

Снижение осадкообразования при кучном выщелачивании: эффект от применения антискалантов АМТЕК

М.В. Бутакова

Начальник отдела водоподготовки
ООО «НПФ «Траверс» — АО «ЭККОС-1»,
к.т.н.

С.М. Прорехин

Заместитель начальника отдела
водоподготовки ООО «НПФ «Траверс» —
АО «ЭККОС-1»

А.В. Белый

Ведущий специалист отдела
водоподготовки ООО «НПФ «Траверс» —
АО «ЭККОС-1»

Е.В. Ветютнева

Инженер-технолог отдела
водоподготовки ООО «НПФ «Траверс» —
АО «ЭККОС-1»

В.Ю. Кольцов

Начальник отдела технологий
и оборудования инжинирингового
центра АО «Эльконский ГМК», к.т.н.

Т.Б. Юдина

Главный специалист, руководитель
группы технологий инжинирингового
центра АО «Эльконский ГМК», к.т.н.

В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности технологии кучного выщелачивания золотосодержащих руд путем применения современных ингибиторов солеотложения. Для оценки возможности применения ингибитора солеотложений АМТЕК РО-2 в процессе кучного выщелачивания были проведены следующие работы: разработана методика испытаний ингибитора солеотложения; определены оптимальные дозировки реагента; подтверждена эффективность применения антискаланта при заданных параметрах процесса; представлено решение задачи по автоматизации процесса дозирования и своевременному выявлению отклонений контролируемых параметров. Полученные результаты демонстрируют возможность повышения технологичности процесса кучного выщелачивания за счет применения современных реагентных решений, что способствует увеличению производительности и снижению эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: кучное выщелачивание, руда, осадкообразование, ингибитор солеотложения.

На протяжении уже полувека в мировой практике золотодобычи метод кучного выщелачивания занимает устойчивые позиции среди промышленных технологий извлечения драгоценных металлов за счет высокой экономической эффективности данного метода. В США, ЮАР и других странах данная технология стала стандартом отрасли ввиду того, что появилась возможность рентабельно перерабатывать бедные

руды и техногенные отходы, которые ранее считались неперспективными [1]. В СССР, напротив, кучное выщелачивание долго не находило применения из-за исторически сложившихся особенностей золотодобычи, а именно: преобладание россыпной добычи, экологические опасения использования цианидов, невозможность использования данного метода в суровых климатических условиях и т.д.

В начале 1990-х гг. истощение россыпных запасов и рост цен на золото вернули вектор внимания на технологии переработки рудных месторождений. Первая попытка масштабного внедрения кучного выщелачивания была осуществлена в Казахстане на Васильевском ГОК в 1991 г. Уже в 1993 г. технология была опробована на отвалах уральской золотоизвлекательной фабрики ОАО «Южуралзолото» [2].

Положительные результаты, полученные на перечисленных объектах, доказали, что даже в условиях сурового климата и сложного рельефа технология позволяет: вовлекать в переработку руды с содержанием золота менее 1 г/т; использовать нерентабельные месторождения и техногенные отвалы; снижать капитальные и эксплуатационные затраты, повышая производительность труда.

По прогнозам Минприроды на 2026 г. [3], отрасль движется к целевому показателю суммарной добычи золота 480–500 т. Этот амбициозный план опирается в том числе и на дальнейшее распространение метода кучного выщелачивания. Однако, как уже было упомянуто выше, несмотря на экономическую привлекательность, данный метод сопряжен с рядом существенных рисков и ограничений, которые требуют внедрения современных технологических решений.

Технология кучного выщелачивания золотосодержащих руд обычно предусматривает выделение золота процессом сорбции либо на активированных углях, либо на синтетических ионообменных смолах [4]. Руду после дробления и грохочения укладывают штабелями на гидроизоляционный материал, затем по поверхности кучи системами орошения равномерно распределяется водный раствор цианида натрия.

В процессе кучного выщелачивания системы орошения рудного штабеля нередко зарастают отложениями, что приводит к забиванию форсунок и неравномерной подаче рабочего раствора цианида. Кроме того, циркуляционные насосы могут полностью забиваться, что влечёт за собой частичную или полную остановку процесса. Для предотвращения этих процессов в последние годы производителями химических реагентов предлагается введение в рабочий раствор цианида ингибиторов солеотложения.

На протяжении почти четырех десятилетий одним из направлений деятельности группы компаний АО «ЭКОС-1» является разработка, производство и последующее внедрение реагентов для различных систем водопользования на объектах тепло/паро-генерации, а также для всех областей промышленности. В период исполнения программы импортозамещения одними из векторов развития компании стали разработка и производство реагентов для добывающей отрасли (антискаланты, пылеподаватели, смазочные материалы для оборудования). Каждый реагент проходит предварительные лабораторные испытания для определения оптимальных условий использования на объекте Заказчика.



Рис. 1. Процесс выпаривания на песчаной бане (а), образование осадка на поверхности раствора после упаривания (б)

На примере одного из горнообогатительных комбинатов Российской Федерации рассмотрим опыт разработки и внедрения антискаланта производства АО «ЭКОС-1» для процесса кучного выщелачивания. По разработанной одним из авторов статьи программе проведения лабораторных испытаний определялась эффективность ингибиторов отложения солей жесткости для руды исследуемого месторождения. Целью испытаний стали выбор антискаланта и определение его удельного расхода, обеспечивающего эффективность не менее 95 % и отсутствие образования осадка при pH среды 10,5 ед. и концентрации цианида натрия до 0,5 г/дм³.

Разработанная методика лабораторных испытаний предполагала поэтапное воздействие на модельный технологический раствор:

1. Отбор в стеклянные емкости по 500 см³ раствора; добавление ингибитора в исследуемой концентрации; доведение pH раствором гидроксида натрия до уровня pH = 10,5; перемешивание в течение 2 часов с последующей визуальной оценкой. В случае образования осадка — фильтрация через фильтр «синяя лента», расчет массы осадка; анализ фильтрата на содержание ионов кальция и магния. Расчет эффективности ингибитора по сравнению с холостым экспериментом.
2. Концентрирование испытуемого раствора при недостижении выпадения осадка. Упаривание 250 см³ раствора на песчаной бане (рис. 1) до 50 % от первоначального объема. Контроль упаривания проводился при помощи взвешивания образцов на технических весах. В случае стабильности

раствора — уменьшение концентрации ингибитора и повторение итерации.

Проба, показавшая необходимую эффективность, охлаждалась (в количестве 100–150 см³) до температуры 20 °С и выдерживалась при этой температуре в течение 2 часов при перемешивании. Выдержанная в холоде проба проходила визуальный контроль на предмет выпадения осадка и после достижения ею комнатной температуры повторно анализировалась на содержание солей жесткости с последующим расчетом эффективности антискаланта. Все параметры лабораторных испытаний фиксировались в таблице, после чего определялась минимальная дозировка ингибитора, при которой достигнута необходимая эффективность — 95 %.

Эффективность действия ингибитора (Э, %) определяли по формулам (1) для экспериментов без упаривания, а с упариванием по формулам (2 и 3):

$$\text{Э} = \frac{Ж_{\text{по}}}{Ж_{\text{исх}}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Э} = \frac{Ж_{\text{по}} - Ж_{\text{хол}}}{Ж_{\text{исх}} \times K_{\text{уп}} - Ж_{\text{хол}}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Э} = \frac{Ж_{\text{по}}}{Ж_{\text{исх}} \times K_{\text{уп}}} \times 100 \quad (3)$$

где:

$Ж_{\text{исх}}$ и $Ж_{\text{по}}$ — жесткость общая до опыта и после опыта соответственно;

$Ж_{\text{хол}}$ — жесткость в холостом эксперименте без ингибитора;

$K_{\text{уп}}$ — коэффициент упаривания. ▶

ТЕХНОЛОГИИ

№ п/п	Расход реагента, мг/л	pH кон. раствора	Содержание в растворе, мг/л		Составляющие жесткости, мг-экв/л			Э ⁽²⁾ , %	Э ⁽³⁾ , %	Масса отл., г/л
			Mg	Ca	Mg	Ca	Общая жесткость			
1.	Исх.	10,2	25,2	224	2,1	11,2	13,3	—	—	0
2.	0	10,3	32,4	288	2,7	14,4	17,1	—	—	0,185
3.	5	10,5	43,2	336	3,6	16,8	20,4	34,7	76,7	0,149
4.	10	10,5	43,2	370	3,6	18,5	22,1	52,6	83,1	0,11
5.	15	10,5	48	404	4,0	20,2	24,2	74,7	91	0,058
6.	20	10,5	50,4	440	4,2	22,0	26,2	95,8	98,5	0,010

Табл. 1. Результат анализа модельного раствора в экспериментах с добавлением ингибитора АМТЕК РО-2 после упаривания в 2 раза
Примечание: Э⁽²⁾ — эффективность рассчитана по формуле (2), Э⁽³⁾ — эффективность рассчитана по формуле (3)

По условиям программы испытаний ингибитор солеотложения не должен содержать в своем составе соединений цинка, меди, марганца, железа, фосфора, тиосульфатов, любых соединений, способствующих образованию пены.

Заданным условиям отвечают соединения на основе полиакриловой кислоты (ПАК), эффективность которых подтверждена многочисленными исследованиями по всему миру. Научным центром АО «ЭКОС-1» был разработан способ получения полиакриловой кислоты с узким массовым распределением, соответствующим ее максимуму ингибирующей активности (патент РФ № 2660651 от 09.07.2018 г.). В настоящее время на основе этого соединения выпускается ряд продуктов линии АМТЕК. Для целей настоящего исследования был выбран реагент АМТЕК РО-2, выпускаемый в соответствии с ТУ 20.59.59-217-44493179-2017. Ингибитор, адсорбируясь на поверхности центров кристаллизации, препятствует их дальнейшему росту.

Согласно приведенной выше методике определения работоспособности исследуемого ингибитора, на каждом этапе анализировалось значение жесткости с указанием составляющих кальция и магния, также фиксировалось значение pH и по приведенным выше формулам рассчитывалась эффективность ингибитора. Стоит отметить, что в процессе проведения экспериментов повышение величины pH до 10,5 не приводило к потере стабильности раствора и выпадению осадка. В модельном растворе концентрации анионов хорошо растворимых солей кальция и магния (хлоридов и нитратов) были в несколько раз выше, чем концентрация осадкообразующего карбонат-аниона. Кроме того, растворимость сульфата кальция в условиях повышенного солевого фона существенно превышала концентрацию кальция в использованном модельном растворе. Ввиду этого для достижения пересыщения указанного раствора целесоо-

бразно было проводить его концентрирование. Полученные данные приведены в таблице 1.

Как показал холостой эксперимент (п. 2), при упаривании не менее 50 % от первоначального объема происходит стремительное образование осадка. Стоит также отметить, что модельный раствор в существенных количествах содержал железо (0,45 мг/дм³) и кремний (3,5 мг/дм³), наличие которых в растворе оказывает значительное влияние на процессы осадкообразования и способно деактивировать ингибитор солеотложения.

Из таблицы 1 видно, что при введении ингибитора солеотложения АМТЕК РО-2 с дозировкой 20 мг/дм³ по реагенту были достигнуты критерии эффективности согласно разработанной программе. С учетом того, что в реальных условиях кучного выщелачивания исследуемого месторождения не происходит резкого пересыщения технологических растворов, а также с учетом экспериментов, показывающих высокую устойчивость модельных растворов, рекомендованная концентрация реагента АМТЕК РО-2 была снижена до 5–10 мг/дм³ по реагенту.

После получения положительного заключения по результатам лабораторных испытаний был реализован этап опытно-промышленного прогона на действующем объекте при непосредственном участии специалистов Заказчика; полученные данные подтвердили корректность выбора реагента и обоснованность установленной дозы.

Фактические дозировки реагента АМТЕК РО-2 во время ОПИ составили 5–7 мг/дм³.

В рамках решения задачи по автоматизации процесса дозирования реагента АМТЕК РО-2 и своевременному выявлению отклонений контролируемых параметров рабочего раствора



Рис. 2. Анализатор технологических растворов

компанией АО «ЭКОС-1» при участии партнеров был спроектирован и изготовлен Анализатор технологических растворов (рис. 2). Комплектация и набор контролируемых параметров могут быть изменены для нужд Заказчика.

Успешная апробация реагентной обработки технологического раствора кучного выщелачивания с дозированием АМТЕК РО-2 и разработка анализатора технологических растворов дали старт ее масштабированию в отрасли.

На июнь 2026 г. подтверждено прохождение опытно-промышленных испытаний на двух объектах; в дорожной карте — еще три объекта. ♦



1. Караганов В.В., Ужженков Б.С. Кучное выщелачивание золота — зарубежный опыт и перспективы развития: справочник / под ред. В.В. Караганова, Б.С. Ужженкова. — Москва — Алматы, 2002. — 288 с., 43 табл., 48 ил., библиогр.: 65 названий.
2. Иргиредмет [Электронный ресурс]. URL: <https://www.irgiredmet.ru/activities/index.php?ID=634&SID=96> (дата обращения 09.06.2026 г.)
3. ТАСС [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/27609385> (дата обращения 09.06.2026 г.)
4. Теория и практика кучного выщелачивания золота / Бейсембаев Б.Б., Кенжалиев Б.К., Абсаямов Х.К., Лерман Б.Д., Лузин Б.С., Доронин А.П. Алматы: Гылым, 1998. — 199 с.

**ТЕХНОЛОГИИ И РЕАГЕНТЫ
ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ
ИНГИБИТОРЫ ПРОЦЕССОВ
СОЛЕОТЛОЖЕНИЯ**

РЕАГЕНТЫ АМЕТЕК™ И АМИНАТ™



до 99%

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ИНГИБИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ**



**ОПТИМИЗАЦИЯ
РАСХОДА РЕАГЕНТА**

**С ПОМОЩЬЮ СТЕНДА
КОНТРОЛЯ**



**СТАБИЛЬНАЯ
РАБОТА**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ**



**СНИЖЕНИЕ
ЗАТРАТ**

**НА ОБСЛУЖИВАНИЕ
И СОКРАЩЕНИЕ ПРОСТОЕВ**



**АМИНАТ™ А, АМИНАТ™ АП-2
АМЕТЕК™ РО-1, АМЕТЕК™ РО-2
НАДЁЖНАЯ ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ
И СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА
В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

+7 (495) 983-58-88, доб. 313, 314,
+7 (495) 964-98-68, доб. 160, 150
+7 916 026-12-59

voda@travers.ru travers.ru

