

УДК 669.213:541  
МРНТИ 53.37.33  
<https://doi.org/10.31643/2018/6445.13>

Комплексное использование  
минерального сырья. № 3. 2018.

Ш. Ч. АЛТЫНБЕК<sup>1\*</sup>, А. О. БАЙКОНУРОВА<sup>1</sup>, Л. С. БОЛОТОВА<sup>2</sup>, Б. МИШРА<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан, \*e-mail: Altynbek.shinar@gmail.com

<sup>2</sup>Филиал РГП «НЦ КИМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханобр», Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Вустерский политехнический институт, Вустер, США

## КОМБИНИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЕСОРБЦИИ ЗОЛОТА И РЕГЕНЕРАЦИИ ИОНИТА В КОНУСНОМ АППАРАТЕ

Received: 30 May 2018 / Peer reviewed: 19 July 2018 / Accepted: 31 July 2018

**Резюме.** Рассмотрена принципиальная технологическая схема десорбции золота и сопутствующих металлов-примесей из фазы смолы марки АМ-2Б, используемой при сорбционной переработке золотосодержащих руд. Предлагаемая комбинированная схема, предусматривающая применение двух традиционных независимых друг от друга способов (роданидная и кислотнo-тиомочевинная) элюирования золота, включает десорбцию металлов-примесей со смолы щелочными растворами роданида натрия, а золота – сернокислыми растворами тиомочевины. Для сокращения продолжительности процесса исследования по предлагаемой технологии проводились в конусном аппарате. Приведены результаты исследований элюирования золота и примесных металлов из анионита, насыщенного следующими компонентами, мг/г: Au – 2,6; Cu – 3,5; Zn – 1,3; Ni – 2,9; Co – 3,3. Показано, что основное количество металлов-примесей десорбируется из смолы при ее роданидной обработке, при этом переход золота в элюат незначителен. Состав элюата при роданидной обработке насыщенной смолы, мг/дм<sup>3</sup>: Au – 1,7; Cu – 156,0; Zn – 53,0; Ni – 89,0; Co – 102,0. Последующая обработка смолы сернокислыми растворами тиомочевины позволяет перевести в элюат 89,32 % золота от содержавшегося в ионите. Полученные элюаты, содержащие ~ 113,0 мг/дм<sup>3</sup> золота и незначительное количество примесей, представляют собой целевые растворы для получения ценного металла. Проведена регенерация ионита путем промывки водой и обработки щелочным раствором натрия для его перевода в ОН<sup>-</sup>форму, поскольку сорбция золота осуществляется из щелочных цианидных растворов кучного выщелачивания. Остаточные содержания компонентов в смоле после регенерации составили, мг/г: Au – 0,24; Cu – 0,23; Zn – 0,15; Ni – 0,07; Co – 1,29, что позволяет успешно использовать регенерированную смолу на следующей стадии сорбции.

**Ключевые слов:** элюирование, десорбция, комбинированная технология, анионит, роданидные растворы, кислые тиомочевинные растворы

**Введение.** Переработка бедных окисленных золотосодержащих руд методом кучного выщелачивания цианидными растворами широко используется в производстве золота уже более 100 лет [1-5]. Метод основан на том, что при контакте с цианидными растворами золото окисляется и образует прочный анионный комплекс  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ . Для извлечения золота из полученных растворов или пульп могут использоваться анионообменные смолы и сорбенты – материалы на основе активированных углей [6]. Однако в случае комплексных руд, содержащих, кроме золота, значительное количество металлов-примесей, также переходящих в продуктивный раствор в виде комплексных цианидных соединений, переработка продуктивных растворов усложняется. Активированные угли по

сравнению со смолами имеют более высокую селективность по золоту, но это приводит к накоплению металлов-примесей в поступающем на выщелачивание оборотном растворе. Еще одним недостатком активированных углей является их повышенная чувствительность к присутствующим в растворах солям кальция и органическим соединениям, таким, как флотационные реагенты, машинные масла и смазочные материалы [7, 8]. Ионообменные смолы по сравнению с активированными углями обладают более высокими емкостными характеристиками по отношению к золоту, при этом скорость процесса заметно возрастает. Сорбция золота ионами из растворов, содержащих сопутствующие цианидные комплексы цветных металлов (таких, как медь, цинк, кобальт и др.), приводит к их совместному

концентрированию в фазе смолы. Это, в свою очередь, позволяет избежать накопления металлов-примесей в оборотном растворе. Однако совместная их сорбция вызывает необходимость создания условий раздельной десорбции металлов-примесей и благородных металлов.

Для длительного использования анионита в цикле сорбция-десорбция-регенерация необходимо обеспечить практически полную десорбцию как благородных металлов, так и примесей, так как накопление остающихся в смоле металлов приводит к уменьшению емкости смолы при повторном ее применении.

Имеются сведения об использовании для регенерации ионитов растворов хлоридов натрия и аммония, соляной и серной кислот, гидроксида натрия, аммиака, карбоната и цианида натрия [9]. Следует отметить, что использование в качестве элюирующих растворов смеси минеральных кислот приводит к образованию летучего токсичного соединения – цианистого водорода.

Предложено использовать для десорбции золота из насыщенных смол органические растворители (ацетон, спирты, этилацетат) в смеси с минеральными кислотами и водой [10]. Теоретической предпосылкой для разработки способа послужил тот факт, что в кислой среде анион  $[Au(CN)_2]^-$ , образующий ковалентную связь с органическими растворителями, будет достаточно полно десорбироваться. Определено, что десорбируется 60-100 % золота, однако при этом значительно хуже элюируются ионы серебра, меди и железа. Кроме того, в процессе десорбции использовались в значительных количествах огнеопасные вещества. Эти недостатки не позволили рекомендовать метод для промышленного применения.

В работе [11] показано применение для десорбции золота высших спиртов, в частности, 20 %-ного раствора глицерина в щелочной среде, что исключало выделение при десорбции синильной кислоты. Однако этот вариант оказался нерентабельным из-за высокой стоимости спиртов.

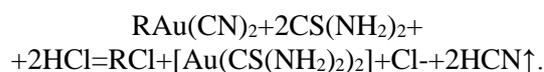
Дэвисон и Рида [12, 13] для десорбции золота использовали щелочные растворы роданидов калия, натрия и аммония. В результате исследований был предложен элюирующий раствор, содержащий 220-380 г/дм<sup>3</sup>  $NH_4SCN$  и 10-20 г/дм<sup>3</sup>  $NaOH$ . Было показано, что при использовании этого раствора десорбция золота, серебра и основных примесей проходит удовлетворительно, однако для отделения золота

от сопутствующих металлов требуются дополнительные операции.

В работе [14] предложено использовать двухстадийную обработку насыщенную смолу щелочным раствором роданида аммония. На первой стадии растворами с низкой концентрацией реагентов (1,5 %  $NH_4CNS$  и 2,0-2,5 %  $NaOH$ ) десорбируются комплексные цианиды серебра, меди, никеля, кобальта, железа, цинка и ионы свободного цианида. На второй стадии процесса концентрированными растворами роданида аммония (17-25 %  $NH_4CNS$  и 2,0-2,5 %  $NaOH$ ) десорбируется золото. Однако смола после десорбции переходит в  $SCN^-$ -форму, повторное использование которой приводит к накоплению роданид-иона в оборотных цианидных растворах и понижению емкости смолы по благородным металлам. Вследствие этого возникает необходимость десорбции роданид-иона со смолы и перевода ионита в наиболее благоприятную для сорбции  $OH^-$ -форму. Однако десорбция роданид-иона требует использования значительного объема щелочных растворов – более 15 объемов на 1 объем смолы. Это приводит к накоплению растворов с низким содержанием роданида, регенерация которого до сих пор не разработана. В связи с этим роданистые растворы в качестве десорбентов золота в производственных условиях не применяются.

В работе [15] показано, что эффективными десорбентами золота являются серно- или солянокислые растворы тиомочевины  $CS(NH_2)_2$  ( $ThiO$ ). Элюирующая способность тиомочевин объясняется ее высокой поляризуемостью и селективными комплексообразующими свойствами по отношению к золоту и ионам цветных металлов. Кислые растворы ТМ достаточно хорошо десорбируют золото при температурах 50-60 °С.

При взаимодействии с цианидным комплексом золота  $[Au(CN)_2]^-$  в кислой среде молекула тиомочевин вытесняет цианид-ион и связывает золото посредством пары свободных электронов серы в катионный комплекс согласно реакции:



Комплексный катион не способен удерживаться анионитом, имеющим отрицательно заряженные противоионы функциональных групп [16]. Смола при этом

переходит в хлоридную или сульфатную форму, а освобожденные ионы  $CN^-$  – в  $HCN$ . Аналогичная реакция протекает и в сернокислой среде, использование которой предпочтительно.

Цианистоводородная кислота, которая образуется при взаимодействии цианид-иона с серной кислотой, отгоняется и поглощается раствором  $NaOH$  или  $Ca(OH)_2$  и в виде  $NaCN$  или  $Ca(CN)_2$  возвращается на процесс цианирования [17].

В процессе эксплуатации кислотнотиомочевинной технологии переработки смолы выявились ее серьезные недостатки: при использовании для десорбции меди и железа крепких горячих растворов цианида из ионита частично десорбируются золото и серебро; неполно десорбируются цинк и железо и почти не извлекается кобальт. В связи с этим цинк, железо и кобальт накапливаются в ионите, что приводит к ухудшению его сорбционных свойств. Схему отличает многостадийность и значительная продолжительность цикла сорбции-десорбции-регенерации (250-300 ч) [15].

Для устранения указанных недостатков нами предложена комбинированная технология переработки насыщенного ионами металлов анионита. Эта технология включает две стадии десорбции: на первой – селективное элюирование металлов-примесей, на второй – золота с применением на каждой стадии специфических комплексообразующих реагентов и регенерацию ионита раствором щелочи.

Вместо крепких горячих растворов цианида для десорбции меди и железа предложено использовать слабые щелочные роданидные растворы, успешно десорбирующие эти металлы-примеси, но оставляющие в смоле золото, далее проводить десорбцию цинка и никеля раствором серной кислоты с одновременным переводом смолы из роданидной формы в сульфатную, и затем осуществлять десорбцию золота кислым раствором тиомочевины.

Использование в комбинированной технологии последовательного элюирования примесных металлов щелочными растворами роданида натрия в условиях сохранения в фазе смолы прочного цианидного комплекса золота и затем кислыми растворами тиомочевины позволяет получить золотосодержащие растворы без сопутствующих примесей.

Реализация комбинированной технологии позволит устранить недостатки существующей промышленной технологии и обеспечить получение высококачественного золотосодержащего элюата

без металлов-примесей, что позволит повысить качество готового продукта.

Известно, что в промышленном масштабе при десорбции металлов со смолы используют аппараты цилиндрического и конусного типов [18].

На большинстве золотоизвлекающих производств СНГ при десорбции металлов со смолы используют аппараты цилиндрического типа диаметром 0,7-1,0 м и высотой 5-9 м. Десорбцию осуществляет в неподвижном слое, пропуская элюирующие растворы снизу вверх через слой смолы со скоростью 1,2-1,5 м/ч. Время прохождения раствора через слой смолы в колонне составляет 3,0-7,5 часов. Недостатками данного процесса и его аппаратного оформления являются низкий массообмен между раствором и ионитом, приводящий к большой продолжительности всего процесса переработки смолы (190-215 ч).

Разрыхление смолы в процессе регенерации способствует увеличению массообменных процессов в системе смола-раствор. Ведение процесса с неподвижным слоем ионита при большей скорости подачи раствора вызывает образование локальных зон смолы, через которые раствор не проходит из-за образования воздушных пробок (так называемые «мертвые зоны»). Указанное явление вызывает ухудшение массообменных процессов.

Имеются сведения по использованию для регенерации смолы аппаратов конического типа [16], где приводятся три области влияния скорости потока раствора через слой ионита на массообмен:

1. Область  $W < 0,044$  см/с ( $\Sigma 1,58$  м/ч), где массообмен не зависит от скорости потока раствора ( $W$ );

2. Область  $2,0 > W > 0,044$  см/с ( $72 > W > 1,58$  м/ч), где массообмен увеличивается с ростом  $W$ ;

3. Область  $W > 2,0$  см/с ( $> 72$  м/ч), где динамическая емкость снова мало зависит от потока.

Известно, что удельный вес (плотность) насыщенной смолы составляет 1,12-1,15 кг/дм<sup>3</sup>, удельный вес элюирующих растворов – 1,03-1,10 кг/дм<sup>3</sup>. Разница между удельными весами смолы и раствора при регенерации имеет весьма малую величину (0,02-0,12 кг/м<sup>3</sup>). В зависимости от линейной скорости протекания раствора в колонне с насыщенной смолой будет различное ее поведение: нахождение смолы в неподвижном состоянии в нижней или верхней частях колонны, в псевдооживленном или смешанном состояниях, наличие сегрегации смолы по крупности зерен.

**Экспериментальная часть.** Методы анализа. Химический анализ смолы и растворов проводили масс-спектрометрическим методом на атомно-абсорбционном спектрометре SavantAA с пламенным атомизатором.

ИК-спектроскопический метод исследования материалов проводили с использованием ИК-Фурье спектрометра «Avatar 370», в спектральном диапазоне 4000-400 см<sup>-1</sup>. Препараты готовили смешением 200 мг KBr с 2 мг исследуемой пробы. Для эксперимента применяли приставку Avatar Diffuse Reflectance.

**Материалы и аппаратура.** В исследованиях использовали смолу марки АМ-2Б, производимой ГП «Смолы» (Украина) [19].

Анионит АМ-2Б – макропористая ионообменная смола на основе сополимера стирола с дивинилбензолом, содержащая в своей структуре сильно- и слабоосновные функциональные группы. Наличие бифункциональных третичных групп, содержащих атомы азота, способных образовывать с металлами активные группы (т.е. образовывать комплексы) в сочетании с высокой обменной емкостью и хорошей (благодаря макропористой матрице) скоростью обмена позволяет селективно извлекать анионные комплексы металлов.

Перед процессом сорбции проводили обработку смолы 5 %-ным раствором NaOH для ее перевода из хлоридной в ОН<sup>-</sup> форму. На рисунке 1 приведен ИК-спектр свежей смолы в двух формах.

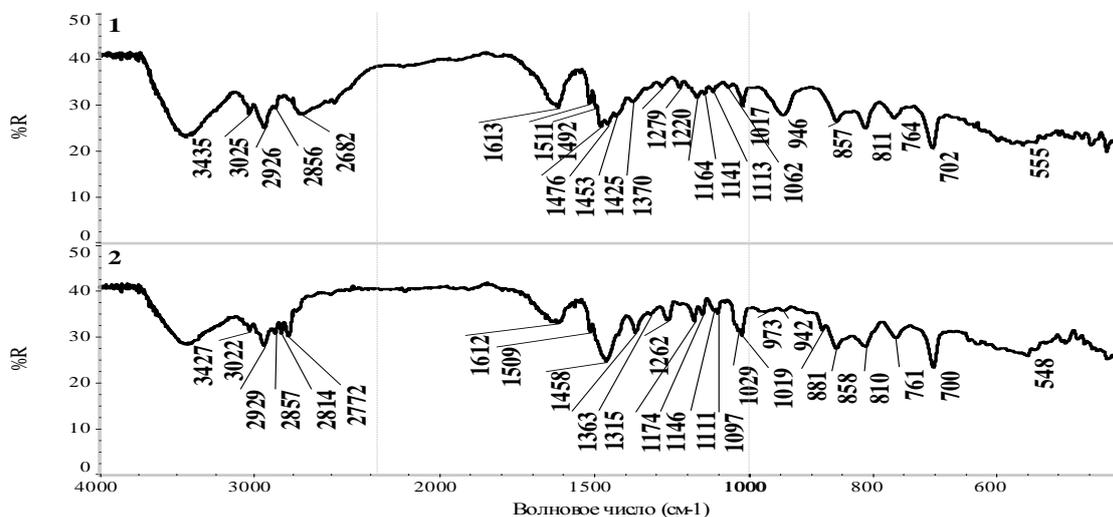


Рисунок 1 – Сопоставленные спектры свежего анионита АМ-2Б в Cl<sup>-</sup> форме и в ОН<sup>-</sup> форме

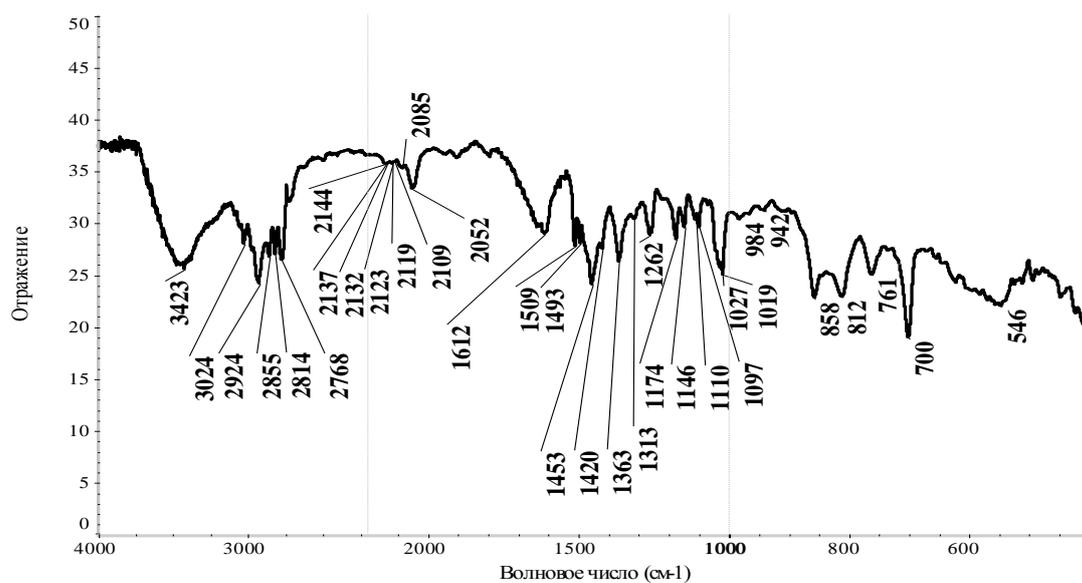


Рисунок 2 – Инфракрасный спектр насыщенного анионита

Сорбцию золота из продуктивных растворов кучного выщелачивания проводили в динамических условиях на лабораторной установке колонного типа.

В результате сорбции была получена смола, насыщенная следующими компонентами, мг/г: Au – 2,6; Cu – 3,5; Zn – 1,3; Ni – 2,9; Co – 3,3. Результаты ИК-спектроскопического анализа насыщенной смолы показаны на рисунке 2

В диапазоне 2250-2000  $\text{см}^{-1}$  наблюдаются полосы поглощения цианидных комплексов золота и примесных металлов [19, 20]:  $[\text{Co}(\text{CN})_5]^{3-}$  – 2116  $\text{см}^{-1}$ ;  $[\text{Ni}(\text{CN})_5]^{3-}$  – 2116, 2106, 2090  $\text{см}^{-1}$ ;  $[\text{Cu}(\text{CN})_3]^{2-}$  – 2090  $\text{см}^{-1}$ ;  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$  – 2143  $\text{см}^{-1}$ ;  $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-}$  – 2143  $\text{см}^{-1}$ ;  $[\text{Co}(\text{CN})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}]^{2-}$  – 2138  $\text{см}^{-1}$ ;  $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-}$  – 2138  $\text{см}^{-1}$ ; группа  $[\text{NCS}]^-$  – 2049  $\text{см}^{-1}$ .

*Методика эксперимента.* Принципиальная технологическая схема комбинированной технологии десорбции золота и регенерации

смолы марки АМ-2Б приведена на рисунке 3.

Десорбцию ионов металлов и регенерацию смолы проводили в конусном аппарате с углом конусности 60 °; высота конуса 90 мм, объем – 120 мл.

Эксперименты проводились в аппарате конусного типа с подачей растворов в нижней части аппарата со скоростью 0,08  $\text{м}^3/\text{ч}$ , смола при этом находилась во взвешенном состоянии, что обеспечивало интенсивный массообмен. Температуру растворов поддерживали при 60 °С.

**Результаты и их обсуждение.** Из полученных результатов видно (рисунки 4 и 5), что основная часть металлов-примесей десорбируются из фазы ионита в первой стадии при переработке щелочным роданидным раствором (1 % NaSCN и 2 % NaOH), при этом переход золота в элюат незначителен

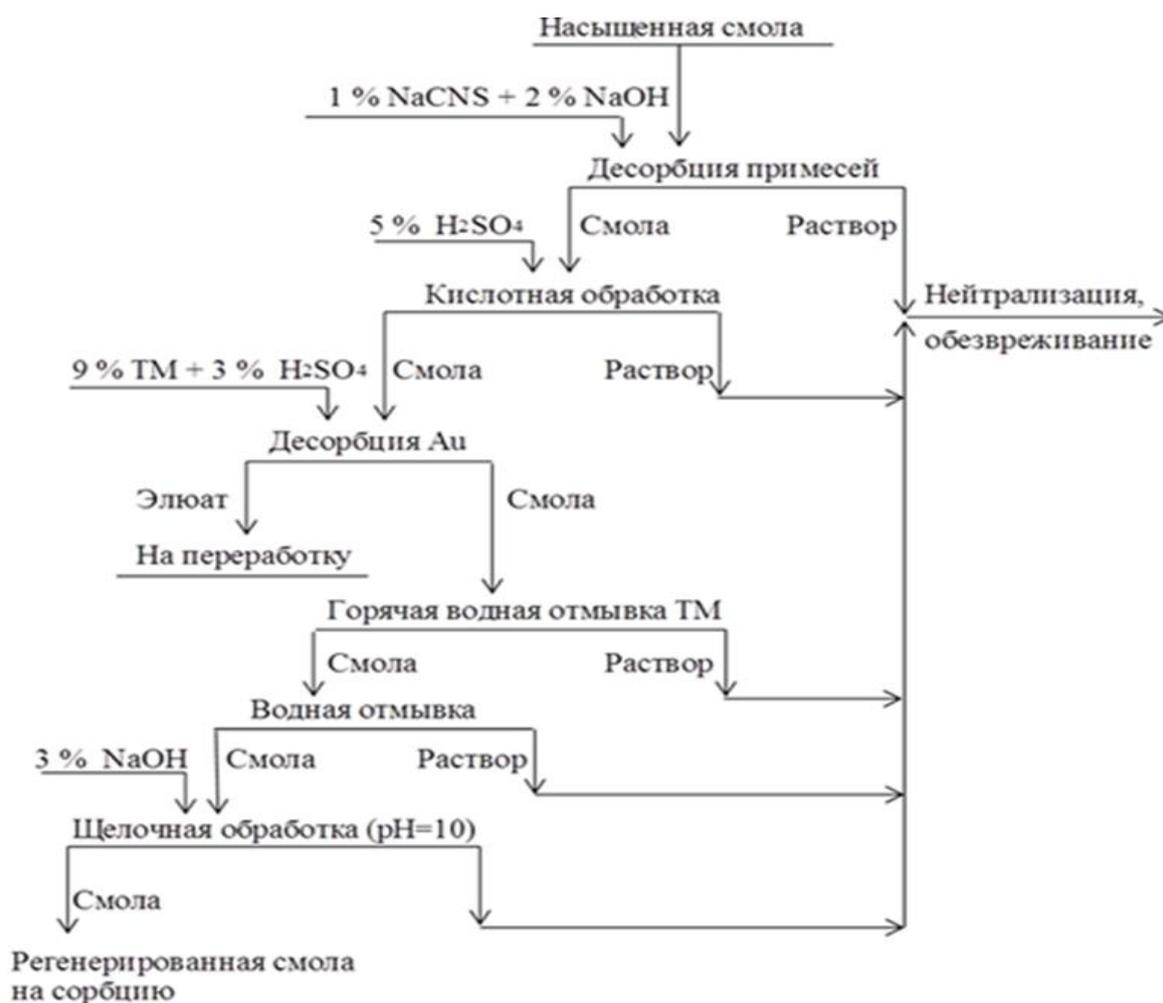


Рисунок 3 – Принципиальная технологическая схема комбинированной технологии десорбции золота и регенерации смолы марки АМ-2Б

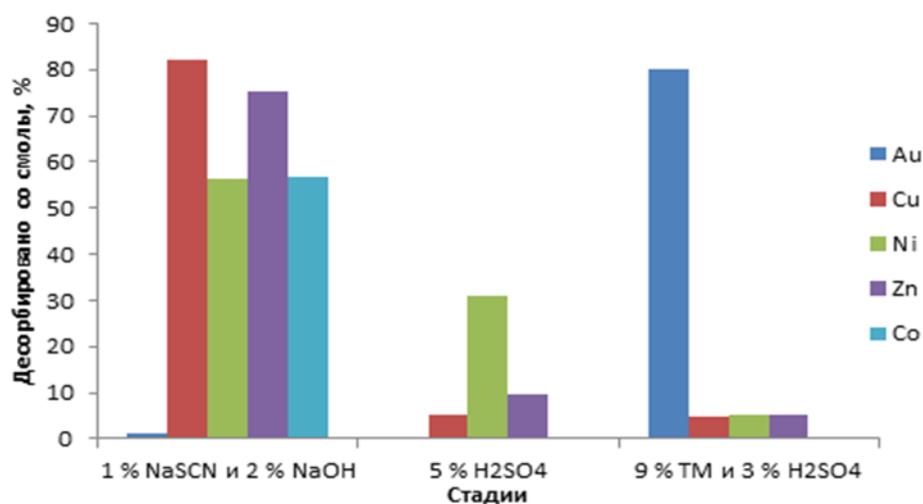


Рисунок 4 – Зависимость степени десорбции металлов от проведенных стадий

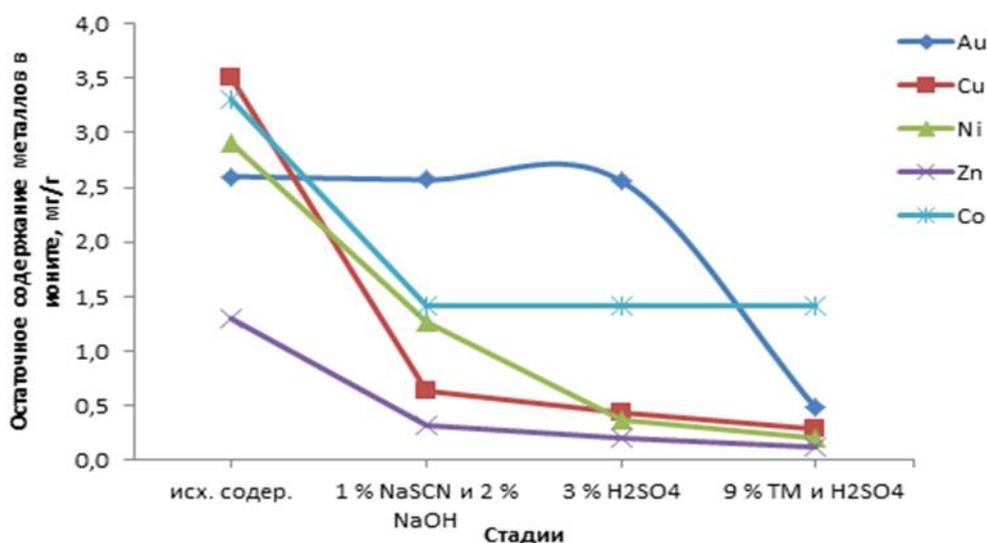


Рисунок 5 – Остаточные содержание металлов в ионите после каждой стадии обработки

Состав элюата при роданидной обработке насыщенной смолы был следующим, мг/дм<sup>3</sup>: Au – 1,70; Cu – 156,0; Zn – 53,0; Ni – 89,0; Co – 102,0. Последующая обработка смолы серной кислотой позволяет достичь дополнительного извлечения 5,2 % меди, 30,81 % никеля, 9,64 % цинка и 0,21 % кобальта. При этом происходит перевод смолы из CNS<sup>-</sup> - формы в SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - форму, что является важным для дальнейшей десорбции золота, осуществляемой в кислой среде. Использование на второй стадии элюирования кислого тиомочевинного раствора (9 % CS(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> и 3 % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) позволяет десорбировать золото из очищенной от металлов-примесей смолы до ~ 90 %, доизвлечение Cu, Ni, Zn при этом составляет 5,13 %, 5,94 %, 10,19 % соответственно.

Степень десорбции кобальта на первой стадии при использовании щелочного роданидного раствора составляет 56,94 %, после кислотной обработки эта величина достигает 57,15 %. На второй стадии десорбции золота кислым тиомочевинным раствором удается достичь увеличения элюирования кобальта только на 1,0 %. Таким образом, по существующей тиомочевинной технологии кобальт практически не элюируется. Однако использование двухстадийной десорбции позволяет элюировать более 50 % кобальта, что снижает суммарное количество примесей, остающихся в смоле после его регенерации.

Из полученных данных видно, что количество золота в ионите после роданидной обработки практически не меняется и резко снижается при использовании кислых тиомочевинных растворов до

0,28 мг/г (рисунок 4). На первой стадии использования роданистых растворов и обработки смолы серной кислотой снижается концентрация металлов в ионите, мг/г: меди до 0,44, никеля – 0,37, цинка – 0,20, кобальта – 1,41.

Содержание металлов после промывки водой составляет, мг/дм<sup>3</sup>: Au – 0,74; Cu – 0,01; Zn – 0,67; Ni – 0,10; Co – 0,04. Остаточные содержания компонентов в смоле после ее регенерации составили, мг/г: Au – 0,24; Cu – 0,23; Zn – 0,15; Ni – 0,07; Co – 1,29, что позволяет успешно использовать регенерированную смолу на следующей стадии сорбции.

Таким образом, при использовании комбинированного двухстадийного элюирования достигается селективное извлечение золота, концентрирование цветных металлов в элюате первой стадии и эффективная регенерация ионообменной смолы. Поскольку для выбранной макропористой смолы марки АМ-2Б характерна пленочная кинетика сорбции, интенсивный массообмен, обеспечиваемый аппаратом конусного типа, позволяет сократить продолжительность цикла сорбция-десорбция-регенерация.

**Выводы.** Низкое остаточное содержание компонентов в смоле после ее регенерации (Au – 0,24 мг/г; Cu – 0,23 мг/г; Zn – 0,15 мг/г; Ni – 0,07 мг/г; Co – 1,29 мг/г) позволяет успешно использовать регенерированный ионит на следующей стадии сорбции. Предлагаемая комбинированная технология регенерации смолы, позволяет селективно десорбировать примеси от золота, кондиционируя золотосодержащие элюаты, от которых зависит качество получаемого продукта.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Барченков В.В. Технология гидрометаллургической переработки золотосодержащих флотоконцентратов с применением активных углей. – Чита: Поиск, 2004. – 242 с.
- 2 Меретуков М.А. Золото: химия, минералогия, металлургия. – М.: Руда и металлы, 2008. – 528 с.
- 3 Абсалымова Х.К. Исследование влияния различных факторов на сорбционное извлечение золота из бедных золотосодержащих руд // Комплексное использование минерального сырья. – 2002, – № 5, – С. 32-35
- 4 Стрижко Л.С., Бобохонов Б.А., Рабиев Б.Р., Бобоев И.Р. Технологии переработки золотосодержащих руд // Горный журнал. – 2012. – № 7. – С. 45-50.
- 5 Криницын Д.О. Равновесие и кинетика сорбции тиоцианатных комплексов золота (I)

некоторыми анионитами: 02.00.04 дисс. ...канд. ... хим. ... наук. / Институт химии и химической технологии СО РАН – Красноярск: 2009. 150 с.

6 Ерденова М.Б., Койжанова А.К., Осиповская Л.Л., Акчулакова С.Т., Аманжолова Л.У. Сорбционное извлечение благородных металлов из многокомпонентных растворов // Комплексное использование минерального сырья. – 2014, – № 2, – С. 50-57.

7 Алтынбек Ш.Ч., Байконурова А.О. Изучение влияния состава золотосодержащих растворов на сорбцию золота природными и синтетическими ионитами // Докл. НАН РК. – 2016, – 4 (308), – С. 17-23.

8 Кишибаев К.К., Токпаев Р.Р., Атчабарова А.А., Ефремов С.А., Воропаева Н.Л., Фернандес-Саньюрио М.Ж., Нечипуренко С.В., Наурызбаев М.К., Тасибеков Х.С., Карпачев В.В. Активированные угли различной природы в процессах извлечения золота // Журнал прикладной химии. – 2016. – Т. 89. Вып. 3. – С. 327-333.

9 Болотова Л.С. Ионообменная технология в гидрометаллургии золота // Геология и разведка недр Казахстана. – 2001. – № 2, – С. 52-56.

10 Özlem Bahadır Acikara. Ion-Exchange Chromatography and Its Applications. – Лондон: Intechopen limited, 2013, – Chapter 2. – P. 31-58. DOI: 10.5772/55744

11 Котляр Ю.А., Меретуков М.А., Стрижко Л.С. Металлургия благородных металлов. – М.: Руда и Металлы, 2005. – Т. 1. – 431 с.

12 Davison I., Rida A. // Trans. Inst. Min. Met. – 1960/1961. – V. 70. – P. 737-739

13 Philip M. Cummins, Keith D. Rochfort, Brendan F. O'Connor. Ion-Exchange Chromatography: Basic Principles and Application. Dermot Walls and Sinéad T. Loughran (eds.), Protein Chromatography: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology. – New York: Springer Science+Business Media, 2017. – V. 1485, P – 209-233. DOI 10.1007/978-1-4939-6412-3\_11.

14 Витковская А.П., Кузнецов В.Н., Зайцева В.Н. Бескислотная регенерация анионитов. // Цветные металлы. – 1977. – № 5. – С. 77-80

15 Стрижко Л.С., Металлургия золота и серебра, Учебное пособие для вузов. – М: МИСИС, 2001, – 336 с.

16 Корольков Н.М. Теоретические основы ионообменной технологии. – Рига: ЛИЕСМА, 1968. – 290 с.

17 Современное состояние и перспективы применения сорбционных процессов в гидрометаллургии золота. Сер. Производство тяжелых цветных металлов. – Москва: Обзорная информация, 1974, – 60 с.

18 Алтынбек Ш.Ч., Болотова Л.С., Романенко А.Г., Байконурова А.О. Выбор элюирующих растворов для десорбции золота с насыщенной ионообменной смолы в присутствии металлов-примесей // Вестн. НАН РК. – 2017, – 3 (367) – С. 80-86.

19 Каталог продукции ГП «Смолы». Украинский производитель ионообменных смол. – Днепродзержинск: ГП «Смолы», 2017. – С. 15-16

20 Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1966. – 412 с.

21 Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 536 с.

#### REFERENCES

1 Barchenkov V.V. *Tekhnologiya gidrometal-lurgicheskoy pererabotki zolotosoderzhashchikh flotokonsentratov s primeneniye aktivnykh ugley* (Technology of hydrometallurgical processing of gold-containing flotation concentrates with the use of active coals). Chita: Poisk, **2004**. 242 (in Russ.)

2 Meretukov M.A. *Zoloto: khimiya, mineralogiya, metallurgiya* (Gold: chemistry, mineralogy, metallurgy). M.: Ore and Metals. **2008**. 528 (in Russ.)

3 Absalyamova Kh.K. *Issledovaniye vliyaniya razlichnykh faktorov na sorbtionnoye izvlecheniye zolota iz bednykh zolotosoderzhashchikh rud* (Investigation of the influence of various factors on sorption extraction of gold from poor gold-bearing ores). *Kompleksnoye ispol'zovaniye mineral'nogo syr'ya = Complex use of mineral resources*, **2002**. 5, 32-35 (in Russ.)

4 Strizhko L.S., Bobokhonov B.A., Rabiyeu B.R., Boboyev I.R. *Tekhnologii pererabotki zolotosoderzhashchikh rud* (Technologies of gold-bearing ore processing). *Gornyy zhurnal = Mining journal*. **2012**. 7, 45-50 (in Russ.)

5 Krinitsyn D.O. *Ravovesiye i kinetika sorbtzii tiotsianatnykh kompleksov zolota (I) nekotorymi anionitami* (Equilibrium and kinetics of sorption of thiocyanate gold complexes (I) by certain anion exchangers): 02.00.04. Thesis for the degree of candidate of chem. sci. Institute for Chemistry and Chem. Technol. Krasnoyarsk. **2009**. 150 (in Russ.)

6 Erdenova M.B., Koyzhanova A.K., Osipovskaya L.L., Akchulakova S.T., Amanzholova L.U. *Sorbtionnoye izvlecheniye blagorodnykh metallov iz mnogokomponentnykh rastvorov* (Sorption extraction of noble metals from multicomponent solutions). *Kompleksnoye ispol'zovaniye mineral'nogo syr'ya = Complex use of mineral resources*. **2014**. 2, 50-57 (in Russ.)

7 Altynbek Sh.Ch., Baykonurova A.O. *Izucheniye vliyaniya sostava zolotosoderzhashchikh rastvorov na sorbtsiyu zolota prirodnyimi i sinteticheskimi ionitami* (Study of the influence of the composition of gold-containing solutions on the sorption of gold by natural and synthetic ionites). Dokl. NAN Republic Kazakhstan = Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. **2016**. 4, 17-23 (in Russ.)

8 Kishibayev K. K., Tokpayev R. R., Atchabarova A. A., Efremov S. A., Voropayeva N. L Fernandez-Sanjurjo. M.J., Nechipurenko S. V., Naurzybayev M. K., Tasibekov Kh. S., Karpachev V. V. *Aktivirovannyye ugli razlichnoy prirody v protsessakh izvlecheniya zolota* (Activated coals of different nature in the processes of gold extraction). *Zhurnal prikladnoy khimii = Journal of Applied Chemistry*. **2016**. 3, 327. (in Russ.).

9 Bolotova L.S. *Ionoobmennaya tekhnologiya v gidrometallurgii zolota* (Ion-exchange technology in gold hydrometallurgy). *Geologiya i razvedka nedr Kazakhstana = Geology and exploration of mineral resources of Kazakhstan*. **2001**. 2, 52-56 (in Russ.)

10 Özlem Bahadır Acikara. *Ion-Exchange Chromatography and Its Applications*. London: Intechopen limited, **2013**, 2. 31-58. DOI: 10.5772/55744. (in Eng.)

11 Kotlyar Yu.A., Meretukov M.A., Strizhko L.S. *Metallurgiya blagorodnykh metallov* (Metallurgy of precious metals). Moscow: Ruda and Metally. **2005**. 431 (in Russ.)

12 Davison I., Ride A. *Trans. Inst. Min. Met.* **1961**. 737-739 (in Eng.)

13 Philip M. Cummins, Keith D. Rochfort, Brendan F. O'Connor. *Ion-Exchange Chromatography: Basic Principles and Application*. Dermot Walls and Sinéad T. Loughran (eds.), *Protein Chromatography: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology*. New York: Springer Science+Business Media, **2017**. 1485, 209-223. DOI 10.1007/978-1-4939-6412-3\_11. (in Eng.)

14 Vitkovskaya A.P., Kuznetsov V.N., Zaytseva V.N. *Beskislottnaya regeneratsiya anionitov* (Acid-free regeneration of anion exchangers). *Tsvetnye metally = Non-ferrous metals*. **1977**. 5, 77-80 (in Russ.)

15 Strizhko L.S. *Metallurgiya zolota i srebra* (Metallurgy of gold and silver). Moscow: MISIS, **2001**. 336 (in Russ.)

16 Korolkov N.M. *Teoreticheskiye osnovy ionoobmennoy tekhnologii* (Theoretical basis of ion-exchange technology). Riga: Liesma. **1968**. 290 (in Russ.)

17 Punishko A.A. *Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy primeneniya sorbtionnykh protsessov v gidrometallurgii zolota* (Current state and prospects for the use of sorption processes in gold hydrometallurgy). Moscow. **1974**. 60 (in Russ.)

18 Altynbek Sh.Ch., Bolotova L.S., Romanenko A.G., Baykonurova A.O. *Vybor ehlyuiruyushchikh rastvorov dlya desorbtzii zolota s nasyshchennoy ionoobmennoy smoly v prisutstvii metallov-primesey* (The choice of eluting solutions for desorption of gold from a saturated ion-exchange resin in the presence of impurity metals). *Vestnik NAN Republic Kazakhstan = Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan*. **2017**. 3, 80-86 (in Russ.)

19 *Katalog produktii GP «Smoly»*. *Ukrainskiy proizvoditel ionoobmennykh smol* (Catalog of "Resins" company production. Ukrainian producer of ion-exchange resins). Dneprodzerzhinsk: Resins Co. **2017**. 15-16 (in Russ.)

20 Nakamoto K. *Infrakrasnyye spektry neorganicheskikh i koordinatsionnykh soyedineniy* (Infrared spectra of inorganic and coordination compounds). Moscow: Mir. **1966**. 412 (in Russ.)

21 Nakamoto K. *IK-spektry i spektry KR neorganicheskikh i koordinatsionnykh soyedineniy* (R spectra and spectra of KR of inorganic and coordination compounds). Moscow: Mir. **1991**. 536 (in Russ.)

### ТҮЙІНДЕМЕ

Алтынқұрамды кендерден алтынды АМ-2Б маркалы шайырынан десорбциялау және шайырды қайта өңдеудің біріккен технологиясын қолданудың негізгі технологиялық сұлбасы ұсынылып зерттелген. Бұл сұлба алтынды десорбциялық өңдеуде қолданылатын екі дәстүрлі (роданидті және қышқыл тиомочевинді) технологияны қамтиды. Шайырлардан қоспа металдарды сілтілік роданидті ерітінділермен десорбциялау және алтынды қышқыл тиомочевинді ерітінділермен десорбциялауды қамтитын ұсынылған біріккен технологияны қолдану кезінде қоспа металдардың әрекеті зерттелді және процесстің ұзақтылығын қысқарту үшін зерттеуде конусты аппараттар қолданылды. Зерттеулер алтынды десорбциялау және ион алмастырғыш шайырды қалпына келтіру бағытында ұсынылған аралас технология бойынша өткізілді. Келесі компоненттермен қаныққан ион алмастырғыш шайыр пайдаланылды, мг/г: Au – 2,6; Cu – 3,5; Zn – 1,3; Ni – 2,9; Co – 3,3. Қоспа металдардың басым мөлшері және алтынның аз мөлшері сілтілік роданидті ерітінділерді қолдану кезінде элюатқа өтетіні көрсетілді. Ион алмастырғыш шайырды роданидті ерітінділермен өңдеген кездегі ерітіндінің құрамы келесідей, мг/дм<sup>3</sup>: Au – 1,7; Cu – 156,0; Zn – 53,0; Ni – 89,0; Co – 102,0. Ион алмастырғыш шайырды келесі тиомочевинді қышқылды ерітінділермен өңдеу кезінде алтынның ерітіндіге өтуі 89,32 % құрайды. Алынған алтынқұрамды элюаттардың ~113,0 мг/дм<sup>3</sup> алтын және аз мөлшерде қоспа металдардан тұрады. Ион алмастырғыш шайырды сумен шаю арқылы және сілтілік ерітінділермен шайырды ОН- түріне өткізу жұмысы жүргізілді, себебі ары қарайғы алтынды үйінді шаймалау сілтілік ортада жүргізіледі. Қалпына келтірілген ион алмастырғыш шайырдың қалдық құрамы, мг/г: Au – 0,24; Cu – 0,23; Zn – 0,15; Ni – 0,07; Co – 1,29, бұл құрам шайырды келесі сорбция сатысында табысты қолдануға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** десорбциялау, біріккен технология, анион алмастырғыш шайыр, роданидті ерітінділер, қышқыл тиомочевинді ерітінділер

### ABSTRACT

The principal technological scheme of desorption of gold and concomitant metal-impurities from the AM-2B resin phase used for the sorption processing of gold-bearing ores is considered. The proposed combined scheme, involving the use of two traditional, independent from each other methods (thiocyanate and acid-thiourea) for eluting gold, includes desorption of metal impurities from the resin with alkaline solutions of sodium thiocyanate, and gold with sulfuric acid solutions of thiourea. To shorten the duration of the process research of proposed technology was carried out in a conical apparatus. The results of study of the elution of gold and impurity metals from anionite saturated with the following components, mg/g: Au – 2.6; Cu – 3.5; Zn – 1.3; Ni – 2.9; Co – 3.3, are given. It is shown that the main amount of impurity metals is desorbed from the resin upon its thiocyanate treatment, while the transition of gold into the eluate is negligible. The composition of the eluate in the thiocyanate treatment of saturated resin is, mg/l: Au – 1.7; Cu – 156.0; Zn – 53.0; Ni – 89.0; Co – 102.0. The subsequent treatment of the resin with sulfuric acid solutions of thiourea allows the conversion of 89.32 % of gold from the ion exchanger into the eluate. The resulting eluates containing ~113.0 mg/l gold and a small amount of impurities are target solutions for obtaining a valuable metal. The ion exchanger was regenerated by washing with water and treating with an alkaline solution of sodium to convert it to OH form, since gold sorption is carried out from alkaline cyanide solutions of heap leaching. Residual contents of components in the resin after regeneration were, mg/g: Au – 0.24; Cu – 0.23; Zn – 0.15; Ni – 0.07; Co – 1.29, which allows the successful use of the regenerated resin in the next stage of sorption.

**Key words:** elution, desorption, combined technology, anion exchanger, thiocyanate solutions, acid thiourea solutions

*Поступила 30.05.2018*