c3a0d64877dd8a1ea4abb4ca (дата обращения: 22.05.2026).

100. Инструкция по нормированию технологических потерь золота при промывке золотосодержащих песков на промывочных приборах / ВостНИИ золота и редких металлов ; сост. Н. П. Лавров, В. В. Милентьев, Ф. Ф. Умрихин. - Магадан : Кордис, 2004. - 19 с.

101. Егупов, П. Е. Классификация золотоносных песков по обогатимости / П. Е. Егупов // Колыма. - 1962. - № 6. - С. 38-41.

Приложение А



ИНН 2708000587 КПП 270801001 Расчетный счёт 40702810300000001213 в филиале «Центральный» Банка ВТБ (ПАО)
в г. Москве к/с 30101810145250000411 БИК 044525411 ОГРН 1022700858696 ОКПО 06897178 ОКВЭД 24.41

680031, г.Хабаровск, ул.Планерная, 69
Тел: (4212) 26-06-53, 26-06-59
Факс: (4212) 26-06-53
E-mail: gold@artelvostok.ru

АКТ
О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ
ЖУРАВЛЕВА КИРИЛЛА АРКАДЬЕВИЧА
НА РОССЫПНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ р. РАВНИННЫЙ, р. СЫРАН,
Артель старателей «ВОСТОК»

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы Журавлева Кирилла Аркадьевича, направленные на повышение эффективности работы промывочных приборов при разработке россыпных месторождений золота, реализованы и прошли производственную апробацию на промывочном приборе ПЫШ-100, разработанном сотрудниками ИГД ДВО РАН и внедренном на нашем предприятии.

Выполненные экспериментальные и натурные исследования на россыпных месторождениях золота показали, что применение предложенных диссертантом технических и технологических решений обеспечивает повышение производительности промывочного оборудования, снижение потерь золота и повышение уровня энергоэффективности технологического процесса. Указанные результаты достигнуты за счет внедрения системы эффективного регулирования режимов работы шлюзов и управления качеством подаваемых песков на перерабатывающий комплекс.

Председатель артели А.С. «ВОСТОК»




Н.М. Юдаков