

**Sh. Ch. Altynbek<sup>1,2</sup>, L. C. Bolotova<sup>2</sup>, A. G. Romanenko<sup>2</sup>, A. O. Baikonurova<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>The Branch of the Republican State Enterprise «National center on complex processing of mineral raw materials of the Republic of Kazakhstan» State scientific-industrial association of industrial ecology "Kazmekhanobr", Almaty, Kazakhstan.

E-mail: Altynbek.shinar@gmail.com, L\_bolotova@yahoo.com, a.baikonurova@yandex.kz

## **SELECTION OF ELULATING SOLUTIONS FOR THE DESSORPTION OF GOLD FROM SATURATED ION EXCHANGE RESIN IN PRESENCE OF METAL-IMPURITIES**

**Abstract.** This article presents the results of studies on the selection of effective eluting solutions for gold desorption and resin regeneration from gold-containing cyanide solutions, which, using the process, increase the process speed and reduce the consumption use of the reagents.

**Key words:** ion exchange resin, process kinetics, gold capacity, resin selectivity for gold, duration effect

УДК 661.183.123

**Ш. Ч. Алтынбек<sup>1,2</sup>, Л. С. Болотова<sup>1</sup>, А. Г. Романенко<sup>1</sup>, А. О. Байконурова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

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

## **ВЫБОР ЭЛЮИРУЮЩИХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ДЕСОРБЦИИ ЗОЛОТА С НАСЫЩЕННОЙ ИОНООБМЕННОЙ СМОЛЫ В ПРИСУТСТВИИ МЕТАЛЛОВ-ПРИМЕСЕЙ**

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследований по выбору эффективных элюирующих растворов для десорбции золота и регенерации смолы из золотосодержащих цианидных растворов, при использовании которых обеспечивается повышение скорости процесса и снижение расхода используемых реагентов.

**Ключевые слова:** ионообменная смола, кинетика процесса, емкость по золоту, селективность смолы по золоту, влияние продолжительности.

В последние годы во всем мире, в том числе в Республике Казахстан широкое распространение получили гидрометаллургические методы переработки золотосодержащего рудного и забалансового сырья с использованием процесса сорбции золота на ионообменных смолах и активированных углях.

Одним из сдерживающих факторов широкого использования ионообменных смол вместо углей является сложная традиционная технология регенерации смолы, осуществляемая, как правило, в 14-16 аппаратах в течение 150-200 часов [1]. Кроме того, использование в процессе регенерации смолы больших количеств реагентов, оказывает отрицательное техногенное воздействие на окружающую среду.

Золотосодержащие цианидные растворы, образующиеся при выщелачивании, кроме золота содержат комплексные цианистые соединения серебра -  $\text{NaAg}(\text{CN})_2$  и металлов-примесей, из которых наиболее характерны цианистые соединения меди  $\text{NaCu}(\text{CN})_2$ ,  $\text{Na}_2\text{Cu}(\text{CN})_3$  и  $\text{Na}_3\text{Cu}(\text{CN})_4$ , цинка  $\text{Na}_2\text{Zn}(\text{CN})_4$ , никеля  $\text{Na}_2\text{Ni}(\text{CN})_4$ , железа  $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$  и кобальта  $\text{Na}_4\text{Co}(\text{CN})_6$ . В этой связи насыщенные ионообменные смолы наряду с золотом и серебром, содержат металлы-примеси, массовое количество которых в смоле иногда в 2-3 раза превышает содержание благородных металлов.

В процессе регенерации анионитов необходимо добиваться наиболее полной десорбции как благородных металлов, так и примесей. Остающиеся на смоле примеси при повторном ее использовании в процессе сорбции ухудшают кинетику процесса, уменьшают емкость смолы по благородным металлам и увеличивают потери растворенного золота в жидкой фазе хвостов.

Решение этих проблем позволит поставить ионообменную технологию извлечения золота на смолах в разряд более эффективных по сравнению с угольно-сорбционной технологией.

Анализ технологий по десорбции золота с насыщенных ионообменных смол показал, что из ряда испытанных элюентов наиболее приемлемыми являются щелочные растворы роданида натрия и аммония, а также растворы тиомочевины в присутствии минеральных кислот [2].

В данной работе нами было изучено элюирование золота и сопутствующих примесей из фазы насыщенной смолы щелочными растворами роданида натрия и кислыми растворами тиомочевины. Эти элюенты испытаны для десорбции золота с насыщенной смолы АМ-2Б, которая имеет хорошую селективность по отношению к золоту при сорбции его из цианидных растворов и пульпы. Анионит марки АМ-2Б (производитель Украина) смешанной основности, макропористой структуры с бензилдиметиламиновым и дибензилдиметиламониевыми функциональными группами. Также данный анионит отличается высокой химической стойкостью к воздействию щелочей, кислот, окислителей; обладает хорошей механической прочностью; устойчив к действию температур; не растворим в воде и органических соединений.

В исследованиях была использована насыщенная смола, содержащая, мг/л: золото 2,75; серебро 2,93; медь 14,4; цинк 2,9; никель 0,44; кобальт 0,4; железо 10,6.

Регенерация осуществлялась раствором роданида натрия различной концентрации: в первом опыте использовали раствор, содержащий 1,5 % роданида натрия и 2 % гидроксида натрия; во втором опыте – элюент, содержащий 20 % роданида натрия и 4 % гидроксида натрия. Объемное соотношение смолы и элюента на каждой стадии поддерживали 1:1,5, время циркуляции раствора на каждой стадии десорбции – 1 ч, температура раствора – 50 °С.

На рисунках 1-4 приведены результаты исследований по десорбции золота и металлов-примесей с насыщенной смолы щелочными растворами роданида натрия.

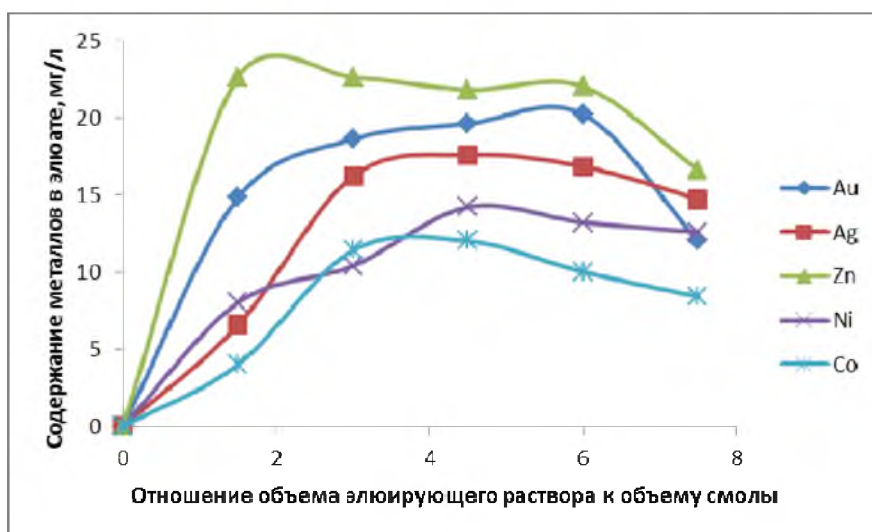


Рисунок 1 – Зависимость содержания золота, серебра, цинка, никеля и кобальта в элюате от отношения объема элюирующего раствора к объему смолы при концентрации 1,5 %  $\text{NaCNS}$  + 2,0 %  $\text{NaOH}$



Рисунок 2 – Зависимость содержания меди в элюате от отношения объема элюирующего раствора к объему смолы при концентрации 1,5 % NaCNS + 2,0 % NaOH

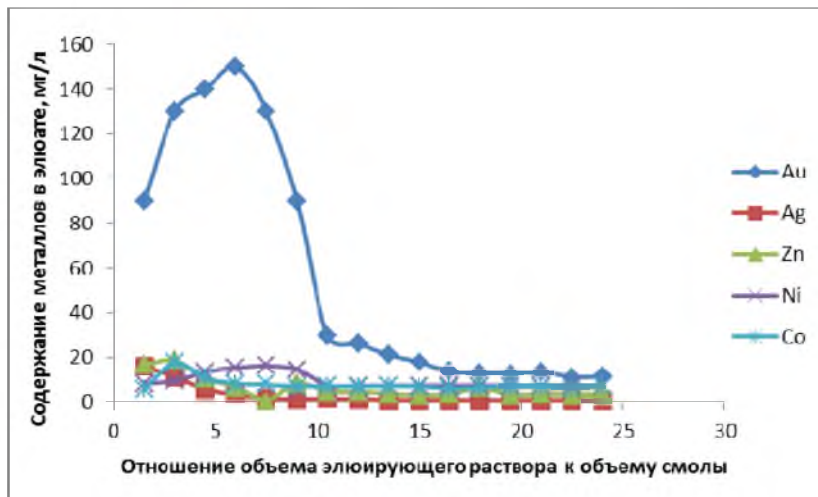


Рисунок 3 – Зависимость содержания золота, серебра, цинка, никеля и кобальта в элюате от отношения объема элюирующего раствора к объему смолы при концентрации 20 % NaCNS + 4,0 % NaOH



Рисунок 4 – Зависимость содержания меди в элюате от отношения объема элюирующего раствора к объему смолы при концентрации 20 % NaCNS + 4,0 % NaOH

Анализ полученных результатов по десорбции металлов с насыщенной смолы щелочными растворами роданида натрия показал, что при использовании элюирующего реагента содержащего 1,5 % NaCNS и 20 % NaOH, достигается хорошие показатели по десорбции металлов примесей. При этом содержание золота в элюатах составило лишь 14,8-20,2 мг/л.

Элюирующим реагентом, содержащим 20 % NaCNS + 4,0 % NaOH золото эффективно десорбируется в начале операции, достигая максимального значения 150 мг/л на 4 часу десорбции (6 объемов). Затем содержание золота в элюатах снижается.

Наряду с золотом в первых порциях элюатов концентрируется 205,0-246,0 мг/л меди, содержание серебра и других металлов-примесей незначительное.

Таким образом, используя различную концентрацию элюирующего раствора по роданиду натрия, можно первоначально снять со смолы основное количество металлов-примесей, затем элюировать золото.

Традиционная кислотнo-тиомочевинная технология десорбции золота и регенерации смолы включает несколько операций, основными из которых являются обработка смолы серной кислотой для десорбции цинка и никеля, сорбция тиомочевины, непосредственно десорбция золота и серебра сернокислым раствором тиомочевины, отмывка тиомочевины и перевод смолы в OH-форму обработкой гидроксидом натрия. На некоторых предприятиях для десорбции со смолы больших количеств железа и меди используют дополнительную операцию обработки смолы 3-5 % раствором цианида натрия. Длительность операции около 40 ч, кроме того, отмывка смолы от цианида натрия водой занимает 10 ч.

Каждая операция осуществляется в колоннах в несколько стадий, полностью весь процесс проводится в 14-25 колоннах. Продолжительность традиционного процесса десорбции золота и регенерации смолы составляет 150-250 часов, в том числе продолжительность операции десорбции золота ~50 часов (таблица).

Параметры традиционной технологии десорбции золота и регенерации смолы

№ операции	Используемый элюент, г/л	Назначение операции	Ориентир. продолжительность операции, ч
1	H <sub>2</sub> O	Отмывка шламов	10
2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 20-30	Десорбция Zn, Ni, CN	40
3	TM, 40-90 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 20-30	Сорбция тиомочевины, десорбция меди	10
4	TM, 80-90 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 20-30	Десорбция Au, Ag	50
5	H <sub>2</sub> O или H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , 20-30	Отмывка тиомочевины	30
6	NaOH, 20-40	Десорбция Al, S, SiO <sub>2</sub> перевод смолы в OH-форму	30
7	H <sub>2</sub> O	Отмывка NaOH	10

Все операции, за исключением водной отмывки шламов, щелочной обработки и отмывки щелочи ведутся при температуре 55-60 °С и атмосферном давлении.

В исследованиях использовали смолу, максимально насыщенную металлами состава, кг/т: золото 14,13; серебро 0,75; медь 21,2; цинк 3,8; никель 0,36; кобальт 2,1; железо 4,5. Суммарное содержание металлов в смоле – 46,84 кг/т.

Смолу предварительно обрабатывали 3,5 %-ным раствором серной кислоты при температуре 55-60 °С. Элюирование металлов растворами тиомочевины (TM) провели также при температуре 55-60 °С. Концентрации серной кислоты 3 %. В результате этой операции происходит разложение серной кислотой большей части простых и комплексных цианистых соединений, сорбированных ионообменной смолой.

Наиболее распространенным десорбентом являются кислые растворы тиомочевины (8-9 %  $CS(NH_2)_2$  и 2,0-2,5 % серной или соляной кислоты).

Достаточно высокое извлечение золота может быть получено и при более низких концентрациях тиомочевины (4,5-6,0 %), однако отмечено что в этом случае содержание меди в исходной смоле не должно превышать 3-5 мг/г, большие концентрации меди в смоле приводят к неполной десорбции золота [3, 4]. В этой связи в данных опытах проверяли концентрацию тиомочевины 4,5 и 9 %.

На рисунках 5 и 6 приведены результаты опытов по определению влияния концентрации тиомочевины и времени перемешивания смолы с элюентом на десорбцию золота и сопутствующих металлов-примесей.

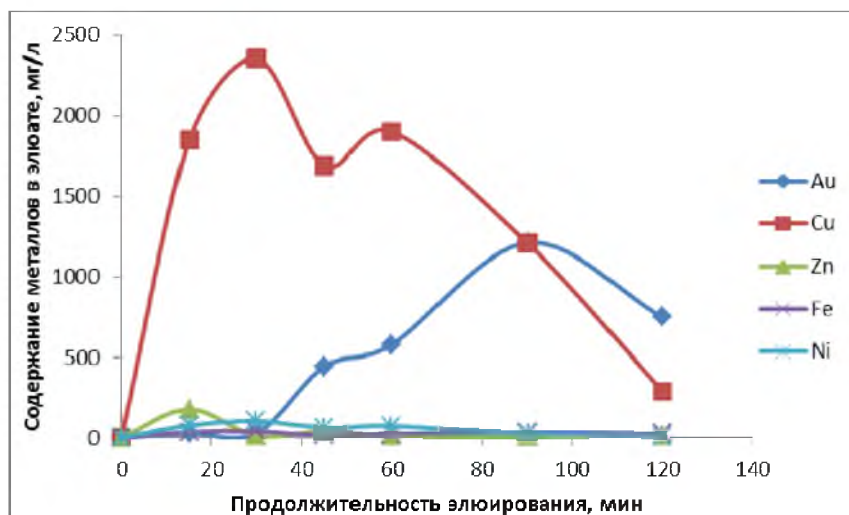


Рисунок 5 – Зависимость содержания металлов в элюате от продолжительности элюирования при концентрации тиомочевины 4,5 %

Из данных рисунка 5 следует, что на десорбцию данных металлов концентрация ТМ не оказывает существенного влияния, из металлов-примесей наибольшее концентрирование в элюате достигала медь и в этой связи на рисунке 7 показаны сравнительные зависимости золота и меди от концентрации ТМ.

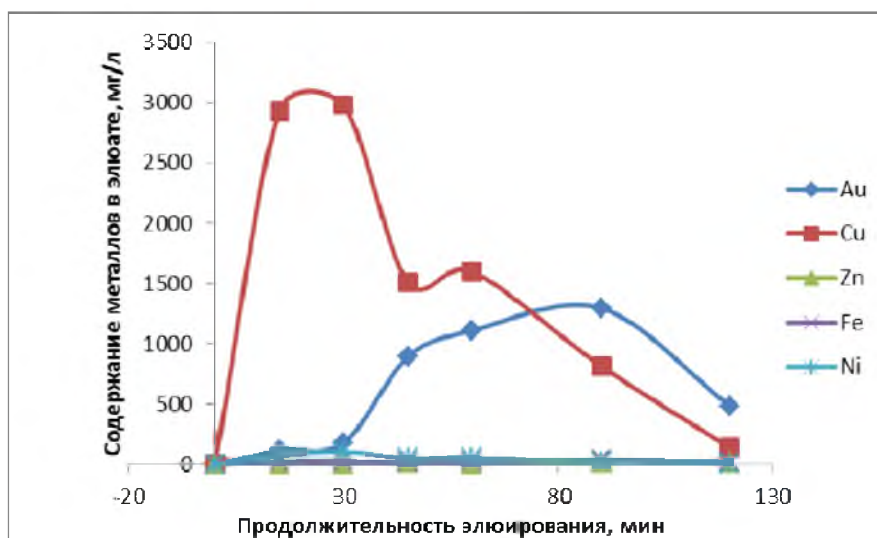


Рисунок 6 – Зависимость содержания металлов в элюате от продолжительности элюирования при концентрации тиомочевины 9 %

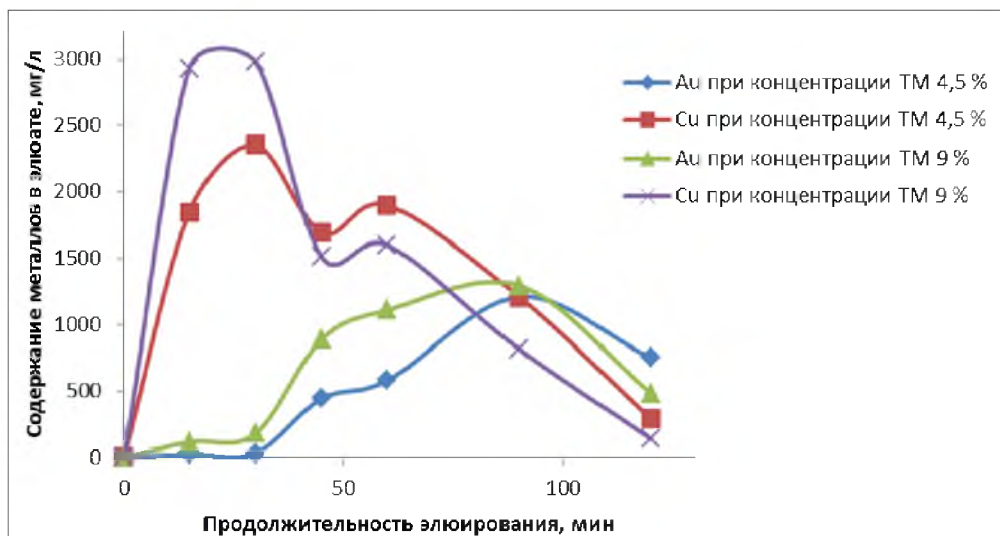


Рисунок 7 – Зависимость содержания золота и меди в элюате от продолжительности элюирования при концентрации тиомочевины 4,5 % и 9,0 %

Из данных рисунка 7 видно, из раствора хорошо десорбируется в основном золото и медь. Можно отметить, что при низкой концентрации ТМ медь достаточно хорошо десорбируется в элюат по сравнению с золотом. В промышленном масштабе при использовании таких растворов с сравнительно высоким содержанием меди, можно использовать обратные растворы ТМ с малой концентрацией для десорбции в первую очередь меди, а для десорбции золота использовать крепкие растворы ТМ. При таких условиях можно селективно разделить медь и золота и тем самым увеличить чистоту получаемого золотого продукта.

В промышленном масштабе используются в основном роданидные и тиомочевинные растворы, при этом последним отдано предпочтение по технико-экономическим показателям. Затраты на реагенты по тиомочевинной технологии в 1,91 раза ниже по сравнению с затратами по роданидной технологии.

В случае использования оборудования, изготовленного из конструкционной стали с антикоррозионной защитой из полимерных композиционных материалов (бутиловый, хлорированный каучук, эбонит, карболит и другие) капитальные затраты по данным технологиям сопоставимы.

Таким образом, тиомочевинная технология десорбции золота со смолы является более экономичной, чем роданидная технология и, в этой связи, получила большее распространение в Казахстане и в странах СНГ. Тиомочевинная технология десорбции золота используется и в дальнейшем зарубежье – на заводах Бэрбрук (ЮАР), Пенджом (Малазия), и Гедабек Азербайджан [5, 6].

Анализ результатов исследований позволяет сделать вывод, что кислые растворы тиомочевинны наиболее эффективно десорбируют золото, чем щелочные растворы роданида натрия. Можно отметить, что при использовании тиомочевинны в первую очередь можно элюировать со смолы медь, которая хорошо десорбируется даже при низких концентрациях тиомочевинны. Стоимость элюента на основе тиомочевинны в ~2 раза ниже по сравнению с затратами по роданидной технологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Болотова Л.С., Романенко А.Г., Шалгимбаев С.Т. Ресурсосберегающая технология Казмеханобра для переработки насыщенной золотосодержащей смолы // Материалы Международной конференции Плаксинские чтения – 2016 «Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья». – Санкт-Петербург, Россия, 2016. – С. 306-308.
- [2] Меретуков М.А., Санакулов К.С., Зимин А.В., Арустамян М.А. Золото: химия для металлургов и обогащителей. – М.: Руда и металлы, 2014. – С. 412. ISBN 978-5-98191-077-7.
- [3] Стрижко Л.С. Металлургия золота и серебра. – М.: МИСИС, 2011. – С. 336. ISBN 5-87623-083-9.
- [4] Чугаев Л.С. Металлургия благородных металлов. – М., 1987. – С. 432.

[5] Меретуков М.А. Золото: химия, минералогия, металлургия. – М.: Руда и металлы, 2008. – С. 528. – ISBN 978-5-98191-043-2.

[6] Турсыбекова Г.С., Меретуков М.А., Бектай Е.К. Инновации в химии и металлургии. – Алматы, 2015. – С. 628. – ISBN 978-601-228-838-4.

#### REFERENCES

[1] Bolotova L.S., Romanenko A.G., Shalgumbaev S.T. (2016) Resursosberegayuchaya tekhnologiya Kazmekhanobra dlya pererabotki nasyshennoi zolotosoderzhashei smoly. Materialy Mezhdunarodnoi konferencii Plaksinskie chteniya – 2016 «Resursosberezhenie i okhrana okruzhayushoi sredy pri obogashenii i pererabotke mineralnogo syr'ya». Saint-Petersburg, Russia. P. 306-308 (In Russian)

[2] Meretukov M. A., Sanakulov K. S., Zimin A. V., Arustamyan M. A. Zoloto: khimiya dlya metallurgov i obogatitelei. Moscow. Ruda i Metally. 2014. P. 412. ISBN: 978-5-98191-077-7 (In Russian)

[3] Stizhko L. S. Metallurgiya zoloto i srebra.- Moscow. MISIS. 2011. P. 336. ISBN: 5-87623-083-9 (In Russian)

[4] Chugaev L. S. Metallurgiya blagorodnykh metallov. Moscow, 1987. P. 432. (In Russian)

[5] Meretukov M. A. . Zoloto: khimiya, minerologiya, metallurgiya. Moscow. Ruda i Metally. 2008. P. 528. ISBN: 978-5-98191-043-2 (In Russian)

[6] Turysbekova G. S., Meretukov M. A., Bektai E. K. Innovacii v khimii i metallurgii. Almaty. 2015. P. 628. ISBN: 978-601-228-838-4 (In Russian)

### Ш. Ч. Алтынбек<sup>1,2</sup>, Л. С. Болотова<sup>2</sup>, А. Г. Романенко<sup>2</sup>, Ә. Ө. Байқоңырова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,  
<sup>2</sup>«ҚР МШКҚҰҰО» РМК Мемлекеттік өнеркәсіптік экология ғылыми-өндірістік бірлестігі филиалы  
«Қазмеханообр», Алматы, Қазақстан

#### АЛТЫНДЫ ҚОСПА МЕТАЛЛДАРЫ БАР ҚАНЫҚҚАН ИОНАЛМАСТЫРГЫШ ШАЙЫРЛАРДАН ДЕСОРБЦИЯЛАУ ҮШІН ЭЛЮЛЕНДІРГІШ ЕРІТІНДІЛЕРДІ ТАҢДАУ

**Аннотация.** Мақалада алтын құрамды цианидті ерітінділерден алтынды десорбциялау және шайырды ренегерациялау үшін тиімді элюлендіргіш ерітінділерді таңдау бойынша зерттеу нәтижелері көрсетілген. Қолданылған ерітінділер процесстің жылдамдығын арттыру және пайдаланылатын реагенттер шығынын азайтуды қамтамасыз ететіні көрсетілген.

**Түйін сөздер:** ионалмастырғыш шайырлар, процесстің жылдамдығы, алтын бойынша сіңіру көлемі, процесстердің ұзақтылығының әсері, шайырлардың алтын бойынша таңдаушылық қасиеттері.

#### Сведения об авторах:

Алтынбек Шынар Чайбекқызы – PhD докторант по специальности «Металлургия», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сәтбаева», Алматы, Казахстан;

Научный сотрудник лаборатории благородных металлов, Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханообр», Алматы, Казахстан, Altynbek.shinar@gmail.com

Болотова Людмила Сергеевна – к.х.н., заведующая лабораторией благородных металлов Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханообр», Алматы, Казахстан, L\_bolotova@yahoo.com

Романенко Анатолий Георгиевич – ведущий научный сотрудник лаборатории благородных металлов Филиал РГП «НЦ КПМС РК» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханообр», Алматы, Казахстан

Байқоңырова Алия Омирхановна – д.т.н., профессор, заведующая кафедрой «Металлургические процессы, теплотехника и технологии специальных материалов», НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сәтбаева», Алматы, Казахстан, a.baikonurova@yandex.kz