



УДК 661.692

DOI: 10.31643/2020/6445.36



МРНТИ 53.37.35

Изучение физико-химических свойств теллурсодержащего промпродукта

^{1,2} Ниценко А. В. *, ^{1,2} Бурабаева Н. М., ^{1,2} Тулеутай Ф.Х., ^{1,2} Сейсембаев Р. С.,
^{1,2} Линник К. А., ³ Азлан М. Н.

¹ Satbayev University, Алматы, Казахстан

² АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан

³ Образовательный университет Султана Идриса, Малайзия

* Электронная почта автора: a.nitsenko@satbayev.university

Статья поступила: 15 сентября 2020

Рецензирование: 30 октября 2020

Принята в печать: 9 ноября 2020

АННОТАЦИЯ

Интерес технологов к теллuru связан с его разнообразными физическими и химическими свойствами. Основным промышленным источником теллурa служат медеелектролитные шламы, в результате переработки которых теллур возможно реализовать как в элементарном виде, так и в виде теллурсодержащего промпродукта. В данной работе изучены физико-химические свойства теллурсодержащего промпродукта ТОО «Казахмыс Смэлтинг», полученная в 2018 году. При проведении исследований были использованы такие методы анализа, как гранулометрический, рентгенофазовый, рентгенофлуоресцентный и растровая электронно-зондовая микроскопия. Было установлено, что материал в основном представлен крупными агрегатами, имеющими размер от 0,2 мм, влажность пробы составляет 15,57 %, насыпная плотность составила без утряски 0,8 г/см³, с утряской – 0,88 г/см³, угол естественного откоса – 33°. Рентгенофлуоресцентным методом анализа установлен элементный состав материала, мас. %: Cu – 33,327; Te – 21,863; Se – 0,766, O – 35,116; S – 5,045. Рентгенофазовым анализом определено, что материал в основном находится в аморфном состоянии, были выявлены следующие фазы: Cu₂SO₄(OH)₃·2H₂O, (Cu₃(SO₄)(OH)₄), (CuSO₄(H₂O)₃). Теллурсодержащие фазы ввиду сильной аморфности обнаружить не удалось. Электронно-зондовой микроскопией установлено, что на поверхности промпродукта присутствуют гидросульфатные формы меди в виде чешуек. ЭДС-анализ отдельных участков показал, что патина, кроме таких элементов как медь, сера и кислород, также содержит в небольших количествах хлор, селен и до 25 % теллурa. В открытом участке материала было установлено наличие небольших количеств серы, хрома, селена и до 45 % кислорода, что свидетельствует об его окислении.

Ключевые слова: Теллур, промпродукт, медеелектролитный шлам, свойства, медь.

	Информация об авторах:
Ниценко Алина Владимировна	кандидат технических наук, заведующий лабораторией вакуумных процессов. Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. Email: a.nitsenko@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0001-6753-0936
Бурабаева Нурилла Муратовна	кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. Email: n.burabayeva@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0003-2183-2239
Тулеутай Фархад Ханафияұлы	магистр технических наук, инженер. Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. Email: f.tuleutai@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0003-0802-283
Сейсембаева Руслан Серикович	докторант PhD, инженер. Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. Email: r.seisembayev@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0002-9279-7111
Линник Ксения Александровна	магистр технических наук, инженер. Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. Email: k.linnik@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0002-0683-1409
Азлан М. Н.	Кафедра физики, факультет естественных наук и математики Университета Пендидикан Султан Идрис, Танджунг Малим, Перак, 35900, Малайзия. Email: azlanmn@fsm.t.ups.edu.my; ORCID ID: 0000-0002-2792-4145

Введение

Интерес технологов к теллуру связан с его разнообразными физическими и химическими свойствами [1]. Так в стекольной промышленности при помощи добавки чистого теллура получают стёкла с высокими показателями преломления, а также специальные стёкла, пропускающие инфракрасные лучи в очень широком диапазоне. В резиновой промышленности теллур используют как аналог серы для вулканизации каучуков. В электронике теллур применяется в качестве полупроводника (для изготовления полупроводниковых холодильников). Довольно новой областью использования теллура является производство DVD-дисков, основой которой является плёнка диоксида теллура, легированная оловом и германием. Применение теллура (CdTe) в фотогальванике произвело революцию в индустрии солнечных элементов и стимулировало глобальный его спрос.

Почти половина производимого теллура используется для легирования стали и чугуна. Добавка теллура (0,03-0,04 %) ограничивает поглощение чугуном азота, измельчает зерно в стали, повышает её прочность и коррозионную стойкость. Легирование чугуна теллуrom увеличивает его ковкость и стойкость к трещинообразованию. В цветной металлургии теллур применяют для улучшения обрабатываемости медных сплавов, прочностные и пластические характеристики сплавов на основе олова, алюминия и свинца. Легированный теллуrom свинец используют для изготовления стойких оболочек кабелей погружных нефтяных насосов.

По информации на 1 января 2017 года, приведенной в [2], запасы теллура в мире по оценке USGS составляют 24570 тонн. Крупными запасами обладает США, Перу и ряд других стран (рисунок 1). Основными покупателями теллура на мировом рынке (рисунок 2) являются Малайзия с долей 12,8 %, Гонконг с долей 11,05 % и Филиппины с долей 10,79 %. Среди основных поставщиков теллура (рисунок 3) в период 2012-2016 можно выделить Турцию с долей 26,49 %, Гонконг с долей 12,45 % и Бельгию с долей 10,15 %. Авторы отчета отмечают, что объемы мировой торговли теллуrom приведены по весу продукции, содержащей теллур, а не по весу металлического теллура.

Основным промышленным источником теллура служат медьэлектролитные шламы,

представляющие собой многокомпонентный материал и содержащий до 45 % Cu, 5 % Au, 45 % Ag, 18 % Se, 10 % Te, 40 % Pb, 16 % Sb и 9 % As [3]. Как правило, медь в шламах представлена в элементной форме, селен и теллур – в виде селенидов и теллуридов благородных металлов, меди.

Все схемы переработки шлама отличаются многостадийностью и включают в себя комплекс металлургических переделов, цель которых – получение товарных продуктов: благородные металлы, элементные селен и теллур. Существует довольно широкий спектр приемов переработки медьэлектролитных шламов, что обусловлено разнообразием их химического и фазового составов [4-9].

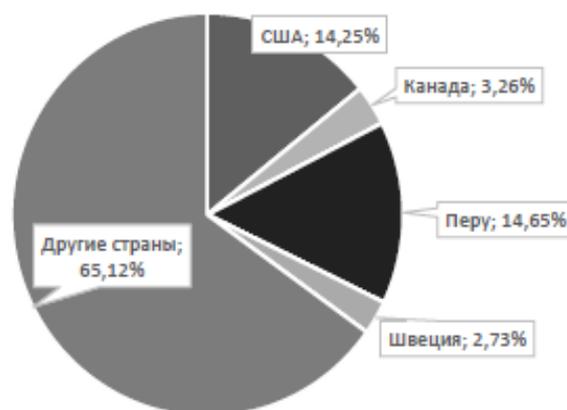


Рисунок 1 – Структура мировых запасов теллура на 01.01.2017 г. [2]

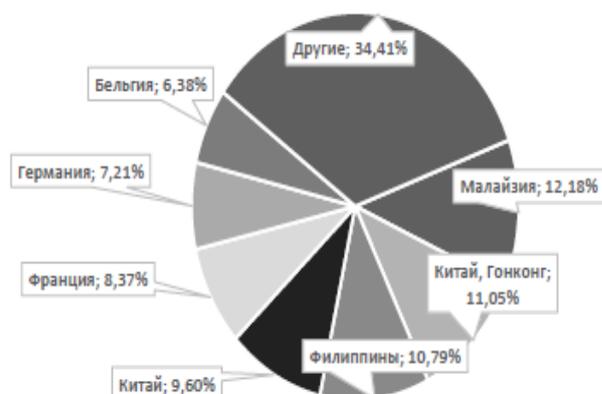


Рисунок 2 – Доли стран в импорте теллура в 2012-2016 гг [2]

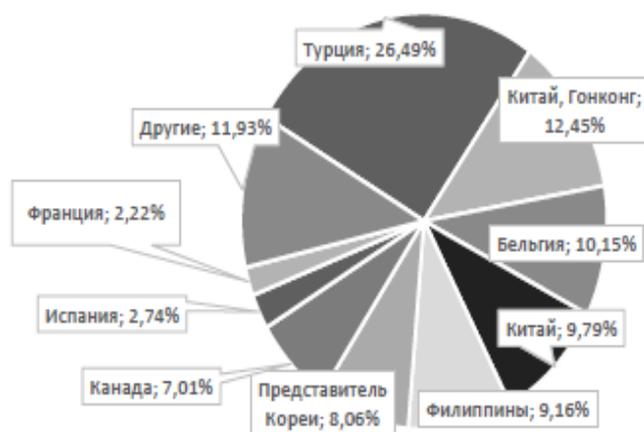


Рисунок 3 – Доли стран в экспорте теллура в 2012-2016 гг [2]

Крупнейшим производителем меди на территории Республики Казахстан является ТОО «Корпорация «Казахмыс», производящее поиск, разведку, добычу, обогащение, переработку и реализацию получаемых продуктов. Одним из видов товарной продукции Корпорации является теллурид меди, переработка которого позволит организовать выпуск элементного теллура технических марок.

На Балхашском медеплавильном заводе ТОО «Казахмыс Смэлтинг» обезмеживание шлама проводят посредством автоклавного выщелачивания [10]. При этом:

- обезмеженный шлам поступает на плавку в печь Калдо,
- теллурсодержащий раствор – на стадию цементации для извлечения теллура в виде товарного продукта – теллурида меди.

АО «Институт металлургии и обогащения» (АО «ИМиО») на протяжении долгого времени занимается вопросами извлечения селена из промпродуктов [11-14]. Кроме того, в настоящее время в Институте разрабатывается технология извлечения элементного теллура из теллурсодержащего промпродукта (проект АР08052016) с целью получения товарного элементного теллура высокоэффективным и экологически безопасным способом как на металлургических предприятиях Республики Казахстан, так и за рубежом.

Целью данной работы является изучение физико-химических свойств теллурсодержащего промпродукта ТОО «Казахмыс Смэлтинг».

Экспериментальная часть

Гранулометрический состав партии теллурсодержащего промпродукта ТОО

«Казахмыс Смэлтинг», усреднённой методом квартования, определялся классификацией на аналитических ситах с разными размерами ячеек полотен. Предварительно материал был высушен.

Влажность определена путем нагрева исходного промпродукта в вакуумном сушильном шкафу при давлении 7,8 кПа и температуре 70 °С до установления постоянной массы навески.

Насыпная плотность (без утряски и с утряской) определена с помощью мерного цилиндра. Все необходимые в процессе выполнения работ взвешивания образцов проводились на аналитических весах PA214C (Ohaus-Pioneer) с погрешностью $\pm 0,0005$ г.

Элементный состав теллурсодержащего промпродукта определялся рентгенофлуоресцентным анализом с помощью рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного спектрометра Axios. Минералогический состав диагностировался рентгенофазовым анализом на рентгеновском дифрактометре D8 Advance (BRUKER), излучение Cu-K α , и растровой электронно-зондовой микроскопией посредством электронного растрового микроанализатора JEOL JXA-8230 фирмы «JEOL».

Обсуждение результатов

В 2018 году АО «ИМиО» была приобретена партия теллурсодержащего промпродукта ТОО «Казахмыс Смэлтинг» в количестве 8,3 кг. Заводской теллурид меди представляет собой сыпучий материал различной крупности, без запаха (рисунок 4). Цвет – бледно-зеленый (оливковый). Видно, что промпродукт достаточно сильно окомкован.



Рисунок 4 – Теллурсодержащий промпродукт ТОО «Казахмыс Смэлтинг»

Гранулометрическим методом анализа усредненной пробы полученного промпродукта (масса пробы – 500 г) был определен фракционный состав теллурсодержащего сырья, приведенный в таблице 1. Как видно из теллурида меди, перед дальнейшей переработкой его целесообразно направлять на стадию измельчения, что позволит провести извлечение теллура наиболее полно.

Влажность пробы, составляющая 15,57 %, определена экспериментально путем ее нагрева в вакуумном сушильном шкафу при давлении 7,8 кПа и температуре 70 °С до установления постоянной массы навески. Исходная масса промпродукта, помещаемая в сушильный шкаф, составляла 0,5 кг.

Таблица 1 – Фракционный состав теллурсодержащего промпродукта

Крупность материала, мм	< 0,1	0,1-0,2	0,2-0,5
Количество, %	5,01	4,18	13,08
Крупность материала, мм	0,5-1	1-2,5	>2,5
Количество, %	19,21	30,15	28,37

Насыпная плотность заводского теллурида меди (масса навески – 20 г) определена с помощью мерного цилиндра и составила без утряски 0,8 г/см³, с утряской – 0,88 г/см³, угол естественно откоса – 33°.

Рентгенофлуоресцентным методом анализа установлено, что основными элементами в пробе теллурида меди после сушки являются, мас. %: Cu – 33,327; Te – 21,863; Se – 0,766, O – 35,116; S – 5,045; содержание прочих колеблется от сотых до десятых долей процента и в сумме составляет 3,883 %.

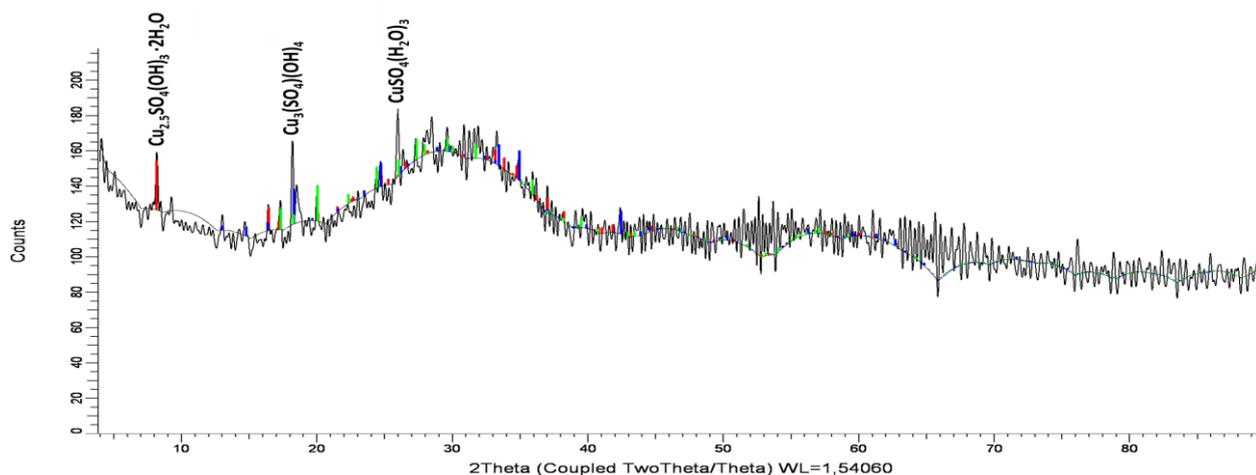


Рисунок 5 – Рентгенограмма промышленного теллурсодержащего промпродукта

результатов анализа, материал в основном представлен крупными агрегатами, имеющими размер 0,2 мм и более, класс крупности менее 0,2 мм суммарно составляет лишь 9,19 %. Поэтому ввиду сильной степени окомкованности

Посредством рентгенофазового анализа (рисунок 5) было определено, что материал в основном находится в аморфном состоянии. Из кристаллических фаз были выявлены фазы водных сульфатов меди различного состава: страндбергит ($\text{Cu}_{2,5}\text{SO}_4(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), антлерит ($\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$), бонаттит ($\text{CuSO}_4(\text{H}_2\text{O})_3$), которые предают материалу зеленоватую окраску. Указанные фазы являются естественными продуктами коррозии меди под воздействием окружающей среды (патина) в условиях сильной влажности и большого содержания серы [15]. Теллурсодержащие фазы ввиду сильной аморфности обнаружить не удалось.

Более подробная информация о морфологии поверхности промпродукта получена растровой электронно-зондовой микроскопией (рисунок 6). Было установлено, что гидросульфатные формы меди присутствуют на поверхности зерен промпродукта в виде чешуек и покрывают ее почти полностью. ЭДС-анализ отдельных участков, отмеченных на рисунке 6 точками 1-5, показал (таблица 2), что патина, кроме таких элементов как медь, сера и кислород, также содержит в небольших количествах хлор, селен и до 27 % теллура. Следует отметить, что в открытом участке материала было установлено наличие небольших количеств серы, хлора, селена и до 45 % кислорода, что свидетельствует об его окислении.

Присутствие хлора объясняется атмосферным окислением материала, а селен является естественной примесью в теллуре.

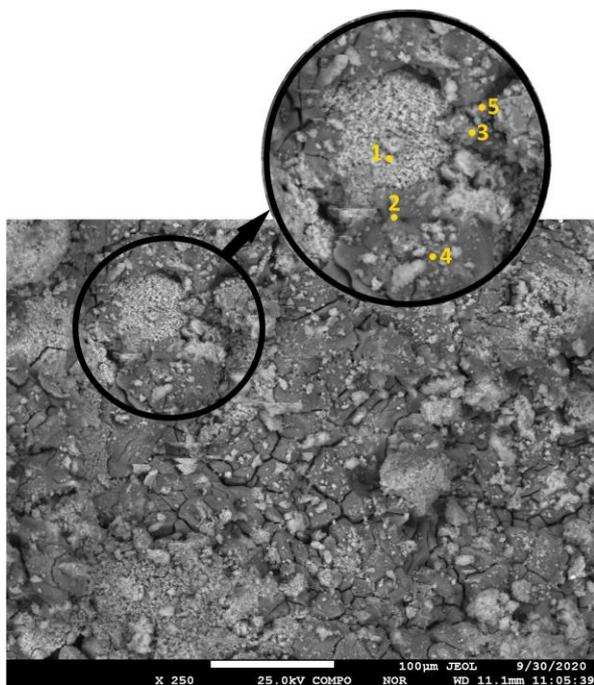


Рисунок 6 – Поверхность теллурсодержащего продукта

Таблица 2 – Элементный состав отдельных участков поверхности теллурсодержащего промпродукта

Элемент	Содержание элементов в точке ЭДС-анализа, мас. %				
	1	2	3	4	5
O	41,91	42,24	40,72	50,94	46,08
S	4,02	4,35	16,58	16,04	3,86
Cl	1,26	1,01	0,89	0,04	2,99
Cu	23,13	24,68	37,76	30,26	22,48
Se	0,75	0,61	-	-	0,48
Te	28,93	27,10	4,06	2,71	23,10

Выводы

В результате проведенной работы были определены следующие физико-химические свойства:

- материал в основном представлен крупными агрегатами, имеющими размер от 0,2 мм, класс крупности менее 0,2 мм суммарно составляет лишь 9,19 %,

- влажность пробы составляет 15,57 %,
- насыпная плотность составила без утряски 0,8 г/см³, с утряской – 0,88 г/см³, угол естественного откоса – 33°,
- рентгенофлуоресцентным методом анализа установлен элементный состав материала, мас. %: Cu – 33,327; Te – 21,863; O – 35,116; S – 5,045, Se – 0,766; содержание прочих колеблется от сотых до десятых долей процента и в сумме составляет 3,883 %,
- рентгенофазовым анализом определено, что материал в основном находится в аморфном состоянии, были выявлены следующие фазы: Cu_{2,5}SO₄(OH)₃·2H₂O, (Cu₃(SO₄)(OH)₄), (CuSO₄(H₂O)₃). Теллурсодержащие фазы ввиду сильной аморфности обнаружить не удалось.
- электронно-зондовой микроскопией установлено, что на поверхности промпродукта присутствуют гидросульфатные формы меди в виде чешуек. ЭДС-анализ отдельных участков показал, что патина, кроме таких элементов как медь, сера и кислород, также содержит в небольших количествах хлор, селен и до 25 % теллура. В открытом участке материала было установлено наличие небольших количеств серы, хлора, селена и до 45 % кислорода, что свидетельствует об его окислении.

Полученные данные будут способствовать разработке новых и усовершенствованию существующих технологий по получению металлического теллура.

Конфликт интересов. От имени всех авторов корреспондент автор заявляет, что конфликта интересов нет.

Благодарность. Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант AP08052016). Авторы выражают благодарность и глубокую признательность Сукурову Булату Мендгалиевичу, Бахытұлы Наурызбеку, Дайырхановой Дане Осербаяевне за проведение аналитических работ.

Study of physical and chemical properties of tellurium-containing middlings

^{1,2} Nitsenko A. V. *, ^{1,2} Burabaeva N. M., ^{1,2} Tuleutay F. Kh., ^{1,2} Seisembaev R. S.,
^{1,2} Linnik K. A., ³ Azlan M. N.

¹ Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

² Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan

³ Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia

* Corresponding author email: a.nitsenko@satbayev.university

Received: 15 September 2020
Peer-reviewed: 30 October 2020
Accepted: 09 November 2020

ABSTRACT

The process experts are concerned in tellurium due to its various physical and chemical properties. The copper anode slime is the main industrial source of tellurium, after processing of that tellurium becomes marketable product and can be sold both in elemental form and tellurium-containing middling. Physical and chemical properties of the tellurium-containing middling of Kazakhmys Smelting LLP produced in 2018 have been studied in this paper. The following methods have been applied during the study: particle size distribution, X-ray phase, X-ray fluorescence and scanning electron probe microscopy. It was found that material is mainly represented by the large pieces of 0.2 mm in size, with moisture content of 15.57 %, bulk density of 0.8 g/cm³ without tapping and 0.88 g/cm³ with tapping, the angle friction - 33°. The elemental composition of the material was determined by X-ray fluorescence method as follows, wt. %: Cu – 33.327; Te – 21.863; Se – 0.766, O – 35.116; S – 5.045. X-ray phase analysis showed that material is mainly in the amorphous state, the following phases had been identified: Cu_{2.5}SO₄(OH)₃·2H₂O, Cu₃(SO₄)(OH)₄, CuSO₄(H₂O)₃. Tellurium-containing phases could not be detected due to strong amorphism. Hydrosulfate forms of copper in the form of flakes have been found on the surface of the middlings by electron probe microscopy. EDS analysis of individual areas showed that patina also contains small amounts of chlorine, selenium and up to 25 % tellurium, in addition to such elements as copper, sulfur and oxygen. Small amounts of sulfur, chromium, selenium and up to 45 % of oxygen has been found in the open area of material, that is specific for its oxidation.

Keywords: Tellurium, middlings, copper anode slime, properties, copper.

Information about authors:

Nitsenko Alina Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, head of the vacuum processes laboratory, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. Email: a.nitsenko@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0001-6753-0936

Burabaeva Nurila Muratovna

Candidate of Technical Sciences, senior researcher, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. Email: n.burabaeva@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0003-2183-2239

Tuleytay Farkhad Khanafiyaully

Master of Technical Sciences, engineer, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. Email: f.tuleutai@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0003-0802-283

Seisembaev Ruslan Serikovich

PhD doctoral student, engineer, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. Email: r.seisembaev@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0002-9279-7111

Linnik Xseniya Aleksandrovna

Master of Technical Sciences, engineer, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. Email: k.linnik@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0002-0683-1409

Azlan M. N.

Physics Department, Faculty of Science and Mathematics, Universiti Pendidikan Sultan Idris, Tanjung Malim, Perak, 35900, Malaysia. Email: azlanmn@fsm.tupsi.edu.my; ORCID ID: 0000-0002-2792-4145

Құрамында теллур бар өндірістік өнімнің физикалық-химиялық қасиеттерін зерттеу

^{1,2} Ниценко А. В. *, ^{1,2} Бурабаева Н. М., ^{1,2} Түлеутай Ф. Х., ^{1,2} Сейсембаев Р. С.,
^{1,2} Линник К. А., ³ Азлан М. Н.

¹ Satbayev University, Алматы, Қазақстан

² АҚ «Металлургия және кен байыту институты», Алматы, Қазақстан

³ Сұлтан Ыдырыс атындағы білім беру университеті, Малайзия

* Автордың электрондық почтасы: a.nitsenko@satbayev.university

ТҮЙІНДЕМЕ

Технологтардың теллурға қызығушылығы оның әртүрлі физикалық және химиялық қасиеттерімен байланысты. Теллурдің негізгі өндірістік көзі мыс электролитті шламы болып табылады, оны өңдеу нәтижесінде теллурды элемент түрінде де, құрамында теллур бар орта өнім түрінде де алуға болады. Бұл жұмыста 2018 жылы алынған «Kazakhmys Smelting» ЖШС-нің теллур бар өндірістік өнімінің физико-химиялық қасиеттері зерттелген. Зерттеу барысында біз бөлшектердің мөлшерін үлестіру, рентгендік фаза, рентгендік флуоресценция және растрлы электронды-зондты микроскопия сияқты талдау әдістерін қолдандық.

Мақала келді: 15 қыркүйек 2020
Сараптамалық шолу: 30 қазан 2020
Қабылданды: 09 қараша 2020

Материал негізінен мөлшері 0,2 мм ірі агрегаттардан тұрады, үлгінің ылғалдылығы 15,57 %, шайқамағандағы үйінділік тығыздығы 0,8 г/см³, шайқағанда 0,88 г/см³ болды, табиғи еңіс бұрышы – 33° болатындығы анықталды. Рентгендік флуоресцентті талдау әдісі материалдың элементтік құрамын анықтады, мас. %: Cu – 33,327; Te – 21,863; Se – 0,766, O – 35,116; S – 5,045. Рентгендік фазалық талдау материалдың негізінен аморфты күйде екендігін анықтады, келесі фазалар анықталды: Cu₂S₅SO₄(OH)₃·2H₂O, Cu₃(SO₄)(OH)₄, CuSO₄(H₂O)₃. Теллур бар фазаларды күшті аморфты болғандықтан анықтау мүмкін болмады. Электронды зондты микроскопия арқылы өндірістік өнімнің бетінде мыстың қабыршақ түріндегі гидросульфат формалары болатындығы анықталды. Жеке аймақтардың ЭСҚ талдауы, патинада мыс, күкірт және оттегі сияқты элементтерден басқа, аз мөлшерде хлор, селен және 25 % -ке дейін теллур бар екендігін көрсетті. Материалдың ашық бөлімінде аз мөлшерде күкірт, хром, селен және 45 % дейін оттегінің болатындығы анықталды, бұл оның тотығуын көрсетеді.

Түйін сөздер: Теллур, өндірістік өнім, мыс электролит шламы, қасиеті, мыс.

	Авторлар туралы ақпарат:
Ниценко Алина Владимировна	<i>техника ғылымдарының кандидаты, вакуумдық үрдістер зертханасының меңгерушісі. Satbayev University, АҚ «Металлургия және кен байыту институты», Алматы, Қазақстан. Email: a.nitsenko@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0001-6753-0936</i>
Бурабаева Нурила Муратовна	<i>техника ғылымдарының кандидаты, аға ғылыми қызметкер. Satbayev University, АҚ «Металлургия және кен байыту институты», Алматы, Қазақстан. Email: n.burabayeva@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0003-2183-2239</i>
Тулеутай Фархад Ханафияұлы	<i>техника ғылымдарының магистрі, инженер. Satbayev University, АҚ «Металлургия және кен байыту институты», Алматы, Қазақстан. Email: f.tuleutai@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0003-0802-283</i>
Сейсембаев Руслан Серикович	<i>phD докторы, инженер. Satbayev University, АҚ «Металлургия және кен байыту институты», Алматы, Қазақстан. Email: r.seisembayev@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0002-9279-7111</i>
Линник Ксения Александровна	<i>техника ғылымдарының магистрі, инженер. Satbayev University, АҚ «Металлургия және кен байыту институты», Алматы, Қазақстан. Email: k.linnik@satbayev.university. ORCID ID: 0000-0002-0683-1409</i>
Азлан М. Н.	<i>физика кафедрасы, жаратылыстану-математика факультеті, Университет Пендидикан Сұлтан Идрис, Танджунг Малим, Перак, 35900, Малайзия. Email: azlanmn@fsm.t.ups.edu.my; ORCID ID: 0000-0002-2792-4145</i>

Ссылка на данную статью: Ниценко А. В., Бурабаева Н. М., Тулеутай Ф. Х., Сейсембаев Р. С., Линник К. А., Азлан М. Н. Изучение физико-химических свойств теллурсодержащего промпродукта // Комплексное использование минерального сырья = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu. -2020. №4(315), стр. 49-56. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.36>

Cite this article as: Nitsenko A. V., Burabayeva N. M., Tuleytay F. Kh, Seisembayev R. S., Linnik X. A., Azlan M. N. Izuchenie fiziko-himicheskikh svoystv tellursoderzhashhego promprodukta [Study of physical and chemical properties of tellurium-containing middlings]. Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. = Complex Use of Mineral Resources = Mineraldik Shikisattardy Keshendi Paidalanu. - 2020. № 4 (315), pp. 49-56. (In Rus.). <https://doi.org/10.31643/2020/6445.36>

Литература

- [1] Молдавер, Т. И. Теллур // *Химия и жизнь*. – 1972. - № 3. – С. 17-21.
- [2] Мировой и российский рынок селена и теллура 2018: анализ. обзор, янв. 2018 / Группа аналитиков по изучению рынков металлов «International Metallurgical Research Group». - www.metalresearch.ru, 2018. – 71 с.
- [3] ИТС 24-2017: Производство редких и редкоземельных металлов. М.: Бюро НДТ, 2017. – 202 с.
- [4] Efimov, A. A., Leonov, A. S., Kozhanov, A. L., Kuzmina, I. S. Processing of copper electrolyte slimes with a carbonaceous reductant // *Tsvetnye metally*. – 2018. – № 6. – С. 52-58. DOI: 10.17580/tsm.2018.06.07
- [5] Mastuygin, S. A., Naboichenko, S. S. Processing of copper-electrolyte slimes: Evolution of technology // *Russian Journal of Non-ferrous Metals*. – 2012. – V. 53, Iss. 5. – P. 367–374. <https://doi.org/10.3103/S1067821212050070>
- [6] Xing, W. D., Lee, M. S. Leaching of gold and silver from anode slime with a mixture of hydrochloric acid and oxidizing agents // *Geosystem Engineering*. – 2017. – V. 20, Iss. 4. – P. 216-223. <https://doi.org/10.1080/12269328.2017.1278728>
- [7] Xiao, L., Wang, Y. L., Yu, Y., Fu, G. Y., Han, P. W., Sun Z. H. I., Ye, S. F. An environmentally friendly process to selectively recover silver from copper anode slime // *Journal of Cleaner Production*. – 2018. – V. 187. – P. 708-716. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.203>
- [8] Yunji Ding, Shengen Zhang, Bo Liu, Bin Li. Integrated process for recycling copper anode slime from electronic waste smelting // *Journal of Cleaner Production*. – 2017. – V. 165. – P. 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.094>
- [9] Лебедь, А. Б., Набойченко, С. С., Шунин В. А. Производство селена и теллура на ОАО «Уралэлектромедь»: учеб. пособие для студентов / под ред. С. С. Набойченко. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2015. – 112 с.
- [10] ТОО «Корпорация «Казахмыс» развивает аффинаж на Балхашском медеплавильном заводе. [Электрон. ресурс] – 2018. – URL: <http://metalmininginfo.kz/archives/5671> (дата обращения 07.10.2020)

- [11] Kenzhaliyev, B. K. Innovative technologies providing enhancement of nonferrous, precious, rare and rare earth metals extraction // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources*. – 2019. – № 3. – P. 64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30>
- [12] Linnik, K.A., Sharipova, A.S., Zagorodnyaya, A.N. A slurry emission off a pulp appeared after metallurgic gases wash of balkhash copper smelting plant by spinning // *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a = Complex Use of Mineral Resources*. – 2019. – № 2. – P. 5-13. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.11>
- [13] Загородняя, А. Н. Шлам сернокислотного цеха Балхашского медеплавильного завода – альтернативный источник получения селена на предприятии. Обзор. // *Комплексное использование минерального сырья*. – 2018. – № 4. – С. 46-55. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.29>
- [14] Кенжалиев, Б. К., Требухов, С. А., Володин, В. Н., Требухов, А. А., Тулеутай, Ф. Х. Извлечение селена из промпродуктов металлургического производства // *Комплексное использование минерального сырья*. – 2018. – № 4. – С. 56-64. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.30>
- [15] Krätschmer, A., Odnevall Wallinder, I., Leygraf, C. The evolution of outdoor cooper patina // *Corrosion Science*. – 2002. – V. 44, Iss. 3. – P. 425-450. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(01\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(01)00081-6)

Reference

- [1] Moldaver T. I. *Tellur* (Tellurium). *Khimiya I zhizn' = Chemistry and life*. **1972**. 3, 17-21 (in Russ.).
- [2] *Mirovoy i rossijskiy rynek selena i tellura 2018: analit. obzor, yanv. 2018* [World and Russian selenium and tellurium marketes 2018: analyte. review, Jan. 2018]. Metal Markets Analyst Group “International Metallurgical Research Group”. www.metalresearch.ru, 2018. 71 (in Russ.)
- [3] ITS 24-2017: *Proizvodstvo redkih i redkozemel'nyh metallov* [Production of rare and rare earth metals]. Moscow: Bureau of BAT. 2017. 202 (in Russ.)
- [4] Efimov, A. A., Leonov, A. S., Kozhanov, A. L., Kuzmina, I. S. Processing of copper electrolyte slimes with a carbonaceous reductant. *Tsvetnye metally*. 2018. 6, 52-58. DOI: 10.17580/tsm.2018.06.07 (in Eng.)
- [5] Mastuyugin, S. A., Naboichenko, S. S. Processing of copper-electrolyte slimes: Evolution of technology. *Russian Journal of Non-ferrous Metals*. 2012. 5 (53), 367–374. <https://doi.org/10.3103/S1067821212050070> (in Eng.)
- [6] Xing, W. D., Lee, M. S. Leaching of gold and silver from anode slime with a mixture of hydrochloric acid and oxidizing agents. *Geosystem Engineering*. 2017. 4 (20), 216-223. <https://doi.org/10.1080/12269328.2017.1278728> (in Eng.)
- [7] Xiao, L., Wang, Y. L., Yu, Y., Fu, G. Y., Han, P. W., Sun Z. H. I., Ye, S. F. An environmentally friendly process to selectively recover silver from copper anode slime. *Journal of Cleaner Production*. 2018. 187, 708-716. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.203> (in Eng.)
- [8] Yunji Ding, Shengen Zhang, Bo Liu, Bin Li. Integrated process for recycling copper anode slime from electronic waste smelting. *Journal of Cleaner Production*. 2017. 165, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.094> (in Eng.)
- [9] Lebed', A. B., Naboichenko, S. S., Shunin V. A. *Proizvodstvo selena i tellura na OAO «Uraljelektromed'»: ucheb. posobie dlya studentov* [Production of selenium and tellurium at the JSC "Uralelectromed": textbook. student manual]. ed. S. S. Naboichenko. Ekaterinburg: Ural University Publishing House. 2015, 112. (in Russ.)
- [10] *TOO «Korporatsiya «Kazakhmys» razvivaet affinazh na Balkhashskom medeplavil'nom zavode* [Corporation “Kazakhmys” LLP develops refining at the Balkhash copper plant. Electronic resource]. 2018. URL: <http://metalmininginfo.kz/archives/5671> (date of treatment 10/07/2020). (in Russ.)
- [11] Kenzhaliyev, B. K. Innovative technologies providing enhancement of nonferrous, precious, rare and rare earth metals extraction. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'ya = Complex Use of Mineral Resources*. 2019. 3, 64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30> (in Eng.)
- [12] Linnik, K.A., Sharipova, A.S., Zagorodnyaya, A.N. A slurry emission off a pulp appeared after metallurgic gases wash of balkhash copper smelting plant by spinning. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'ya = Complex Use of Mineral Resources*. 2019. 2, 5-13. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.11> (in Eng.)
- [13] Zagorodnyaya, A. N. *Shlam sernokislotochnogo tsekha Balkhashskogo medeplavil'nogo zavoda – al'ternativnyj istochnik polucheniya selena na predpriyatii. Obzor* [Slime from the sulfuric acid shop of the Balkhash copper smelting plant is an alternative source of selenium at the enterprise. Overview]. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'ya = Complex Use of Mineral Resources*. 2018. 4, 46-55. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.29> (in Russ.)
- [14] Kenzhaliyev, B. K., Trebukhov, S. A., Volodin, V. N., Trebukhov, A. A., Tuleutay, F. Kh. *Izвлечение selena iz promproduktov metallurgicheskogo proizvodstva* [Extraction of selenium from industrial products of metallurgical production]. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo syr'ya = Complex Use of Mineral Resources*. 2018. 4. 56-64. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.30> (in Russ.)
- [15] Krätschmer, A., Odnevall Wallinder, I., Leygraf, C. The evolution of outdoor cooper patina. *Corrosion Science*. 2002. 3 (44), 425-450. [https://doi.org/10.1016/S0010-938X\(01\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0010-938X(01)00081-6) (in Eng.)