

Научная статья

УДК 622.7; 669.01

DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-1-62-72

**Влияние активированного угля на эффективность сорбционного  
выщелачивания золотосодержащих руд  
(на примере обогатительной фабрики ГОКа «Кубака»)**

**Виктор Петрович Мязин<sup>1</sup>, Светлана Александровна Арданаева<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия

<sup>1</sup>Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия

<sup>1</sup>myazinvpchi-ta@mail.ru, <sup>2</sup>ardanaeva@mail.ru

**Информация о статье**

Поступила в редакцию  
19.12.2023

Одобрена после  
рецензирования 03.02.2024

Принята к публикации  
08.02.2024

**Ключевые слова:**

активированный уголь,  
выщелачивание, сорбция,  
десорбция, восстановление  
сорбционных свойств,  
сорбционная ёмкость,  
золотосодержащая руда,  
константа сорбции,  
усовершенствование  
процесса, кислотная  
обработка

Активированный гранулированный уголь широко используется на обогатительных фабриках как в России, так и за рубежом. На ГОКе «Кубака» при гидрометаллургической переработке золотосодержащего сырья существуют две проблемы: потеря угля в процессе сорбции по причине частичного истирания, снижение сорбционных свойств и, как следствие, ухудшение качества угля в результате забивания пор растворёнными соединениями в пульпе. Это в свою очередь ведёт к снижению эффективности сорбционного выщелачивания золотосодержащих руд и увеличению себестоимости золота. Цель исследования – повышение качества активированного угля марки GOLGCARB 207C 6X12 на основе применения процессов восстановления с целью увеличения сорбционной ёмкости. Задачи исследования: разработка методики исследования; определение параметров изменения кинетических свойств активированного угля; поэтапная оценка изменения свойств активированного угля в технологическом процессе; выявление влияния обработки угля альтернативными реагентами (NaOH, соляная кислота, серная кислота, известь) на повышение качества активированного угля. Объект исследования – активированные угли марки GOLGCARB 207C 6X12, применяемые на обогатительной фабрике ГОКа «Кубака» (Магаданская область). Методология и методы исследования: комплексная методика исследования активированного угля, лабораторные исследования и опытно-промышленные испытания. Изучено влияние активированного угля на эффективность сорбционного выщелачивания золотосодержащих руд в лабораторных условиях с апробацией нового технологического решения в полупромышленных испытаниях. Экспериментально доказано влияние процессов кислотной обработки и реактивации угля на его сорбционные свойства. Оптимальные условия для очистки пор угля от примесей органических, карбонатных и серосодержащих соединений и увеличение сорбционной активности достигнуто кислотной обработкой (замена соляной кислоты на серную) и контролем значений pH. Частично осуществлена замена извести Ca(OH)<sub>2</sub> на NaOH.

## Influence of Activated Carbon on the Efficiency of Sorption Leaching of Gold-Silver-Containing Ores (on the Example of the Kubaka Processing Plant)

Viktor P. Myazin<sup>1</sup>, Svetlana A. Ardanaeva<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Transbaikal State University, Chita, Russia

<sup>1</sup>N. A. Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>1</sup>myazinvpchi-ta@mail.ru, <sup>2</sup>ardanaeva@mail.ru

### Information about the article

Received December 19, 2023

Approved after review  
February 3, 2024

Accepted for publication  
February 8, 2024

### Keywords:

activated carbon, leaching, sorption, desorption, restoration of sorption properties, sorption capacity, gold-containing ore, sorption constant, process improvement, acid treatment

Activated granular coal is widely used in processing plants, both in Russia and abroad. There are two problems at Kubaka mining and processing plant (MPP) during hydrometallurgical processing of gold-containing raw materials: loss of coal during sorption due to partial abrasion, decrease in sorption properties and, as a result, deterioration of coal quality as a result of clogging of pores with dissolved compounds in the pulp. This in turn leads to a decrease in the efficiency of sorption leaching of gold-bearing ores and an increase in the cost of gold. The aim of the study is to improve the quality of activated carbon of the GOLGCARB 207C 6X12 brand based on the use of reduction processes in order to increase the sorption capacity. Research objectives are as follows: development of a research methodology; determination of parameters of changes in the kinetic properties of activated carbon; step-by-step assessment of changes in the properties of activated carbon in the technological process; identification of the effect of coal treatment with alternative reagents (NaOH, hydrochloric acid, sulfuric acid, lime) on improving the quality of activated carbon. The object of the study is activated carbons of the GOLGCARB 207C 6X12 brand used at the Kubaka MPP (Magadan region). Research methodology and methods are as follows: a comprehensive methodology for the study of activated carbon, laboratory studies and pilot tests. The effect of activated carbon on the efficiency of sorption leaching of gold-bearing ores in laboratory conditions with the approbation of a new technological solution in semi-industrial tests has been studied. The effect of acid treatment and reactivation of coal on its sorption properties has been experimentally proven. Optimal conditions for cleaning the pores of coal from impurities of organic, carbonate and sulfur-containing compounds and an increase in sorption activity were achieved by acid treatment (replacement of hydrochloric acid with sulfuric acid) and pH control.

**Введение.** Технология гидрометаллургической переработки рядовой золотосодержащей руды предусматривает следующие технологические операции: дробление, измельчение (полусамозмельчение), сгущение, цианирование, сорбционное выщелачивание на активированных углях, десорбцию по методу Задра, электролиз, регенерацию угля и плавку слитков Доре [1; 3]. Эта технология и в перспективе будет применяться для переработки руд с низким содержанием серебра, например, таких месторождений, как Биркачан и Цоколь.

**Актуальность.** Использование в качестве сорбента активированных углей в гидрометаллургическом процессе извлечения золота относится к числу последних достижений металлургии [9–12]. Это связано, прежде всего, с экономическими показателями угольно-сорбционной технологии [2; 4].

На ГОКе «Кубака», как и на большинстве золотоизвлекательных фабрик РФ, обогащают руды по гидрометаллургической технологии, которая была внедрена в практику

на ЗИФ с 1997 г. Месторождение Кубака находится в Северо-Эвенском районе Магаданской области на расстоянии 1000 км от г. Магадана. В 2006 г. месторождение было законсервировано, а в 2008 г. компания «Полиметалл» возобновила отработку золотых и серебряных месторождений Биркачан, Орох, Сопка Кварцевая, Цоколь и Дальний и создала Омолонский производственный хаб – региональный перерабатывающий центр.

Уголь марки GOLDCARB 207C является гранулированным активированным, применяется для извлечения золота из цианидных растворов. Уголь производится из специальных сортов кокосовой скорлупы, что позволяет получить продукт высокого качества, способный удовлетворять требования золотодобывающих предприятий. Однако в процессе сорбции активированный уголь (АУ), двигаясь в противотоке пульпы или технологических растворов, насыщается не только золотом и серебром, но и другими сопутствующими анионами цветных металлов и железа [14].

При использовании угля в обороте (цикл сорбция-десорбция) происходит накопление различных примесей, таких как органические, карбонатные и серосодержащие соединения, которые забивают поры угля, занимают активную поверхность, что вскоре приводит к снижению скорости сорбции золота, уменьшению рабочей ёмкости пористого сорбента и в конечном счёте к увеличению потерь драгметаллов с хвостами сорбции [6].

В частности, такая проблема стоит и на одном из старейших предприятий Магаданской области – ГОКа «Кубака», на котором применяется сорбционная технология: «уголь в пульпе» и «уголь в колоннах». Поэтому разработка технологии восстановления активированного угля является актуальной.

**Цель исследования** – повышение качества активированного угля марки GOLGCARB 207C 6X12 на основе восстановления с целью увеличения сорбционной ёмкости.

**Задачи исследования:** разработка методики исследования; определение параметров изменения кинетических свойств активированного угля; постадийная оценка изменения свойств активированного угля в технологическом процессе; выявление влияния обработки угля альтернативными реагентами (NaOH, соляная кислота, серная кислота, известь) на повышение качества активированного угля.

**Объект исследования** – активированные угли марки GOLGCARB 207C 6X12, применяемые на обогатительной фабрике ГОКа «Кубака».

**Методология и методы исследования:** комплексная методика исследования активированного угля, лабораторные исследования и опытно-промышленные испытания.

Проводилось фотометрическое определение кальция в трещинах активированного угля. Атомно-абсорбционным анализом определяли наличие ионов хлора в элеате и элюенте. Экспериментальным путём определялось влияние реагентов CaO и NaOH на сорбционные свойства АУ.

Исследование влияния активированного угля на сорбционную активность проводилось на лабораторных пробах в исследовательской лаборатории Дирекции научно-технологических исследований «Полиметалл «Инжиниринг»». После успешно проведённых исследований на укрупнённой лабораторной пробе проведена апробация в опытно-промышленных условиях на золотоизвлекательной фабрике ГОКа «Кубака».

**Разработанность темы.** Впервые сорбционная технология извлечения золота из растворов в цианистом процессе с помощью активированного угля предложена в Австралии, США и ЮАР [6; 7].

Разработка и внедрение угольно-сорбционной технологии в России – приоритетное направление работы Иргиредмета. Впервые в СССР в 1984 г. по разработанной Иргиредметом технологической схеме с использованием оригинального метода десорбции внедрён процесс «уголь в пульпе» на Лебединской ЗИФ (АК «Алданзолото») [5; 8]. Практическое применение эта технология также получила в Магаданской области [7].

Активные угли имеют ряд практических преимуществ по сравнению со смолами. Они могут изготавливаться различными методами [13]. На фабрике ГОКа «Кубака» активные угли изготавливаются из скорлупы кокосовых орехов. На фабрике используется две угольно-сорбционные технологии: осаждение выщелоченного металла на цинковую пыль (технология «Меррилл Кроу»), такой способ извлечения золота используется при очень низком содержании благородного металла и высоком содержании серебра; технология извлечения ценного компонента из продуктивных растворов на активированных углях [5; 8].

**Результаты исследования.** Месторождение Кубака относится к золотосеребряной вулканогенной формации близповерхностного типа с соотношением золота и серебра 1:1. Месторождение Кубака отрабатывается открытым и подземным способами.

Все экспериментальные исследования проведены на усреднённых пробах активированного угля (проба № 1 – после десорбции, кислотной обработки и реактивации; 2 – свежий, неиспользованный ранее в процессе, активированный уголь; 3 – после десорбции и кислотной обработки).

Исследовались следующие факторы: изменение формы угля после технологических процессов в сравнении с чистым углем; показатели механической прочности исходного угля и после проведения операций кислотной обработки, десорбции, реактивации по стандартному методу ГОСТ Р 55873-2013; кинетическая скорость адсорбции в лабораторных условиях, зольность активированных углей, которая определялась по ГОСТу.

На ЗИФ ГОКа «Кубака» уже продолжительное время имеет место проблема низкой

сорбционной активности углей. Это значительно снижает извлечение драгоценных металлов, особенно в зимний период, когда перерабатываются руды с высоким содержанием золота по технологии СІР – сорбция драгоценных металлов из цианистых растворов на активированный уголь с предварительным выщелачиванием.

Показатели прочности активированных углей и кинетические характеристики определяли в соответствии с утверждёнными методиками. Результаты определения прочности углей представлены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

**Результаты определения прочности углей /  
The results of the coals strength determining**

Наименование пробы АУ / Introduction of AC tests	П, %
Проба № 1 / Sample № 1	95 ±2
Проба № 2 / Sample № 2	85 ±2
Проба № 3 / Sample № 3	96 ±2

При сравнении с показателями прочности исходного угля (проба № 2) и углей после технологических операций (проба № 1 и проба № 3), поступивших на ЗИФ «Кубака», видно, что угли не только не потеряли свою прочность, но и стали прочнее. Это можно объяснить тем, что в каскаде произошло оттирание механически не прочных участков частиц угля.

Значения константы скорости адсорбции (k) для исходных образцов АУ и углей после различных технологических операций представлены в табл. 2.

Из таблицы 2 видно, что у всех представленных для исследования исходных образцов низкое значение константы сорбции. Такие угли будут медленно сорбировать цианидный комплекс золота.

Снижение константы сорбции в пробах свежего угля, скорее всего, связано с окислением угля, что устраняется путём реактивации угля перед вводом в процесс.

Для углей, участвовавших в процессе, низкое значение константы сорбции может быть объяснено некачественным проведением любой из основных технологических операций, восстанавливающих свойства активированного угля: отмывка водой насыщенного угля от шламов (отмывка водой); удаление кальция и магния из насыщенного угля раствором кислоты (кислотная обработка); реактивация угля (обжиг); выделение угольной мелочи и подготовка свежего угля к процессу сорбции (грохочение).

В цианисто-сорбционном процессе необходимо уделять большое внимание регенерации угля: кислотная обработка и его термическая реактивация. При отсутствии данных операций наблюдается снижение скорости процесса сорбции извлекаемого компонента, а насыщенный уголь имеет минимальную рабочую ёмкость по золоту. На рисунке 1 представлена технологическая схема переработки насыщенного угля на участке десорбции.

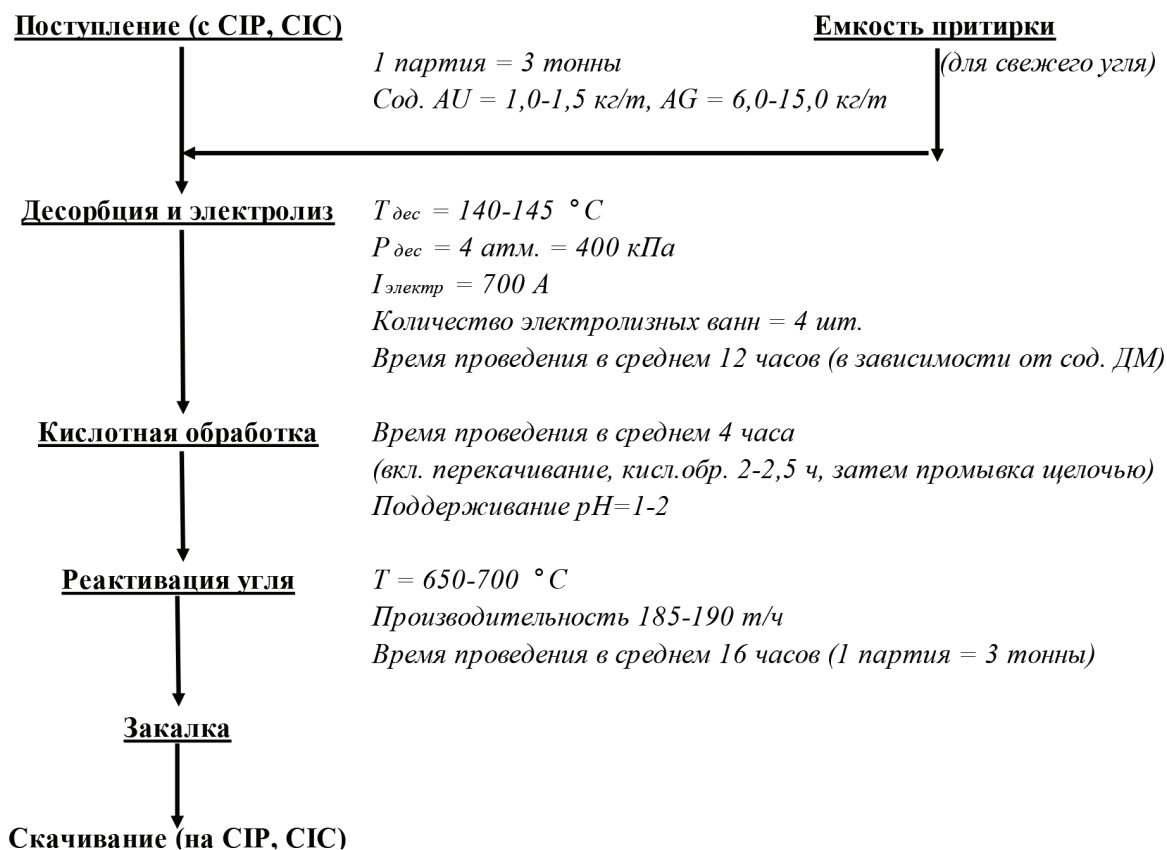
В лабораторных условиях проведены экспресс-опыты по определению кинетических характеристик активированного угля для проведения сравнения основных характеристик по активированному углю после завершения операций десорбции, кислотной обработки, реактивации в печи. Полученные результаты приведены в табл. 3.

На рисунках 2, 3 представлены зависимости извлечения ценного компонента от конечного содержания Au на разных этапах восстановления АУ и константы скорости адсорбции.

Таблица 2 / Table 2

**Значения константы скорости адсорбции (k) для исходных образцов АУ и углей после различных технологических операций / Values of the adsorption rate constant (k) for the initial samples of AC and coal safter various technological operations**

Наименование пробы АУ / Name of the AC sample	k, ч <sup>-1</sup>				
	Нормальный / Normal	Исходный отмыт от пыли / Original washed from dust	После кислотной промывки / After acid washing	После десорбции / After desorption	После реактивации / After reactivation
Проба № 1 / Sample № 1	>800	147	273	171	857
Проба № 2 / Sample № 2	>800	283	-	-	-
Проба № 3 / Sample № 3	>800	250	339	181	865

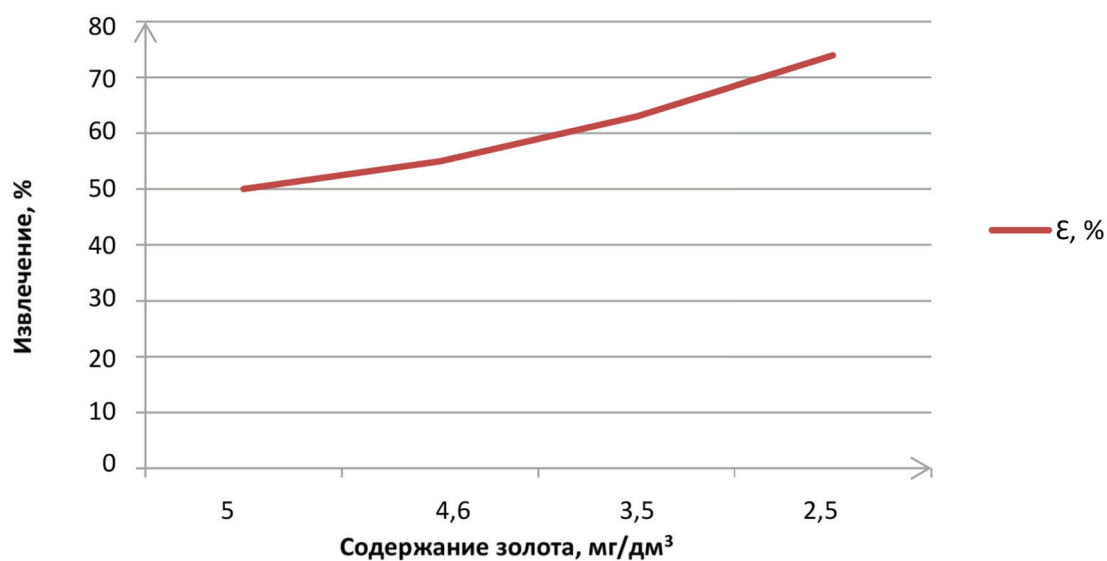


**Рис. 1.** Схема переработки насыщенного активированного угля на участке десорбции /  
**Fig. 1.** The scheme of saturated activated carbon processing at the desorption site

Таблица 3 / Table 3

Сорбционные свойства АУ / Sorption properties of AC

№ п/п	Операции / Operations	$k, \text{ ч}^{-1}$	Исх. АУ, мг/дм <sup>3</sup> / Ex. AC, mg/dm <sup>3</sup>	Кон. АУ, мг/дм <sup>3</sup> / Con. AC, mg/dm <sup>3</sup>	$\epsilon, \%$
1	Уголь после десорбции / Operations coal after desorption	337	10,0	5,0	50
2	Уголь после десорбции и кислотной обработки / Coal after desorption and acid treatment	433	10,2	4,6	55
3	Уголь после десорбции, кислотной обработки и реактивации / Coal after desorption, acid treatment and reactivation	547	9,5	3,5	63
4	Уголь после десорбции, кислотной обработки (рН-метр) и реактивации / Coal after desorption, acid treatment (pH meter) and reactivation	673	9,6	2,5	74



**Рис. 2.** Зависимости извлечения ценного компонента от конечного содержания Au на разных этапах восстановления АУ / **Fig. 2.** Dependences of a valuable component extraction on the final Au content at different stages of AC recovery



**Рис. 3.** Зависимости извлечения ценного компонента от константы скорости адсорбции / **Fig. 3.** Dependences of a valuable component extraction on the rate constant of adsorption

Из приведённых данных видно, что такие процессы, как кислотная обработка и реактивация в печи, играют существенную роль в восстановлении сорбционных свойств угля. При этом важное значение имеет качество проведения процесса кислотной обработки. Значение pH должно поддерживаться постоянным в пределах значений, равных 1–2. Константа скорости адсорбции ( $k$ ) повысилась с

547 до 673, извлечение из жидкой фазы – с 63 до 74 %.

Увеличение сорбционной активности угля ЗИФ позволит уменьшить продолжительность десорбции, кислотной обработки и реактивации в печи в 1,2 раза. По данным расчётов планово-экономического отдела, экономический эффект составит порядка 1,1 млн р. в год.

Также проведены экспериментальные исследования по определению зольности активированных углей по ГОСТ Р 55960-2014 «Уголь активированный. Стандартный метод определения зольности».

Предварительно тигли были обожжены в муфельной печи при температуре 650 °С в течение 1 ч. Затем тигли охлаждали до температуры окружающей среды в эксикаторе и определяли массу с точностью 0,0001 г. Пробоподготовка активированного угля включала промывку дистиллированной водой, далее сушку угля при температуре 105 °С в течение 12 часов и охлаждение навесок угля в эксикаторе. Подготовленный уголь помещали в обожжённый тигель с известной массой и взвешивали с точностью до 0,0001 г. Тигель с навеской помещали в холодную муфельную печь, озоление продолжали в течение 5–6 ч.

Тигель с золой помещали в эксикатор и охлаждали до комнатной температуры. Массу золы определяли с точностью до 0,0001 г. Получены следующие результаты зольности исследуемых образцов: свежий АУ – 4,65 %; насыщенный АУ ЗИФ – 13,09 %; после кис-

лотной обработки (HCl) – 10,60 %; после кислотной обработки (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) – 9,70 %.

Кислотная обработка – это обязательный процесс регенерации активированного угля. Уголь загрязнён кальцием и другими металлами, содержание которых в насыщенном угле ЗИФ ГОК «Кубака» достигает 13 %. Подсушенный, сильно кальцинированный уголь, как правило, имеет белый налёт извести. По этому признаку можно всегда с уверенностью сказать, что кальцинация угля достигла максимума. В зависимости от применяемой кислоты зольность угля уменьшается до 10 % (кальций снимается раствором кислоты на 20–25 %). Остальные металлы, находящиеся в золе, не снимаются кислотами. Возможно, это примеси тяжёлых металлов.

Исследования под микроскопом показали, что ранее кислотная обработка проводилась не вполне эффективно – в некоторых партиях уголь имеет белый налёт извести. На рисунке 4 показан уголь после кислотной обработки («забивание» пор угля кальцием).

Образцы сравнивались до и после кислотной обработки. На рисунке 5 представлены угли до и после различных операций.



**Рис. 4.** Фрагмент забивания пор кальцием, магнием и другими элементами / **Fig. 4.** Fragment of pore clogging with calcium, magnesium and other elements



а – до обработки



б – насыщенный



в – после кислотной обработки



г – после кислотной обработки и десорбции



д – после реактивации

**Рис. 5.** Внешний вид АУ до и после обработки / **Fig. 5.** The appearance of the AC before and after processing

Для усовершенствования процесса кислотной обработки на участке десорбции установлен рН-метр. В настоящее время процесс кислотной обработки ведут аппаратчики ЗИФ, ориентируясь на показания рН-метра (кислая среда 1–2). Аппаратчики по мере необходимости добавляют кислоту от 2 до 6 канистр (50–150 кг), меняя концентрацию кислоты в зависимости от рН.

После внедрения на производстве проведены повторные опыты по определению зольности. Замер рН растворов в трубопроводе осуществлялся рН-метром. Результаты определения зольности углей ЗИФ (сентябрь 2018 г.) следующие: насыщенный АУ ЗИФ – 11,88 %; после кислотной обработки (HCl) – 10,54 %; после десорбции – 9,17 %; после реактивации – 9,79 %.

В сравнении с предыдущими данными, зольность насыщенного угля снизилась с 13 до 12 %. Кислотная обработка позволи-

ла удалить с угля кальций и магний – 1,5 %. Остальные металлы, находящиеся в золе, также не снимаются кислотами, но частично снимаются при десорбции вместе с драгоценными металлами – зольность снижается до 9 %. Для увеличения сорбционной активности углей во время процессов сорбции можно снизить загрязнение угля кальцием (забивание пор ввиду избыточного содержания  $\text{Ca}^+$  в жидкой фазе). Следовательно, снижается количество ионов кальция, которые активно сорбируются углями, в производственных растворах.

На ЗИФ проведены опытно-промышленные испытания по замене извести  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  на NaOH. Для этих целей увеличен расход едкого натра и уменьшен расход извести. Результаты исследований приведены в табл. 4. Известь – по плану расход 1,4 кг/т, по факту 0,8 кг/т, едкого натра – по плану 0,21 кг/т, по факту 0,28 кг/т.



Удельный расход реагентов / Specific consumption of reagents

Реагент / Reagent	Удельный расход, кг/т / Specific consumption, kg/t	
	План / Plan	Факт / Fact
Известь негашеная CaO / Quicklime CaO	1,4350	0,7893
Натр едкий NaOH / Sodium hydroxide NaOH	0,2150	0,2786

Частичная замена извести на NaOH прошла практически успешно для технологического процесса ЗИФ. Раствор NaOH подавали на участок измельчения (в МПСИ), известковое молоко – в сгуститель Т-1 для поддержания pH и интенсификации процесса сгущения пульпы. Замена одного реагента другим не повлияла на требуемое значение pH в сливе гидроциклонов (10,5) и сливе сгустителя Т-1 (11–11,5). Уменьшение количества ионов кальция в жидкой фазе пульпы приводит к меньшему сорбированию кальция углем, снижению «забивания» пор угля и повышению сорбционной активности угля по отношению к золоту и серебру. Экономический эффект от внедрения нового технологического решения составит 7 млн р. в год.

**Выводы.** Экспериментально доказано влияние процессов кислотной обработки и реактивации угля на их сорбционные свойства. Контроль значений pH при проведении процесса кислотной обработки позволил создать оптимальные условия для очистки пор угля от примесей и увеличить сорбционную активность.

Проведение кислотной обработки после десорбции, а не до операции, замена соляной кислоты на серную – всё это дало положительный эффект, но требуется замена металлических анодов из другого сплава – щелочекислотостойкого. Для подсчёта достоверного экономического эффекта по представленным предложениям требуется проведение опытно-промышленных испытаний в течение года.

Частичная замена извести на NaOH позволила уменьшить содержание ионов кальция в растворах и, соответственно, снизить кальцинацию пор активированного угля. Экономический эффект за 6 месяцев составит 7 млн р.

Восстановление свойств активированного угля, которое достигнуто по результатам этой работы, позволит уменьшить продолжительность десорбции, кислотной обработки и реактивации в печи в 1,2 раза, что даст возможность увеличения извлечения драгоценных металлов, особенно в зимний период. Экономический эффект составит порядка 1,1 млн р. в год.

#### Список литературы

1. Дроздов С. В. Практика использования угольных сорбентов на ЗИФ // Цветные металлы и минералы – 2017: сборник докладов Девятого Международного конгресса. Красноярск, 2017. С. 1345–1353.
2. Елшин В. В. Теория и практика сорбционного извлечения благородных металлов из растворов и пульп активными углями: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.16.03. Иркутск, 2000.
3. Елшин В. В., Мельник С. А., Блинов Н. И. Разработка системы управления макетом установки непрерывной десорбции золота из активных углей // Южно-Сибирский научный вестник. 2014. № 2. С. 35–37.
4. Ибрагимова Р. И., Мильченко А. И., Воробьев-Десятовский Н. В. Критерии выбора марки активированного угля для гидрометаллургического извлечения золота из рудных пульп в процессах «уголь в выщелачивании» и «уголь в пульпе» // Журнал прикладной химии. 2007. Т. 80, № 6. С. 915–927.
5. Имангулов К. С., Жмурова В. В. Сорбционное выщелачивание золота из пульп // Перспективы развития технологии переработки углеводородных и минеральных ресурсов: материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Иркутск, 2018. С. 40–42.
6. Мансуров З. А., Супиева Ж. А., Елеуов М. А., Таурбеков А. Т., Павленко В. В., Смагулова Г. Т. Экспериментальное исследование закономерностей электрохимической сорбции/десорбции ионов золота (III) // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2021. Т. 27, № 2. С. 4–13.
7. Николаев В. А., Попов В. Ю., Попов Ю. С. Тяжелые благородные газы. Пробоотбор и изотопный анализ: монография. СПб.: Политех-Пресс, 2021. 445 с.
8. Половнева С. И., Елшин В. В., Носенко А. А. Удельная поверхность активных углей в процессах десорбции и реактивации // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–6. С. 1187–1193.

9. Половнева С. И., Носенко А. А., Мамин Т. Р. Исследование удельной поверхности угольного сорбента при извлечении золота // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 1. С. 236–241.
10. Патент 2789630 C1 (RU). Способ переработки некондиционного золотосодержащего угольного сорбента: № 2022133212: заявл. 19.12.2022; опубл. 06.02.2023 / Астапчик С. В., Климанцев В. С., Каширин Д. М., Ковалев С. В., Чекушин М. В.; патентообладатель АО «Полюс Красноярск».
11. Патент 2638466 C2 (RU). Способ и линия извлечения благородных металлов по угольно-сорбционной технологии: № 2016115708: заявл. 22.04.2016; опубл. 13.12.2017 / Елшин В. В., Кольцов В. П., Мельник С. А.; патентообладатели ИРНИТУ, ОАО «Южуралзолото группа Компаний». – 12 с.
12. Патент 2618014 C1 (RU). Способ регенерации отработанного активного угля: № 2016127129: заявл. 05.07.2016; опубл. 02.05.2017 / Зорина Е. И., Фарберова Е. А.; патентообладатель АО «Сорбент».
13. Патент 2786561 C1 (RU). Способ десорбции золота и серебра из насыщенного активированного угля: заявл. 23.11.2020; опубл. 22.12.2022 / Епифоров А. Ф., Хвойнов В. Н., Селезнев А. Н.; патентообладатель АО «Иргиредмет».
14. Патент 2109828 C1 (RU). Способ регенерации активированных углей: № 97107145/02; заявл. 24.04.1997; опубл. 27.04.1998 / Елшин В. В., Леонов С. Б., Голодков Ю. Э., Ращенко А. Ф.; патентообладатель Иркутский государственный технический университет.
15. Rogans J. Activated Carbon in Gold Recovery. URL: <http://researchgate.net/profile/Anoop-Srivastava/post> (дата обращения: 11.09.2023). Текст: электронный.

## References

1. Drozdov S. V. The practice of using coal sorbents on ZIF. Non-ferrous metals and minerals – 2017: collection of reports of the Ninth International Congress. Krasnoyarsk, 2017. (In Rus.)
2. Elshin V. V. Theory and practice of sorption extraction of precious metals from solutions and pulps with activated carbons. Abstract Doctor of Technical Sciences. Irkutsk, 2000. (In Rus.)
3. Elshin V. V., Melnik S. A., Blinov N. I. Development of a control system for the layout of a continuous desorption of gold from activated carbons. South Siberian Scientific Bulletin, no. 2, pp. 35–37, 2014. (In Rus.)
4. Ibragimova R. I., Milchenko A. I., Vorobyov-Desyatovsky N. V. Criteria for choosing an activated carbon brand for hydrometallurgical extraction of gold from ore pulps in the processes “coal in leaching” and “coal in pulp”. Journal of Applied Chemistry, vol. 80, no. 6, pp. 915–927, 2007. (In Rus.)
5. Imangulov K. S., Zhmurova V. V. Sorption leaching of gold from pulps. Prospects for the development of technology for processing hydrocarbon and mineral resources: materials of the VIII All-Russian Scientific and practical conference with international participation. Irkutsk, 2018. (In Rus.)
6. Mansurov Z. A., Supieva Zh. A., Eleuov M. A., Taurbekov A. T., Pavlenko V. V., Smagulova G. T. Experimental study of the patterns of electrochemical sorption/desorption of gold (III) ions. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Non-ferrous metallurgy, vol. 27, no. 2, pp. 4–13, 2021. (In Rus.)
7. Nikolaev V. A., Popov V. Yu., Popov Yu. S. Heavy noble gases. Sampling and isotope analysis: monograph. St. Petersburg: Polytechnic Press, 2021. (In Rus.)
8. Polovneva S. I., Elshin V. V., Nosenko A. A. Specific surface of activated carbons in the processes of desorption and reactivation. Fundamental research, no. 2–6, pp. 1187–1193, 2015. (In Rus.)
9. Polovneva S. I., Nosenko A. A., Mamin T. R. Investigation of the specific surface of a coal sorbent during gold extraction. Bulletin of the Irkutsk State Technical University, no. 1, pp. 236–241, 2015. (In Rus.)
10. Patent 2789630 C1 (RU). Method of processing substandard gold-containing coal sorbent: no. 2022133212: application 19.12.2022; publ. 06.02.2023 / Astapchik S. V., Klimantsev V. S., Kashirin D. M., Kovalev S. V., Chekushin M. V.; patent holder of JSC Polyus Krasnoyarsk. (In Rus.)
11. Patent 2638466 C2 (RU). Method and line for the extraction of precious metals using coal sorption technology: no. 2016115708: application. 22.04.2016; publ. 13.12.2017 / Elshin V. V., Koltsov V. P., Melnik S. A.; patent holders of IRNITU, JSC Yuzhuralzoloto Group of Companies. (In Rus.)
12. Patent 2618014 C1 (RU). Method of regeneration of spent activated carbon: no. 2016127129: application 05.07.2016; publ. 02.05.2017 / Zorina E. I., Farberova E. A.; patent holder of JSC “Sorbent”. (In Rus.)
13. Patent 2786561 C1 (RU). Method of desorption of gold and silver from saturated activated carbon: application 23.11.2020; publ. 22.12.2022 / Epiforov A. F., Khvoynov V. N., Seleznev A. N.; patent holder of JSC Irgiredmet. (In Rus.)
14. Patent 2109828 C1 (RU). Method of activated carbon regeneration: no. 97107145/02; application 24.04.1997; publ. 27.04.1998 / Elshin V. V., Leonov S. B., Golodkov Yu. E., Raschenko A. F. patent holder Irkutsk State Technical University. (In Rus.)
15. Rogans J. Activated carbon in gold recovery. Web. 11.09.2023. <http://researchgate.net/profile/Anoop-Srivastava/post>. (In Eng.)

**Информация об авторах**

*Мязин Виктор Петрович*, д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель РФ, Забайкальский государственный университет, г. Чита; Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Россия; myazinvpchita@mail.ru. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых.

*Арданаева Светлана Александровна*, аспирант, кафедра обогащения полезных ископаемых и вторичного сырья, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; ardanaeva@mail.ru. Область научных интересов: металлургия, обогащение полезных ископаемых.

**Information about the authors**

*Myazin Viktor P.*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of the Russian Federation, Transbaikal State University, Chita; N. A. Chinakal Institute of Mining SB RAS, Novosibirsk, Russia; myazinvpchita@mail.ru. Area of scientific interests: mineral processing.

*Ardanaeva Svetlana A.*, Postgraduate, Mineral Processing and Secondary Raw Materials Department, Transbaikal State University, Chita, Russia; ardanaeva@mail.ru. Area of scientific interests: metallurgy, mineral processing.

**Вклад авторов в статью**

Мязин В. П. – разработка идеи исследования; анализ разработанности темы; руководство.

Арданаева С. А. – проведение исследований, обработка результатов исследований с применением методов прикладной математики, математической статистики, программ Microsoft Excel, STATISTICA, подготовка отчёта проведения экспериментальных исследований.

**The authors' contribution to the article**

Myazin V. P. – development of the research idea; analysis of the topic development; guidance.

Ardanaeva S. A. – research conduction, research results processing using methods of applied mathematics, mathematical statistics, Microsoft Excel, STATISTICA programs; preparation of the experimental research report.

**Для цитирования**

Мязин В. П., Арданаева С. А. Влияние активированного угля на эффективность сорбционного выщелачивания золотосодержащих руд (на примере обогатительной фабрики ГОКа «Кубака») // Вестник Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 30, № 1. С. 62–72. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-1-62-72.

**For citation**

Myazin V. P., Ardanaeva S. A. Influence of Activated Carbon on the Efficiency of Sorption Leaching of Gold-Silver-Containing Ores (on the Example of the Kubaka Processing Plant) // Transbaikal State University Journal. 2024. Vol. 30, no. 1. P. 62–72. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-1-62-72.