

УДК 661.692

Ниценко А.В., Линник К.А., Тулеутай Ф.Х., Бурабаева Н.М., Сейсембаев Р.С.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕЛЛУРСОДЕРЖАЩЕГО ПРОМПРОДУКТА ТОО «КАЗАХМЫС СМЭЛТИНГ»

Аннотация. Интерес технологов к теллuru связан с его разнообразными физическими и химическими свойствами. Основным его промышленным источником служат медьэлектролитные шламы, из которых теллур извлекается как побочный продукт и в дальнейшем реализуется как в элементном виде, так и в виде теллурсодержащего промпродукта. Для разработки и совершенствования технологий переработки промышленного теллурида меди с целью получения металлического теллура немаловажным является характеристика продукта. В данной работе изучены физико-химические свойства теллурсодержащего промпродукта ТОО «Казакхмыс Смэлтинг», произведенного предприятием в процессе проведения текущих работ незадолго до его приобретения. При проведении исследований были использованы такие методы анализа, как гранулометрический, рентгенофазовый и рентгенофлуоресцентный. Было установлено, что материал в основном представлен крупными агрегатами, влажность пробы составляет 29 %. Насыпная плотность влажного материала составила без утряски $0,74 \text{ г/см}^3$, с утряской – $0,83 \text{ г/см}^3$, сухого – $0,74 \text{ г/см}^3$ (без утряски) и $0,9 \text{ г/см}^3$ (с утряской). Угол естественного откоса и для влажного, и для обезвоженного материала составил 25° . Рентгенофлуоресцентным методом анализа установлен элементный состав материала, масс. %: Cu – 47,19; Te – 31,22; O – 18,88; S – 2,09; Se – 0,04. Рентгенофазовым анализом определено, что материал представлен кристаллическими фазами: Cu_7Te_4 , Cu_5Te_3 , Cu_2Te , $\text{Cu}_{2,5}\text{SO}_4(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$. В открытой литературе информация о физико-химических характеристиках теллурсодержащего промпродукта весьма ограничена, поэтому полученные данные являются новыми сведениями, способствующими организовать выпуск элементного теллура технических марок в Республике Казахстан.

Ключевые слова: теллур, медь, теллурид меди, промпродукт, фазовый состав, элементный состав.

Введение

Интерес технологов к теллuru 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 которых является плёнка диоксида теллура, легированная оловом и германием.

Согласно Shijie Wang [2] половина производимого теллура до недавнего времени использовалась 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, а также увеличивает ковкость и стойкость чугуна к трещинообразованию. В цветной металлургии теллур применяют для улучшения обрабатываемости медных сплавов, прочностные и пластические характеристики сплавов на основе олова, алюминия и свинца. Легированный теллуром свинец используют для изготовления стойких оболочек кабелей погружных нефтяных насосов.

Применение теллура (CdTe) в фотогальванике произвело революцию в индустрии солнечных элементов [3] и стимулировало глобальный его спрос.

По информации на 1 января 2017 года, приведенной в [4], запасы теллура в мире по оценке USGS составляют 24570 т. Крупными запасами обладает США, Перу и ряд других стран (рис. 1). Основными покупателями теллура на мировом рынке являются Малайзия с долей 12,18 %, Гонконг с долей 11,05% и Филиппины с долей 10,79%. Среди основных поставщиков теллура 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 объёмы мировой торговли теллуром приведены по весу продукции, содержащей теллур, а не по весу металлического теллура.

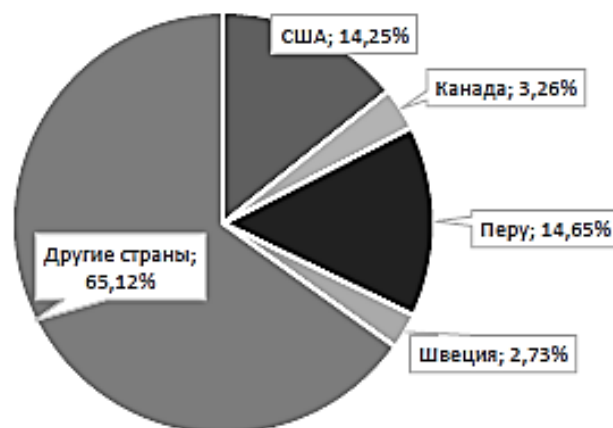


Рис. 1. Структура мировых запасов теллура на 01.01.2017 г. [4]

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 [5]. Как правило, медь в шлаках представлена в элементной форме, селен и теллур – в виде селенидов и теллуридов благородных металлов, меди.

В первую очередь шлак служит сырьем для получения благородных металлов, также продуктами его переработки являются селен и теллур. Разнообразие химического и фазового составов медеэлектролитных шламов обуславливает наличие довольно широкого спектра приёмов их переработки. В обзорных работах [6-10] обобщена информация по разработанным технологиям за последние 30 лет. Из-за сложности и разнообразия состава исходного материала требуется несколько этапов обработки, при этом используются как гидро- или пирометаллургические способы, так и комбинированные приёмы. Поэтому интерес к разработке наиболее оптимальных и эффективных технологий извлечения ценных компонентов не угасает и в настоящее время.

Следует отметить, что одним из ценных промпродуктов рафинирования меди является её теллурид [2, 11], включающий примеси других элементов и соединений [12, 13]. В открытой литературе информация о разработках в области извлечения теллура из теллурида меди весьма ограничена. Но и по проанализированным данным можно сделать вывод, что интерес исследователей направлен на разработку гидрометаллургических схем [13, 14], которые характеризуются многостадийностью и несовершенством.

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 позволяет организовать выпуск элементного теллура технических марок в Республике Казахстан.

На Балхашском медеплавильном заводе ТОО «Казахмыс Смэлтинг» обезмеживание шлама проводят посредством автоклавного выщелачивания [15], при этом:

- обезмеженный шлак 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 [9, 16-18].

Ранее нами были изучены физико-химические свойства лежалого теллурсодержащего промпродукта [12]. Было показано, что ввиду сильной аморфности рентгенофазовым анализом удалось установить лишь фазы гидрокосульфатов меди, являющихся продуктом окисления медных соединений под воздействием атмосферного воздуха в городских условиях. Для разработки и совершенствования технологий переработ-

ки промышленного теллурида меди с целью получения металлического теллура немаловажным фактором являются сведения о наличии и форме теллуридных фаз в сырье. Вследствие этого нами была проведена работа по изучению физико-химических свойств не лежалого промпродукта, результаты которой представлены в данной работе.

Методы исследований

Объектом исследований является теллурсодержащий промпродукт ТОО «Казахмыс Смэлтинг», произведенный предприятием в процессе проведения текущих работ незадолго до его приобретения лабораторией вакуумных процессов АО «Институт металлургии и обогащения».

Фракционный состав теллурсодержащего промпродукта был определен гранулометрическим методом анализа. Предварительно материал был усреднён методом квартования. Рассев пробы массой 300 г по классам крупности осуществлялся на стандартном наборе сит, изготовленных с учетом требований ГОСТ Р 51568-99.

Влажность пробы определена путем её нагрева в вакуумном сушильном шкафу при давлении 7,8 кПа и температуре 110 °С до установления постоянной массы навески. Исходная масса промпродукта, помещаемая в сушильный шкаф, составляла 500 г.

Насыпная плотность (без утряски и с утряской) определена весовым методом с помощью мерного цилиндра. Угол естественного откоса был измерен путем прикладывания транспортира к основанию свободно насыпанного материала в форме конуса.

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 идентифицировался рентгенофазовым анализом на рентгеновском дифрактометре D8 Advance, излучение Cu-K α , путем сопоставления полученных рентгенограмм с эталонными (база ICDD PDF-2 (2020 год)).

Результаты исследований и их обсуждение

Для выполнения исследовательских работ по проекту AP08052016 было приобретено 10 кг (по сухому материалу) теллурсодержащего промпродукта ТОО «Казахмыс Смэлтинг», произведенного предприятием в процессе проведения текущих работ незадолго до его приобретения. Материал был герметично упакован в два мешка. Внешне теллурид меди представляет собой окомкованный влажный материал черного цвета, без запаха (рис. 2). Согласно сертификату качества, влага составляет 27%. На поверхности агломератов имеются вкрапления малахитового цвета, которые, вероятно,

являются следствием окислительных реакций медных составляющих промпродукта, происходящих в сильновлажной среде, обогащенной сульфат-ионами. Ввиду того, что материал был упакован герметично, предположительной причиной наличия ионов SO_4^{2-} в материале является недостаточная отмывка теллурида меди от раствора сульфата меди после цементации теллура на меди из теллуристой кислоты по реакции: $H_2TeO_3 + 4Cu + 2H_2SO_4 \rightarrow Cu_2Te + 2CuSO_4 + 3H_2O$.



Рис. 2. Промышленный теллуросодержащий промпродукт ТОО «Корпорация Казахмыс»

В табл. 1 представлены результаты гранулометрического анализа усредненной пробы теллуросодержащего промпродукта с учетом невязки. Как видно, материал в основном представлен крупными агрегатами, имеющими размер более 1 мм, класс крупности менее 1 мм суммарно составляет 14,92 и 17,65% для влажного и высушенного промпродукта соответственно. Ввиду сильной степени окомкованности теллурида меди перед дальнейшей переработкой его целесообразно направлять на стадию измельчения, что позволит провести извлечение теллура наиболее полно.

Влажность пробы теллуросодержащего промпродукта составляет 29%. Вследствие сильной влажности при разработке и совершенствовании пирометаллур-

гических технологий и оборудования необходимо предусмотреть либо предварительную стадию обезвоживания материала, либо резервуар для сбора образующегося конденсата.

Одним из немаловажных технологических параметров является степень сыпучести, пренебрежение которой приводит к нарушению технологического режима, ухудшению качества продукции и нарушению режимов работы оборудования. Для теллуросодержащего промпродукта она была определена по двум критериям: углу естественного откоса и насыпной плотности. По результатам измерений насыпная плотность влажного материала (масса 20 г), определенная с помощью мерного цилиндра, составила без утряски $0,74 \text{ г/см}^3$, с утряской – $0,83 \text{ г/см}^3$, сухого – $0,74 \text{ г/см}^3$ (без утряски) и $0,9 \text{ г/см}^3$ (с утряской). Угол естественного откоса и для влажного, и для обезвоженного материала составил 25° . Таким образом, промпродукт характеризуется достаточно хорошей степенью сыпучести, а полученный коэффициент прессируемости составил 11,11 (для влажного материала) и 18,52 (для сухого материала).

Рентгенофлуоресцентным методом анализа установлено наличие 11-ти химических элементов, содержание которых колеблется в широких пределах. Основными элементами в пробе теллурида меди после обезвоживания являются медь (47,19 масс. %) и теллур (31,22 масс. %). Содержание селена составляет 0,04 масс. %, кислорода – 18,88 масс. % и серы – 2,09 масс. %. Количество прочих колеблется от сотых до десятых долей, в сумме составляет 0,58 масс. % (табл. 2). Присутствие кислорода и серы в материале может говорить о возможном наличии оксидных, гидроксидных, сульфатных или гидроксосульфатных фаз.

При изучении фазовой структуры исследуемого материала (рис. 3) было установлено наличие большой доли аморфного гало, обусловленного рассеянием от неупорядоченных фаз. Относительная степень аморфности данного образца составляет 78,3%. На дифрактограмме зафиксировано 10 рефлексов, характеризующие параметры которых приведены в табл. 3.

Таблица 1

Фракционный состав теллуросодержащего промпродукта

Крупность материала, мм	< 0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	0,5-1	1-2,5	>2,5
Влажный						
Количество, %	1,05	1,35	4,23	8,29	21,52	63,56
Высушенный						
Количество, %	2,37	2,21	4,88	8,19	23,27	59,08

Таблица 2

Элементный состав теллуросодержащего промпродукта

Элемент	O	Al	Si	S	Cl	Fe	Cu	As	Se	Te	Pb
Содержание, масс. %	18,88	0,11	0,03	2,09	0,29	0,02	47,19	0,11	0,04	31,22	0,02

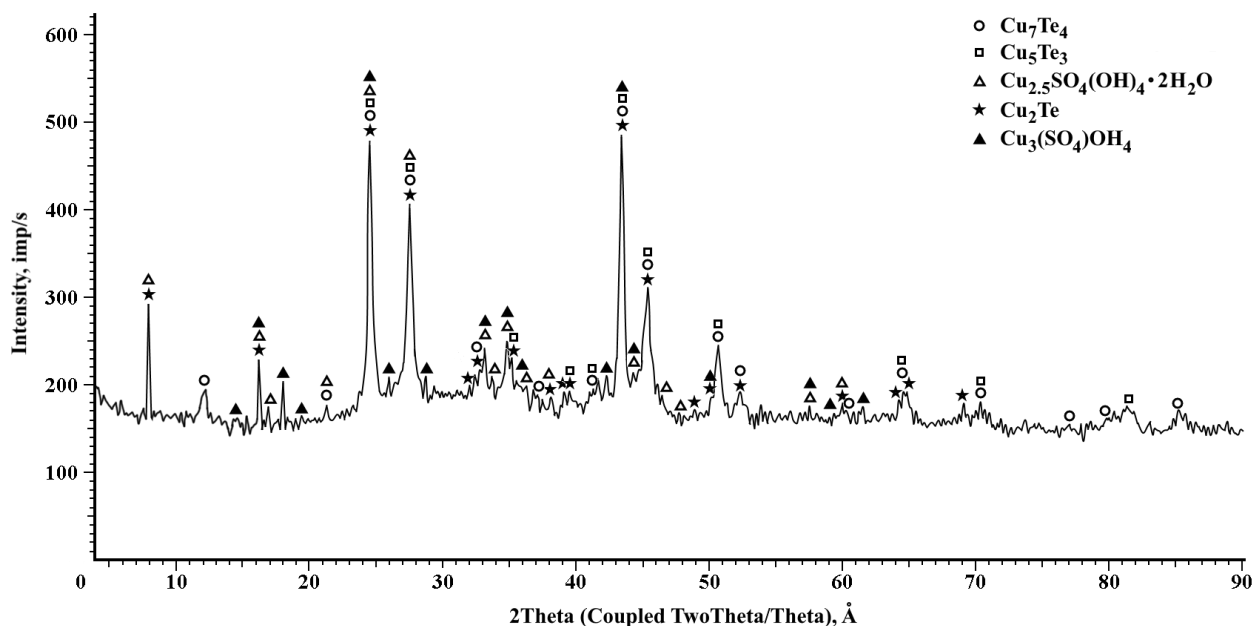


Рис. 3. Дифрактограмма теллурсодержащего промпродукта ТОО «Казахмыс Смэлтинг»

Таблица 3

Углы дифракции 2θ , Å, межплоскостные расстояния d , интенсивности I , имп/с, зарегистрированных рефлексов

2θ	d	I
8,196	10,77942	292
16,461	5,38101	228
18,229	4,86285	203
24,766	3,59208	476
27,727	3,21478	404
33,312	2,68747	242
34,988	2,56250	250
45,553	2,07634	484
45,510	1,99151	311
50,781	1,79647	245

Было установлено, что кристаллическая часть промпродукта, составляющая 21,7%, преимущественно состоит из фаз теллуридов меди различного состава:

– Cu_7Te_4 (PDF 00-057-0196) – 36,5%: гексагональная сингония, с параметрами $a = 8,31180$, $c = 7,20960$ Å, $V = 431,35$ Å³, $Z = 2$, пространственная группа $P3m1$;

– Cu_5Te_3 (PDF 02-1222) – 28,5%: данные отсутствуют;

– Cu_2Te (PDF 00-057-0477) – 12,9%: гексагональная сингония, $a = 8,36700$, $c = 21,62700$ Å, $V = 1311,19$ Å³, $Z = 24$, пространственная группа $P3m1$.

Помимо теллуридов меди в материале были обнаружены фазы кристаллических гидросульфатов меди, которые и представляют собой вкрапления малахитового цвета на поверхности материала:

– $\text{Cu}_{2,5}\text{SO}_4(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (PDF 51-0321) – 16,2%: страндбергит, триклинная сингония, $a = 6,07180$, $b = 11,06400$, $c = 5,5059$ Å, $V = 359,67$ Å³, $Z = 2$, пространственная группа $P-1$;

– $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$ (PDF 07-0408) – 5,9%: антлерит, орторомбическая сингония, $a = 8,25000$, $b = 12,01000$, $c = 6,04000$ Å, $V = 598,46$ Å³, $Z = 4$, пространственная группа $Pnam$.

Гидросульфаты многих металлов, включая медь, являются продуктами гидролитических превращений сульфатов.

Согласно [19] указанные гидросульфатные фазы – это естественные продукты коррозии меди (патины) под воздействием городской окружающей среды, содержащей сульфат-ионы. Авторы отмечают, что при малом содержании $\text{SO}_2/\text{SO}_4^{2-}$ в процессе окисления меди образуется познякит ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$), который далее переходит в фазу брошангита ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$). Однако если уровень содержания $\text{SO}_2/\text{SO}_4^{2-}$ с течением времени повысится, то в качестве конечного продукта возможно образование антлерита. В среде, содержащей достаточно большое количество сульфат-ионов, продуктом окисления меди является антлерит, прекурсор

ром для которого служит страндбергит, по следующей схеме: $\text{Cu}_2\text{O} \rightarrow \text{CuSO}_4$ (аморфный) $\rightarrow \text{Cu}_{2,5}\text{SO}_4(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$. Вместе с тем понижение уровня $\text{SO}_2/\text{SO}_4^{2-}$ может привести к образованию брошантита.

В условиях лаборатории медные гидроксосульфаты целенаправленно получают при их осаждении из раствора сульфата меди щелочью, например NaOH [20-23].

Образование страндбергита и антлерита в изучаемом теллурсодержащем промпродукте является побочным явлением, причина которого – остаточное содержание сульфат-ионов после конечной отмывки материала от раствора сульфата меди. В результате гидролиза сульфата меди образуется гидроксид меди. При их взаимодействии сульфат-ионы от гидролитического разложения сульфата меди заменяют некоторые гидроксильные группы в гидроксиде меди, что и приводит к образованию страндбергита, который далее трансформируется в антлерит.

Следует отметить, по результатам исследований авторов [19] для образования антлерита и брошантита в естественных условиях требуются годы. В нашем случае образование гидроксосульфатных фаз с момента производства материала до момента проведения анализа произошло за 1 месяц. Этот факт свидетельствует о том, что в герметичных условиях транспортировки процесс образования гидроксосульфатов меди интенсифицируется.

Выводы

В результате проведённой работы было определено:

- материал в основном представлен крупными агрегатами, имеющими размер более 1 мм, класс крупности менее 1 мм суммарно составляет 14,92 и 17,65% для влажного и высушенного промпродукта соответственно,
- влажность пробы составляет 29%;
- насыпная плотность влажного материала составила без утряски $0,74 \text{ г/см}^3$, с утряской – $0,83 \text{ г/см}^3$, сухого – $0,74 \text{ г/см}^3$ (без утряски) и $0,9 \text{ г/см}^3$ (с утряской). Угол естественного откоса и для влажного, и для обезвоженного материала составил 25° ;
- рентгенофлуоресцентным методом анализа установлен элементный состав материала, масс. %: Cu – 47,19; Te – 31,22; O – 18,88; S – 2,09; Se – 0,04; содержание прочих колеблется от сотых до десятых долей процента и в сумме составляет 0,58 масс. %;
- рентгенофазовым анализом определено, что кристаллическая часть промпродукта, составляющая 21,7%, преимущественно состоит из фаз теллуридов меди различного состава, %: Cu_7Te_4 – 36,5, Cu_5Te_3 – 28,5, Cu_2Te – 12,9. Помимо теллуридов меди в материале были обнаружены фазы кристаллических гидроксосульфатов меди, %: $\text{Cu}_{2,5}\text{SO}_4(\text{OH})_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 16,2 и $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$ – 5,9%. Наличие страндбергита и антлерита в изучаемом теллурсодержащем промпро-

дукте является побочным явлением и связано с наличием остаточного количества сульфат-ионов после конечной отмывки материала от раствора сульфата меди.

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

Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант AP08052016).

Авторы выражают благодарность и глубокую признательность Бахытұлы Наурызбеку, Куц Елене Петровне, Дайырхановой Дане Осербаевне за проведение аналитических работ.

Список литературы

1. Молдавер Т.И. Теллур // Химия и жизнь. 1972. № 3. С. 17-21.
2. Wang Sh. Tellurium, its resourcefulness and recovery // The Journal of the Minerals, Metals & Materials Society. 2011. Vol. 63. No. 8. Pp. 90-93.
3. Zweibel K. The Impact of Tellurium Supply on Cadmium Telluride Photovoltaics // Science. 2010. No. 328(5979). Pp. 699-701.
4. Мировой и российский рынок селена и теллура 2018: аналит. обзор, янв. 2018 / Группа аналитиков по изучению рынков металлов «International Metallurgical Research Group». 2018. 71 с.
5. ИТС 24-2017. Производство редких и редкоземельных металлов. М.: Бюро НДТ, 2017. 202 с.
6. Liu G., Wu Yu., Tang A., Pan D., Li B. Recovery of scattered and precious metals from copper anode slime by hydrometallurgy: A review // Hydrometallurgy. 2020. Vol. 197, pp. article 105460.
7. Mastuyugin S. A., Naboichenko S. S. Processing of copper-electrolyte slimes: Evolution of technology // Russian Journal of Non-ferrous Metals. 2012. Vol. 53. Iss. 5. Pp. 367-374.
8. Cooper W. C. The treatment of copper refinery anode slimes // Journal of the Minerals, Metals & Materials Society. 1990. Vol. 42. no. 8. pp. 45-49.
9. Извлечение селена из промпродуктов металлургического производства / Кенжалиев Б.К., Требухов С.А., Володин В.Н., Требухов А.А., Тулеутай Ф.Х. // Комплексное использование минерального сырья. 2018. № 4. С. 56-64. <https://doi.org/10.31643/2018/6445.30>
10. Чижиков Д.М., Счастливый В.П. Теллур и теллуриды. М.: Наука, 1964. 322 с.
11. Shibasaki T., Abe K., Takeuchi H. Recovery of tellurium from decopperizing leach solution of copper refinery slimes by a fixed bed reactor // Hydrometallurgy. 1992. Vol. 29(1-3). Pp. 399-412.
12. Изучение физико-химических свойств теллурсодержащего промпродукта / Ниценко А.В., Бурабае-

- ва Н.М., Тулеутай Ф.Х., Сейсембаев Р.С., Линник К.А., Азлан М.Н. // Комплексное использование минерального сырья. 2020. № 4(315). С. 49-56. <https://doi.org/10.31643/2020/6445.36>
13. Xu L., Xiong Ya., Song Y., Zhang G., Zhang F., Yang Y., Hua Zh., Tian Y., You J., Zhao Zh. Recycling of copper telluride from copper anode slime processing: Toward efficient recovery of tellurium and copper // Hydrometallurgy. 2020. Vol. 196, article 105436.
 14. Mahmoudi A., Shakibania S., Mokmeli M., Rashchi F. Tellurium, from copper anode slime to high purity product: A review paper // Metallurgical and Materials Transactions B. 2020. Vol. 51, pp. 2555-2575.
 15. ТОО «Корпорация «Казакхмыс» развивает аффинаж на Балхашском медеплавильном заводе. [Электрон. ресурс] – 2018. – URL: <http://metalmininginfo.kz/archives/5671> (дата обращения 07.10.2020)
 16. Kenzhaliyev B. K. Innovative technologies providing enhancement of nonferrous, precious, rare and rare earth metals extraction // Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'a. 2019. № 3. Pp. 64-75. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.30>
 17. 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. 2019. № 2. Pp. 5-13. <https://doi.org/10.31643/2019/6445.11>
 18. 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>
 19. Krättschmer A., Odnevall Wallinder I., Leygraf C. The evolution of outdoor copper patina // Corrosion Science. 2002. Vol. 44, Iss. 3. Pp. 425-450.
 20. Pollard A.M., Thomas R.G., Williams P.A. The stabilities of antlerite and $\text{Cu}_3\text{SO}_4(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: their formation and relationships to other copper(II) sulfate mineral // Mineralogical Magazine. 1992. Vol. 56(384). Pp. 359-365.
 21. Zittlau A.H., Shi Q., Boerio-Goates J., Woodfield B.F., Majzlan J. Thermodynamics of the basic copper sulfates antlerite, posnjakite, and brochantite // Chemie der erde-geochemistry. 2013. Vol. 73. Iss. 1. Pp. 39-50.
 22. Prasad S.V.S., Sitakara Rao V. Thermal analysis, X-ray diffraction and infrared spectroscopic study of synthetic brochantite // Journal of Thermal Analysis. 1985. Vol. 30. pp. 603-609.
 23. Yodler C.H., Agee T. M., Ginion K.E., Hofmann A.E., Ewanichak J.E., Dchaeffer Jr. C.D., Carroll M.J., Schaeffer R.W., McCaffrey P. F. The relative stabilities of copper hydroxyl sulphates // Mineralogical Magazine. 2007. Vol. 71(5). Pp. 571-577.

Сведения об авторах

Ниценко Алина Владимировна – кандидат технических наук, заведующая лабораторией вакуумных процессов, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. E-mail: alina.nitsenko@gmail.com.

Линник Ксения Александровна – магистр технических наук, младший научный сотрудник, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. E-mail: nenija_linnik@mail.ru.

Тулеутай Фархат Ханафия-улы – магистр технических наук, инженер, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. E-mail: farkhat_kaldybek@mail.ru.

Бурабаева Нурила Муратовна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. E-mail: nuri_eng@mail.ru.

Сейсембаев Руслан Серикович – PhD, научный сотрудник, Satbayev University, АО «Институт металлургии и обогащения», Алматы, Казахстан. E-mail: seisembayev.r@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF TELLURIUM-CONTAINING INDUSTRIAL MIDDLING KAZAKHMYN SMELTING LLP

Nitsenko Alina V. – Candidate of Technical Sciences, head of the vacuum processes laboratory, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. E-mail: alina.nitsenko@gmail.com.

Linnik Xeniya A. – Master of Technical Sciences, Junior Researcher, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. E-mail: nenija_linnik@mail.ru.

Tuleytay Farkhad Kh. – Master of Technical Sciences, engineer, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. E-mail: farkhat_kaldybek@mail.ru.

Burabaeva Nurila M. – Candidate of Technical Sciences, senior researcher, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. E-mail: nuri_eng@mail.ru.

Seisembaev Ruslan S. – PhD, researcher, Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation JSC, Almaty, Kazakhstan. E-mail: seisembayev.r@gmail.com.

Abstract. The process experts are concerned about tellurium due to its various physical and chemical properties. Its main industrial source is copper electrolyte sludge, from which tellurium is extracted as a by-product and is subsequently sold both in elemental form and in the form of tellurium-containing middling. Characteristics of the middling are not the least of the factors for the development and improvement of technologies for the processing of industrial copper telluride to obtain metal tellurium. In this work, the physicochemical properties of the tellurium-containing middling of Kazakhmys Smelting LLP, which is produced by the plant in the course of current work shortly before its acquisition, have been studied. The following methods have been applied during the study: particle size distribution, X-ray phase, and X-ray fluorescence. It was found that material is mainly represented by the large aggregate, the moisture content of the sample is 29 %. The bulk density of wet material was 0.74 g/cm³ without tapping, 0.83 g/cm³ with tapping, 0.74 g/cm³ dry (without tapping), and 0.9 g/cm³ (with tapping). The angle of natural slope for both wet and de-watered material was 25°. The elemental composition of the material was determined by the X-ray fluorescence method as follows, wt. %: Cu – 47.19; Te – 31.22; O – 18.88; S – 2.09, Se – 0.04. X-ray phase analysis determined that the material is represented by crystalline phases: Cu₇Te₄, Cu₅Te₃, Cu₂Te, Cu_{2.5}SO₄(OH)₃·2H₂O, Cu₃(SO₄)(OH)₄. Information on the physicochemical characteristics of tellurium-containing middlings is very limited in the open literature. Therefore, the obtained data are new information, which contributes to the organization of the elemental tellurium production of technical grades in the Republic of Kazakhstan.

Keywords: tellurium, copper, copper telluride, middling, phase composition, elemental composition.

Ссылка на статью:

Физико-химическая характеристика теллурсодержащего промпродукта ТОО «Казакхмыс Смэлтинг» / Ниценко А.В., Линник К.А., Тулеутай Ф.Х., Бурабаева Н.М., Сейсембаев Р.С. // Теория и технология металлургического производства. 2021. №3(38). С. 10-16.
Nitsenko A.V., Linnik X.A., Tuleytay F.Kh., Burabaeva N.M., Seisembaev R.S. Physico-chemical characteristics of tellurium-containing industrial middling Kazakhmys Smelting LLP. *Teoria i tehnologiya metallurgiceskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2021, vol. 38, no. 3, pp. 10-16.