

Извлечение золота по 6-колонной каскадной схеме

Цель проекта

- Непрерывная сорбция золота на ионообменной смоле МТА9920 (Purolite) в двух параллельных линиях по шесть колонн
- Сквозное извлечение не ниже 99 % при производительности 120 м³/ч по пульпе и суммарном объёме смолы 140 м³ (2 × 70 м³)
- Объект — месторождение Акбакай (Жамбылская обл.): кварцево-жильные руды со свободным золотом, сорбция из пульпы цианирования
- Технологическая схема и оснащение — собственность ТОО «Chemsol» (Кемсол)
- Оказание услуг по эксплуатации участка сорбции: контроль режимных параметров, рабочей ёмкости смолы и обеспечение проектных показателей извлечения

Технологическая схема и её оснащение — собственность ТОО «Chemsol» (Кемсол). Конфиденциально: пересылка, копирование и передача третьим лицам без письменного согласия запрещены. Расчётные параметры носят проектно-иллюстративный характер и подлежат уточнению по данным опытно-промышленных испытаний.

Исходные данные

Питание участка сорбции · месторождение Акбакай, Жамбылская обл.

Параметр	Значение	Ед. изм.
Сырьевая база	Акбакай, кварцево-жильная руда	—
Подготовка перед сорбцией	измельчение + гравитация + цианирование	—
Производительность по пульпе	120 (2 × 60)	м³/ч
Содержание твёрдого в пульпе	40	% масс.
Содержание Au в жидкой фазе	0,60	мг/л
Содержание Au в исходной руде	0,85	г/т
Концентрация свободного CN ⁻	150–250	мг/л
рН пульпы	10,2–10,8	—
Температура пульпы	18–32	°С
Крупность помола, Р ₈₀	74	мкм
Режим работы	330 сут × 24 ч	—

Принцип сорбции на смоле

Два варианта организации процесса: смола в пульпе и смола в выщелачивании

Смола в пульпе (RIP)

Сорбция из обесшламленной выщелоченной пульпы после завершения цианирования. Контур выщелачивания и сорбции разделены.

Смола в выщелачивании (RIL)

Смола вводится непосредственно в контур выщелачивания: сорбция идёт параллельно растворению золота.

Механизм сорбции

- Дицианоаурат-ион $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ поглощается сильноосновной анионообменной смолой по реакции $\text{R}-\text{Cl} + \text{Au}(\text{CN})_2^- \rightarrow \text{R}-\text{Au}(\text{CN})_2 + \text{Cl}^-$
- Противоток: пульпа движется вверх по каскаду, насыщенная смола отбирается с головной колонны, регенерированная подаётся в хвостовую
- Преимущества перед сорбцией на активном угле (CIP): устойчивость к органическому отравлению, низкий механический износ, эффективность на глинистых пульпах

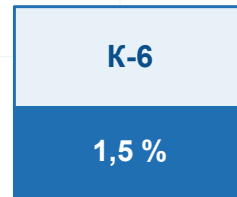
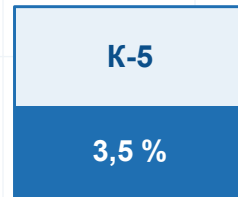
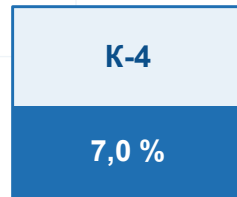
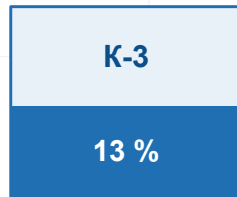
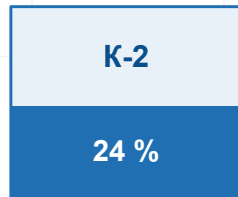
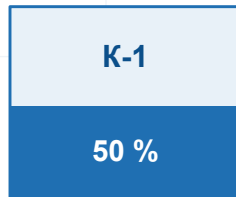
Схема каскада: две линии по 6 колонн

В каждой линии противоток: пульпа К-1 → К-6, смола К-6 → К-1

Поток пульпы $2 \times 60 \text{ м}^3/\text{ч}$ →

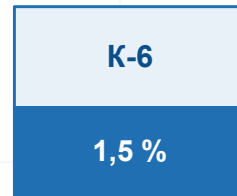
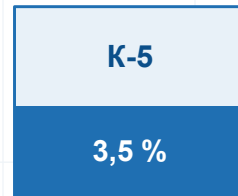
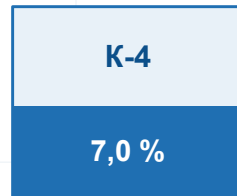
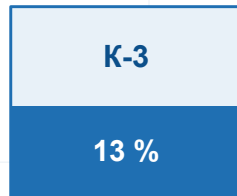
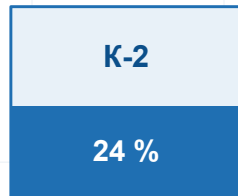
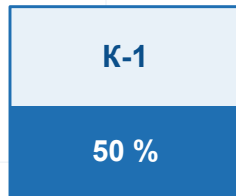
Линия 1

70 м³ смолы



Линия 2

70 м³ смолы



0,30 мг/л

0,16 мг/л

0,078 мг/л

0,036 мг/л

0,015 мг/л

0,006 мг/л

← Поток смолы $2 \times 2,0 \text{ м}^3/\text{сут}$

Линии идентичны и работают параллельно: по 60 м³/ч пульпы и 70 м³ смолы на линию; цифры внизу — остаточный Au на выходе ступени.

Насыщенная смола обеих линий идёт на общий узел десорбции и электролиза; любая линия останавливается отдельно.

Параметры смолы МТА9920

Сильноосновная анионообменная смола, золото-селективная

Показатель	Значение	Ед. изм.
Тип матрицы	полистирол-ДВБ, гелевая	—
Функциональная группа	четвертичный аммоний	—
Средний диаметр гранул	0,60–0,85	мм
Насыпная плотность	670–700	кг/м ³
Рабочая ёмкость по Au	4,0–6,0	кг/м ³ смолы
Проектная загрузка смолы	0,43	кг Au/м ³
Объём смолы (2 линии)	140 (2 × 70)	м ³
Перемещение смолы	4,0 (2 × 2,0)	м ³ /сут
Время пребывания смолы	35	сут
Допустимая истираемость	≤ 2	% в год

Гидравлика каскада

Восходящий поток пульпы, псевдоожиженный слой смолы

7,5 м/ч

Линейная скорость пульпы

15–20 %

Расширение слоя смолы

0,25–0,40 бар

Перепад давления на колонну

1,8–2,4 бар

Суммарный напор каскада

47 мин

Время контакта на ступень

25 % об.

Удерживание смолы в колонне

- Разделение фаз — щелевые экраны с зазором 0,4 мм; смола удерживается, пульпа проходит свободно
- Межступенчатый транспорт смолы — эрлифтами, 1 цикл в сутки, по 2,0 м³/сут на линию, унос не более 8 г/т руды
- Периодическая обратная промывка экранов для предотвращения зарастания и роста перепада давления

Размеры колонн

Двенадцать идентичных аппаратов: две линии по шесть

Параметр	Значение	Ед. изм.
Количество колонн	12 (2 линии × 6)	шт.
Нагрузка на линию	60	м ³ /ч
Внутренний диаметр	3,2	м
Площадь сечения	8,04	м ²
Общая высота корпуса	7,2	м
Высота рабочей зоны	5,8	м
Рабочий объём одной колонны	46,6	м ³
Суммарный рабочий объём	559	м ³
Объём смолы в колонне (25 % об.)	11,7	м ³
Объём смолы на линию / всего	70 / 140	м ³
Материал корпуса	сталь 09Г2С + гуммирование	—

08

Материальный баланс по золоту

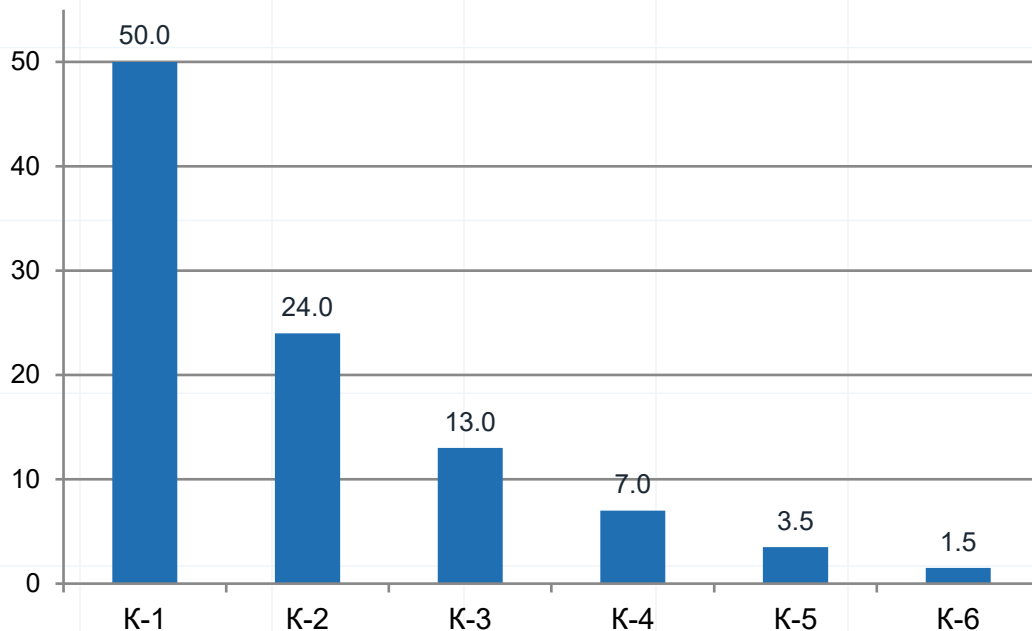
Суточный баланс участка, 2 880 м³/сут по двум линиям

Поток	Объём	C(Au)	Au, кг/сут	Доля
Пульпа на сорбцию	2 880 м³	0,60 мг/л	1,73	100 %
Хвосты сорбции	2 880 м³	0,006 мг/л	0,02	1,0 %
Сорбировано на смолу	4,0 м³	428 г/м³	1,71	99,0 %
Потери со смолой (унос)	—	—	0,01	0,6 %
Товарный продукт (после десорбции)	—	—	1,70	98,4 %

Баланс дан на участок в целом; на каждую линию приходится половина потоков: 1 440 м³ и 0,86 кг Au в сутки.

Распределение извлечения по ступеням

Вклад каждой колонны в сквозное извлечение



99,0 %

сквозное извлечение по каскаду

- Первые две колонны дают 74 % извлечения — на них приходится основная нагрузка по смоле.
- K-5 и K-6 работают как полирующие: вклад 5 %, но именно они задают качество хвостов 0,006 мг/л.
- Профиль одинаков для обеих линий: 70 м³ смолы на 60 м³/ч дают 47 мин контакта на ступень.

10 Суточные и годовые показатели

Режим работы 330 суток в году

2 880 м³

переработка пульпы, сутки

1,71 кг

сорбировано золота, сутки

2 × 2,0 м³

перемещение смолы, сутки

950 тыс. м³

переработка пульпы, год

564 кг

сорбировано золота, год

45,2 т

расход NaCN, год

- Годовой выпуск золота на участке сорбции — около 0,56 т при извлечении 99,0 %
- Ревизия ведётся полинейно: останов одной линии сохраняет 50 % производительности участка
- Ежегодная подпитка свежей смолой — 2,8 м³ (2 % загрузки каскада) на компенсацию износа

11 Технологические ограничения

Границы устойчивой работы каскада

Фактор	Ограничение	Последствие выхода за предел
рН пульпы	9,5–11,0	Выделение HCN, потери цианида
Температура	15–35 °С	Термодеструкция смолы выше 40 °С
Содержание твёрдого	≤ 45 % масс.	Рост перепада давления, забивка экранов
Крупность питания	$P_{80} \leq 100$ мкм	Классификация смолы, унос
Конкурирующие ионы	Cu, Fe, Ni, Zn, SCN^-	Снижение рабочей ёмкости по Au
Гравитационное золото	выводится до сорбции	Крупное Au не сорбируется, уходит в хвосты
Шламистость питания	≤ 15 % кл. –20 мкм	Забивка экранов, унос смолы
Скорость восходящего потока	≤ 12 м/ч	Вынос смолы в хвосты
Механический износ смолы	≤ 2 %/год	Рост затрат на подпитку

Выводы

Основные результаты проработки схемы

Схема подтверждена

Две линии по шесть колонн со 140 м³ смолы МТА9920 (2 × 70) даёт извлечение 99,0 % при питании 0,60 мг/л и хвостах 0,006 мг/л.

Оборудование определено

Две линии по шесть колонн Ø 3,2 × 7,2 м: 70 м³ смолы на линию, 11,7 м³ на аппарат.

Показатели рассчитаны

1,71 кг Au/сут и около 564 кг Au/год при режиме 330 суток.

Что дают две линии

Резервирование и гибкость по нагрузке ценой удвоения арматуры и КИП; загрузка смолы 0,43 кг Au/м³.