

Г.А. Кокаева¹, М.А. Адилканова², М.Ж. Млынчак³, Б.Б. Саркенов⁴

Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан;

²Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева, Усть-Каменогорск, Казахстан;

³Вроцлавский технологический университет, Польша;

⁴Карагандинский государственный технический университет, Казахстан

(E-mail: GAKokaeva@mail.ru)

Исследования по определению оптимальных параметров прямой вакуумной отгонки селена из селеносодержащих пылей

Актуальность проблемы обусловлена тем, что с развитием электронной техники в мировой практике растет спрос на селен высокой чистоты. Данная работа направлена на решение прикладной технической задачи в области переработки селеносодержащего промпродукта металлургического производства методом вакуумной дистилляции, внедрение которой позволит решить проблему образования и накопления отходов, повысить извлечение ценных металлов, снизить негативное воздействие на окружающую среду. Изучены химический, фазовый состав и структура исследуемого селеносодержащего промпродукта — пылей Балхашского медеплавильного завода металлургического комплекса ТОО «Казахмыс Смэлтинг». Установлено, что пыли представляют собой крайне неоднородный материал, среднее содержание селена в них более 30 %, кроме того, они содержат значительное количество драгметаллов: золота — более 100 г/т, серебра — более 2 %, теллура — более 2 %. Проведены исследования зависимости степени прямой вакуумной отгонки селена из селеносодержащих пылей от температуры, от продолжительности процесса, от давления в системе. Определены оптимальные параметры прямой вакуумной отгонки селена из пылей рукавных фильтров аффинажного производства, при которой достигается максимальная степень отгонки селена: температура — 400–450 °С, продолжительность процесса — 20–30 минут и давление в системе — 0,13–0,65 кПа.

Ключевые слова: селен, вакуумная отгонка, селеносодержащие пыли, выход конденсата, степень отгонки, температура.

Введение

Казахстан является одним из крупных производителей селена, но производит только технический селен, который почти на порядок дешевле марочного селена. Селен главным образом применяется в полупроводниковой технике, в стекольной промышленности, при вулканизации каучука, в фотографии и при изготовлении некоторых оптических и сигнальных приборов. Технический селен содержит 1–2,5 % примесей и непосредственно для полупроводникового производства не пригоден [1, 2].

С развитием электронной техники в мировой практике растет спрос на селен высокой чистоты. Трудность очистки селена от многих примесей обусловлена его высокой активностью, поэтому разрабатываются разнообразные схемы и аппараты, обеспечивающие резкое увеличение его производства и улучшение качества.

Для получения высокочистого селена используют селен технических марок. Требования по содержанию примесей в высокочистом селене определяются областью его применения. С развитием полупроводниковой техники требования к чистоте селена повышаются. Согласно техническим требованиям на селен высокой чистоты содержание в селене таких примесей, как Al, Ga, Fe, In, Co, As, Na, S, Te должно быть не более $1 \cdot 10^{-4}$ % каждой, Mn — $0,5 \cdot 10^{-5}$ %, Au, Ca, Si, Pb, Sb, Ti, P, Cr — $1 \cdot 10^{-4}$ % каждой, Br, Bi, J, Cd, Mg, Cu, Ni, Sn, Hg, Ag, F, Cl — $1 \cdot 10^{-5}$ % каждой [3, 4]. Особенно нежелательными примесями в селене являются мышьяк, ртуть, висмут, медь, никель, теллур, сера [5]. Установлено, что примеси многих металлов, введенных в виде селенидов даже в малых концентрациях (0,1–0,01 мас.%), вызывают ослабление выпрямляющего действия выпрямителей. Так, например, медь и никель резко понижают коэффициент выпрямления.

В целом сведения о технологиях и способах получения высокочистого селена ограничены или закрыты, так как являются интеллектуальной собственностью, в основном частных предприятий. Технологии эти дорогие и относятся к высокотехнологичным производствам.

Из анализа современного состояния технологий очистки селена [6–9] следует, что используемые в мировой практике гидрометаллургические способы очистки селена из промпродуктов характеризу-

ются значительным расходом дорогостоящих реагентов, большой продолжительностью процесса и в настоящее время на территории Республики Казахстан не используются.

Опыт работы по получению технического селена показывает, что стоимость селена, полученного окислительно-восстановительным способом, в несколько раз выше стоимости селена, полученного возгонкой [10]. Селен высокой чистоты можно получить только с использованием физических методов, таких как возгонка и дистилляция в вакууме, а также в атмосфере индифферентных газов — углекислого газа, азота, аргона, гелия. Благоприятные условия вакуумной дистилляции дают возможность работать при более низких температурах, чем в обычных условиях, облегчают выбор материала для нагревательного устройства и являются экологически безопасными по сравнению с гидрометаллургическими способами.

Описание объекта и методов исследования

Объектом исследования являлся селенсодержащий промпродукт — селенсодержащие пыли Балхашского медеплавильного завода металлургического комплекса ТОО «Казахмыс Смэлтинг».

Определение химического, фазового состава и структуры исследуемого селенсодержащего продукта проводилось на волно-дисперсионном спектрометре AXIOS, растровом электронном микроскопе с микроанализатором фирмы JEOL (GXA 8230), рентгеновском дифрактометре «D8 ADVANCE» (BRUKER), масс-спектрометре ISP-MS Agilent.

Селенсодержащие пыли по внешнему виду представляют собой светло-коричневый, частично окомкованный порошок, влажностью 1,3÷1,4 %. Насыпная плотность исходного материала равна 0,91 г/см³ без утряски, 1,2 г/см³ с утряской, насыпная плотность высушенного при температуре 85 °С в вакууме до постоянной массы материала равна 1,05 г/см³ без утряски, 1,4 г/см³ с утряской. В таблице 1 приведены данные химического анализа селенсодержащих пылей.

Т а б л и ц а 1

Химический анализ пылей рукавных фильтров аффинажного производства Балхашского медеплавильного завода металлургического комплекса ТОО «Казахмыс Смэлтинг»

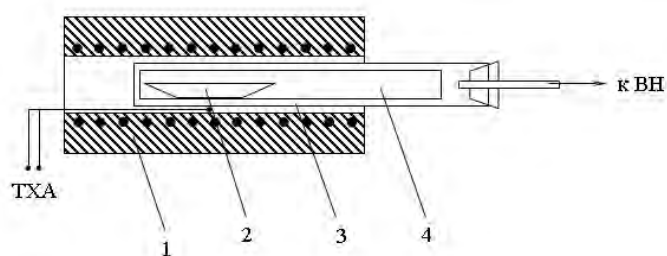
Элемент	Содержание, % (масс.)	Элемент	Содержание, % (масс.)
Se	35,9	Sb	1,27
Ag	0,93	Cu	0,32
Au	134 г/т	Ni	0,1
Te	2,77	Fe	0,05
As	2,37	Co	0,01
Pb	19,5	Zn	0,07
Платиновая группа, г/т			
Pd	3,18	Ru	0,81
Pt	1,39	Rh	3,18
Ir	3,19	Os	0,16

Описание и анализ результатов

В работе были проведены исследования по определению оптимальных параметров прямой вакуумной отгонки селена из селенсодержащих пылей. Установлены зависимости степени прямой вакуумной отгонки селена из селенсодержащих пылей от температуры, от продолжительности процесса, от давления в системе.

1) Исследование зависимости степени прямой вакуумной отгонки селена из селенсодержащих пылей от температуры

Лабораторные исследования по определению степени отгонки селена в вакууме прямой дистилляцией исходных селенсодержащих пылей в зависимости от температуры были проведены на лабораторной вакуумной установке, схема которой представлена на рисунке 1.



1 — электропечь; 2 — алуноводная лодочка с навеской черного селена; 3 — кварцевый реактор;
4 — разъемный фарфоровый конденсатор

Рисунок 1. Лабораторная установка для вакуумной отгонки селена из селеносодержащих пылей

Лабораторная установка для вакуумной отгонки селена из селеносодержащих пылей после приемной плавки (рис. 1) состоит из электропечи с автоматической регулировкой и поддержанием заданной температуры 1, кварцевого реактора 3, в который устанавливался разъемный фарфоровый конденсатор 4 для сбора сконденсировавшегося селена с помещенной в него алуноводной лодочкой с навеской исходного материала 2. Кварцевый реактор посредством вакуумных шлангов соединялся с вакуумным насосом 2НВР-5ДМ. Давление в системе измеряли при помощи барометра-анероида М110 с точностью ± 133 Па. Температуру в печи измеряли хромель-алюмелевой термопарой и регулировали при помощи милливольтметра Ш4501 с точностью ± 5 °С. Для точности измерения параллельно устанавливался термометр контактный цифровой ТК-5.06 в комплекте с преобразователем термоэлектрическим ТПК 031–0,5/0,2/2 (измерение температуры с точностью $\pm 0,1$ °С).

Условия проведения эксперимента. Навеска исследуемого исходного расплава массой 15–16 г помещалась в алуноводную лодочку, которая устанавливалась внутри разъемного фарфорового конденсатора. Конденсатор устанавливался в кварцевый реактор. Система герметизировалась, и в ней создавалось заданное давление. Перед экспериментом лодочка, разъемный фарфоровый конденсатор и кварцевый реактор взвешивались на аналитических весах. Трубчатая электропечь устанавливалась горизонтально на подставке, термопара в печи — в изотермической зоне. Перед началом опыта печь перегревалась на 100 °С выше заданной температуры. После этого в печь устанавливался кварцевый реактор таким образом, чтобы лодочка с навеской исходного материала находилась в изотермической зоне печи. Время начала опыта считалось с момента установления в печи заданной температуры. Промежуток времени с момента установления кварцевого реактора в печь и выхода на заданную температуру вследствие предварительного перегрева составлял от 1,5 до 2,0 минут. После окончания опыта кварцевый реактор вынимался из печи и остывал под вакуумом. Система после этого заполнялась воздухом до атмосферного давления, разбиралась, фиксировались изменения массы навески, фарфорового разъемного конденсатора и кварцевого реактора. Полученные продукты после вакуумной дистилляции (огарок, возгоны) направлялись на различные виды анализов (химический, рентгенофлуоресцентный, рентгенофазовый и спектральный). О степени отгонки летучих составляющих судили по изменению массы навески, о степени отгонки селена — по результатам анализа исходного материала и огарка.

Определение оптимальной температуры, при которой наблюдается максимальная степень прямой вакуумной отгонки селена из пылей, содержащих Se в 42,418 % (масс.), проводилось в интервале 350–600 °С с шагом в 50 °С в течение 30 минут при давлении $< 0,13$ кПа. Результаты экспериментов приведены в таблице 2 и на рисунке 2.

Из приведенных в таблице 2 и на рисунке 2 данных видно, что при увеличении температуры с 350 °С до 600 °С уменьшается остаточное содержание селена в остатке после вакуумной дистилляции селеносодержащих пылей с 17,219 до 4,020 % (масс.). При этом степень отгонки селена увеличивается с 84,21 % до 95,59 %. Отмечено, что начиная с температуры 450 °С рост степени отгонки из пылей незначителен. Невязка по твердым компонентам в результате исследований колебалась от 0,09 % при 350 °С до 6,99 % при 550 °С.

Результаты экспериментов по прямой отгонке селена из пылей при различной температуре и давлении 0,13 кПа

$t, ^\circ\text{C}$	Выход, %			Содержание Se, %		Степень отгонки Se, %
	Исходная пыль	Конденсат	Остаток	Исходная пыль	Остаток	
350	100	51,96	47,95	42,418	17,219	84,21
400	100	50,66	47,88	42,418	6,973	92,01
450	100	49,73	47,10	42,418	4,211	94,84
500	100	48,55	46,45	42,418	4,167	95,56
550	100	47,85	45,16	42,418	4,023	95,99
600	100	47,82	45,13	42,418	4,020	95,92

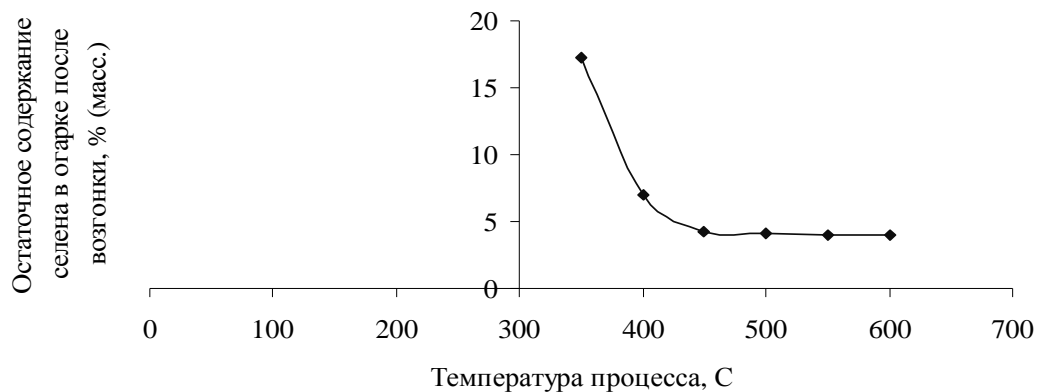
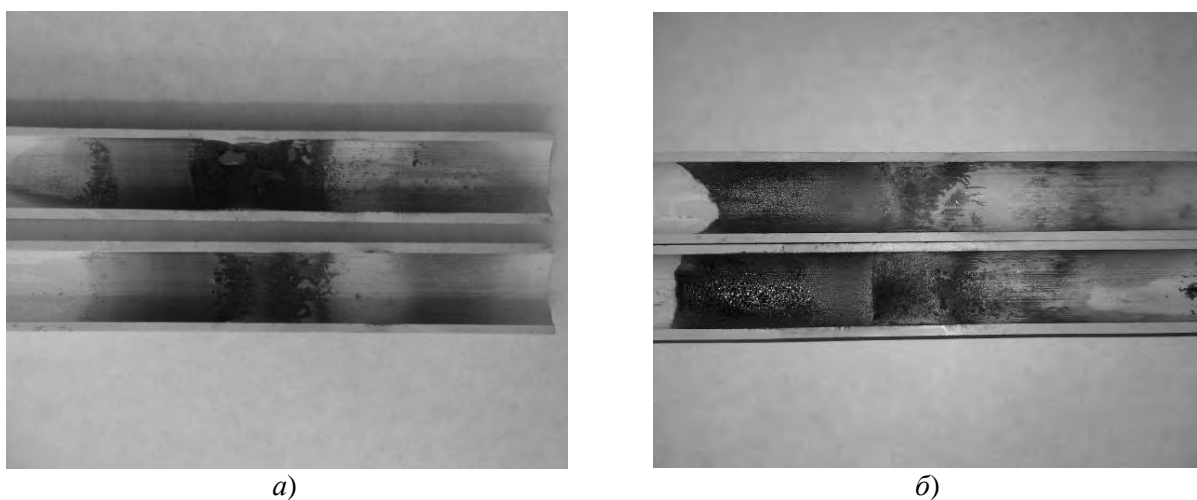


Рисунок 2. Зависимость остаточного содержания селена в огарке после прямой вакуумной возгонки селеносодержащих пылей

В процессе возгонки в горячей зоне наблюдалась конденсация так называемого аморфного стекловидного селена, в холодной — моноклинного красного селена (рис. 3).



а — конденсат при $t = 400\text{ }^\circ\text{C}$; б — конденсат при $t = 550\text{ }^\circ\text{C}$

Рисунок 3. Фотографии конденсата в разъемном фарфоровом конденсаторе

В таблице 3 приведены результаты атомно-эмиссионного качественного спектрального анализа полученного конденсата (усреднённая проба) в результате прямой вакуумной дистилляции селеносодержащих пылей.

Т а б л и ц а 3

**Результаты атомно-эмиссионного качественного спектрального анализа конденсата
после прямой вакуумной дистилляции пылей**

<i>t</i> , °С	Te	Hg	As	Mg	Cu	Pb	Al	Fe	Sb	Cr	Si	Ni	Mn	Sn	Se
350	0,1	0,001	0,01	0,01	0,01	0,01	0,003	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	99,786
400	0,1	0,001	0,03	0,01	0,1	0,1	0,03	0,1	0,1	0,01	0,1	0,01	0,01	0,01	99,289
450	0,1	0,003	0,1	0,01	0,1	0,3	0,03	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01	0,01	0,01	98,927
500	0,3	0,003	0,3	0,01	0,1	1,0	0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,01	97,377
550	0,3	0,003	0,3	0,01	0,1	1,0	0,3	0,1	0,5	0,1	0,1	0,3	0,1	0,03	96,757

Из приведённых в таблице 3 данных видно, что в результате прямой вакуумной дистилляции пылей в одну стадию получается селен, содержащий от 96,757 % до 99,786 % основного компонента.

На основании проведённых исследований установлен оптимальный температурный режим прямой вакуумной дистилляции селена из пылей рукавных фильтров аффинажного производства, составивший 450 °С при давлении 0,13 кПа.

2) *Исследование зависимости степени прямой вакуумной отгонки селена из селеносодержащих пылей от продолжительности процесса*

Лабораторные исследования по определению степени отгонки селена в вакууме прямой дистилляцией исходных селеносодержащих пылей в зависимости от продолжительности процесса были проведены на лабораторной вакуумной установке, схема которой представлена на рисунке 1.

Условия проведения поисковых опытов: температура в печи 450 °С, давление в системе 0,13 кПа, продолжительность процесса 5, 10, 20 и 30 минут. Результаты проведенных экспериментов приведены в таблице 4.

Т а б л и ц а 4

**Результаты экспериментов по прямой отгонке селена из селеносодержащих пылей
при различной продолжительности процесса**

<i>t</i> , мин	Степень отгонки Se, %	Выход конденсата, %	Содержание Se в конденсате, %	Выход остатка, %	Содержание Se в остатке, %
5	59,66	31,97	99,362	62,78	27,258
10	89,20	44,09	99,119	49,46	9,256
20	90,92	49,19	99,012	48,66	7,922
30	94,84	49,73	98,927	47,10	4,211

С увеличением продолжительности процесса степень отгонки селена возрастает. Степень прямой отгонки селена составила: за 5 минут — 59,66 %, за 10 минут — 89,2 %, за 20 минут — 90,92 %, за 30 минут — 94,84 %. Остаточное содержание селена в остатках — 27,258; 9,256; 7,922 и 4,211 % соответственно. Из полученных данных следует, что максимальная степень вакуумной отгонки селена из пылей достигается за 20–30 минут.

3) *Исследование зависимости степени прямой вакуумной отгонки селена из селеносодержащих пылей от давления в системе*

Лабораторные исследования по определению степени отгонки селена в вакууме прямой дистилляцией исходных селеносодержащих пылей в зависимости от давления в системе были проведены на лабораторной установке (рис. 1), описанной выше, при температуре в печи 450 °С, продолжительности процесса 30 минут, давлении, кПа: 0,13; 1,33; 6,65 и 13,33. Результаты полученных экспериментов приведены в таблице 5.

Из полученных данных следует, что при давлении 0,13 кПа выход конденсата составил 49,73 %, выход остатка — 47,1 %, содержание селена в остатке — 4,211 %, степень отгонки селена — 94,84 %; при 1,33 кПа выход конденсата составил 49,91 %, выход остатка — 46,95 %, содержание селена в остатке — 4,391 %, степень отгонки селена — 93,76 %; при 6,65 кПа выход конденсата составил 53,47 %, выход остатка — 47,01 %, содержание селена в остатке — 14,284 %, степень отгонки селена — 89,15 %; при 13,33 кПа выход конденсата составил 55,33 %, выход остатка — 47,89 %, содержание селена в остатке — 18,271 %, степень отгонки селена — 76,15 %.

Результаты экспериментов по прямой отгонке селена из селеносодержащих пылей

Р, кПа	Степень отгонки Se, %	Выход конденсата, %	Выход остатка, %	Содержание Se в остатке, %
0,13	94,84	49,73	47,10	4,211
1,33	93,76	49,91	46,95	6,814
6,65	89,15	53,47	47,01	14,284
13,33	76,15	55,33	47,89	18,271

Таким образом, с увеличением давления в системе степень отгонки селена уменьшается, однако увеличивается выход конденсата. Увеличение выхода конденсата с ростом давления в системе, вероятно, связано с окислением селена и конденсацией его оксидных форм.

Показано, что давление оказывает значительное влияние на процесс вакуумного дистилляционного извлечения селена из пылей рукавных фильтров. Оптимальные значения давления в системе для промышленных условий не должны превышать значения 0,65 кПа. При значениях давления 0,13÷0,65 кПа достигается максимальная степень отгонки селена 94,84÷93,76 %.

Выводы

Таким образом, на основании проведенных исследований установлены оптимальные параметры прямой вакуумной возгонки селена из пылей рукавных фильтров аффинажного производства, которые предполагают проводить отгонку селена при 450 °С и давлении менее 0,65 кПа. При этом степень отгонки селена составляет от 90,92 до 94,84 %. Продолжительность дистилляции в промышленных условиях будет зависеть от объема перерабатываемого материала и площади поверхности испарения. Остаточное содержание селена в остатках от дистилляции пылей при оптимальных условиях (более 4 %) связано с наличием в пылях термически устойчивых сложных селенидов цветных металлов, в основном селенидов свинца и серебра [Pb₂(SO₄)(SeO₄), PbSe, PbSeO₄, Pb_{3+x}Bi_{4-x}(S_{9-z}Se_z)_{9-0,5x}, Ag₂SeO₃, Ag₂Se].

Список литературы

- 1 Наумов А.В. Мировые рынки селена и теллура: их состояние, кризис и его последствия / А.В. Наумов, М.А. Наумова // Цветные металлы. — 2010. — № 11. — С. 6–10.
- 2 Наумов А.В. Состояние и перспективы мирового рынка селена / А.В. Наумов // Цветная металлургия. — 2007. — № 5. — С. 12–20.
- 3 Наумов А.В. На рынках селена и теллура Японии / А.В. Наумов // Бюллетень иностранной коммерческой информации. — 2008. — № 137. — С. 13, 14.
- 4 Арешина Н.С. Исследование процессов глубокого извлечения редких элементов из некондиционных растворов газочистки медно-никелевого производства / Н.С. Арешина, А.Г. Касиков, А.М. Петрова // IV Междунар. интернет-симпозиум по сорбции и экстракции. — Владивосток, 2012. — С. 439–447.
- 5 Чернышев А.А. Переработка медных шламов: современное состояние и перспективы / А.А. Чернышев, Г.В. Петров, А.М. Беленький, В.Н. Ковалев, А.С. Куколевский // Металлург. — 2009. — № 5. — С. 54–56.
- 6 Грейвер Т.Н. Разработка методов извлечения селена из растворов, содержащих селен (VI) / Т.Н. Грейвер, М.А. Ласточкина, Г.В. Глазунова, Т.В. Вергизова // Цветные металлы. — 2011. — № 8–9. — С. 111–115.
- 7 Ажажа В.М. Рафинирование вторичного селена дистилляционными методами / В.М. Ажажа, И.И. Папилов, В.А. Шкурופןенко, А.Г. Лавренович, В.Д. Вирич // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. — 2004. — № 6. — С. 21–23.
- 8 Әділканова М.Ә. Исследование технологии извлечения марочного селена из некондиционных селеносодержащих материалов / М.Ә. Әділканова, В.Е. Храпунов, Н.А. Куленова // Творчество молодых — инновационному развитию Казахстана: XIII Респ. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых. — Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2013. — С. 60–65.
- 9 Әділканова М.Ә. Исследование технологии получения марочного селена из пылей рукавных фильтров аффинажного производства ТОО «Корпорация «Казахмыс» / М.Ә. Әділканова, В.Е. Храпунов, Г.А. Кокаева // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: материалы XI Междунар. конф. — Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2012. — С. 154–158.
- 10 Храпунов В.Е. Исследования по получению марочного селена из пылей рукавных фильтров аффинажного производства / В.Е. Храпунов, С.А. Требухов, М.А. Адылканова, Ф.Х. Тулеутай, И.А. Марки // Комплексное использование минерального сырья. — 2013. — № 4. — С. 52–56.

Г.А. Кокаева, М.Ә. Әділқанова, М.Ж. Млынчак, Б.Б. Саркенов

Құрамында селен бар шаңдардан селенді тура вакуумды айдаудың онтайлы өлшемдерін анықтау бойынша зерттеу

Мәселенің өзектілігі электронды техниканың дамуымен әлемдік іс-тәжірибеде жоғары тазалықты селенге сұраныс артып келетінімен түсіндіріледі. Бұл жұмыс вакуумды дистилляция әдісімен металлургиялық өндірістің құрамында селені бар аралық өнімді қайта өңдеу аумағындағы мамандармен шешілетін, қалдықтардың жиналу және пайда болу мәселесін шешуге мүмкіндік беретін, бағалы металдарды бөліп алуды жоғарлататын, қоршаған ортаға кері әсерін тигізуді төмендетуге мүмкіндік беретін, қолданбалы техникалық тапсырмаларды шешуге бағытталған. «Қазахмыс Смэлтинг» ЖШС металлургиялық кешеннің Балқаш мыс балқыту зауытының зерттелетін құрамында селені бар аралық өнімнің шаңдардың құрылымы, химиялық және фазалық құрамы оқылды. Шаңдар — біркелкісіз зат, құрамында селеннің орташа мөлшері 30 %, одан басқа бағалы металдар бар, алтын — 100 г/т, күміс — 2 %, теллур — 2 %. Құрамында селені бар шаңдардан селенді тура вакуумды айдаудың дәрежесінің тәуелділіктерінің жүйедегі қысымнан, үрдістің ұзақтығынан, температурадан зерттеулері жүргізілді. Аффинажды өндірістің жеңді фильтрлерінің шаңдарынан селенді тура вакуумды айдаудың онтайлы өлшемдері анықталды, ол температура 400–450°C, үрдістің ұзақтылығы 20–30 минут және жүйедегі қысым 0,13±0,65 кПа.

Кілт сөздер: селен, вакуумды айдау, құрамында селені бар шаңдар, конденсаттың шығымы, айдау дәрежесі, температура.

G.A. Kokayeva, M.A. Adilkanova, M.J. Mlynczak, B.B. Sarkenov

Studies to determine the optimal parameters of direct vacuum distillation of selenium from selenium-containing dusts

The urgency of the problem is due to the fact that the development of electronic technology in the world is growing demand for high purity selenium. This work is aimed at solving the applied technical problem solved by specialists in the field of processing of selenium-containing industrial product of metallurgical production by vacuum distillation, the introduction of which will solve the problem of waste generation and accumulation, increase the extraction of precious metals, and reduce the negative impact on the environment. The chemical, phase compositions and structure of the investigated selenium-containing industrial product –dusts of Balkhash Copper Smelting Plant of the metallurgical complex of «Kazakhmys Smelting» LLP are studied. It was found that the dust is an extremely heterogeneous material, the average content of selenium in them is more than 30 %, in addition they contain significant amounts of precious metals, gold — more than 100 g/t, silver — more than 2 %, tellurium — more than 2 %. The studies of the dependence of the degree of direct vacuum distillation of selenium from selenium-containing dusts on temperature, on the duration of the process, on the pressure in the system. The optimal parameters of direct vacuum sublimation of selenium from the dusts of bag filters of refining production at which the maximum degree of distillation of selenium is achieved is the temperature of 400–450 °C, the duration of the process is 20–30 minutes and the pressure in the system is 0.13±0.65 kPa.

Keywords: selenium, vacuum distillation, selenium-containing dust, condensate recovery, degree of distillation, temperature.

References

- 1 Naumov, A.V., & Naumova, M.A. (2010). Mirovye rynki selena i tellura: ikh sostoianie, krizis i eho posledstviia [World markets of selenium and tellurium: their condition, crisis and its consequences]. *Tsvetnye metally — Non-ferrous metals*, 11, 6–10 [in Russian].
- 2 Naumov, A.V. (2007). Sostoianie i perspektivy mirovoho rynka selena [Status and prospects of the global selenium market]. *Tsvetnaia metallurhiia — Non-ferrous metallurgy*, 5, 12–20 [in Russian].
- 3 Naumov, A.V. (2008). Na ryknakh selena i tellura Yaponii [In the markets of selenium and tellurium in Japan]. *Biulleten inostrannoi kommercheskoi informatsii — Bulletin of foreign commercial information*, 137, 13–14 [in Russian].
- 4 Areshina, N.S., Kasikov, A.G., & Petrova A.M. (2012). Issledovanie protsessov hlubokoho izvlecheniia redkikh elementov iz nekonditsionnykh rastvorov hazoochistki medno-nikelevoho proizvodstva [Study of the processes of deep extraction of rare elements from substandard solutions of gas purification of copper-nickel production]. *IV Mezhdunarodnyi internet-simpozium po sorbtzii i ekstraksii — IV international Internet-Symposium on sorption and extraction*. (pp. 439–447). Vladivostok [in Russian].

- 5 Chernyshev, A.A., Petrov, G.V., Belenkii, A.M., Kovalev, V.N., & Kukolevskii, A.S. (2009). Pererabotka mednykh shlamov: sovremennoe sostoianie i perspektivy [Processing of copper slimes: current state and prospects]. *Metallurg — Metallurgist*, 5, 54–56 [in Russian].
- 6 Greyver, T.N., Lastochkina, M.A., Glazunova, G.V., & Vergizova, T.V. (2011). Razrabotka metodov izvlecheniia selena iz rastvorov, soderzhashchikh selen (VI) [Development of methods for the extraction of selenium from solutions, the course of selenium (VI)]. *Tsvetnye metally — Non-ferrous metals*, 8–9, 111–115 [in Russian].
- 7 Azhazha, V.M., Papiro, I.I., Shkuropatenko, V.A., Lavrenovich, A.G., & Virich, V.D. (2004). Rafinirovanie vtorichnogo selena distillatsionnymi metodami [Refining of secondary selenium by distillation methods]. *Voprosy atomnoi nauki i tekhniki. Ser. Vakuum, chistye materialy, sverkhprovodniki — Questions of atomic science and technology. Ser. Vacuum, pure materials, superconductors*, 6, 21–23 [in Russian].
- 8 Adylkanova, M.A., Khrapunov, V.E., & Kulenova, N.A. (2013). Issledovanie tekhnologii izvlecheniia marochnoho selena iz nekonditsionnykh selensoderzhashchikh materialov [The study of the technology of extraction of branded selenium from substandard selenium-containing materials]. Proceedings from Creativity of young innovative development of Kazakhstan: *XIII Respublikanskaia nauchno-tekhnicheskaiia konferentsiia studentov, mahistrantov i molodykh uchenykh — XIII Republican scientific and technical conference of students, undergraduates and young scientists* (pp. 60–65). Ust-Kamenogorsk [in Russian].
- 9 Adylkanova, M.A., Khrapunov, V.E., & Kokaeva, G.A. (2012). Issledovanie tekhnologii poluchenii marochnoho selena iz pylei rukavnykh filtrov affinazhnogo proizvodstva TOO «Korporatsiia «Kazakhmys» [The study of the technology of obtaining branded selenium from the dust of bag filters of the refining production of «Kazakhmys Corporation» LLP]. Proceedings from Resource-reproducing, low-waste and environmental technologies of subsoil development: *XI Mezhdunarodnaia konferentsiia — XI International conference* (pp. 154–158). Ust-Kamenogorsk [in Russian].
- 10 Khrapunov, V.E., Trebukhov, S.A., Adylkanova, M.A., Tuleutay, F.Kh., & Marki I.A. (2013). Issledovaniia po polucheniiu marochnoho selena iz pylei rukavnykh filtrov affinazhnogo proizvodstva [Studies on obtaining branded selenium from bag filter dust of refinery production]. *Kompleksnoe ispolzovanie mineralnogo syria — Complex use of mineral raw materials*, 4, 52–56 [in Russian].