



СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РОССЫПНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Прокопьев Е.С.

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, РФ

ООО НПК «Спирит», г. Иркутск, РФ

Новосибирск, 2025



ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ОТРАСЛИ РОССЫПНОЙ ЗОЛОДОДОБЫЧИ



В последнее время она переживает не лучшие времена. Налицо системный кризис. Подавляющая часть золотодобывающих предприятий (ЗДП) испытывают дефицит минерально-сырьевой базы, многие вынуждены идти в необжитые районы, в зону Арктики. В то же время, за многие десятилетия добычи золота из россыпей накопилось огромное количество отвалов, так называемых техногенных месторождений (ТМ) в которых, по оценкам специалистов, содержится около 12000 т золота. Техногенные месторождения являются серьезным резервом МСБ россыпного золота.



ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ОТРАСЛИ РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ



Основной метод обогащения песков был и остается –
шлюзовой.

Отсадка, если и применяется, то в качестве аппарата для
грохочения и сокращения шлюзовых концентратов.



ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ ОТРАСЛИ РОССЫПНОЙ ЗОЛОТОДОБЫЧИ

Россыпная золотодобывающая отрасль оказалась в очень сложной ситуации:

- Есть техногенные месторождения, из них можно добывать золото, но ТМ необходимо переоценить, поставить на баланс, золото как правило мелкое, а промышленного обогатительного высокопроизводительного оборудования, извлекающего мелкое золото, нет;
- Нет понимания того, как перерабатывать концентраты, получаемые с применением ВС, отсадки, ЦК и проч.;
- Прикладные институты, которые бы системно работали в этом направлении, или на грани закрытия или перепрофилированы;
- Практически полное отсутствие профильных специалистов-обогащителей на россыпных предприятиях, поэтому имеет место практика «беру как у соседа» – он поставил промприбор с грохотом ГИТ, и мне надо, отсюда неправильное применение вполне работоспособного оборудования, низкие показатели его работы на конкретном сырье и, как следствие, утилизация оборудования и возврат к шлюзам.



Требования к эффективным технологиям переработки минерального сырья



Высокая производительность

Высокий уровень извлечения

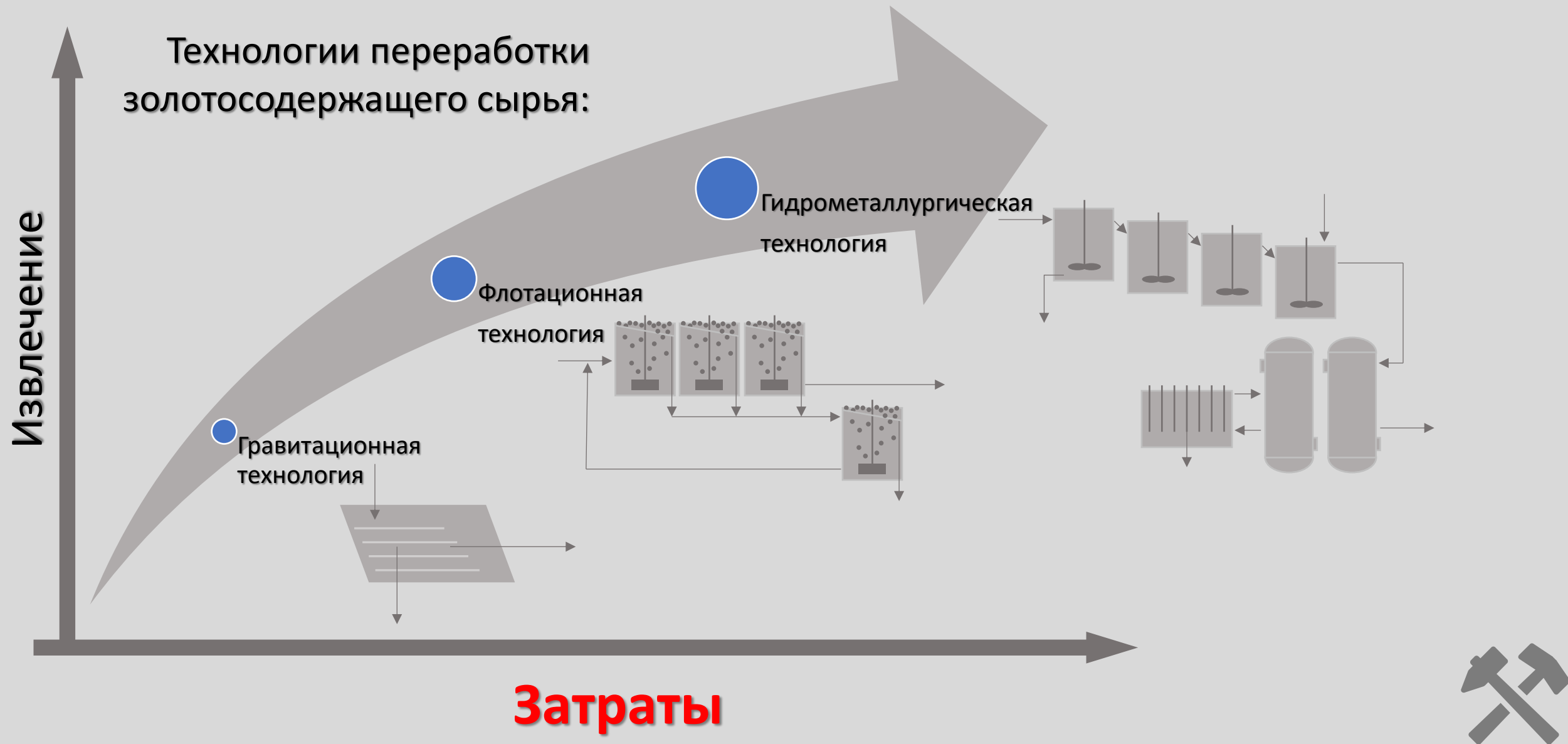
Минимальные капитальные затраты

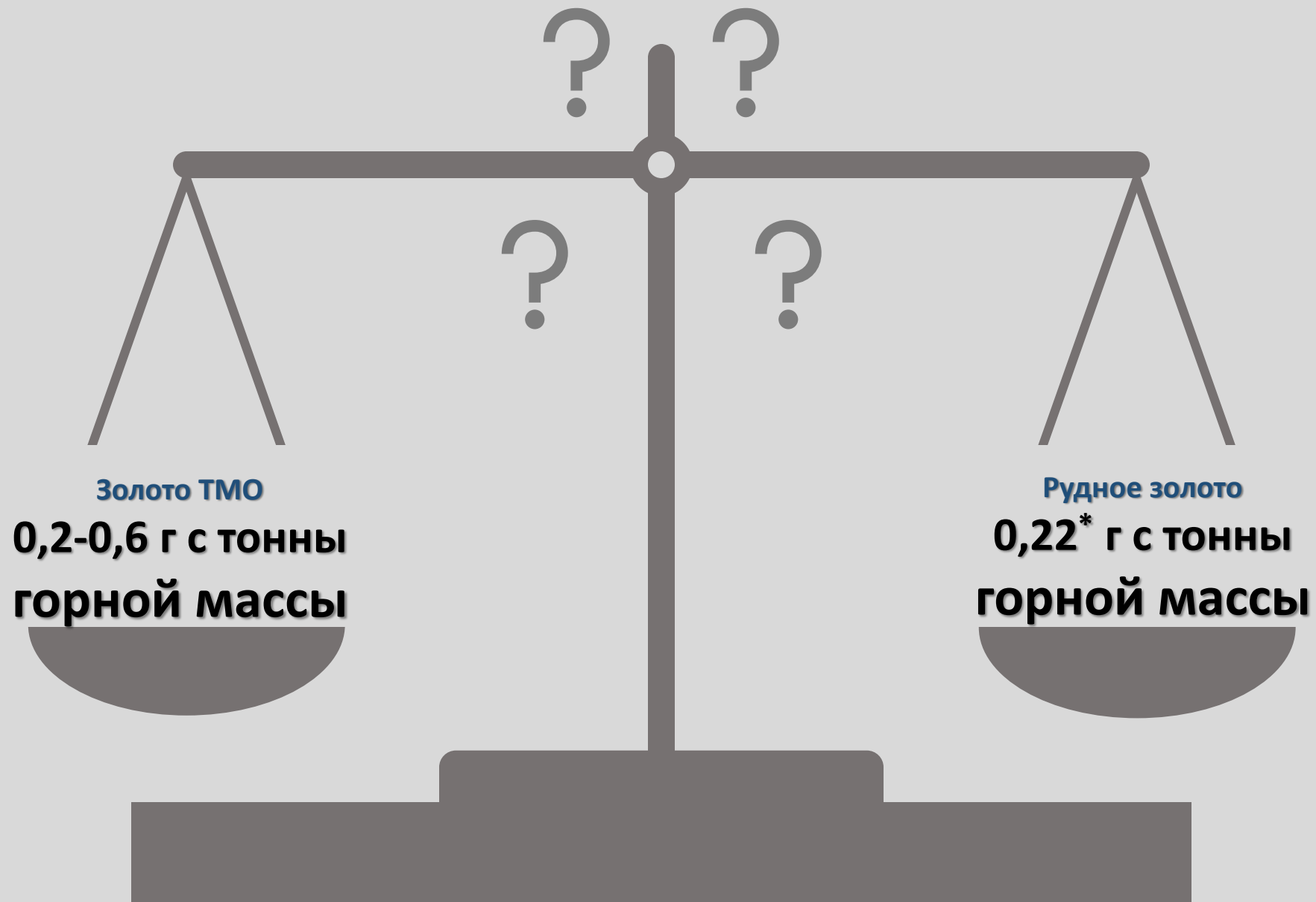
Минимальные эксплуатационные затраты

Механическая простота и надежность

Минимальное энергопотребление







* Среднее по данным производственных результатов ПАО «Полюс» и АО «Полиметалл» за 2020 г.



ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕЛКОГО ЗОЛОТА

1. Отсадочная технология



По данным производителей, использование отсадочных обогатительных комплексов позволяет:

- снизить, по сравнению со шлюзовыми промывочными приборами, потребление воды в 2–3 раза,
- сократить потери полезного компонента на 10–30%,
- исключить простои на сполоск, т.к. обеспечивается непрерывный вывод концентрата в накопительную емкость или на концентрационный стол предварительной концентрации.

Однако, оборудование комплексов достаточно металлоемкое и громоздкое, что не всегда позволяет выполнять быструю их передислокацию на новые участки. Сложность в обслуживании отсадочных машин на полигонах добычи.



ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕЛКОГО ЗОЛОТА

2. Центробежная технология



Особенностью комплексов с центробежными концентраторами являются:

- Возможность извлечения золота классов менее 0,071 мм и богатого золотосодержащего концентрата;
- Приемлемый уровень автоматизации процесса;
- Большое количество производителей и поставщиков ЦК, способных подобрать и внедрить концентратор под любую производительность по исходному сырью.

Есть ряд факторов, которые сдерживают массовое внедрение ЦК-технологии на россыпях, а именно:

- Необходимость серьезной водоподготовки, недопущения попадания твердых включений в подвод флюидизационной воды;
- Сложность настройки процесса в зависимости от изменения исходного сырья;
- Необходимость предварительного грохочения сырья по классу 2 или 1 мм;
- Неудовлетворительное извлечение золота при высоком содержании минералов тяжелой фракции в питании.



ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕЛКОГО ЗОЛОТА

3. Винтовая технология



Особенностью комплексов с винтовыми сепараторами являются:

- Возможность извлечения золота классов менее 0,04 мм и богатого золотосодержащего концентрата;
- Простая визуальная настройка процесса;
- Возможность извлечения в концентрат всего объема тяжелой фракции с золотом;
- Способность персонала любой квалификации к обслуживанию оборудования.

Факторы, которые сдерживают массовое внедрение ВС:

- Необходимость грохочения питания винтовых сепараторов по классу 2 мм;
- Невозможность быстрой передислокации комплексов по полигону;
- Малая часть предприятий обладают возможностью перерабатывать концентрат комплексов ВС методами гидрометаллургии на месте, а также неясности в процессе отправки концентратов на заводы цветной металлургии для выделения золота.



Достоинства винтовой сепарации

Эффективное извлечение тяжелых частиц >20 мкм

Высокая удельная производительность до $10 \text{ т/ч}\cdot\text{м}^2$

Высокая степень сокращения до 10 ед.

Отсутствие механических и электрических частей

Нет потребности в реагентах

Простота и визуализация процесса



ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕЛКОГО ЗОЛОТА

4. Шлихо-доводочные установки



Основные процессы, применяемые при доводке получаемых концентратов:

- Отсадка;
- Концентрация на столе;
- Сушка;
- Магнитная сепарация;
- Магнитожидкостная сепарация



АО «Прииск Соловьевский»

Эффективное извлечение золота на драгах за счет применения самосполаскивающихся шлюзов.

В ходе комплексного опробования драги и переработки текущих эфелей на обогатительной установке зафиксированы потери золота менее 3%.



Примеры успешной переработки ТМО





Отвалы кучного выщелачивания Мезек:

- технология – гравитация на ЦК;
- объем отходов – 1,5 млн.т/год;
- результат – 1,5 т золота в виде концентрата 250 г/т за 4-5 лет.

Переработка лежалых хвостов ЗИФ Высочайший:

- технология – гравитация на ВС;
- объем переработки – 21,5 тыс.т/мес.;
- результат – от 8 кг золота в месяц в виде к-та 250-500 г/т.



Доизвлечение из текущих хвостов ЗИФ рудника Ветренский:

- технология – гравитация на ЦК;
- объем переработки – 200 тыс.т/год;
- результат – от 15 кг золота в год в виде концентрата 100-150 г/т.





Гравитационная установка переработки
вольфрамсодержащих хвостов
обогащительной фабрики Бом-Горхон



Гравитационная установка переработки
оловосодержащих хвостов
обогащительной фабрики Хинганолово





Сезонная фабрика по переработке лежалых хвостов свинцово-цинковой ОФ на руднике Апрелевка (Таджикистан)



КНТП «ЧИСТЫЙ УГОЛЬ – ЗЕЛЁНЫЙ КУЗБАСС»

КОМПЛЕКСНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА ПОЛНОГО ИННОВАЦИОННОГО ЦИКЛА

«Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья, при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения»



**НОЦ
КУЗБАСС**

Научно-образовательный
центр «Кузбасс»



ИНИЦИАТОРЫ КНТП



ОТВЕТСТВЕННЫЙ ИСПОЛНИТЕЛЬ-КООРДИНАТОР

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



СОИСПОЛНИТЕЛЬ ПРОГРАММЫ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



СОИСПОЛНИТЕЛЬ ПРОГРАММЫ

ПРАВИТЕЛЬСТВО КУЗБАССА



Южный Кузбасс



Зольность хвостов флотации – 43,8%

Выход концентрата ОПУ – 15%

Зольность концентрата ОПУ – 9,3%





Сезонная фабрика по переработке лежалых хвостов углеобогащения ООО Разрез Черемховуголь (группа Эн+)



Переработка отвалов россыпей реки Хомолхо:

Отсадочный обогатительный комплекс смонтирован в 2012–2013 гг. на основе машины Труд-12М в виде фабричного цеха, действующего в Бодайбинском районе в единственном экземпляре. За семь промывочных сезонов (2013–2019) с помощью обогатительного комплекса переработано примерно 400 тыс. м³ техногенных отложений, представленных только галечно-эфельными и вскрышными отвалами. При этом из отвалов добыто около 40 кг х.ч. золота при среднем содержании 0,090–0,109 г/м³ (по ежесуточному мониторингу содержание в эфелях менялось от 0,050 до 0,350 г/м³).



Переработка хвостов рудника Джульетта:

- технология – гравитация на винтовых сепараторах и столах;
- объем переработки – 21,5 тыс.т/мес.;
- результат – от 25 кг золота в месяц в виде к-та 250-500 г/т.

СЕВЕРНЫЕ ПРИИСКИ



Месторождение Юрское

Геологические работы на техногенном месторождении с применением технологии ВС

В ходе работ 2021-2023 г на баланс по категории С1 поставлено не менее 0,5 т золота из ТМ



С. М. Татаринов [2], С. А. Прокопьев [1], М. Ю. Джангиров [1], И. В. Четвертаков [1]
[1] ООО НПК «Спирит», [2] ПАО «Селигдар»

ПРОВЕДЕНИЕ ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТ НА ТЕХНОГЕННОМ РОССЫПНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ЮРСКИЙ РС (Я)

Вопрос отработки техногенных россыпных месторождений стоит уже продолжительное время. По законодательству Российской Федерации отрабатывать техногенные россыпи можно только после проведения геолого-разведочных работ и постановки запасов ценных компонентов на государственный баланс.



С. М. Татаринов,
генеральный директор
ПАО «Селигдар»



С. А. Прокопьев,
генеральный директор
ООО НПК «Спирит»



М. Ю. Джангиров,
главный геолог
ООО НПК «Спирит»



И. В. Четвертаков,
ведущий геолог
ООО НПК «Спирит»

Месторождение россыпного золота Юрский расположено на площади Нерюнгинского района Республики Саха (Якутия), в пределах Верхне-Тимптонского золотоносного района. В настоящее время целиковые россыпи на месторождении практически полностью отработаны. В результате отработки месторождения скопилось более двух миллионов кубометров техногенных образований. ПАО «Селигдар», являясь законопослушным и добросовестным недропользователем, с целью проведения поисково-оценочных работ на техногенном месторождении Юрский заключило договор на геолого-разведочные работы с ООО НПК «Спирит», осуществляющим услуги по оценке техногенных месторождений и постановке запасов на государственный баланс.

Полевые работы, включающие картирование отвалов с отбором шлиховых проб, типизацию от-

валов, бороздовое и валовое опробование отвалов траншеями, были проведены в течение двух полевых сезонов 2021 и 2022 годов геологическим отделом ООО НПК «Спирит». После чего был выполнен подсчет запасов в техногенных отложениях по результатам опробования, в сентябре 2023 года запасы были утверждены территориальной комиссией по запасам полезных ископаемых управления по недропользованию по Республике Саха (Якутия). Продолжительность работ составила около 3 лет. Работы велись в соответствии с методикой разведки россыпей золота и платиноидов, выпущенной ЦНИГРИ в 1992 г. [Методика, 1992].

Площадь месторождения представляет собой скопление отвалных образований, отработанных полигонов, искусственных водоемов и отстойников-накопителей прежних лет, в различной степени рекультивированных (рис. 1). Золото в техногенных отвалах преобладает мелкое самородное класса -0,5+0,125 мм.

Геолого-разведочные работы осуществлялись в три этапа: поисковый, оценочный и камеральный. На поисковом этапе в полевой сезон 2021 г. проходились геолого-геоморфологические маршруты



Рис. 1. Отвалные образования Юрского месторождения

с отбором и лотковой промывкой шлиховых проб. Целью маршрутов являлись картирование отвалов, предварительная оценка их золотоносности и разбраковка по степени перспективности. На перспективных отвалах проходились линии расчисток вручную с опробованием бороздовыми пробами. Расчистками зачищались забои старых карьеров, стенки нагорных канав, крутые конечные откосы отвалов. Всего было отобрано и промыто 313 шлиховых проб, на 17 отвалах сделано 35 расчисток с отбором 346 бороздовых проб.

На оценочном этапе, в полевой сезон 2022 г., на наиболее перспективных отвалах проходились разведочные траншеи мехспособом с опробованием техногенных образований бороздовыми и валовыми пробами. В этот этап было отобрано и промыто 183 валовых пробы общим объемом свыше 100 тысяч кубических метров и порядка 1 800 бороздовых проб. Минералогический анализ проб проводился в лаборатории ООО НПК «Спирит» (рис. 2). По результатам этих работ на камеральном этапе был выполнен подсчет запасов россыпного золота в техногенном (ранее нарушенном) месторождении Юрский по кат С2 и прогнозных ресурсов по кат. Р1.

Всего в лицензионном контуре Юрского месторождения было изучено 72 техногенных отвала, среди которых выделены вскрышные, эфельные, галечные и смешанные.

Из всех отвалов основной промышленный интерес представляют эфельные отвалы шлюзовых промывочных приборов с одностадийной схемой обогащения (ПГШ), малоэффективных для улавливания мелких и тонких классов золота. Потери при промывке песков на подобных приборах достигали 20 % [Попов, 2004]. Они обусловлены техногенными потерями золота, связанными с некачественной дезинтеграцией песков на грохоте промприбора, несоблюдением режимов промывки и невозможностью шлюзовых приборов улавливать золото крупностью менее 0,125 мм. На технологические потери влиял и гранулометрический состав золота (табл. 1), конструктивные особенности промывочных приборов. Эфельные



Рис. 2. Минералогический анализ в лаборатории ООО НПК «Спирит»

Таблица 1. Распределение самородного золота по классам крупности в эфельных отвалах месторождения Юрский

	Класс крупности, мм					Итого:
	-2+1	-1+0,5	-0,5+0,25	-0,25+0,125	-0,125+0,0	
Сод., %	3,88	18,02	40,44	26,57	11,10	100,00

отвалы шлюзовых приборов, не обеспечивающих полное извлечение мелкой и тонкой фракций, имеют содержания золота порядка 0,080–0,378 г/м³, что позволяет рентабельно производить их повторную промывку с применением развитых «рудных» схем обогащения, включая гидрометаллургическую переработку концентратов.

Галечные отвалы, как правило, мелкие по размерам и не несут в себе значимых содержаний золота. Это обусловлено особенностями гранулометрического состава аллювиальных отложений ручья Юрского и его притоков (табл. 2).



Таблица 2. Гранулометрический состав рыхлых отложений месторождения Юрский

Содержание, % по фракциям крупности						Примечание
-200 +80	-80 +30	-30 +10	-10 +5	-5 +2	-2	
2,5	8,8	8,9	15,5	27,8	36,5	торфа
4,3	9,9	9,5	19,5	26,1	30,7	пески

Вскрышные отвалы, сложенные аллювиальными отложениями торфов со знаковым содержанием золота, также не имеют промышленного значения. Характерной особенностью техногенных образований на отработанном месторождении Юрский является наличие смешанных отвалов, в которых совмещены отвалы различных типов и разных лет отработки. Такое смешение отвалов имеет несколько причин.

В нижней части долины руч. Юрского, где глубина добычных карьеров достигала 20 м, постоянно существовала угроза прорыва дамб и затопления котлованов. Отработка песков велась по транспортной схеме, промприборы устанавливали на террасах, в тылу вскрышных отвалов. Соответственно, эфеля накатывали бульдозером поверх вскрышных.

Другой причиной смешения является внедрение перспективных на тот момент (конец 1980-х — начало 1990-х годов) промысловых приборов типа «Ромашка», «Поиск», когда часть вскрышных и эфель-

ных отвалов была перекрыта повторно. В результате бедные эфельные отвалы «Ромашек» часто перекрывают и маскируют остатки более ранних, шлюзовых отвалов.

Кроме этого, при первоначальной разведке содержания золота в пробах были занижены в два раза и контуры промышленных залежей определены не точно. Поэтому некоторые промышленные залежи были частично перекрыты ранними эфельными отвалами. Позднее, при отработке перекрывших залежей, ранние эфельные отвалы перемещались на новое место и смешивались со вскрышными и новыми эфельными отвалами. Такие смешанные отвалы по объему значительно превышают обычные эфельные отвалы, а содержания золота в них достигают промышленных значений.

Промывка шлиховых проб осуществлялась вручную, подавляющая часть бороздовых проб промывалась на полевой обогатительной установке «Крепыш» (рис. 3-1), валовые пробы на обогатительном комплексе ОКВ-100 (рис. 3-2), производства ООО НПК «Спирит».

Характерной особенностью обогатительного оборудования ОКВ и «Крепыш» является эффективное извлечение золота мелких и тонких классов крупности за счет применения винтовых сепараторов,



Рис. 3-1. Полевая обогатительная установка «Крепыш»



Рис. 3-2. Обогатительный комплекс ОКВ-100

которые позволяют извлекать в концентрат минералы тяжелой фракции и золота крупностью до 0,04 мм. Процесс обогащения визуально наблюдаем, легко настраивается под сырье и не требует применения химических реагентов. Следует отметить, что средние потери золота при промывке валовых проб на комплексе ОКВ-100 составили 1,48 %.

По результатам проведенных работ сделаны выводы:

1. Среднее содержание в оцененных отвалах по шлиховым пробам занижено по отношению к валовому опробованию в 1,4 раза [Джангиров и др., 2023]. Поэтому шлиховое опробование поверхности отвалов рекомендуется применять на поисковой стадии работ, для разбраковки отвалов по степени перспективности. При этом к результатам шлихового опробования рекомендуется применять поправочный коэффициент, который, естественно, для каждого месторождения разный.

2. Ориентировку профилей опробования необходимо осуществлять исходя из морфологии и пространственного положения каждого отвала.

3. Распределение золота в техногенных отвалах крайне неравномерное. Поэтому наиболее представительным является валовое опробование траншей, которое рекомендуется проводить при разведке и подсчете запасов техногенных россыпей.

4. Следует отметить сложность проведения горных работ. При проходке траншей по отвалам с большой мощностью (порядка 10–15 метров) бульдозером объем одной валовой пробы (длина 20 метров) составляет более тысячи кубических метров, что значительно удорожает геолого-разведочные работы. Применение экскаваторной техники для проходки траншей уменьшает объем валовых

проб, но усложняет технологию работ, особенно при наличии мерзлоты.

5. Только применяя современную эффективную обогатительную технику, возможно адекватно оценивать техногенные образования. Применение лотков или проходнушек не позволит получить реальные показатели содержания золота, его размерности и запасов в техногенных минеральных образованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джангиров М. Ю., Четвертаков И. В., Половян В. А. Сопоставление результатов шлихового, бороздового и валового опробования при разведке техногенной россыпи месторождения Юрский в Нерюнгринском районе РС (Я). Сборник тезисов докладов XII Международной научно-практической конференции. — М.: ЦНИГРИ, 590 с., 2023.
2. Методика разведки россыпей золота и платиноидов. М.: ЦНИГРИ, 288 с., 1992.
3. Попов С. П. Отчет по доразведке россыпного месторождения золота руч. Юрский в интервале линий 0–64 за 2002–2003 гг. по состоянию на 01.09.2004, Нерюнгри, 2004.



Месторождение Юрское

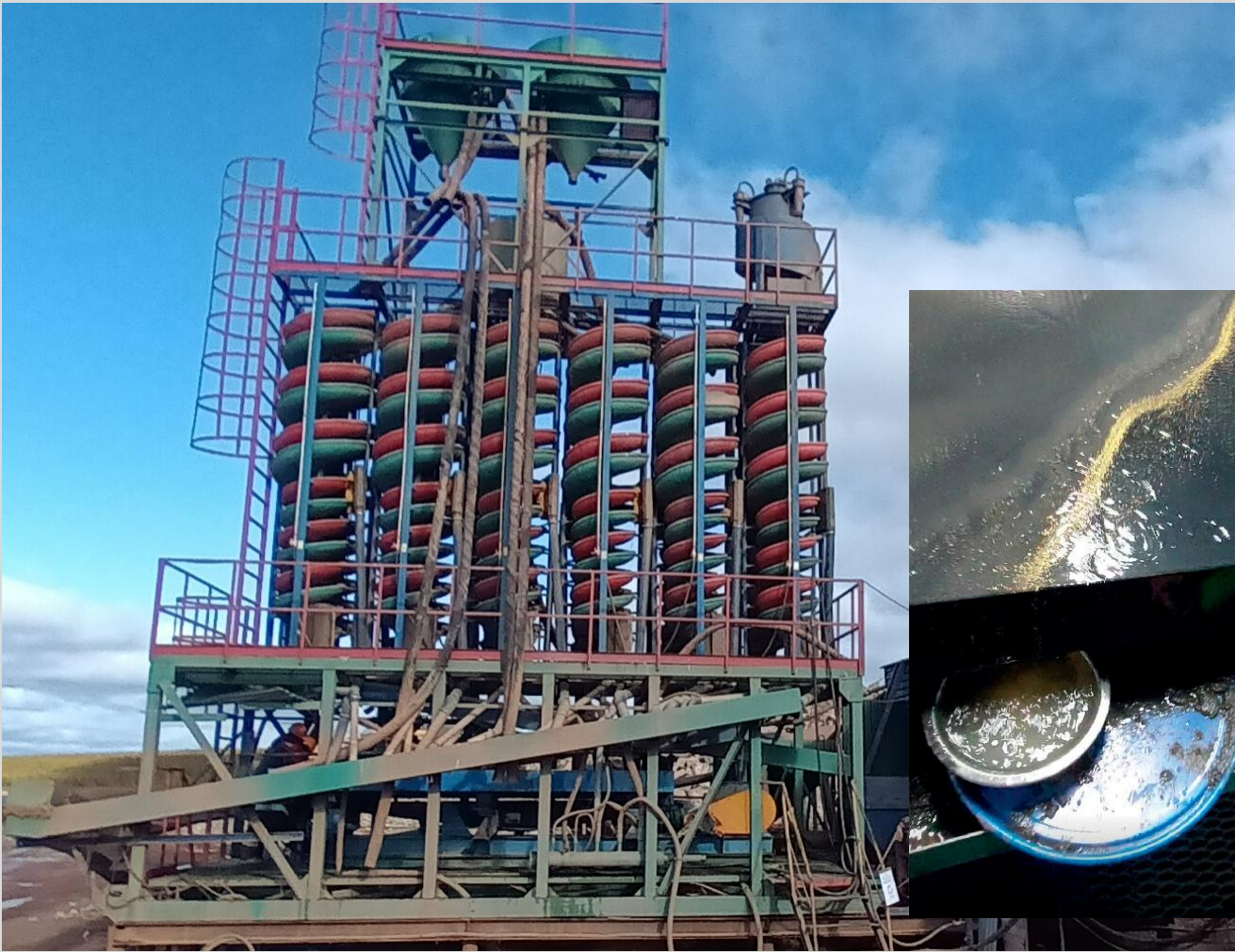
Переработка исходных и техногенных песков с применением технологии ВС

В работе с 2020 году 3 обогатительных комплекса ОКВ
производительностью от 100 куб. м. в час



Прииск Маят

Извлечение золота из текущих хвостов алмазодобычи с применением технологии ВС
В сезоне 2023 года показана возможность извлечения не менее 6 кг золота
мелких классов в «золотую головку» из текущих хвостов.



АЛМАЗЫ АНАБАРА



А. А. Окорочков, генеральный директор АО «Алмазы Анабара»;
 С. А. Прокопьев, генеральный директор ООО НПК «Спирит», к. т. н.;
 А. Л. Земнухов, главный геолог АО «Алмазы Анабара»;
 О. Л. Алексеева, первый заместитель ГД ООО НПК «Спирит»;
 А. А. Хамнуев, руководитель группы обогащения руд ООО НПК «Спирит»

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВИНТОВОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ ПОПУТНОЙ ДОБЫЧЕ ЗОЛОТА НА РОССЫПНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ АЛМАЗОВ Р. БОЛЬШАЯ КУОНАМКА АО «АЛМАЗЫ АНАБАРА»

Россыпное месторождение алмазов протянулось от устья р. Большая Куонамка вверх по течению на 120 километров. Объект недропользования расположен за полярным кругом, в 40 км на юго-восток находится ближайший населённый пункт — посёлок Джелинда.

Алмазы в русловом аллювии р. Б. Куонамка впервые были найдены в 1959 г. В результате проходки горных выработок повышенные концентрации алмазов в русловом и косовом аллювии зафиксированы геологами Амагинской экспедиции в 1963 г. В эти же годы найдены сопутствующие алмазам мелкие знаки золота и зафиксировано его повышенное содержание: от 10–20 мг/м³ до 200–300 мг/м³.

В аллювии р. Б. Куонамка выход минералов тяжёлой фракции ураганый. В классе -1 мм в их составе преобладают альмандин (до 75 %) и ильменит (до 20 %), а на долю остальных минералов (магнетита, лимонита, рутила и других) приходится около 5 %. В классе +1 мм преобладает лимонит, реже встречается альмандин, пирит, пикроильменит.

Шлиховое золото в отложениях представлено преимущественно тонкими, мелкими фракциями и сосредоточено в классе -1 мм, приурочено к промышленному пласту алмазоносных россыпей с крайне неравномерным распределением. Металлоносные пески не образуют самостоятельных залежей. Согласно «Методическим рекомендациям по комплексному изучению месторождений и подсчёту запасов попутных полезных ископаемых и компонентов» (Москва, 2007), золото месторождения относится ко второй группе попутных компонентов, которые при обогащении могут быть выделены в самостоятельные концентраты в количествах, допускающих их последующее извлечение на экономически рациональной основе.

Таблица 1. Гранулометрический состав золота месторождения Большая Куонамка

Месторождение	Массовая доля классов крупности, %				
	+1 мм	-1+0,5 мм	-0,5+0,25 мм	-0,25+0,125 мм	-0,125 мм
1	0,00	5,40	32,90	61,70	
2	0,08	6,76	51,00	39,71	2,45
Б. Куонамка среднее	0,04	6,08	41,95	51,93	

Для большей части песков месторождения доминирующим является класс -0,5+0,125 мм, на долю которого в среднем приходится от 68,8 % до 89,0 %. Таким образом, попутное золото месторождений характеризуется как мелкое и тонкое. Во всех классах крупности резко доминируют хорошо окатанные пластинчатые, тонкопластинчатые и чешуйчатые выделения. Цвет золота ярко-жёлтый, для поверхности большинства золотин характерна мелкая шагрень, порность высокая (900–985 %).

Извлечение попутного золота начато в 2017 г. после принятия постановления Правительства РФ «О критериях отнесения полезных ископаемых к попутным полезным ископаемым...» № 963 от 12.08.2017.

До 2021 года шлиховое золото на объектах прииска Маят извлекалось при помощи шлюзов мелкого наполнения (ШМН) из класса крупности менее 1 мм отвалных хвостов сезонной фабрики по обогащению алмазов. Принимая во внимание ураганные выходы тяжёлой фракции и необходимость повышения эффективности извлечения золота мельче 0,25 мм, от АО «Алмазы Анабара» в адрес НПК «Спирит» поступила заявка на проведение опытно-промышленных испытаний технологии винтовой сепарации для извлечения шлихового золота из текущих хвостов ШМН.

В рамках проведения испытаний была задействована технологическая схема, представленная на рис. 1.



Рис. 1. Технологическая схема опытной установки винтовой сепарации

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ

Пульпа, отобранная из пробоотборников, самотёком поступает в зумпф насоса. Далее она транспортируется на винтовые сепараторы. Хвосты, полученные в результате винтовой сепарации, направляются в отвал, тогда как концентрат самотёком поступает на концентрационный стол СКО-7,5 для дальнейшей концентрации. Хвосты концентрационного стола СКО-7,5 также являются отвальными. Концентрат, полученный со стола СКО-7,5, подвергается дополнительной доводке на концентрационном столе СКО-2 с целью повышения качества конечного продукта.

В среднем в сутки установка действовала по 12 часов, за каждую такую рабочую смену перерабатывалось порядка 12 м³ хвостов ШМН в твёрдом исходном сырье. Средняя часовая производительность установки составила 1,04 м³/ч.

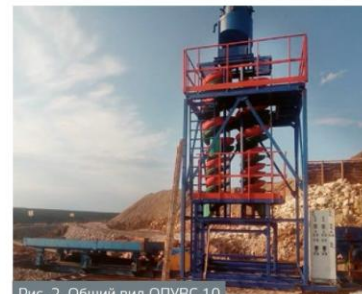


Рис. 2. Общий вид ОПУВС-10

В ходе опытно-промышленных испытаний была изучена эффективность применения технологии винтовой сепарации для получения гравитационного концентрата. Результаты испытаний продемонстрировали перспективность внедрения технологии:

— при применении винтовой сепарации удаётся получить черновой гравитационный концентрат

с содержанием золота 4,34 г/м³ и извлечением 68,46 % от текущих хвостов ШМН;

— последующая доводка на концентрационном столе СКО-2 позволяет получать концентрат с содержанием золота 353,3 кг/м³ и сквозным извлечением 51,58 % от хвостов ШМН.

Анализ полученных данных показал, что благодаря высоким показателям извлечения золота из отвалных хвостов технология винтовой сепарации имеет значительный потенциал по улучшению технологических показателей работы узла извлечения попутного золота на объектах недропользователя.

Учитывая положительный результат испытаний и потенциал технологии для повышения эффективности производства, АО «Алмазы Анабара» приняло решение о внедрении промышленной установки винтовой сепарации. В 2023 году проведена совместная работа между ООО НПК «Спирит» и АО «Алмазы Анабара» по изготовлению, доставке, монтажу и запуску в эксплуатацию обогатительного комплекса ОКВ-100 производительностью 100 м³/ч с целью извлечения золота из хвостов переработки алмазосодержащих песков.

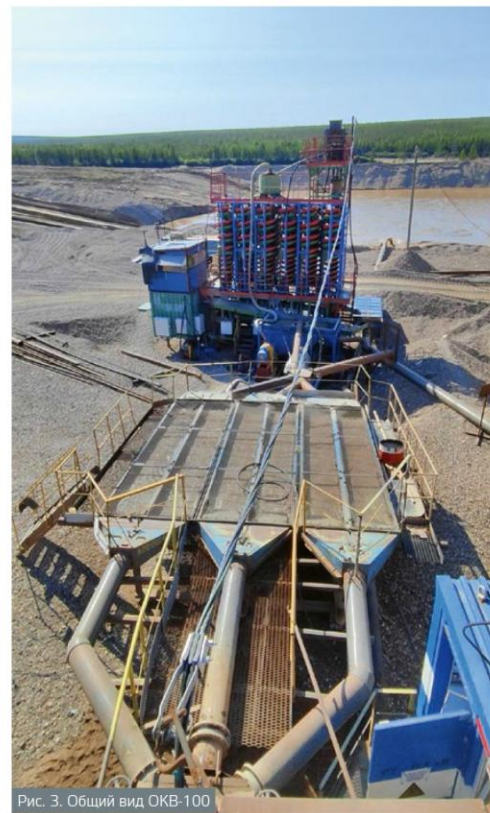


Рис. 3. Общий вид ОКВ-100

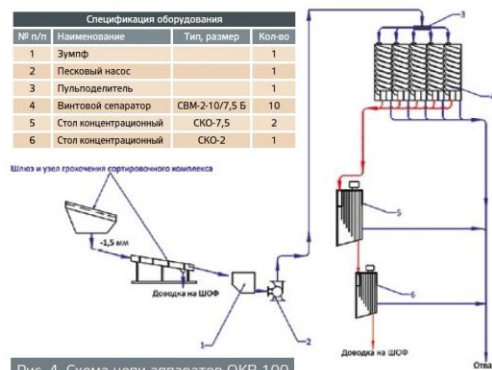


Рис. 4. Схема цепи аппаратов ОКВ-100



Рис. 5. Общий вид ОКВУ на участке БК3



Рис. 6. Общий вид ОКВУ на участке БК2

В период промывочного сезона 2023 года фабрика на ОКВ-100 переработала значительный объем хвостов — 72,45 тыс. В результате было отправлено на доводку 9,7 м³ концентрата и извлечено 6 441 г золота. Средний прирост извлечения золота составил 25 %, что свидетельствует о достаточно высоком уровне доизвлечения драгоценного металла.

По окончании сезона отобранные пробы поузловое опробования были направлены в лабораторию НПК «Спирит» для изучения вещественного состава, определения обогатимости альтернативными методами доводки и анализа потерь ценного компонента.

Комплексный анализ проб и особенностей вещественного состава тяжелой фракции россыпи выявил необходимость в применении мокрой магнитной сепарации и увеличении фронта концентрации на столах.

С учетом опыта работы сезонов 2023–2024 годов, внесения изменений в конструктив оборудования для приема пульпы, особенностей поведения сырья на обогатительной линии в 2025 году на предприятии были внедрены дополнительные две установки ОКВУ, оснащенные магнитными сепараторами и дополнительными концентраторными столами. Это решение было направлено на масштабирование успешного опыта и увеличение объемов производства продукции.

Стоит отметить, что в таблице 2 отражены количественные показатели только по шихтовому золоту, которое извлечено на шлихообогатительном участке в процессе доводки и взвешивания, без учета того золота, которое остаётся в хвостах доводки в виде микронного золота и золота в сросках.

Однако даже эти данные говорят о том, что в среднем по всем участкам, где установлены винтовые сепараторы, имеется прирост по извлечению

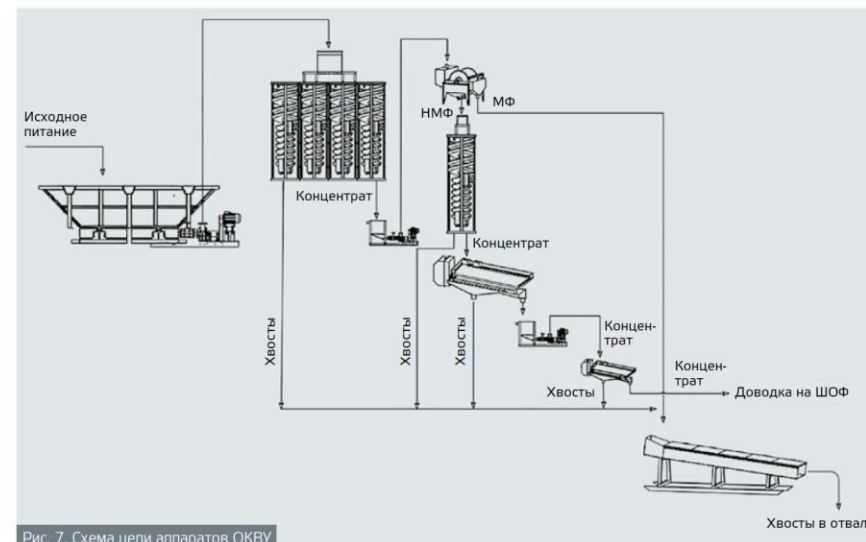


Рис. 7. Схема цепи аппаратов ОКВУ

Таблица 2. Сводная таблица итогов промывочного сезона 2025 года

Участок	Объем исходных промытых песков на фабрике, тыс. м³	Объем промытых хвостов фабрики (класс менее 1,5 мм) на ОКВ, тыс. м³	Количество дней ОКВ в работе	Прирост извлечения золота к основному производству, %	Процент шихтового золота, извлеченного из концентрата	
					Класса крупности крупнее 0,25 мм	Класса крупности мельче 0,25 мм
БК3	234	44,46	90	7,02	25,86 %	74,14 %
БК2	217	40,94	79	16,77	25,52 %	74,47 %
БК1	258	49,62	86	24,0	40,28 %	59,71 %
Средние показатели						
	236,3	45,0	85	15,93	30,55 %	69,45 %

золота на уровне 16 %, что является положительным результатом работы оборудования.

Обращает на себя внимание тот факт, что более 69 % золота, извлекаемого из текущих хвостов ШМН, имеют размерность менее 0,25 мм, что сви-

детельствует о высокой эффективности работы винтовых сепараторов по мелкому и тонкому золоту.

АО «Алмазы Анабара» в сезоне 2026 года планирует продолжать эксплуатацию всех комплексов винтовой сепарации на своих объектах.



АЛМАЗЫ АНАБАРА



ООО НПК «Спирит»
www.spirit-irk.ru
pes@spirit-irk.ru
https://t.me/spirit_irkutsk
г. Иркутск
ул. Лермонтова, 128/2
тел. +7 (914) 931-83-17



ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВИНТОВОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ ПОЛУПРОМЫШЛЕННОМ ОБОГАЩЕНИИ ПЕСКОВ С МЕЛКИМ И ТОНКИМ ЗОЛОТОМ И ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ МИНЕРАЛОВ ТЯЖЕЛОЙ ФРАКЦИИ

В 2020 году в рамках геолого-разведочных работ были обогащены две валовые технологические пробы аллювия (объем 3,66 тыс. м³ и 1,55 тыс. м³ соответственно) россыпного месторождения алмазов в Республике Саха (Якутия) с попутным мелким и тонким золотом (здесь и далее МТЗ: весьма мелкое золото –0,25+0,1 мм, тонкое –0,1+0,05 мм, согласно [1]).

Обогащение выполнялось в летнее время на модульной ГОУ (геологической обогатительной установке). Водоснабжение ГОУ осуществлялось по оборотной схеме насосной станцией ДНУ-200 из зумпфа илоотстойника. Пески, в зимнее время выложенные на обустроенном складе («рудном дворе»), подавались на промывку в бункер ГОУ фронтальным погрузчиком CAT-950G. После дезинтеграции в скруббер-бутаре СБ-16 материал –16 мм классифицировался по классу 1 мм на инерционном грохоте ГИС-31. Подрешетный класс –1 мм шламовым насосом КЕТО 3/2 (40 м³/час) перекачивался в узел подготовки питания винтовых сепараторов (ВС).



Рис. 1. Узел подготовки питания винтовых сепараторов



Рис. 2. Винтовые сепараторы CBM-500 и СВШ-500 в архитектуре ГОУ

Узел подготовки питания ВС был реализован в виде цилиндрического (Ø1,5 м) бункера с переливом вверх и разгрузочным отверстием в нижней конусной части и обеспечивал сгущение и частичное обесшламливание пульпы (рис. 1). Подготовленная по плотности пульпа (разжижение 1:4–1:7) самотеком распределялась на **два установленных параллельно разведочных винтовых аппарата производства ООО НПК «СПИРИТ» (г. Иркутск) – CBM-500 и СВШ-500 (рис. 2).**

Концентрат винтовой сепарации вручную (в ведрах) переносился в узел доводки и сокращался на концентрационном столе СКО-1,0 трехкратной пересортикой. Хвосты винтовой сепарации вместе с переливом бункера-питателя направлялись на контрольный шлюз мелкого наполнения (ШМН) шириной 0,5 м и длиной 3,0 м. Сполоск шлюза выполнялся

один раз в смену с доводкой на СКО-1. Велся ежедневный учет выхода концентрата винтовой сепарации (в литрах) и концентратов СКО-1 (в сухом виде в граммах). Окончательная разделная доводка концентратов ВС и контрольного шлюза выполнены в 2021 году в лабораторных условиях на СКО-1 после распада на узкие классы крупности с последующей доводкой до мономинеральных навесок золота в бромформе.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА

Пески месторождения промывистые, глины мало, фракция –1 мм составляет в среднем 50 %. По данным минералогического анализа, пески характеризуются высоким выходом минералов тяжелой фракции класса –0,5 мм: от 1,0 до 12 кг/м³ (в среднем 3,45 кг/м³). При этом доминируют гранат (41,1 %), пироксен (36,7 %) и ильменит (10,5 %). В значимых количествах (до 1–5 %) в классе –0,25 мм присутствуют эпидот и циркон. В подчиненном количестве встречаются дистен, ставролит, рутил, апатит, шпинель. Пески месторождения содержат хорошо окатанные высокопробное (930 мг/г) золото, преимущественной крупностью –0,5 мм, и железистую платину (800 мг/г) крупностью –0,25 мм при уровне содержаний, свойственных **региональному шлиховому ореолу** в четвертичном аллювии Сибирской платформы: 5–30 мг/м³ и 0,5–10 мг/м³ соответственно.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ

Благодаря высокому содержанию тяжелой фракции четкий веер минералов разной плотности хорошо визуализировался на желобах винтовых сепараторов при колебаниях нагрузки в широком диапазоне (рис. 3).

Фактическая производительность установки и средние выходы первичного концентрата ВС и продукта его пересортики за период обогащения двух валовых проб сведены в таблицу (табл. 1).

Таблица 1

№ пробы	Объем, тыс. м ³	Средняя фактическая производительность промывки		Средний выход концентрата ВС, %	Концентрат СКО-1,0		Получено Au шлихового, г	Содержание Au (х.ч.)	
		м ³ /смену	м ³ /час		Всего, кг	Средний выход, г/м ³		в кон-те, кг/т	в исх., мг/м ³
1*	3657	39,3	3,93	0,90	107,68	29,4	130,17	1124,2	33,10
2**	1550	70,5	7,05	0,32	14,56	9,4	5,96	380,7	3,58



Рис. 4. Монофракции шлихового золота пробы № 1 по классам крупности. Суммарная масса – 130,17 г



Рис. 3. Отсечка тяжелого концентрата на желобе CBM-500 по границе полосы альмандин (>3,9 г/см³). Отчетливо обособляется полоса ильменита (4,8 г/м³)

При содержании золота в исходных песках 33,1 мг/м³ и выходе концентрата ВС 0,9 % за три пересортики на СКО-1,0 получен концентрат с содержанием х. ч. золота 1,124 кг/т. Дальнейшая пересортика расситованного по классам крупности концентрата на столе и доводка в бромформе позволили выделить монофракции шлихового золота и железистой платины в чистом виде (рис. 4).

Из пробы 2 с содержанием 3,6 мг/м³ при выходе концентрата ВС 0,32 % после перераспределения на СКО-1,0 получен концентрат с содержанием золота 380 г/т. Содержания х. ч. платины (монофракции железистой платины выделены неодимовым магнитом) в исходных пробах 1 и 2 составили 3,45 мг/м³ и 0,39 мг/м³ соответственно.

Изучены гранулометрический состав (табл. 2) и морфологические особенности золота и платины.

Таблица 2. Гранулометрический состав золота и платины

Класс крупности	Доля класса (вес, %)			
	Золото		Платина	
	Пр. 1	Пр. 2	Пр. 1	Пр. 2
+1 мм	0,10			
-1+0,5 мм	2,89	2,18	0,05	
-0,5+0,25 мм	26,16	24,42	3,61	2,85
-0,25+0,125 мм	62,36	61,59	73,41	77,58
-0,125 мм	8,49	11,81	22,93	19,57
ВСЕГО	100,00	100,00	100,00	100,00

Основная часть золота (88,5 %) сосредоточена в классе -0,5+0,125 мм, практически вся платина (96,3 %) имеет крупность меньше 0,25 мм. При этом доминирующим и для золота, и для платины является класс -0,25+0,125 мм – 62 % и 74 % соответственно. В пробе № 2, представленной верхними горизонтами аллювия (торфа россыпи), закономерно отсутствует золото +1 мм и платина +0,5 мм.

Выделения платины во всех классах крупности представлены относительно толстыми пластинками и табличками с ровными плоскими поверхностями и округлыми очертаниями. Доля табличчатых и объемных форм увеличивается в нижних классах, соответственно уменьшается средний коэффициент уплотненности от 5,2 в классе +0,5 мм до 1,8 в классе -0,25+0,125 мм (рис. 5).

Морфологический спектр золота более широкий. В крупных классах доминируют тонкие изогнутые, часто сложенные вдвое пластинки с неровной поверхностью и рваными краями. Средний коэффициент уплотненности достигает 9,2 в классе +1 мм. В классе +0,25 мм увеличивается доля объемных форм, в том числе за счет пластинок с более или менее выраженным валиком бокового наклепа, а в классе -0,125 мм классические тороиды («эритроциты») и полупустотелые сфероиды уже преобладают (рис. 5).

Уплотненность золотин также уменьшается к нижним классам – от 6,8 в классе -1+0,5 мм до 2,0 в классе -0,25+0,125 мм. При меньшей плотности шлиховой железистой платины (16,65 г/см³ против 18,24 г/см³ у золота месторождения) за счет более объемных форм средние веса знаков золота и платины по классам крупности сопоставимы (табл. 3, 4).

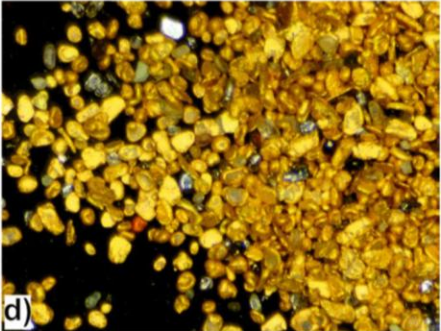
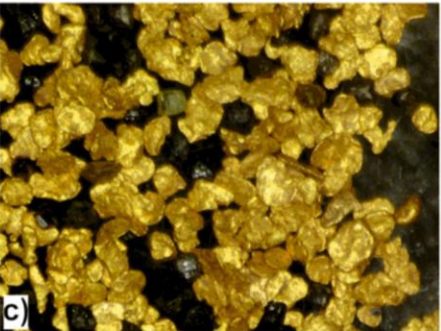
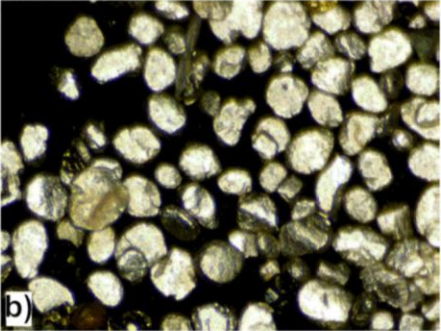
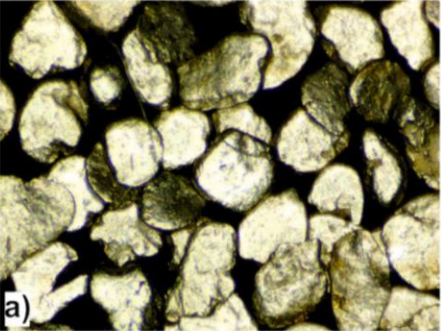


Рис. 5. Микрофотографии платины и золота: а) платина, +0,25 мм; б) платина, -0,125 мм; в) золото, +0,25 мм; г) золото, -0,125 мм

Таблица 3. Характеристика шлихового золота (плотность – 18,24 г/см³)

Класс крупности	из концентрата ВС			с контрольного ШМН		
	Ср. вес знака, мг	Средняя толщина знака, мм	Кэф-т уплотненности, ед.	Ср. вес знака, мг	Средняя толщина знака, мм	Кэф-т уплотненности, ед.
+1 мм	5,24	0,16	9,2	5,59	0,17	8,6
+0,5 мм	0,89	0,11	6,8	1,54	0,19	3,9
+0,25 мм	0,20	0,10	3,8	0,31	0,15	2,4
+0,125 мм	0,047	0,09	2,0	0,061	0,12	1,5

Таблица 4. Характеристика шлиховой платины (плотность – 16,65 г/см³)

Класс крупности	из концентрата ВС			с контрольного ШМН		
	Ср. вес знака, мг	Средняя толщина знака, мм	Кэф-т уплотненности, ед.	Ср. вес знака, мг	Средняя толщина знака, мм	Кэф-т уплотненности, ед.
+0,5 мм	1,07	0,15	5,2	1,77	0,24	3,1
+0,25 мм	0,19	0,10	3,6	0,24	0,13	2,9
+0,125 мм	0,048	0,10	1,8	0,057	0,12	1,5

Таблица 5. Извлечение золота и платины в концентрат винтовой сепарации на СВМ-500 (СВШ-500) по классам крупности

Проба 1 (выход концентрата ВС – 0,9 %)						
Класс, мм	Золото			Платина		
	Шлюз %	ВС %	ВСЕГО %	Шлюз %	ВС %	ВСЕГО %
+1	43,27	56,73	100,00			
+0,5	23,72	76,28	100,00	62,35	37,65	100,00
+0,25	8,78	91,22	100,00	7,24	92,76	100,00
+0,125	9,36	90,64	100,00	8,62	91,38	100,00
-0,125	12,78	87,22	100,00	7,00	93,00	100,00
ВСЕГО	9,94	90,06	100,00	8,23	91,77	100,00

Проба 2 (выход концентрата ВС – 0,32 %)						
Класс, мм	Золото			Платина		
	Шлюз %	ВС %	ВСЕГО %	Шлюз %	ВС %	ВСЕГО %
+1			0,00			
+0,5	47,43	52,57	100,00			
+0,25	16,73	83,27	100,00	22,54	77,46	100,00
+0,125	21,32	78,68	100,00	21,09	78,91	100,00
-0,125	24,44	75,56	100,00	17,37	82,63	100,00
ВСЕГО	21,14	78,86	100,00	20,40	79,60	100,00

Раздельная доводка основного концентрата винтовой сепарации и концентрата контрольного ШМН позволили изучить распределение золота и платины в технологическом процессе по классам крупности для обеих проб (табл. 5).

Извлечение платины классов -0,5 мм статистически незначительно (на 1–5 %) выше извлечения золота той же крупности при близком среднем весе знаков, что, возможно, связано с более ровной, правильной и плоской формой знаков платины. Золото +1 мм плохо извлекается при ВС. Извлечение золота/платины в классе -1+0,5 мм

зависит от уплотненности выделений и колеблется в широких пределах (37–80 %). Характерно, что абсолютно для всех навесок всех классов крупности металл, ушедший на шлюз, характеризуется большим средним весом знака и меньшим коэффициентом уплотненности, но особенно ярко это выражено в классе -1+0,5 мм (табл. 3, 4).

По пробе 1 извлечение основных классов ТМЗ и платины на уровне **90–93 %**. По пробе 2 аналогичный параметр заметно ниже – **76–83 %**. Объяснение простое – при промывке пробы 2 средняя производительность промывки была увеличена в 1,8 раза (до 7 м³/час), а выход концентрата с ВС, наоборот, **уменьшен в три раза (до 0,32 %)** (табл. 1).

Ранее при обогащении пробы эфелей на модуле винтовой сепарации ОМВ-45 производства ООО НПК «Спирит» было установлено извлечение золота классов -0,5+0,25 мм, -0,25+0,125 мм и -0,125 мм на **уровне 96–98 %** (<https://zolotodb.ru/article/12693>).

Высокое извлечение в данном случае закономерно, так как при промывке пробы эфелей при убогом содержании тяжелой фракции (0,5–1,0 кг/м³) отсечка концентрата ВС для текущей перераспределения на СКО-7,5, входящем в комплекс ОМВ-45, была не менее 1,5–2,0 % от исходного.

ВЫВОДЫ

- Винтовая сепарация подготовленного по крупности материала обеспечивает высокие извлечение и степень концентрации в т. ч. пластинчатого золота крупностью -0,5+0,05 мм даже при повышенном содержании в исходном материале тяжелых минералов плотностью >4,0 г/см³ и может быть рекомендована для промышленного применения.

- Степень извлечения золота класса -1+0,5 мм в концентрат ВС зависит от уплотненности золотин. Объемные формы (табличчатое, изогнутое и комковатое золото) этого класса не удерживаются в вязком подслое на желобе винтового сепаратора и закономерно выводятся в хвостовой продукт, из которого могут быть эффективно извлечены на контрольном шлюзе мелкого наполнения, в т. ч. и благодаря тому, что хвостовой продукт ВС освобожден от большей части минералов тяжелой фракции.

- Степень извлечения ТМЗ в концентрат ВС существенно зависит от содержания минералов тяжелой фракции в исходном и от установленного уровня отсечки (выхода) концентрата ВС. Поэтому при проектировании промышленного применения технологии следует учитывать все характеристики обогащаемого материала, в т. ч. и для того, чтобы обеспечить достаточную производительность обогатительной первой стадии перераспределения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Методика разведки россыпей золота и платины. М.: ЦНИГРИ. 1992.



Применяемая технология и эксплуатанты
Комплексы ОКВ (обоганительный комплекс винтовой) разной
производительности активно применяются на золотодобывающих предприятиях
СФО и ДФО



ОМВ-45 в ООО «АДК» (РС – Якутия) на техногенном месторождении с содержанием в исходных песках 0,5-0,6 г/м³ (более высокое содержание золота в песках позволяет применять комплекс средней производительности (45-50 м³/час))



Применяемая технология и эксплуатанты
Комплексы ОКВ (обогащительный комплекс винтовой) разной
производительности активно применяются на золотодобывающих предприятиях
СФО и ДФО



**ОКВ-100-1 в ООО «Артель
старателей Прогресс» (РС
– Якутия, Алданский
район) на техногенном
месторождении с
содержанием в исходных
песках 0,1-0,14 г/м³**

Применяемая технология и эксплуатанты
Комплексы ОКВ (обоганительный комплекс винтовой) разной
производительности активно применяются на золотодобывающих предприятиях
СФО и ДФО



**ОКВ-100-2 в ООО «Артель старателей
Прогресс» (РС – Якутия, Алданский
район) на техногенном месторождении с
содержанием в исходных песках 0,1 г/м3**

Применяемая технология и эксплуатанты
Комплексы ОКВ (обоганительный комплекс винтовой) разной
производительности активно применяются на золотодобывающих предприятиях
СФО и ДФО



ОКВ-200 – комплекс высокой производительности в ООО «Драгмет» (Магаданская обл.) на техногенном месторождении россыпного золота (содержание в исходных песках 0,1 г/м³)

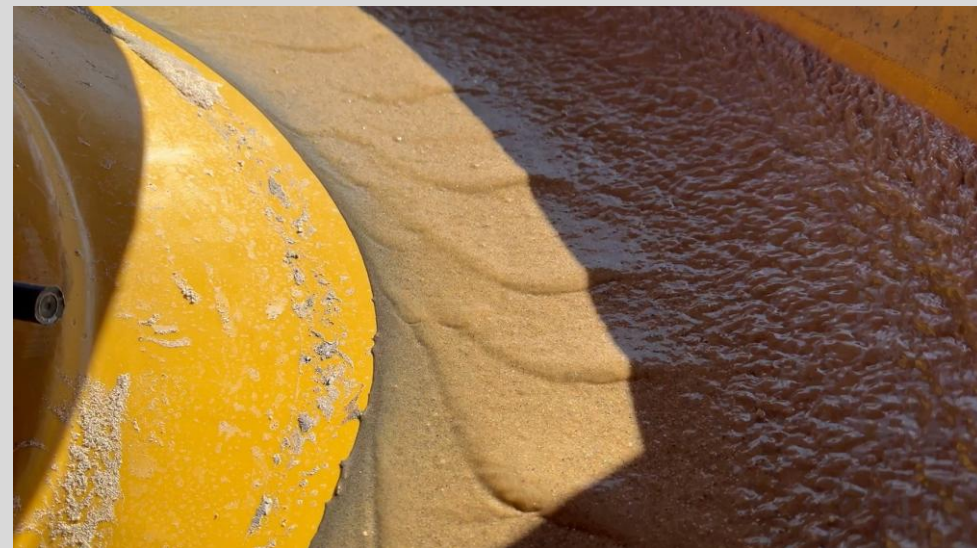


АО «Прииск Усть-Кара»

Извлечение золота из текущих хвостов шлихотопроходочной установки с применением технологии ВС

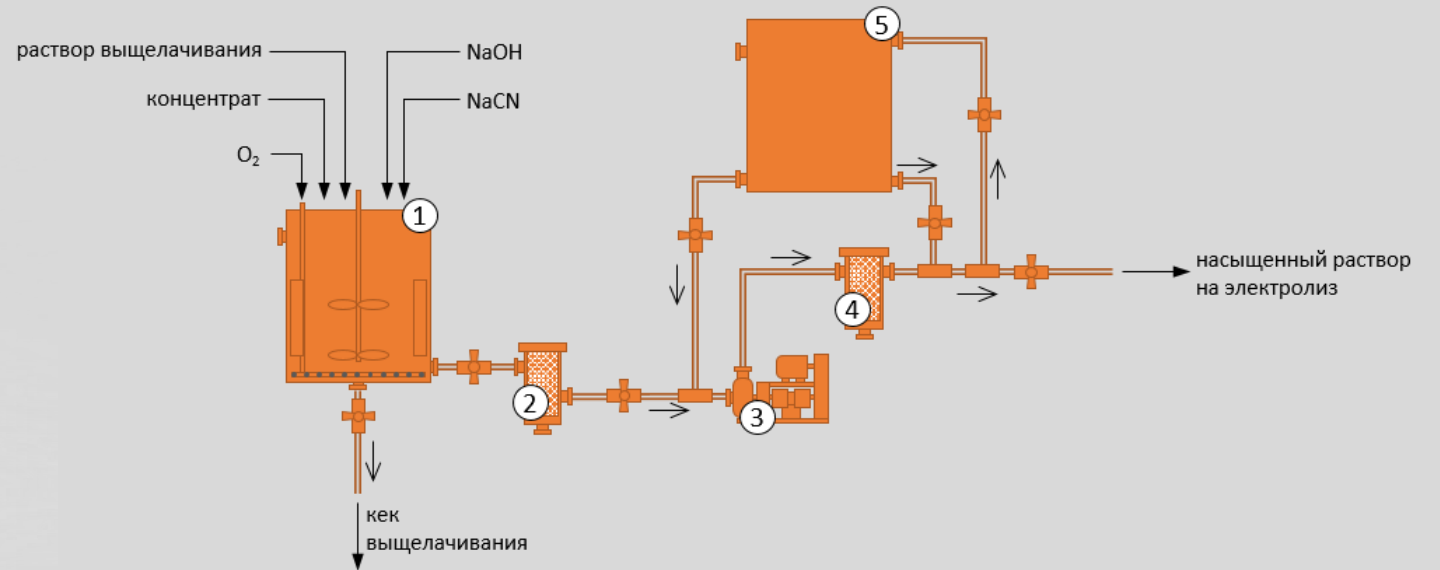


Извлечение золота из лежалых хвостов шлихотоводочной установки с применением установки Крепыш



Установка интенсивного выщелачивания

Извлечение золота из концентратов



Состав установки интенсивного выщелачивания:

- Реактор выщелачивания с перемешивающим устройством и барботером (поз. 1);
- Фильтр грубой очистки насыщенных растворов (поз. 2);
- Химический насос для перекачки насыщенных растворов (поз. 3);
- Промежуточная емкость насыщенных растворов (поз. 4);
- Пульповый датчик pH;
- Сенсор цианводорода;
- Комплект трубопроводов и запорной арматуры;
- Электрический шкаф, пульт управления и кабельная продукция.



Открытие специальности Обогащение полезных ископаемых и практической лаборатории в Бодайбинском горном техникуме



Вышеперечисленные и другие подобные проекты выполняются в НПК «Спирит» под ключ.

Для реализации выполняется алгоритм:

- Отбор представительной пробы на месте (не менее 500 кг);
- Проведение лабораторных работ по изучению обогатимости в Иркутске;
- Разработка технологического регламента и проектирование установки под требуемую производительность и характеристики конечной продукции;
- Изготовление основного и вспомогательного оборудования и доставка на объект (обычно не более 4 месяцев);
- Монтаж обогатительного комплекса на месте, пуско-наладочные работы (не более 1 месяца);
- Эксплуатация.





г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128 к.2
Тел/факс +7 (3952) 767-540

E-mail: spirit@irk.ru
www.spirit.irk.ru

Благодарю за внимание!

Прокопьев Евгений Сергеевич
Директор по технологиям и инновациям НПК «Спирит»
+7 914 931 83 17
pes@spirit-irk.ru

