

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
Kazakh national research technical university named after K.I. Satpaev

Қазақ КСР еңбек сіңірген ғылым қайраткері, Қазақ КСР Ғылым Академиясының
корреспондент-мүшесі, техника ғылымдарының докторы, профессор **Ибрагим Әбілғазыұлы**
ОНАЕВТЫҢ туғанына 110 жыл толуына арналған
«ҰЛЫТАУ-ҚАЗАҚСТАН МЕТАЛЛУРГИЯСЫНЫҢ БЕСІГІ»
халықаралық ғылыми – практикалық конференциясының
ЕҢБЕКТЕРІ

ТРУДЫ

Международной научно-практической конференции
«ҰЛЫТАУ-ҚАЗАҚСТАН МЕТАЛЛУРГИЯСЫНЫҢ БЕСІГІ»
посвященной к 110-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки Казахской ССР,
члена-корреспондента Академии Наук Казахской ССР, доктора технических наук,
профессора
Ибрагима Абылгазиевича ОНАЕВА

PROCEEDING

International scientific and practical conference
"ULYTAU - CRADLE OF METALLURGY IN KAZAKHSTAN"
dedicated to the 110th anniversary of the birth of the Honored Scientist of the Kazakh SSR,
corresponding member of the Academy of Sciences of the Kazakh SSR, Doctor of Technical
Sciences, Professor

Ibrahim Abylgazievich ONAEV

18-19 мамыр 2023 жыл, Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, ТМҒ, Мәжіліс залы

18-19 мая 2023 год, КазННТУ им. К.И. Сатпаева, ГМК, Актальный зал

May 18-19, 2023. KazNRTU named after K.I. Satpaev, Mining and metallurgical building,
Assembly Hall

Алматы, 2023

УДК 622:669
ББК 33:34.3
Ұ46

ҰЛЫТАУ – Қазақстан металлургиясының бесігі. Халықаралық ғылыми—практикалық конференциясының еңбектері - Алматы, Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, 2023,- 343 б.

ҰЛЫТАУ – Қазақстан металлургиясының бесігі. Труды международной научно-практической конференции - Алматы, КазННТУ им. К.И. Сатпаева, 2023, - 343 с.

Ulytau - cradle of metallurgy in Kazakhstan. Proceeding international scientific and practical conference – Almaty, KazNRTU named after K.I. Satpaev, 2023, - 343 p.

ISBN 978-601-323-370-3

Еңбектерге Қазақстанның тау-кен металлургия кешенінің негізгі проблемаларына арналған мақалалар енгізілді және ишкізатты кешенді пайдалану мен қайта өңдеу, ресурс және энергия үнемдеу мәселелері қамтылды, сервистік технологияларды әзірлеу және енгізу, қоршаған ортаны қорғаудың өзекті мәселелері және тау-кен металлургия саласы үшін отандық білікті кадрларды даярлау мәселелері ерекше орын алды.

В труды включены статьи, посвященные ключевым проблемам горно-металлургического комплекса Казахстана и освещены вопросы комплексного использования и переработки сырья, ресурсо- и энергосбережения, особое место отведено вопросам разработки и внедрения сервисных технологий, актуальным проблемам охраны окружающей среды и подготовки отечественных квалифицированных кадров для горно-металлургической отрасли.

The works include articles on the key problems of the mining and metallurgical complex of Kazakhstan and highlight the issues of integrated use and processing of raw materials, resource and energy saving, a special place is given to the development and implementation of service technologies, topical problems of environmental protection and the training of domestic qualified personnel for mining and metallurgical industry.

КОМПЛЕКСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РАФИНИРОВАНИЯ ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ ОТ ПРИМЕСЕЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

А.Б. Куандыков¹, П.О. Быков¹, В.А. Чайкин².

¹Торайгыров Университет, Казахстан, г. Павлодар

²Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова,
Российская Федерация, г. Магнитогорск

Аннотация. В работе представлены исследования по комплексной переработке первичного алюминия, полученного электролизом, с флюсовой обработкой борсодержащими материалами и последующей фильтрационной очисткой через зернистые фильтры.

Описаны методы исследования и прикладные приборы, применяемые для анализа химического состава и электронной микроскопии.

Представлены результаты до и после комплексной обработки первичного алюминия, свидетельствующие о значительном снижении примесей цветных металлов (ванадий, титан и др.) и других нежелательных примесей.

Ключевые слова: алюминий, флюсовое рафинирование, фильтрационное рафинирование, примеси цветных металлов, бор

В последние годы наметилась тенденция вовлечения в электролизное производство алюминия менее качественных источников сырья для производства анодов [1].

В основном это связано с добычей тяжелой нефти (в состав которой входят асфальтеновые соединения). В асфальтенах концентрируются металлические примеси (Fe, Si, V, Ni и др.), которые при коксовании переходят в кокс, а затем в алюминий. Ванадий является одной из примесей в первичном алюминии, снижающих электропроводность металла при концентрации около 2 ppm [1, 2, 3].

В Казахстане для производства обожженных анодов алюминиевых электролизеров частично используется местный кокс ТОО «УПНК-ПВ» (г. Павлодар, Республика Казахстан) с повышенным содержанием ванадия и других примесей.

Флюсы на основе криолита, хлорида натрия, фторида алюминия, используемые АО «Казахстанский электролизный завод» для рафинирования первичного алюминия, не удаляют примеси цветных металлов особенно касаясь ванадия. [1].

В ряде работ [4, 5, 6] предложены способы очистки первичного алюминия от примесей ванадия, не нашедшие широкого промышленного применения.

В работе [7] исследована технология рафинирования первичного алюминия от примесей ванадия борсодержащим сплавом Al-B вне электролизной ванны. Исследования показали [7]:

- снижение содержания ванадия в среднем на 78 % в массе металла, с увеличением его содержания в нижней части ковша (объем до 5-10 % вместимости ковша);

- переход значительного количества ванадия в интерметаллид;

- сложность разделения интерметаллидов ванадия и рафинированного алюминия в ковше традиционными методами (отстаивание в течение 4-7 часов не дало положительного результата)

В работе проведены экспериментальные исследования по комплексной обработке первичного алюминия флюсовой обработкой борной кислотой (H_3BO_3) и дальнейшей фильтрационной очисткой расплава через зернистые фильтры.

В таблице 1 приведен химический состав первичного алюминия до рафинирования, отобранного из электролизеров АО «Казахстанский электролизный завод» с установленными анодами, полученного с использованием прокаленного кокса ТОО «УПНК-ПВ» (г. Павлодар, Республика Казахстан) с повышенным содержанием примесей ванадия.

Таблица 1 – Химический состав первичного алюминия до аффинажа, %

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Ni	Cr	Ti	V
96,1299	3,2557	0,4105	0,0071	0,0032	0,0239	0,0115	0,001	0,0323	0,0132

Экспериментальные исследования проводились следующим образом. На первом этапе в лабораторной индукционной печи выплавляли первичный алюминий, вводили H_3BO_3 при температуре $850\text{ }^\circ\text{C}$ из расчета 1,2–2 кг/т алюминия-сырца, затем расплав выдерживали 15 мин и проводили химическую обработку, состав рафинированного первичного алюминия определяли на оптико-эмиссионном спектрометре ДФС 500.

На втором этапе проводили фильтрационную очистку обработанного борной кислотой первичного алюминия через зернистый фильтр. При выборе параметров зернистых фильтров учитывались рекомендации следующих работ [8 – 10].

Экспериментальная установка (рисунок 1) состояла из фильтрующего блока 1, фильтрующего зерна 2 и кристаллизатора 3, в нижней части которого имелось отверстие для истечения отфильтрованного металла в ковш, закрытое огнеупорной сеткой.

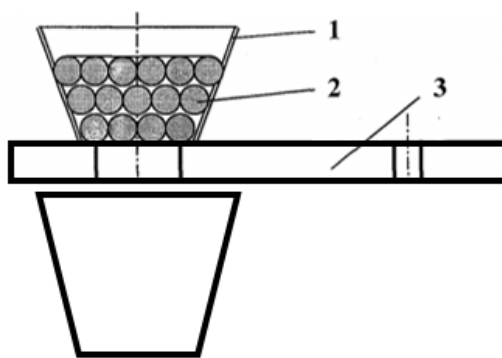


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Зола экибастузского угля, состоящая в основном из SiO_2 и Al_2O_3 , использовалась в качестве материала для изготовления фильтрующего зерна.

В результате экспериментов были получены отфильтрованные образцы алюминия, которые в дальнейшем были проанализированы на сканирующем электронном микроскопе JEOL с системой микроанализа INCA Energy.

Рисунок 2 – Образцы отфильтрованного первичного алюминия

Определение химического состава первичного алюминия после обработки флюсом H_3BO_3 на оптико-эмиссионном спектрометре ДФС-500 показало снижение содержания примесей. Степень удаления примесей приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Степень удаления примесей из первичного алюминия после обработки флюсом H_3BO_3 , %

V	Si	Cu	Mn	Mg
47,7	97,9	17,6	50,0	47,5

Измерение химического состава первичного алюминия по высоте ковша показало неравномерное распределение ванадия в объеме ковша. Выявлено увеличение содержания ванадия в нижней части ковша после отстаивания.

На сканирующем электронном микроскопе JEOL с системой микроанализа INCA Energy были проанализированы образцы первичного алюминия до рафинирования (рисунок 3, таблица 3), после рафинирования флюсом H_3BO_3 (рисунок 4, таблица 4) и после фильтрации через зернистые фильтры (рисунок 5, таблица 5).

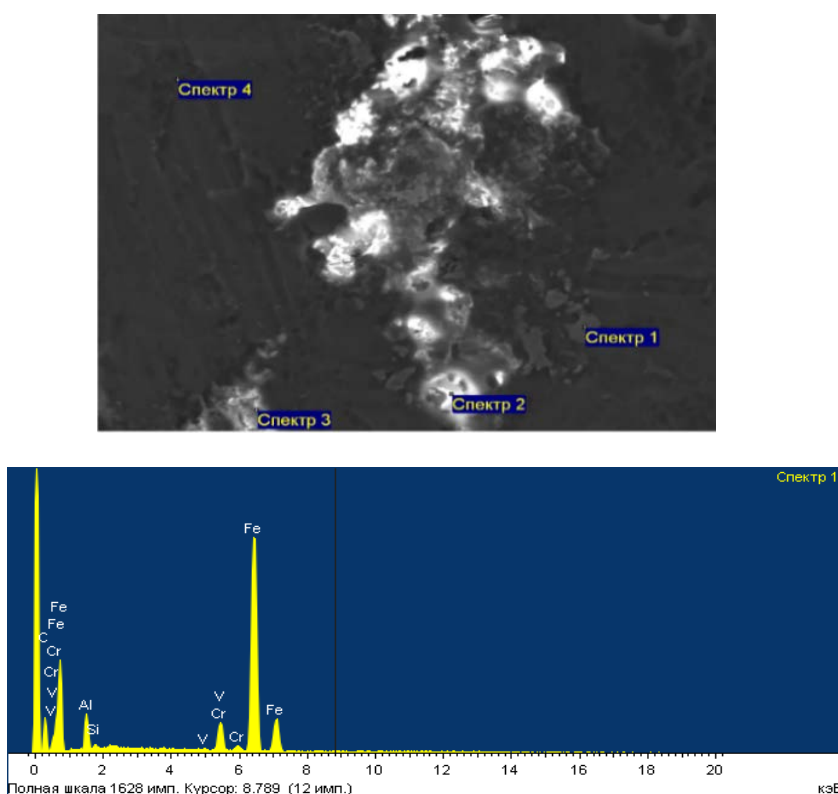


Рисунок 3 – Результаты сканирующей электронной микроскопии исходного образца первичного алюминия (до рафинирования)

Таблица 3 – Характеристики химических элементов по результатам сканирующей электронной микроскопии исходного образца алюминия-сырца (до рафинирования), %

Спектр	O	Al	Si	Cr	Fe	Total
Спектр 1	-	5,71	0,63	6,44	86,69	100,00
Спектр 2	21,03	78,97	-	-	-	100,00
Спектр 3	15,28	84,72	-	-	-	100,00
Спектр 4	30,74	69,26	-	-	-	100,00
Макс.	30,74	84,72	0,63	6,44	86,69	
Мин.	15,28	5,71	0,63	6,44	86,69	

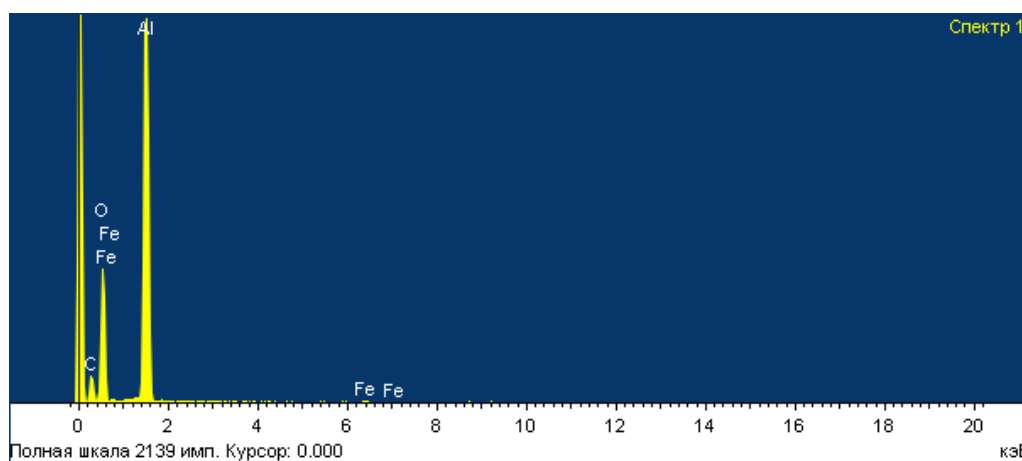
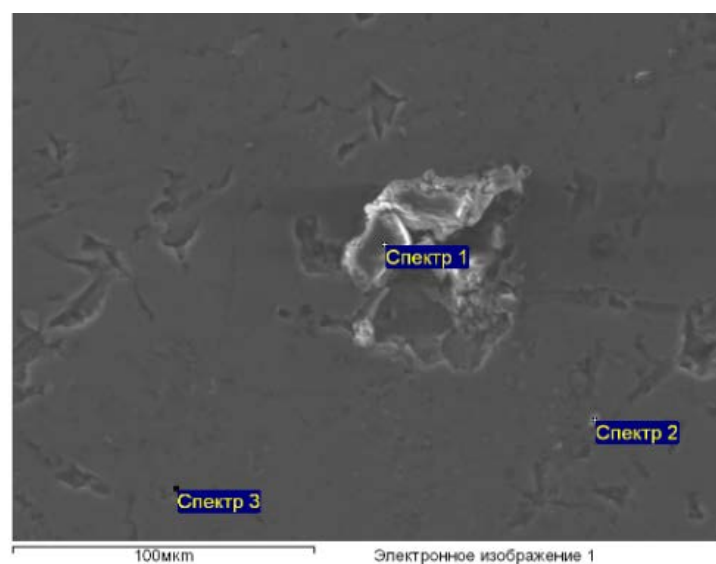


Рисунок 4 – Результаты сканирующей электронной микроскопии образца алюминия-сырца после рафинирования флюсом

Таблица 4 – Характеристики химических элементов по результатам сканирующей электронной микроскопии образца алюминия-сырца после флюсового рафинирования, %

Спектр	O	Al	Si	Cr	Fe	Total
Спектр 1	51,77	47,50	-	-	0,73	100,00
Спектр 2	52,21	47,79	-	-	-	100,00
Спектр 3	11,59	77,31	0,83	-	8,65	100,00
Макс.	52,21	77,31	0,83	-	8,65	
Мин.	11,59	47,50	0,83	-	0,73	

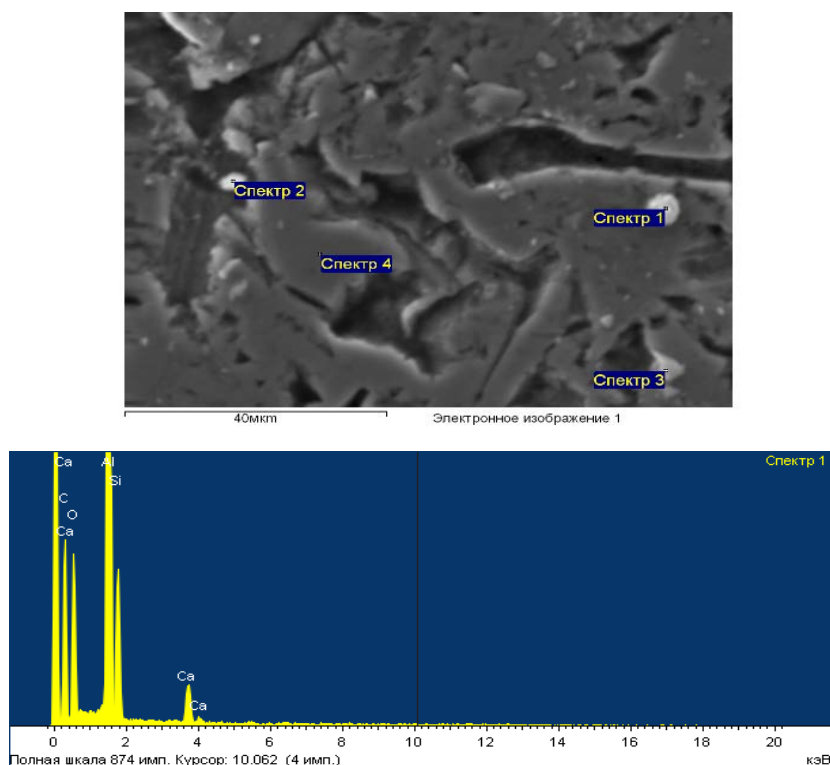


Рисунок 5 – Результаты сканирующей электронной микроскопии образца алюминия-сырца после фильтрационной очистки

Таблица 5 – Характеристики химических элементов по результатам сканирующей электронной микроскопии образца алюминия-сырца после фильтрационной очистки, %

Спектр	In stat.	O	Al	Si	V	Ca	Fe	Итог
Спектр 1	Yes	35,45	49,41	11,70	-	3,44	-	100,00
Спектр 2	Yes	48,96	25,13	6,51	-	19,40	-	100,00
Спектр 3	Yes	7,33	23,59	69,08	-	-	-	100,00
Спектр 4	Yes	6,27	91,18	1,74	-	-	0,81	100,00
Макс.		48,96	91,18	69,08	-	19,40	0,81	
Мин.		6,27	23,59	1,74	-	3,44	0,81	

Лабораторные исследования показали снижение содержания ванадия, меди, магния, марганца и кремния в первичном алюминии при флюсовом рафинировании и последующее практически полное удаление продуктов реакции примесей цветных металлов с бором по результатам фильтрации.

Детальные исследования на сканирующем электронном микроскопе JEOL с системой микроанализа INCA Energy показали возможность удаления примесей цветных металлов, прежде всего ванадия, что видно из рисунков 3, 4, 5 и таблиц 3, 4, 5.

Выводы

Результаты исследований показывают, что комплексная технология очистки алюминия-сырца от ванадия с использованием борной кислоты (H_3BO_3) в ковше с последующей фильтрацией снижает содержание примесей цветных металлов в первичном алюминии.

Лабораторные исследования показали снижение содержания ванадия на 47,7 %, меди на 17,6 %, магния на 47,5 %, марганца на 50,0 % и кремния на 97,9 % в первичном алюминии при рафинировании флюса H_3BO_3 и последующем практически полном удалении продуктов

реакции неорганических соединений. -примеси черных металлов с бором по результатам фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] A.T. Ibragimov, R.V. Pack. Aluminum electrometallurgy. Kazakhstan Electrolysis Plant, Pavlodar: House of the press (2009) 263 pages.
- [2] E.S. [Gorlanov](#), A.A. [Batrachenko](#), B.S. [Smailov](#), A.Y. [Morozov](#), [Role of Vanadium in Aluminum Electrolyzer Melts](#), [Metallurgist](#), Vol. 62(9-10), (2019) 1048-1053.
- [3] E.S. [Gorlanov](#), A.A. [Batrachenko](#), B.S. [Smailov](#), A.P. [Skvortsov](#), [Testing Baked Anodes with an Increased Vanadium Content](#), [Metallurgist](#), Vol. 62(1-2) (2018) 62-69.
- [4] A. Khaliq, M. A. Rhamdhani, G. A. Brooks, F. John, Grandfield, Removal of Vanadium from Molten Aluminum-Part I. Analysis of VB₂ Formation, Metallurgical and Materials Transactions B volume 45, (2014) 752–768.
- [5] A. Khaliq, G. Brooks, F. John, M. A. Rhamdhani, Removal of Vanadium from Molten Aluminum-Part II. Kinetic Analysis and Mechanism of VB₂ Formation, Metallurgical and Materials Transactions B, (2013) 769-783.
- [6] A. Khaliq, M. A. Rhamdhani, G. A. Brooks, J. F. Grandfield, Removal of Vanadium from Molten Aluminum—Part III. Analysis of Industrial Boron Treatment Practice, Metallurgical and Materials Transactions B, (2013) 769–783.
- [7] P.O. Bykov, A.B. Kuandykov, A.K. Zhunusov. Refining of Primary Aluminum from Vanadium // Defect and Diffusion Forum, 2021, 410DDF. – P. 405 – 410.
- [8] S.E. Shipilov, E.B. Ten, Z.D. Zholdubayeva, S.S. Shipilova, E.V. Yurchenko. Refining of metal melts by filtration method / Metalurgija. – Volume 58, Issue 3-4. (2019),303-306.
- [9] B.K. Shayakhmetov, B.M. Kimanov, E.B. Ten, Z.D. Zholdubayeva, D.A. Issagulova. Gravimetric and dilatometric research of elements action on three dimensional filter by themal effects / Metalurgija, 53(1) (2014), 44-66.
- [10] E.B. Ten, B.M. Kimanov, E.M. Rakhuba. Deposition of nonmetallic phases at filter surfaces / Steel in Translation, 42(5) (2012), 411–414.

Түсті металл қоспаларынан бастапқы алюминийді тазартудың кешенді технологиясы

А. Б. Қуандықов¹, П. О. Быков¹, В. А. Чайкин².

Жұмыста құрамында бор бар материалдармен флюсті өңдеумен және кейіннен түйіршікті сүзгілер арқылы сүзгіден өткізумен электролиз арқылы алынған бастапқы алюминийді кешенді қайта өңдеу бойынша зерттеулер ұсынылған.

Химиялық құрамды және электронды микроскопияны талдау үшін қолданылатын зерттеу әдістері мен қолданбалы құралдар сипатталған.

Бастапқы алюминийді кешенді өңдеуге дейінгі және кейінгі нәтижелер түсті металл қоспаларының (ванадий, титан және т. б.) және басқа да жағымсыз қоспалардың айтарлықтай төмендегенін көрсетеді.

Кілт сөздер: алюминий, флюсті тазарту, фильтрациялық тазарту, түсті металл қоспалары, бор.

Integrated technology for refining primary aluminum from non-ferrous metal impurities

A.B. Kuandykov¹, P.O. Bykov¹, V.A. Chaikin².

The paper presents studies on the complex processing of primary aluminum obtained by electrolysis, with flux treatment with boron-containing materials and subsequent filtration through granular filters.

The research methods and applied instruments used for the analysis of the chemical composition and electron microscopy are described.

The results are presented before and after the complex processing of primary aluminum, indicating a significant reduction in non-ferrous metal impurities (vanadium, titanium, etc.) and other undesirable impurities.

Keywords: aluminum, flux refining, filtration refining, non-ferrous metal impurities, boron.

ТРУДЫ
Международной научно-практической конференции
«ҰЛЫТАУ-ҚАЗАҚСТАН МЕТАЛЛУРГИЯСЫНЫҢ БЕСІГІ»
посвященной к 110-летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки Казахской ССР,
члена-корреспондента Академии Наук Казахской ССР, доктора технических наук,
профессора
Ибрагима Абылгазиевича ОНАЕВА

Авторская редакция

Подписано в печать 16.03.2023 г.
Тираж 100 дана. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага типогр. №1.
Уч-изд.л.21,5. Усл.п.л. 19,9. Заказ № 332

Издание Казахского национального исследовательского
технического университета им. К.И. Сатпаева
Издательский центр Polytech им. Т. Кенеева
г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

ISBN 978-601-323-370-3



9 786013 233703