

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»  
Российская академия естественных наук

*90-летию Сибирского государственного  
индустриального университета посвящается*

**ВЕСТНИК  
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

*Сборник научных трудов*

*Издается с 1994 г. ежегодно*

Выпуск 43

Москва  
Новокузнецк  
2020

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

**В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии:** Сборник научных трудов. Вып. 43 / Редкол.: Е.В. Протопопов (главн. ред.), М.В. Темлянецв (зам. главн. ред.), Г.В. Галевский (зам. главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2020. – 272 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания»

Ил. 89, табл. 61, библиогр. назв. 276.

*Редакционная коллегия:* Аренс В.Ж., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН, г. Москва; Райков Ю.Н., д.т.н., д.ч. РАЕН, председатель горно-металлургической секции РАЕН, ОАО «Институт Цветметобработка», г. Москва; Протопопов Е.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (главный редактор), СибГИУ, г. Новокузнецк; Темлянецв М.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Галевский Г.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Буторина И.В., д.т.н., проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург; Волокитин Г.Г., д.т.н., проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск; Медведев А.С., д.т.н., проф., д.ч. МАН ВШ, НИТУ «МИСиС», г. Москва; Максимов А.А., д.т.н., проф., г. Новокузнецк; Немчинова Н.В., д.т.н., проф., НИ ИрГТУ, г. Иркутск; Руднева В.В., д.т.н., проф. (отв. секретарь), СибГИУ, г. Новокузнецк; Спиринов Н.А., д.т.н., проф., д.ч. АИН, УрФУ, г. Екатеринбург; Черепанов А.Н., д.ф.-м.н., проф., член РНК ТММ, ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск; Юрьев А.Б., д.т.н., проф., СибГИУ, г. Новокузнецк.

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2020

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И РУКОВОДИТЕЛЯХ АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

Бабенко А.А.	д-р техн. наук, проф., Институт металлургии Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург
Галевский Г.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Козырев Н.А.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Немчинова Н.В.	д-р техн. наук, проф., ИрНИТУ, г. Иркутск
Нохрина О.И.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Оршанская Е.Г.	д-р пед. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Рожихина И.Д.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Руднева В.В.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Темлянцев М.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк

## Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	7
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ .....	8
<i>М.В. Темлянецв, Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i> Современная металлургия: технологии, доминирующие тенденции, прогнозы .....	9
<i>Г.В. Галевский, О.А. Полях, В.В. Руднева, А.Е. Аникин</i> Молибден в современной металлургии: состояние производства и металлопродукция .....	20
<i>Г.В. Галевский, О.А. Полях, В.В. Руднева, А.Е. Аникин</i> Молибден в современной металлургии: минерально-сырьевая база и производство молибденовых концентратов.....	32
<i>И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, К.С. Ёлкин, М.А. Голодова</i> Современное состояние мирового и отечественного производства ферросплавов .....	47
<i>А.Е. Аникин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i> Металлизация оксиджелезосодержащих отходов с использованием различных углеродистых восстановителей.....	63
<i>И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, И.Е. Ходосов, К.С. Ёлкин</i> Изучение состава и характеристик шлаков рафинирования кремния .....	77
<i>К.С. Ёлкин, И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, А.В. Сивцов, И.М. Кашлев, А.И.     Карлина, Д.К. Ёлкин</i> Анализ показателей производства кремния и ферросилиция с учетом генетических особенностей кварцитов .....	85
<i>А.А. Александров, В.Я. Дашевский</i> Термодинамический анализ растворения кислорода в никель- кобальтовых расплавах .....	95
<i>Д.А. Есенгалиев, А.З. Исагулов, С.О. Байсанов, А.С. Байсанов, О.В. Заякин</i> Термодинамика углеродо- и металлотермического восстановления марганца.....	102
<i>А.А. Бабенко, Р.Р. Шартдинов, А.Г. Уполовникова, А.Н. Сметанников,     В.С. Гуляков</i> Исследование свойств высокоосновных борсодержащих шлаков .....	108
<i>К.С. Ёлкин, И.М. Кашлев, А.И. Карлина</i> Рафинирование кремния и кремнистых ферросплавов от примесей....	113
<i>А.З. Исагулов, Д.Р. Аубакиров</i> Причины образования и предупреждение литейных дефектов в мелющих шарах.....	120

<i>Д.А. Лубяной, Р.О. Мамедов, С.В. Князев</i> Ресурсо- и энергосбережение в технологии получения стальных отливок с термовременной обработкой.....	126
<i>Т.В. Ковалева, Е.Н. Еремин</i> Повышение эксплуатационных характеристик оболочковой формы..	133
<i>А.В. Кожевников, А.С. Смирнов, Ю.В. Платонов</i> Исследование возникновения вибраций при холодной прокатке полосы.....	138
<i>Е.А. Пинаев, М.В. Темлянецв, Е.Н. Темлянцева, Н.И. Кувшинникова</i> исследование химического и фазового состава продуктов коррозии чугунных секций газосборного колокола алюминиевых электролизеров ЭкоСодерберг .....	144
<i>Н.В. Немчинова, А.А. Яковлева, А.А. Тютрин, О.П. Гудкова</i> Опробование песков прибайкалья в качестве барьерных материалов для алюминиевого электролизера .....	152
<b>ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....</b>	<b>158</b>
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, А.Е. Аникин, Т.И. Алексеева</i> Исследование механизма образования карбида циркония в условиях плазменного потока азота .....	159
<i>Д.К. Ёлкин, К.С. Ёлкин, А.В. Сивцов</i> Научные и технологические основы получения «активного» карбида кремния .....	171
<b>ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>175</b>
<i>А.М. Анасов</i> Явление формирования металлической связи между атомами соприкасающихся свободных поверхностей трещиноподобных дефектов при воздействии излучения оптического квантового генератора .....	176
<i>А. Х. Хакимов, Т.М. Умарова, И. Н. Ганиев, Н.Р. Эсанов</i> Анодное поведение алюминиевого-железowego сплава АЖ 2,18 с иттрием, гадолинием и эрбием, в среде электролита 0,3 %-ного NaCl.....	180
<i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, К.А. Бутакова, А.Н. Гостевская, А.А. Усольцев</i> Изучение микроструктуры сварных соединений рельсов из стали марки Э76ХФ.....	187
<i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.Н. Гостевская, К.А. Бутакова, А.А. Усольцев</i> Влияние режимов контактной стыковой сварки на неметаллические включения в металле рельсовой стали Э76ХФ.....	195

## ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ... 201

*Л.Н. Шевелев*

Повышение энергоэффективности и экологической безопасности доменного и сталеплавильного производств ..... 202

*С.Г. Галевский*

Субъектно-ориентированный подход в оценке доходности металлургических компаний..... 208

*С.Г. Галевский*

Оценка эффективности металлургических инвестиционных проектов на основе корректного учета рисков ..... 216

*Е.Л. Медиокритский*

Утилизация твердых бытовых отходов в польше: подходы и опыт решения вопросов..... 226

## ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ..... 234

*М.В. Темлянцев, Г.В. Галевский*

Подготовка кадров для современной металлургии: задачи. Инновации. Перспективы. (итоги тематической деловой встречи) ..... 235

*Е.Г. Оршанская*

Применение дистанционных технологий в процессе изучения иностранных языков в вузе ..... 239

*Р.И. Ким, Я.Ю. Хомичев, О.А. Угольникова*

Оценка физической подготовленности обучающихся как показатель эффективности физического воспитания в вузе. .... 245

*О.А. Угольникова, Р.И. Ким, Е.Е. Григораиш*

Сопоставительные нормативы для оценки физической и функциональной подготовленности женщин-борцов ..... 249

## ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ И БИОГРАФИИ ..... 255

*Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Д.Н. Воробьева*

Синтез алмазов: развитие теории и технологические прогнозы профессора О.И. Лейпунского (к 110-летию со дня рождения и 80-летию его великого открытия) ..... 256

*Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Д.Н. Воробьева*

Профессор Т. Холл – ученый, технолог, конструктор (к 100-летию со дня рождения)..... 263

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ..... 270

Г.В. Галевский, О.А. Полях, В.В. Руднева, А.Е. Аникин  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный  
университет», г. Новокузнецк, Россия

## МОЛИБДЕН В СОВРЕМЕННОЙ МЕТАЛЛУРГИИ: СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И МЕТАЛЛОПРОДУКЦИЯ

Целью настоящей работы является оценка современного состояния производства и применения молибдена, включающая такие вопросы как производство триоксида молибдена, молибдена и его сплавов, промышленный сортамент продукции из молибдена и его сплавов, структура потребления молибдена, выявление доминирующих тенденций и их прогнозирование на среднесрочную перспективу.

The purpose of the present work is to evaluate the current state of molybdenum production and use, including such issues as production of molybdenum trioxide, molybdenum and its alloys, industrial range of molybdenum and its alloys products, molybdenum consumption structure, identification of dominant trends and their forecasting in the medium term.

### **Введение**

Молибден обладает редким сочетанием химических и физических свойств, таких как тугоплавкость, жаропрочность, высокая теплопроводность, низкий коэффициент теплового расширения, стойкость к воздействию металлических расплавов – теплоносителей, большая удельная прочность и др. Все эти свойства востребованы современным материаловедением, что предопределяет разнообразие направлений применения молибденсодержащих материалов и производимой металлургическими предприятиями молибденсодержащей металлопродукции.

Целью настоящей работы является оценка современного состояния производства и применения молибдена, включающая такие вопросы как производство триоксида молибдена, молибдена и его сплавов, промышленный сортамент продукции из молибдена и его сплавов, структура потребления молибдена, выявление доминирующих тенденций и их прогнозирование на среднесрочную перспективу.

### **Производство триоксида молибдена, молибдена и его сплавов**

При анализе современного состояния производства молибдена, его соединений и сплавов использовались материалы, приведенные в работах [1-20].

Основным исходным материалом для получения молибдена является его триоксид высокой чистоты – до 99,9%. В промышленной практике триоксид молибдена получают гидрометаллургической переработкой продуктов

окислительного обжига стандартных молибденовых концентратов – молибденовых огарков. В настоящее время в России триоксид молибдена не производится. Российские промышленные предприятия вынуждены полностью работать на импортной продукции. На рисунке 1 приведен пятилетний график цен на триоксид молибдена, сложившийся на мировом рынке [1].

В настоящее время главными производителями молибдена являются США, Чили, Китай, Перу, Канада и Мексика, на долю которых приходится более 90 % мирового производства. Более 60 % выпуска молибдена обеспечиваются пятью компаниями: «Codelco» (Чили), «Phelps Dodge» (США), «Grupo Mexico» (Мексика и Перу), «Jinduicheng Molybdenum Mining Corp.» (Китай) и «Thompson Creek» (США и Канада). По данным аналитической службы CRU, в 2018 г. общемировое потребление молибдена составило около 262 тыс. т. Спрос пока еще отстает на 20% от среднего уровня начала текущего десятилетия, но должен существенно прибавить в ближайший период.

Основная технология производства молибдена – водородное восстановление его из триоксида в виде порошка с последующим компактированием в виде штабиков или слитков.

В России качество производимых молибденовых порошков регламентируется ТУ 48-19-316-80 «Порошок молибденовый» с содержанием молибдена не менее 99,5% в виде зерен размером до 5 мкм (92%) для металлургических и иных целей, ТУ 48-19-69-80 «Молибден металлический высокой чистоты» марки МПЧ с содержанием молибдена не менее 99,7% для производства специальных сплавов и ТУ 14-22-160-2002 «Порошок молибденовый восстановленный».

АО «Полема» производит следующие виды молибденовых порошков:

– порошок молибденовый восстановленный марки ПМ 99,95 с размером частиц -5мкм (92%) для производства спеченных и деформируемых полуфабрикатов и изделий (штабик, лист, пруток, электрод, тигель, распыляемая мишень, сплавы с молибденом), электрических контактов (в смеси с медью) и электронных компонентов комплексных эффективных катализаторов;

– порошок молибденовый марки ПМ-М с содержанием молибдена не менее 99,8% для плазменного напыления подслоя или рабочих слоев покрытий твердостью 25-34 НРС, обладающих износостойкими и антифрикционными свойствами при высоких нагрузках, сопротивлением истиранию и эрозии в воздушной среде при температурах до 340°C, производства спеченных проницаемых изделий.

В России и за рубежом ферромолибден производится различных марок с содержанием молибдена 50-70%. Химический состав ферромолибдена по стандартам России, США и Японии приведен в таблице 1.



Рисунок 1 – Пятилетний график цен на триоксид молибдена на мировом рынке

В российском стандарте предусматривается возможность производства по требованию заказчиков ферромолибдена с содержанием серы не более 0,05%. Также в зависимости от требований ферромолибден производится в виде дробленных кусков или просеянных частиц четырех классов, приведенных в таблице 2. Масса неметаллических включений (песок, шлак и др.) не должна превышать 0,5% от партии. Массовая доля молибдена в отдельных плавках партий не должна отличаться более, чем на 2%. Определение содер-

Таблица 1 – Химический состав ферромолибдена по стандартам стран – производителей

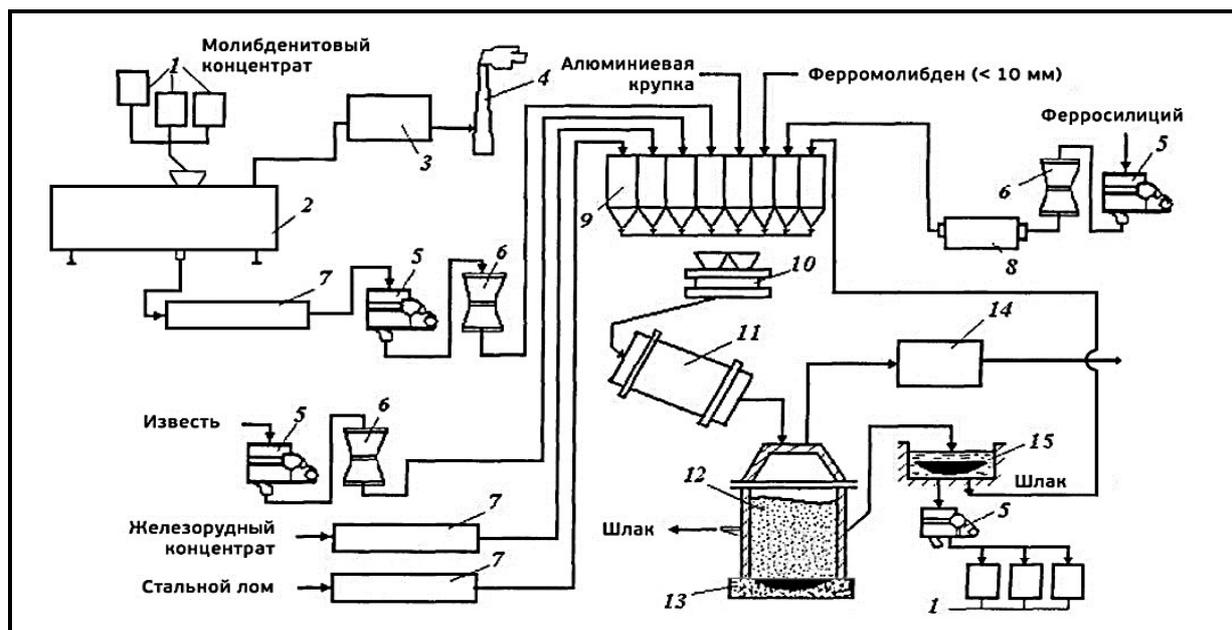
Марка	Стандарт	Массовая доля, %													
		Mo	W	Si	C	P	S	Cu	As	Sn	Sb	Pb	Zn	Bi	
		не менее	не более												
Россия															
ФМо60нк	ГОСТ 4759-91	60	0,3	0,5	0,05	0,05	0,1	0,5	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
ФМо60		60	0,3	0,8	0,05	0,05	0,1	0,5	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
ФМо58нк		58	0,5	0,5	0,08	0,05	0,1	0,8	0,03	0,02	0,02	0,1	0,1	0,1	
ФМо58		58	0,5	1,0	0,08	0,05	0,12	0,8	0,03	0,02	0,02	0,1	0,1	0,1	
ФМо55		55	0,8	1,5	0,1	0,1	0,15	1,0	-	0,05	0,05	-	-	-	
ФМо50		50	-	3,0	0,5	0,1	0,5	2,0	-	0,1	0,1	-	-	-	
США															
-	ASTM A 132-74	60	-	1,0	0,10	0,05	0,15	1,0	-	-	-	0,01	-	-	
Япония															
FMoH	JISG 2307	55-65	-	3,0	6,0	0,1	0,2	0,5	-	-	-	-	-	-	
FMoL	1978	60-70	-	2,0	0,1	0,06	0,1	0,5	-	-	-	-	-	-	

жания молибдена, кремния, меди, серы, фосфора, углерода проводится в каждой партии. Содержание остальных компонентов, указанных в таблице 1, проверяют периодически, но не реже одного раза в месяц.

Длительное время в России основным производителем ферромолибдена являлся Челябинский электрометаллургический комбинат. В связи с трудностями в поставке сырья и ужесточением требований к качеству ферромолибдена получение сплава на данном предприятии было прекращено. В настоящее время производителями ферромолибдена являются предприятия компании АО «УК Союзметаллресурс» – Сорский и Жирекенский ферромолибденовые заводы, а также Нижневолжский ферросплавный завод. На предприятиях АО «УК Союзметаллресурс» производство ферромолибдена организуется в соответствии с технологической схемой, приведенной на рисунке 1. При этом примерный состав колоши соответствует следующему, кг: концентрат - 100,00, 75%-ный ферросилиций - 32,10, алюминиевая крупка - 5,88, железорудный концентрат - 14,80, стальной лом - 2,85, известь - 6,00. Термичность процесса выплавки ферромолибдена составляет 5,8 МДж/ кг шихты, температура расплава - 2040°C. Расплавленный огарок (товарный триоксид молибдена) после остывания измельчается до фракции < 10 мм. Компоненты шихты тщательно перемешивают и загружают в плавильный агрегат. В качестве плавильного агрегата используют высокошахтный плавильный горн, футерованный алюмосиликатным кирпичом. Сверху горн накрыт футерованным огнеупорным кирпичным сводом, в котором имеется отверстие, связанное газопроводом с системой газоочистки. Плавильный горн устанавливают на песочное основание, в котором выполняется "гнездо" для приема сплава. Для выпуска шлака горн оборудован леткой. Перед плавкой горн заполняют шихтой на 300 мм ниже верхнего края для предотвращения выплесков. Плавку ведут с верхним запалом, оптимальная скорость плавления шихты 10-12 г/ (см<sup>3</sup> · мин). Продолжительность процесса 25-40 мин. При выдержке в течение ~50 мин по окончании плавки осаждаются корольки сплава, запутавшиеся в шлаке. Шлак после выдержки выпускают в шлаковню, а затем

Таблица 2 – Классы ферромолибдена по крупности

Класс	Диапазон размера частиц, мм	Подрешетный продукт макс., % по массе	Надрешетный продукт макс., % по массе
1	2-100	3	10
2	2-50	3	ни один кусок не должен превышать более, чем 1,15 раза; предел установленного диапазона размеров в двух-трех измерениях
3	2-25	5	
4	не более 2	-	



1 – контейнера БИГ-БЭГ, 2 – горизонтальная 6-ти-подовая печь, 3 – система газоочистки, 4 – дымовая труба, 5 – щековая дробилка, 6 – конусная дробилка, 7 – трубчатая печь, 8 – шаровая мельница, 9 – дозирочные бункеры, 10 – дозатор, 11 – смешивающий барабан, 12 – плавильная шахта, 13 – слиток, 14 – система газоочистки, 15 – охлаждающий бак

Рисунок 2 – Технологическая схема производства ферромolibдена

гранулируют. Сплав охлаждают в "гнезде" 7-8 ч, а затем для окончательного охлаждения помещают на 4 ч в бак с водой. Остывший блок сплава очищают от шлака, дробят и упаковывают в тару. Извлечение молибдена в ферромolibден составляет 98,7-99,0%.

Сорский и Жирекенский ферромolibденовые заводы выпускают ферромolibден с содержанием молибдена более 65%, Нижневолжский ферросплавный завод поставляет ферромolibден с содержанием молибдена 62%. Совокупные производственные мощности трех заводов составляют порядка 8.5 тыс. т ферромolibдена в год. Создание на базе Сорского и Жирекенского месторождений вертикально интегрированных производств, включивших все стадии переработки руды – от добычи до получения продукции высоких переделов, ориентированной, в первую очередь, на экспортные поставки ферромolibдена в Китай и ЕС, предопределило их высокую кризисочувствительность к состоянию зарубежной экономики в течение последних 10 лет и повлекло за собой такие исключительные меры, как консервация производственных мощностей. Так, после глубокого спада 2009 года, вызванного глобальным кризисом, цены на молибденсодержащую продукцию не смогли восстановиться. С середины 2012 года начинается новый этап их снижения, охвативший и 2013 год. Вследствие этого в октябре 2013 года АО «УК Союзметаллресурс» была вынуждена приостановить работу Жирекенских ГОК и

ФМЗ. Наряду с этим неблагоприятная рыночная конъюнктура снизила инвестиционную привлекательность освоения новых крупных молибденовых месторождений и привела к существенной ревизии намерений компаний – недропользователей. Так, АО «ГМК Норильский никель», планировавшее ранее разработку Бугдаинского месторождения весной 2013 года, приняло решение отложить начало реализации проекта минимум на пять лет.

По мнению аналитиков, состояние рынка молибдена в ближайший период будет определяться прежде всего трендами «большой» металлургии, особенно в производстве качественных (специальных) сталей. По данным World Steel Association в 2013 году в мире произведено 1,621 млрд. т стали (779 млн. т, т.е. 48%, в Китае), в 2015 году – 1,635 млрд.т, в 2020 году прогнозируется производство 1,814 млрд.т (794 млн.т в Китае), т.е. в течение последних 5 лет прирост составит 11%. Еще более значительно, примерно на 20%, возрастет выплавка легированных и специальных. Рост объемов выпуска стали, включая сталь высоколегированных марок влечет за собой необходимость наращивания производства ферросплавов как «большой» группы, так и «малой», в которую входит ферромolibден. Связь объемов производства ферросплавов и стали в последние годы становится еще более очевидной по мере развития технологий выплавки стали на минизаводах электрометаллургическим способом, а также в связи с опережающим развитием производства высоколегированных специальных марок стали, особенно в Китае. В связи с этим на ближайшие годы прогнозируется оживление рынка ферромolibдена и рост цен на его продукцию. Цены на ферромolibден на российском рынке в период 2014-2018 годы приведены в таблице 3.

### **Продукция из молибдена и его сплавов**

Анализ сортамента продукции из молибдена и его сплавов проведен на основе материалов, представленных в работах [2-5, 7, 8, 17-19].

Металлургическими предприятиями России освоено производство весьма разнообразной по сортаменту продукции из молибдена и его сплавов, в том числе: «Порошок молибденовый» ТУ 48-19-316-80, «Молибден металлический высокой чистоты» ТУ 48-19-69-80, «Порошок молибденовый восстановленный» ТУ 14-22-160-2002, «Проволока молибденовая сортамент» ГОСТ 18905-73, «Проволока молибденовая для источников света. Технические условия» ГОСТ 27262-87, «Материалы порошковые. Листы из сплава марки М-МП. Технические условия» ГОСТ 17431-72, «Материалы порошковые. Прутки и поковки из сплава марки М-МП. Технические условия» ГОСТ 17432-72, «Полосы молибденовые, отожженные для глубокой вытяжки. Технические условия» ГОСТ 25442-82, «Прутки молибденовые» ТУ 11-77 (Яе0.021.057 ТУ), «Полосы молибденовые для электровакуумной промышленности» ТУ 11-90 (Яе0.021.055 ТУ), «Проволока молибденовая для деталей разного применения. Технические условия» ТУ (Яе0.021.123 ТУ), «Прутки и проволока из молибдена металлокерамического и вакуумной плавки, неотожженные. Технические условия» (ТУ 48-19-203-85), «Прутки молибде-

Таблица 3 – Динамика цен на ферромолибден на российском рынке

Марка	Цена за тонну		Фирма	Регион	Дата
	USD	руб			
ФМо60	15480	1000000	ООО «Нижевожский ферросплавный завод»	Камышин	2018-10-01
ФМо60	15479	999999	ООО «ФерроМетСнаб»	Челябинск	2018-08-02
ФМо60	17669	1020000	АО «Промышленная Инвестиционная Компания»	Челябинск	2017-02-20
ФМо60	11848	750000	ООО «Комплексные металлургические системы»	Челябинск	2016-12-12
ФМо60	13145	925000	АО «Промышленная Инвестиционная Компания»	Челябинск	2015-12-14
ФМо55	19995	1000000	ООО «СибМеталлТорг»	Новосибирск	2015-05-18
ФМо60	14499	940000	FerroLabs	Москва	2015-01-16
ФМо60	19771	1050000	АО «Промышленная Инвестиционная Компания»	Челябинск	2014-12-07
ФМо60	21289	1050000	АО «Промышленная Инвестиционная Компания»	Челябинск	2014-12-01

новые диаметром от 16 до 125 мм. Технические условия» ТУ 48-19-247-87, «Полосы молибденовые неотожженные. Технические условия» ТУ 48-19-272-83, «Фольга молибденовая. Технические условия» ТУ 48-19-245-84, «Заготовки листовые мерные из молибдена марок МЧ и МЧВП» ТУ 48-19-472-90, «Проволока молибденовая типа «СПРАБОНД» ТУ 48-19-290-91, «Трубы бесшовные толстостенные из молибдена, сплавов на его основе и ниобия. Технические условия» ТУ 48-19-251-85, «Полосы молибденовые для электровакуумной промышленности неотожженные. Технические условия» ТУ 48-19-315-89, «Заготовки молибденовые шлифованные. Технические условия» ТУ 48-19-88-83, «Заготовки из молибдена и его сплавов дуговой вакуумной плавки, шлифованные. Технические условия» ТУ 48-19-250-86, «Прутки, поковки и листы из молибденового сплава марки ЦМ-2А. Технические условия» ТУ 48-19-273-91, «Молибден металлический для металлургических целей. Технические условия» ТУ 48-19-73-86, «Проволока молибденовая марки МЧ длинномерная. Технические условия» ТУ 48-19495-90, «Прутки и сутунки из молибденового сплава ТСМ-4. Технические условия» ТУ 48-19-219-76, «Низкоуглеродистый сплав на основе молибдена марки ТСМ-7 в виде прутков и труб. Технические условия» ТУ 48-19-305-84, «Листы горячекатаные из молибденового вакуумплавленного сплава ТСМ-3. Технические условия» ТУ 48-19-312-87, «Молибден металлический в виде штабиков и пластин, спеченных в вакууме или в восстановительной среде. Технические условия» ТУ 48-19-3-78, «Молибден металлический в виде штабиков и пластин. Технические условия» ТУ 48-19-102-82, «Полосы молибденовые марки МЧ для глубокой

вытяжки. Технические условия» ТУ 48-19-215-85, «Прутки прессованные обточенные из молибденовых сплавов. Технические условия» ОСТ 1 92027-90, «Сплавы молибденовые деформируемые. Марки» ОСТ 1 90022-71, «Проволока из сплавов вольфрама с молибденом для изделий электронной техники. Общие технические условия» ОСТ 1/021.003-76.

### **Применение молибдена**

При анализе сложившейся структуры потребления молибдена использована техническая информация, представленная в работах [1-4].

В настоящее время сложилась следующая структура мирового потребления молибдена в металлургии, машино- и приборостроении: молибден и его сплавы – 80%, химические соединения (триоксид молибдена, молибдат натрия и кальция, дисульфид и диселенид молибдена) – 10%, катализаторы – 10%. Основными направлениями применения молибдена являются следующие.

*Легирующий элемент в сталях, чугунах и сплавах цветных металлов.* В состав конструкционных сталей входит до 0,5% молибдена, благодаря чему значительно улучшается их структура: она становится более однородной и мелкозернистой. Добавление молибдена позволяет также улучшить механические свойства сталей и сплавов, а именно: предел упругости, сопротивление износу и удару. Одно из ценных свойств молибдена – его способность устранять отпускную хрупкость аустенитной стали. Инструментальные стали, из которых изготавливают штампы, обычно содержат 1-1,5% молибдена, быстрорежущие стали – 5-8,5%. Молибден повышает красностойкость инструментальных сталей, их твердость, прочность, сопротивление образованию закалочных трещин, износу.

Хромистые и хромоникелевые стали также имеют в своем составе молибден. Он снижает хрупкость и повышает жаропрочность данных сталей в условиях длительной работы. Введение 2-4% молибдена в нержавеющие хромоникелевые стали улучшает их коррозионную стойкость.

Молибден также входит в состав чугунов. Введение в чугун 0,2-0,5% молибдена повышает вязкость, сопротивление износу, улучшает свойства при высоких температурах и уменьшает склонность к росту зерен.

*Антикоррозионные и жаропрочные сплавы.* Жаропрочные сплавы содержат 50-60% кобальта и никеля, 20-28% хрома, 3-10% молибдена. Так, жаропрочный сплав для изготовления лопаток и дисков роторов газовых турбин имеет состав 37Ni20Co18Cr17Fe3Mo2,8Ti. Кислотостойкие сплавы, содержащие 17-28% молибдена, а также хром, вольфрам и железо, устойчивы к воздействию всех минеральных кислот (серная кислота, соляная кислота и другие), кроме плавиковой.

*Конструкционный материал в аэрокосмической и атомной технике.* Конструкционные материалы и сплавы для аэрокосмической отрасли должны отличаться хорошей жаропрочностью и окалинотойкостью. Данными свойствами обладают вольфрам, молибден, ниобий и другие. Однако ниобий и

молибден имеют большую удельную прочность при температуре 1370°C по сравнению с вольфрамом, поэтому более предпочтительны в качестве конструкционных материалов, работающих при указанной и более низких температурах. Молибден используется для изготовления обшивки и элементов каркаса сверхзвуковых самолетов и ракет, а также теплообменников, оболочек возвращающихся на землю ракет и капсул, тепловых экранов, передних кромок ракет, носовых конусов ракет, обшивки кромок крыльев сверхзвуковых самолетов.

Молибден с присадками ниобия, ванадия, титана и других металлов, которые повышают жаропрочность, применяется для изготовления ответственных деталей ракетных двигателей и газовых турбин: сопловые и рабочие лопатки газовых турбин, выхлопные сопла и камеры сгорания прямоточных реактивных двигателей.

Молибден достаточно устойчив к воздействию жидких металлических теплоносителей типа лития и свинцововисмутового сплава. Эти свойства молибдена позволяют использовать его в качестве конструкционного материала в энергетических атомных реакторах при температуре до 800°C и изготавливать из него контейнеры, оболочки, трубы и другие элементы активной зоны реактора.

*Материалы для изготовления оборудования для обработки металлов давлением.* Жаропрочность молибдена, его тугоплавкость, высокая теплопроводность и низкий коэффициент расширения позволяют использовать данный металл для изготовления элементов оборудования, предназначенного для горячей обработки металлов давлением. Так, из молибдена производят оправки прошивных станков, матрицы, пресс-штемпели. Стойкость прошивных пуансонов для прошивки заготовок из нержавеющей стали, изготовленных из сплава молибдена с 0,5% титана, в 100 раз выше по сравнению с пуансонами из других материалов. Также из молибдена производят пресс-формы и стержни машин для литья под давлением сплавов меди, цинка и алюминия.

*Материал для изготовления нагревателей высокотемпературных печей.* Проволоку, ленту и прутки из молибдена применяют в качестве нагревателей высокотемпературных электрических печей с температурой нагрева 1700-2000°C в защитной атмосфере (обычно, водород, аргон) или в вакууме.

Молибденовые прутки применяют также в качестве электродов в печах для плавки стекла. Как правило, для данных целей используют прутки диаметром от 25 до 150 мм и длиной до 1,8 м. Также встречаются плавильные печи с электродами в виде молибденовых пластин. Молибден практически не вступает в реакцию с расплавленным стеклом, что позволяет использовать его для изготовления деталей стеклоплавильных печей.

*Материал для производства электроламп и электровакуумной техники.* Жаропрочность, высокая электропроводность, высокая температура плавления позволяют применять молибден в производстве электроламп и электровакуумных приборов. Молибденовая проволока применяется для изготовления крючков, которые поддерживают вольфрамовую нить в лампах накали-

вания. Также молибден используют в качестве керн для навивки вольфрамовой проволоки.

Молибденовые прутки служат для ввода тока в различные электровакуумные приборы и колбы мощных источников света. Листы из молибдена применяются для производства анодов генераторных ламп. Также из данного металла изготавливают сетки приемно-усилительных ламп, вспомогательные электроды генераторных ламп, катоды газоразрядных трубок. Молибден нашел применение и в рентгеновской технике: из него производят фокусирующие электроды, вводы катодов.

### ***Заключение***

Проведена оценка современного состояния производства триоксида молибдена, молибдена и его сплавов, сортамента продукции из молибдена и его сплавов, структуры потребления молибдена, определены доминирующие тенденции и прогнозы на ближайший период.

Основной технологией производства молибдена является водородное восстановление его из триоксида высокой чистоты (до 99,9%) в виде порошка с последующим компактированием в виде штабиков или слитков. Главными производителями молибдена являются США, Чили, Китай, Перу, Канада и Мексика, на долю которых приходится более 90% мирового производства. Более 60% производства молибдена обеспечиваются пятью компаниями: «Codelco» (Чили), «Phelps Dodge» (США), «Grupo Mexico» (Мексика и Перу), «Jinduicheng Molybdenum Mining Corp.» (Китай) и «Thompson Creek» (США и Канада). В 2018 году общемировое потребление молибдена составило около 262 тыс. т., что примерно на 20% ниже уровня потребления 2011-2012 годов. В России единственной компанией, позиционирующей себя в качестве производителя порошков молибдена и использующей импортное сырье, является АО «Полема». Ферромолибден производится в России и за рубежом различных марок с содержанием молибдена 50-70%. В настоящее время производителями ферромолибдена в России являются Сорский, Жирекенский ферромолибденовые и Нижневолжский ферросплавный заводы. Совокупная производственная мощность их оценивается на уровне 8,5 тыс. т ферромолибдена в год.

Ферромолибденовые заводы ориентированы на поставку продукции на экспорт, что предопределяет их зависимость от состояния внешнего рынка и эпизодически создает кризисные ситуации. Однако отмечаемый стабильный рост производства высоколегированных специальных сталей, требующий адекватного по объему производства ферросплавов «больших» и «малых» групп, позволяет оценивать прогноз по спросу на ферромолибден на ближайший период в целом как благоприятный.

Металлургическими предприятиями России декларируется производство 33 разнообразных по сортаменту видов полупродуктов и конечной продукции из молибдена и его сплавов: порошки, проволока, листы, прутки, полосы, трубы, фольга, заготовки, поковки, ленты, пластины. В то же время констатирует-

ся, что отечественный спрос на конечную молибденовую продукцию в течение последних 10 лет сохраняется стабильным и в целом не растет.

Современная структура мирового потребления молибдена включает такие сегменты, как металлургия, машино- и приборостроение: молибден и его сплавы – 80%, химические соединения (триоксид молибдена, молибдат натрия и кальция, дисульфид и диселенид молибдена) – 10%, катализаторы – 10%. Молибден наиболее востребован для легирования сталей, чугунов и сплавов цветных металлов в составе антикоррозионных и жаропрочных сплавов, в качестве конструкционного материала для аэрокосмической и атомной техники, инструментальной оснастки при обработке металлов давлением, нагревателей высокотемпературных электропечей и электровакуумных приборов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. InfoMine. Your global mining resource. 5 Year Molybdenum Prices and Price Charts. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infomine.com/investment/metal-prices/molybdenum-oxide/5-year/>.
2. Информационный портал Недр ДВ. Обзор рынка. Мировой рынок молибдена. 2016 год [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://nedradv.ru/nedradv/ru/msr/>.
3. Горлова А.А., Галевский Г.В., Руднева В.В. Исследование современного состояния отечественного и мирового производства молибдена, его сплавов и соединений // Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XXI Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч.1. Новокузнецк, 2019. С. 72-77.
4. Никонов Н. Молибден. Свойства, применение, производство, продукция. – М.: ООО «Мета-техника», 2014. – 31 с.
5. Молибден. Производители России и СНГ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infogeo.ru/metalls/product/?act=show&i=541>.
6. АО «ПОЛЕМА» – завод порошковой металлургии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.polema.net/>.
7. Обзор и цены рынка цветных металлов и ферросплавов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.metotech.ru/information/>.
8. Молибден. Свойства, применение, марки. Соединения, сплавы молибдена металлургии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.metotech.ru/molibden-opisanie.htm>.
9. Капелюшин Ю.Е. Тенденции развития производства чугуна и стали в мире // Современные проблемы электрометаллургии стали : материалы XVIII Междунар. конф.: в 2 ч. Ч.1. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ. С. 50-56.
10. Протопопов Е.В., Калиногорский А.Н., Ганзер Л.А. Сталеплавильное производство: современное состояние и направления развития // Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XXI Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч.1. Новокузнецк, 2019. С. 9-14.
11. Рожихина И.Д., Нохрина О.И., Ёлкин К.С., Голодова М.А. Ферросплавное производство: состояние и тенденции развития в мире и России //

Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XXI Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. Ч.1. Новокузнецк, 2019. С. 20-32.

12. Боярко Г.Ю., Хатьков В.Ю. Товарные потоки ферросплавов в России // Черные металлы. 2018. №3. С. 60-63.

13. Рынок ферросплавов в 2017-2018 г.: производство в России. Metall search, Metallургические исследования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.metalresearch.ru/ferroalloys\\_market\\_2017-2018.html](http://www.metalresearch.ru/ferroalloys_market_2017-2018.html).

14. Леонтьев Л.И., Жучков В.И., Жданов А.В., Дашевский В.Я. Современное состояние ферросплавного производства в России // Сталь. 2015. №10. С. 21-25.

15. Рынок ферросплавов. Маркетинговое исследование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.indexbox.ru/>.

16. Буданов И.А. Новые условия формирования российского рынка металлов // Сталь. 2018. №8. С. 64-66.

17. База данных по рынку металлов. Ферромолибден цена на мировом рынке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infogeo.ru/metalls/price/?act=show&okp=85200>.

18. ГОСТы и ТУ на молибден [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.metotech.ru/molibden-gost.htm>.

19. Металлоснабжение и сбыт. Цены на молибден продолжают рост [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://metalinforu.ru/news/101389>.

20. Обзор мирового рынка молибдена и перспективы развития до 2029 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Merchant Research & Consulting Ltd.