

Л.М. Каримова^{1,2*}, Г.К. Макашева^{1,2}, Е.Т. Кайралапов^{1,2}, Е.М. Харченко^{1,3}

¹ТОО «Инновация»,

100024, Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Таттимбета, 5/2;

²ТОО «КазГидроМедь»,

100000, Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Московская, 4;

³Карагандинский индустриальный университет,

101400, Республика Казахстан, г.Темиртау, проспект Республики, 30

*e-mail: l.karimova@kazgidromed.kz

ТЕРМОХИМИЧЕСКОЕ ОБОГАЩЕНИЕ ОТВАЛЬНЫХ МЕДНЫХ ХВОСТОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ БЕЛОЙ САЖИ

Аннотация. В статье приведены результаты по термохимическому обогащению чернового концентрата отвальных медных хвостов с содержанием в % Cu – 4,40; SiO₂ – 37,02; Al₂O₃ – 10,195. Термохимическими исследованиями установлено, что при спекании концентрата со щелочью образуется силикат и алюмосиликат натрия. В зависимости от температуры спекания в интервале 250-500 °С извлечение кремнезема в раствор увеличивается с 59,96% до 70,40%. После водного выщелачивания спека при условиях: Ж:Т = 3:1 температуре 60 °С; продолжительности 60 минут содержание меди в кеке увеличивается в среднем в 1,2 раза.

Для выделения из силикатного раствора белой сажи использовали в качестве нейтрализующего агента углекислый газ. Белую сажу получали путем двухступенчатой карбонизации силикатного раствора углекислым газом в рециркуляционной системе, с доведением pH до 9-10. Исследовали влияние продолжительности осаждения, температуры, концентрации силикатного раствора на удельную площадь поверхности ($S_{уд}$, м²/г) белой сажи.

Установлено, что при увеличении продолжительности карбонизации и температуры раствора удельная площадь поверхности белой сажи уменьшается.

Установлено, что при температуре 25 °С, продолжительности процесса 50 мин и при конечном pH=9,7 ед. образуется белая сажа с удельной площадью поверхности 200 м²/г.

После удаления примесей оксида алюминия раствором серной кислоты при температуре 80 °С получена белая сажа, соответствующая марке БС-100.

Ключевые слова: черновой медный концентрат, спекание, выщелачивание, извлечение, силикатный раствор, белая сажа.

Введение

Длительный период разработки месторождений приводит к сокращению объема балансовых запасов руд, при этом растет объем накопления отходов (хвостов) горно-обогатительного производства [1].

Для переработки сульфидного сырья, содержащего цветные, редкие и благородные металлы используют автоклавное обескремнивание при низких температурах с дальнейшим выщелачиванием при атмосферном давлении. Особенностью этого направления является возможность комплексной переработки благодаря оптимальному сочетанию флотационного и химического обогащения при котором обеспечивается наибольшее взаимозависимое извлечение металлов (Cu, Ag, Re, SiO₂).

Однако в [1-6] показано, что использование щелочного спекания исключает необходимость автоклавного выщелачивания и высокотемпературную обработку глиноземных минералов и алюмосиликатов. Использование метода щелочного спекания ранее было исследовано для обработки других медьсодержащих материалов [7, 8], что показывает возможность значительного обогащения сырья.

Щелочное выщелачивание кремнийсодержащего сырья позволяет извлечь кремний в раствор для дальнейшего осаждения белой сажи. В работах [9, 10] при осаждении диоксида кремния используют аммиачную селитру.

Известны работы [5, 6, 11, 12], по выщелачиванию шлаков фосфорного производства раствором карбоната натрия с дальнейшим осаждением диоксида кремния с высокой удельной поверхностью.

В [6, 13, 14] приведены результаты по выщелачиванию фосфорного шлака с азотнокислым вскрытием его и с извлечением редкоземельных металлов (РЗМ) в раствор, с дальнейшим выщелачиванием кека раствором гидроксида натрия при 98 °С в автоклаве при 220°С.

Как реагент-осадитель при получении «белой сажи» широко используется углекислый газ. Однако осаждение углекислым газом целесообразно проводить в производстве, где он образуется как побочный продукт [15].

В зависимости от способа получения белой сажи определяется конечное свойство продукта: размер и форма частиц, наличие или отсутствие пор и т.д. [16-21].

Целью данной работы является исследование возможности термохимического обогащения и вскрытия низкосортного медного сырья с получением товарного продукта – белой сажи.

Методы исследования

Для исследований использовали черновой медный концентрат, полученный после флотационного обогащения отвальных хвостов, и содержащий, в % Cu – 4,40; Fe – 15,56; Zn – 0,151; Al/Al₂O₃ – 5,394/10,195; Si/SiO₂ – 17,3/37,02; Ag, 77,03 г/т.

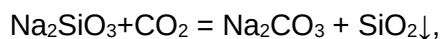
С целью обогащения концентрата и расширения товарной продукции в виде белой сажи проведены исследования по термохимическому обогащению чернового медного концентрата со щелочью и с последующим извлечением кремния в щелочной раствор.

Концентрат шихтовали с гидроксидом натрия в заданном соотношении (по стехиометрии реакции) и помещали в печь, предварительно нагретую до определенной температуры.

Исследования по термохимическому обогащению проводили в интервале температур 250-500°С при соотношении чернового медного концентрата к щелочи – 1:2. Водное выщелачивание спека проводили при температуре 60°С, отношении Ж:Т = 3:1 и продолжительности 60 минут.

Для выделения из силикатного раствора белой сажи использовали в качестве нейтрализующего агента углекислый газ. Белую сажу (mSiO₂·nH₂O) получали путем двухступенчатой карбонизации силикатного раствора (жидкого стекла) углекислым газом в рециркуляционной системе, с доведением pH до 9-10 в течение 30 минут, а затем, в течение 60 минут, до содержания остаточной щелочи в растворе 90 г/л.

Основная реакция получения белой сажи углекислым газом:



с осаждением осадка в виде mSiO₂.

На этапе предварительного обескремнивания чернового концентрата в раствор при оптимальных условиях получен силикатный раствор следующего состава: Na₂O = 126,5 г/л, SiO₂ = 107,7 г/л, Al₂O₃ = 3,1 г/л. В серии опытов углекислый газ барботировали через объем раствора в течение определенного времени. Скорость процесса подбиралась таким образом, чтобы необходимое конечное значение pH (9,7-9,8 ед.) пульпы было достигнуто за определенный временной промежуток.

При проведении экспериментов исследовали влияние продолжительности осаждения (t, мин.), температуры (t, °С), концентрации силикатного раствора (C(Na₂O), г/л) на удельную площадь поверхности (S_{уд.}, м²/г) белой сажи. Полученный осадок отделяли фильтрацией, затем промывали и сушили при температуре 105 °С. Удельную поверхность (абсолютная величина), подсчитывали по значению среднего диаметра частиц сажи, определенного с помощью электронного микроскопа.

Влияние продолжительности карбонизации исследовано в следующих условиях: концентрация раствора по Na₂O = 126,5 г/л, температура 40 °С (рисунок 1, а). Влияние температуры (рис. 1, б) проводили при продолжительности процесса 60 мин и той же концентрации щелочи.

Результаты исследований

Полученные результаты экспериментов по спеканию концентрата со щелочью в интервале температур 250-500 °С представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия и результаты водного выщелачивания

Температура спекания, °C	Выход кека, %	Химический состав, %					$\epsilon_{Al}, \%$	$\epsilon_{Si}, \%$
		Cu	Fe	Al	Si	Ag		
250	61,3	5,37	19,17	5,06	11,30	107,6	42,49	59,96
300	51,2	5,16	18,05	4,84	10,00	84,45	54,06	70,40
500	51,0	5,23	17,86	4,60	10,06	89,56	56,51	70,34

Как видно из таблицы 1, содержание меди в кеке после водного выщелачивания увеличилось в среднем в 1,2 раза. Извлечение кремния в раствор в зависимости от температуры спекания увеличивается с 59,96% до 70,40%.

По результатам рентгенофазового анализа выполненного на «D2 Phaser», в концентрате после спекания при 300 °C образуется силикат и алюмосиликат натрия (табл. 2 и рис. 1).

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)

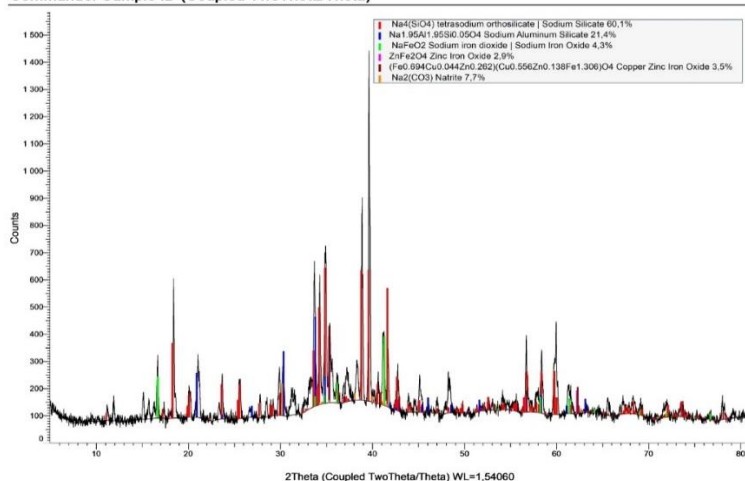
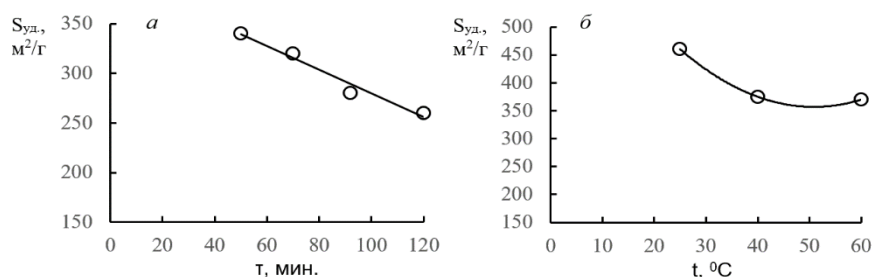


Рисунок 1 – Дифрактограммы материала после спекания

Таблица 2 – Фазовый состав концентрата после спекания

Вещество	Содержание, %
Na ₄ SiO ₄ – Силикат натрия	60,1
NaAlSiO ₄ – Алюмосиликат натрия	21,4
NaFeO ₂ – Диоксоферрат(III) натрия	4,3
ZnFe ₂ O ₄ – Франклинит	2,9
(FeO·CuO·ZnO) (CuO·ZnO·FeO ₄) – оксиды железа, цинка, меди	3,5
Na ₂ CO ₃ – углекислый натрий	7,7
Сумма	100

Результаты влияния продолжительности карбонизации и температуры раствора на удельную площадь поверхности белой сажи представлены на рисунке 2, а и 2, б соответственно.



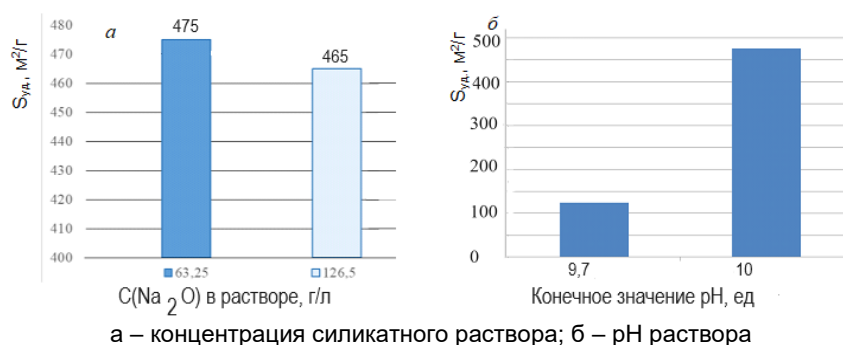
а – продолжительность, мин.; б – температура, °C

Рисунок 2 – Влияние различных факторов карбонизации на удельную площадь поверхности белой сажи

Из данных рисунка 2 следует, что при увеличении продолжительности карбонизации уменьшается удельная площадь поверхности, что, по-видимому, связано с преобладанием скорости роста над образованием зародышей при недостаточном объеме пропускания газа. При высокой скорости барботирования, при избытке его объема, образуется большое количество центров кристаллизации, которые не успевают в дальнейшем вырасти.

При увеличении температуры раствора удельная площадь поверхности белой сажи уменьшается, так как более мелкие частицы осадка частично растворяются. При 25 °С удельная площадь поверхности белой сажи составила 450 м²/г.

Влияние концентрации силикатного раствора (рис. 3, а) и конечного значения pH раствора (рис. 3, б) на удельную площадь поверхности исследовано при температуре раствора 25 °С и продолжительностью 60 мин.



а – концентрация силикатного раствора; б – pH раствора

Рисунок 3 – Влияние концентрации и pH раствора на удельную площадь поверхности белой сажи

По результатам рисунка 3 а видно, что влияние концентрации раствора (Na₂O) на удельную площадь поверхности белой сажи – малозначима.

По данным рисунка 2 и 3 в первом приближении наиболее оптимальными (приемлемыми) параметрами для получения белой сажи является температура 25 °С и продолжительность процесса 50 мин при конечном pH=9,7 ед., что способствует образованию белой сажи с минимальной удельной площадью поверхности (см рис. 2, при комбинированном воздействии продолжительности и температуры процесса).

Наиболее сильное влияние оказывает pH фактор при изменении его в сторону повышения (рис. 3, б). Резкое снижение удельной поверхности при небольшом изменении pH в сторону увеличения (с 10 до 9,7 ед.) способствует разрушению гидратных оболочек SiO₂ и тем самым уменьшает удельную поверхность [22, 23].

Осажденная из силикатного раствора белая сажа содержит большое количество оксида алюминия (табл. 3), поэтому после карбонизации осадок перед сушкой промывали раствором серной кислоты 200 г/л H₂SO₄ в течение часа при 80 °С (табл. 4).

Таблица 3 – Химический состав полученного осадка

Компонент	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Сумма
Содержание	1,96	0,04	3,16	94,57	0,06	0,21	99,70

Таблица 4 – Результаты химического анализа белой сажи после кислотной обработки

S _{уд.} , м ² /г	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Сумма
125	0,61	0,01	0,05	98,84	0,2	0,06	99,8

По результатам таблицы 4 видно, что в данных условиях возможно получить белую сажу, которая соответствует марке БС-100. Согласно ГОСТ 18307-78 [23] сажа белая имеет следующие характеристики: массовая доля двуоксида кремния, %, не менее 86; массовая доля железа в пересчете на окись железа, %, не более 0,15; массовая доля алюминия в пересчете на окись алюминия, %, не более 0,15; удельная поверхность по адсорбции фенола, м²/г 100±20; массовая доля кальция и магния в пересчете на оксид кальция, %, не более 0,8.

Заключение

Проведены исследования по термохимическому обогащению черного медного концентрата со щелочью в интервале температур 250-500°C при соотношении концентрата к щелочи = 1:2. В результате спекания установлено образование силиката и алюмосиликата натрия. При водном выщелачивании извлечение кремния в раствор в зависимости от температуры спекания увеличивается с 59,96% до 70,40%. После водного выщелачивания обогащение меди происходит в среднем в 1,2 раза.

Белую сажу получали путем двухступенчатой карбонизации силикатного раствора углекислым газом в рециркуляционной системе, с доведением pH до 9-10.

В результате исследований получена белая сажа, соответствующая марке БС-100, после промывки раствором серной кислоты.

Список литературы

1. Investigation into the Question of Complex Processing of Bauxites of the Srednetimanskoe Deposit / I.V. Loginova et al // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2013. – V. 54. – P. 143-147.
2. Loginova I.V. Extraction of Rare-Earth Metals During the Systematic Processing of Diaspore Boehmite Bauxites / I.V. Loginova, A.A. Shoppert, L.I. Chaikin // Metallurgist. – 2016. – V. 60. – P. 198-203.
3. Каршигина З.Б. Комплексная переработка кремнийсодержащих минеральных и техногенных образований с получением осажденного диоксида кремния и извлечением редкоземельных металлов. дисс....pHD: защищена 22.12.2016 / Каршигина Зауре Байтасовна. – Алматы, 2016. – 147 с.
4. Садыралиева У.Ж. Химическое обогащение нефелиновых сиенитов с получением концентрата редкоземельных элементов / У.Ж. Садыралиева // Известия ВУЗов Кыргызстана. – 2015. – № 2. – С. 45-47.
5. Извлечение кремния из шлаков фосфорного производства растворами карбоната натрия / Е.Г. Бочевская и др. // Комплексное использование минерального сырья. – 2006. – № 3. – С. 29-34.
6. Возможность использования отходов химических и металлургических предприятий Казахстана для получения осажденного диоксида кремния / З.С. Абишева и др. // Комплексное использование минерального сырья. – 2006 – № 2 – С. 70-75.
7. Alkali fusion-leaching method for comprehensive processing of fly ash / A.A. Shoppert et al // Technogen Conference Proceedings, KnE Materials Science. – 2017. – № 1. – P. 89-96.
8. Shoppert A.A. Novel Method for Comprehensive Processing of Low-Grade Copper Concentrate / A.A. Shoppert, L.M. Karimova, D.V. Zakharyan // Materials Engineering and Technologies for Production and Processing IV, Solid State Phenomena. – 2018. – V. 284. – P. 856-862.
9. А.с. 345763 СССР, МПК C01B 33/12(2006.01) C09C 1/30(2006.01). Способ получения белой сажи / А.И. Илясов, Е.П. Попляков, В.Ф. Соболев; заявл. 29.04.70; опубл. 30.01.78. Бюл. № 4. – 2 с.
10. Осаждение аморфного диоксида кремния из силикатных растворов, полученных после переработки минеральной высококремнистой руды / Е.Г. Бочевская и др. // Вестник науки и образования. – 2017. – № 12(36), Т.1. – С.18-23.
11. Пат. 24434 РК, С 01 В 33/18. Способ получения белой сажи из силикатно-кальциевых шлаков фосфорного производства / Абишева З.С., Бочевская Е.Г., Каршигина З.Б., Загородняя А.Н., Франгулиди Л.Х., Шарипова А.С.; заявитель и патентообладатель АО «ЦНЗМО». – № 2008/0542.1; заявл. 08.05.08. опубл. 15.08.2011, Бюл. № 8.
12. Technology of phosphorus slag processing for preparation of precipitated silica. Z.S. Abisheva et al // J. Theoretical Foundations of Chemical Engineering, July, 2013 – V. 47, № 4. – P. 428-434.
13. Извлечение редкоземельных металлов из шлаков фосфорного производства и получение силикатного раствора / З.Б. Каршигина и др. // Комплексное использование минерального сырья. – 2016. – № 2. – С. 18-25.

14. Recovery of rare earth metals and precipitated silicon dioxide from phosphorus slag / Z. Karshigina et al // J. Minerals Engineering. – 2015. – V. 77. – P. 159-166.
15. Бочевская Е.Г. Осаждение аморфного диоксида кремния из силикатных растворов, полученных после переработки минеральной высококремнистой руды / Е.Г. Бочевская, З. Каршигина, Э. Саргелова // Вестник науки и образования. – 2017. – № 12(36). – С. 18-23.
16. Кутищева Е.С. Способы получения высокодисперсного диоксида кремния / Е.С. Кутищева, И.О. Усольцева, Ю.В. Передерин // Ползуновский вестник. – 2021. – № 2. – С. 188-193. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.026>.
17. Панина О.Д. Исследование влияния различных факторов на величину удельной поверхности диоксида кремния / О.Д. Панина, Ю.В. Передерин, И.О. Усольцева // VI Всероссийская конференция «Химия и химическая технология: достижения и перспективы», Из-во: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. – 2022. – С. 116-118.
18. Пат. 2740995 Российская Федерация, МПК 51 C01B 33/18, C01B 33/193. Способ получения микрокремнезема из природного диатомита осаждением раствора азотной кислоты / Селяев В.П., Куприяшкина Л.И., Седова А.А., Карандашов Д.Л., Муханов М.А.; патентообладатель ФГБОУВО «Национальный исследовательский Мордовский гос. унив-т им. Н.П. Огарёва». – № 2020116983; заявл. 22.05.2020; опубл. 22.01.2021. Бюл. № 3.
19. Пат. 2023664 Российская Федерация, МПК C01B 33/18. Способ получения осажденного кремнеземного наполнителя / Деревянко В.В., Соболев В.Ф., Попляков Е.П., Зверев Ю.Н., Балабанов В.М.; патентообладатель Соболев Валентин Федорович. № 5019457/26; заявл. 23.09.1991; опубл. 30.11.1994. Бюл. № 24.
20. Пат. 2625114 Российская Федерация, МПК C 01 B 33/18. Способ получения тонкодисперсного аморфного микрокремнезема золь-гель методом / Селяев В.П., Седова А.А., Куприяшкина Л.И., Осипов А.К., Селяев П.В.; патентообладатель ФГБОУВО «Национальный исследовательский Мордовский гос. унив-т им. Н.П. Огарёва». № 2016115956; заявл. 22.04.2016; опубл. 11.07.17. Бюл. № 20.
21. Пат. 2156734 Российская Федерация, МПК C 01 B 33/18 Способ получения белой сажи / Дружбин Г.А., Карапира Н.И., Кузнецов И.О., Чудновцев В.И.; патентообладатель Кузнецов Игорь Олегович. № 2000107665/12; заявл. 30.03.2000 г.; опубл. 27.09.2000. Бюл. № 27.
22. Нажарова Л.Н. Получение микрочастиц «белой сажи» из кислых зол / Л.Н. Нажарова, Д.И. Галимбекова // Вестник казанского технологического университета. – 2010. – № 8. – С. 284-287.
23. ГОСТ 18307-78. Сажа белая. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 19 с.

References

1. Investigation into the Question of Complex Processing of Bauxites of the Srednetimanskoe Deposit / I.V. Loginova et al // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2013. – V. 54. – P. 143-147. (In English).
2. Loginova I.V. Extraction of Rare-Earth Metals During the Systematic Processing of Diaspore Boehmite Bauxites / I.V. Loginova, A.A. Shoppert, L.I. Chaikin // Metallurgist. – 2016. – V. 60. – P. 198-203. (In English).
3. Karshigina Z.B. Kompleksnaya pererabotka kremniisoderzhashchikh mineral'nykh i tekhnogennykh obrazovaniy s polucheniem osazhdennogo dioksida kremniya i izvlecheniem redkozemel'nykh metallov. disS....pHD: zashchishchena 22.12.2016 / Karshigina Zaure Baitasovna. – Almaty, 2016. – 147 s. (In Russian).
4. Sadyralieva U.ZH. Khimicheskoe obogashchenie nefelinovykh sienitov s polucheniem kontsentrata redkozemel'nykh ehlementov / U.ZH. Sadyrgalieva // Izvestiya VUZov Kyrgyzstana. – 2015. – № 2. – С. 45-47. (In Russian).
5. Izvlechenie kremniya iz shlakov fosfornogo proizvodstva rastvorami karbonata natriya / E.G. Bochevskaya i dr. // Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya. – 2006. – № 3. – С. 29-34. (In Russian).

6. Vozmozhnost' ispol'zovaniya otkhodov khimicheskikh i metallurgicheskikh predpriyatii Kazakhstana dlya polucheniya osazhennogo dioksida kremniya / Z.S. Abisheva i dr. // Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya. – 2006 – № 2 – S. 70-75. (In Russian).
7. Alkali fusion-leaching method for comprehensive processing of fly ash / A.A. Shoppert et al // Technogen Conference Proceedings, KnE Materials Science. – 2017. – № 1. – R. 89-96. (In English).
8. Shoppert A.A. Novel Method for Comprehensive Processing of Low-Grade Copper Concentrate / A.A. Shoppert, L.M. Karimova, D.V. Zakharyan // Materials Engineering and Technologies for Production and Processing IV, Solid State Phenomena. – 2018. – V. 284. – R. 856-862. (In English).
9. A.s. 345763 SSSR, MPK C01B 33/12(2006.01) C09C 1/30(2006.01). Sposob polucheniya beloi sazhi / A.I. Ilyasov, E.P. Poplyakov, V.F. Sobolev; zayavl. 29.04.70; opubl. 30.01.78. Byul. № 4. – 2 s. (In Russian).
10. Osazhdenie amorfnogo dioksida kremniya iz silikatnykh rastvorov, poluchennykh posle pererabotki mineral'noi vysokokremnistoi rudy / E.G. Bochevskaya i dr. // Vestnik nauki i obrazovaniya. – 2017. – № 12(36), T.1. – S. 18-23. (In Russian).
11. Pat. 24434 RK, S 01 V 33/18. Sposob polucheniya beloi sazhi iz silikatno-kal'tsievyykh shlakov fosfornogo proizvodstva / Abisheva Z.S., Bochevskaya E.G., Karshigina Z.B., Zagorodnyaya A.N., Frangulidi L.KH., Sharipova A.S.; zayavitel' i patentoobladatel' AO «TSNZMO». – № 2008/0542.1; zayavl. 08.05.08. opubl. 15.08.2011, Byul. № 8. (In Russian).
12. Technology of phosphorus slag processing for preparation of precipitated silica. Z.S. Abisheva et al // J. Theoretical Foundations of Chemical Engineering, July, 2013 – V. 47, № 4. – R. 428-434. (In English).
13. Izvlechenie redkozemel'nykh metallov iz shlakov fosfornogo proizvodstva i poluchenie silikatnogo rastvora / Z.B. Karshigina i dr. // Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya. – 2016. – № 2. – S. 18-25. (In Russian).
14. Recovery of rare earth metals and precipitated silicon dioxide from phosphorus slag / Z. Karshigina et al // J. Minerals Engineering. – 2015. – V. 77. – R. 159-166. (In English).
15. Bochevskaya E.G. Osazhdenie amorfnogo dioksida kremniya iz silikatnykh rastvorov, poluchennykh posle pererabotki mineral'noi vysokokremnistoi rudy / E.G. Bochevskaya, Z. Karshigina, E.H. Sargelova // Vestnik nauki i obrazovaniya. – 2017. – № 12(36). – S. 18-23. (In Russian).
16. Kutishcheva E.S. Sposoby polucheniya vysokodispersnogo dioksida kremniya / E.S. Kutishcheva, I.O. Usoltseva, YU.V. Perederin // Polzunovskii vestnik. – 2021. – № 2. – S. 188-193. DOI: <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.026>. (In Russian).
17. Panina O.D. Issledovanie vliyaniya razlichnykh faktorov na velichinu udel'noi poverkhnosti dioksida kremniya / O.D. Panina, YU.V. Perederin, I.O. Usoltseva // VI Vserossiiskaya konferentsiya «Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya: dostizheniya i perspektivy», Iz-vo: Kuzbasskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni T.F. Gorbacheva. – 2022. – S. 116-118. (In Russian).
18. Pat. 2740995 Rossiiskaya Federatsiya, MPK 51 C01B 33/18, C01B 33/193. Sposob polucheniya mikrokremnezema iz prirodnogo diatomita osazhdeniem rastvora azotnoi kisloty / Selyaev V.P., Kupriyashkina L.I., Sedova A.A., Karandashov D.L., Mukhanov M.A.; patentoobladatel' FGBOUVO «Natsional'nyi issledovatel'skii Mordovskii gos. univ-t im. N.P. Ogareva». – № 2020116983; zayavl. 22.05.2020; opubl. 22.01.2021. Byul. № 3. (In Russian).
19. Pat. 2023664 Rossiiskaya Federatsiya, MPK S01V 33/18. Sposob polucheniya osazhennogo kremnezemnogo napolnitelya / Derevyanko V.V., Sobolev V.F., Poplyakov E.P., Zverev YU.N., Balabanov V.M.; patentoobladatel' Sobolev Valentin Fedorovich. № 5019457/26; zayavl. 23.09.1991; opubl. 30.11.1994. Byul. № 24. (In Russian).
20. Pat. 2625114 Rossiiskaya Federatsiya, MPK S 01 V 33/18. Sposob polucheniya tonkodispersnogo amorfnogo mikrokremnezema zol'-gel' metodom / Selyaev V.P., Sedova A.A., Kupriyashkina L.I., Osipov A.K., Selyaev P.V.; patentoobladatel' FGBOUVO «Natsional'nyi issledovatel'skii Mordovskii gos. univ-t im. N.P. Ogareva». № 2016115956; zayavl. 22.04.2016; opubl. 11.07.17. Byul. № 20. (In Russian).

21. Pat. 2156734 Rossiiskaya Federatsiya, MPK S 01 V 33/18 Sposob polucheniya beloi sazhi / Druzhbin G.A., Karapira N.I., Kuznetsov I.O., Chudnovtsev V.I.; patentoobladatel' Kuznetsov Igor' Olegovich. № 2000107665/12; zayavl. 30.03.2000 g.; opubl. 27.09.2000. Byul. № 27. (In Russian).
22. Nazharova L.N. Poluchenie mikrochastits «beloi sazhi» iz kislykh zolei / L.N. Nazharova, D.I. Galimbekova // Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2010. – № 8. – S. 284-287.
23. GOST 18307-78. Sazha belaya. Tekhnicheskie usloviya. – M.: Izd-vo standartov, 1978. – 19 s. (In Russian).

Информация о финансировании

Работа выполнена по грантовому проекту АР 19675340, финансируемому Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Л.М. Каримова^{1,2*}, Г.Қ. Мақашева^{1,2}, Е.Т. Қайралапов^{1,2}, Е.М. Харченко^{1,3}

¹ЖШС «Инновация»,

100024, Қазақстан Республикасы, қ. Караганды, Тәттімбет көшесі, 5/2;

²ЖШС «КазГидроМедь»,

100000, Қазақстан Республикасы, қ. Караганда, Мәскеу көшесі, 4;

³Қарағанды индустриялық университеті,

101400, Қазақстан Республикасы, Теміртау қаласы, Республика даңғылы, 30.

*e-mail: l.karimova@kazgidromed.kz

ТЕРМОХИМИЯЛЫҚ БАЙЫТУ АРҚЫЛЫ МЫС ҚАЛДЫҚТАРЫНАН АҚ КҮЙЕ АЛУ

Мақалада мыс қалдықтарын төгу термохимиялық байыту нәтижелері берілген. Концентратты сілтімен агломерациялау бойынша зерттеулер силикат пен натрий алюмосиликатын түзуді анықтады. Ерітіндіге кремнийді экстракциялау 250-500°C аралығындағы агломерация температурасына байланысты 59,96%-дан 70,40%-ға дейін жоғарылайды. Агломерлеу өнім сумен сілтісіздендіру кейін: $C:Қ = 3:1$, температура 60°C, ұзақтығы 60 минут, торттағы мыс орта есеппен 1,2 есе артады.

Силикатты ерітіндіден ақ күйені бөліп алу үшін бейтараптандырғыш ретінде көмірқышқыл газы пайдаланылды. Ақ күйе рециркуляциялық жүйеде рН 9-10-ға дейін жеткізіп, силикат ерітіндісін көмірқышқыл газымен екі сатылы карбонизациялау арқылы алынды. Ақ күйенің меншікті бетінің ауданына ($S_{sp.}$, м²/г) силикат ерітіндісінің тұндыру ұзақтығының, температурасының және концентрациясының әсері зерттелді. Карбонизация уақыты мен ерітінді температурасының жоғарылауымен ақ күйенің меншікті бетінің ауданы төмендейтіні анықталды. 25 °C температурада процесс ұзақтығы 50 минут және соңғы рН = 9,7 бірлік болатыны анықталды. ақ күйе 200 м²/г меншікті бетімен түзіледі.

Алюминий оксидінің қоспаларын күкірт қышқылы ерітіндісімен 80°C температурада тазартқаннан кейін BS-100 маркасына сәйкес ақ күйе алынды.

Түйін сөздер: дәрекі мыс концентраты, агломерлеу, сілтісіздендіру, алу, силикат ерітіндісі, ақ күйе.

¹LLP «Innovation»,

100024, Republic of Kazakhstan, Karaganda, str. Tattimbeta, 5/2;

²LLP «KazHydroMed»,

100000, Republic of Kazakhstan, c. Karaganda, str. Moskovskaya, 4;

³Karaganda Industrial University,

101400, Republic of Kazakhstan, Temirtau city, Respubliki avenue, 30.

*e-mail: l.karimova@kazgidromed.kz

THERMOCHEMICAL ENRICHMENT OF COPPER TAILINGS WITH OBTAINING WHITE SOOT

The article presents the results of thermochemical enrichment of waste copper tailings. Studies on sintering the concentrate with alkali have established the formation of silicate and sodium aluminosilicate. The extraction of silicon into the solution, depending on the sintering temperature in the range of 250-500°C, increases from 59,96% to 70,40%. After water leaching of cake under the following conditions: $L:S = 3:1$ temperature 60°C; duration of 60 minutes, the copper content in the cake increases on average 1,2 times.

To isolate white soot from a silicate solution, carbon dioxide was used as a neutralizing agent. White soot was obtained by two-stage carbonization of a silicate solution with carbon dioxide in a recirculation system, bringing the pH to 9-10. The influence of the duration of deposition, temperature, and concentration of the silicate solution on the specific surface area (S_{sp} , m^2/g) of white soot was studied. It has been established that with increasing carbonization time and solution temperature, the specific surface area of white soot decreases. It was found that at a temperature of 25°C, a process duration of 50 minutes and a final pH = 9,7 units, white soot is formed with a specific surface area of 200 m^2/g .

After removing aluminum oxide impurities with a sulfuric acid solution at a temperature of 80°C, white soot corresponding to the BS-100 grade was obtained.

Key words: crude copper concentrate, sintering, leaching, extraction, silicate solution, white soot.

Сведения об авторах

Люция Монировна Каримова* – д.т.н., доцент, начальник лаборатории «Металлургия» ТОО «Инновация», ТОО «КазГидроМедь», Республика Казахстан; e-mail: l.karimova@kazgidromed.kz; lutsia.08@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6205-6585>.

Ерлан Токпаевич Кайралапов – к.т.н., ведущий научный сотрудник ТОО «Инновация», ТОО «КазГидроМедь», Республика Казахстан; e-mail: kairalapov.e73@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4616-5436>.

Гулдана Какимовна Макашева – докторант Satbayev University, ТОО «Инновация», Республика Казахстан; e-mail: g.makasheva@kazgidromed.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2875-9433>.

Елена Михайловна Харченко – к.т.н., доцент кафедры «Металлургия и материаловедение» Карагандинского индустриального университета; ТОО «Инновация», Республика Казахстан; e-mail: harchenko271279@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5206-2620>.

Авторлар туралы мәліметтер

Люция Монировна Каримова* – т.ғ.д., доцент, Зертхана меңгерушісі «Металлургия» ЖШС «Инновация», ЖШС «КазГидроМедь», Қазақстан Республикасы; e-mail: l.karimova@kazgidromed.kz; lutsia.08@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6205-6585>.

Ерлан Токпайұлы Қайралапов – к.т.н., ведущий научный сотрудник ЖШС «Инновация», ЖШС «КазГидроМедь», Қазақстан Республикасы; e-mail: kairalapov.e73@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4616-5436>.

Гулдана Қакимқызы Мақашева – докторант Satbayev University, ЖШС «Инновация», Қазақстан Республикасы; e-mail: g.makasheva@kazgidromed.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2875-9433>.

Елена Михайловна Харченко – к.т.н., доцент кафедры «Металлургия и материаловедение» Карагандинского индустриального университета; ЖШС «Инновация», Қазақстан Республикасы; e-mail: harchenko271279@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5206-2620>.

Information about the authors

Lyutsiya Monirovna Karimova* – d.t.s., Associate Professor, Head of the Metallurgy Laboratory of LLP «Innovation», LLP «KazHydroMed», Republic of Kazakhstan; e-mail: l.karimova@kazgidromed.kz; lutsia.08@mail.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6205-6585>.

Yerlan Tokpaevich Kayralapov – Ph.D., leading researcher LLP «Innovation», LLP «KazHydroMed», Republic of Kazakhstan; e-mail: kairalapov.e73@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4616-5436>.

Guldana Kakimovna Makasheva – doctoral student at Satbayev University, LLP «Innovation», Republic of Kazakhstan; e-mail: g.makasheva@kazgidromed.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2875-9433>.

Yelena Mikhailovna Charchenko – Ph.D., Associate Professor of the Department of Metallurgy and Materials Science, Karaganda Industrial University; LLP «Innovation», Republic of Kazakhstan; e-mail: harchenko271279@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5206-2620>.

Поступила в редакцию 20.02.2024
Поступила после доработки 20.03.2024
Принята к публикации 29.03.2024