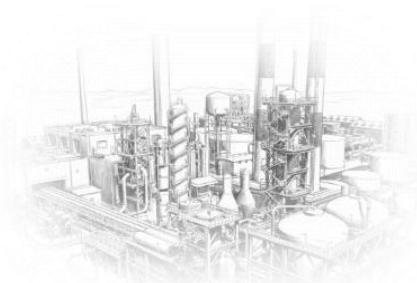




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
ФГУП «ЦНИИЧЕРМЕТ им. И.П. Бардина»



# Металлы высоких технологий в чёрной металлургии



IV Научно-практическая конференция "МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ  
БАЗА МЕТАЛЛОВ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ: ОСВОЕНИЕ,  
ВОСПРОИЗВОДСТВО, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ"

г. Москва, Старомонетный пер. д.31. ФГБУ «ВИМС»



А.И. Волков, П.Е.Стулов  
С.И.Ануфриева

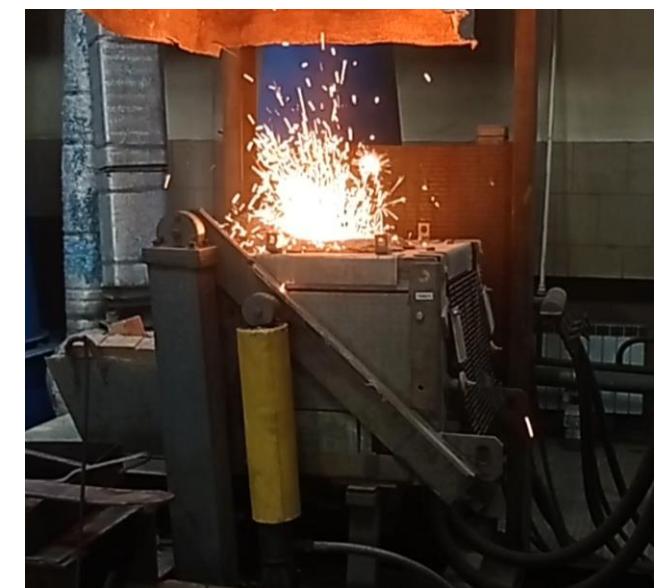


Металлы высоких технологий — это редкоземельные и редкие металлы, которые используются для придания уникальных свойств изделиям и материалам (например, ниобий, вольфрам, ванадий, никель и др.). Такие металлы применяются в электроэнергетике, машиностроении, авиастроении, медицине и других отраслях.

Ключевой отраслью, которая способствует увеличению объёмов производства и потребления редких металлов (РМ) и редкоземельных (РЗМ), является чёрная металлургия. РМ применяют для легирования, раскисления и модификации различных марок стали, чугуна, производства огнеупорных материалов, применяемых в чёрной металлургии.

Доля потребления редких металлов в чёрной металлургии России

Nb	V	Mo	W	Ti	РЗМ
90,0%	78,0%	66,0%	64,0%	27,0%	13,0%





## Ниобий: применение в металлургии

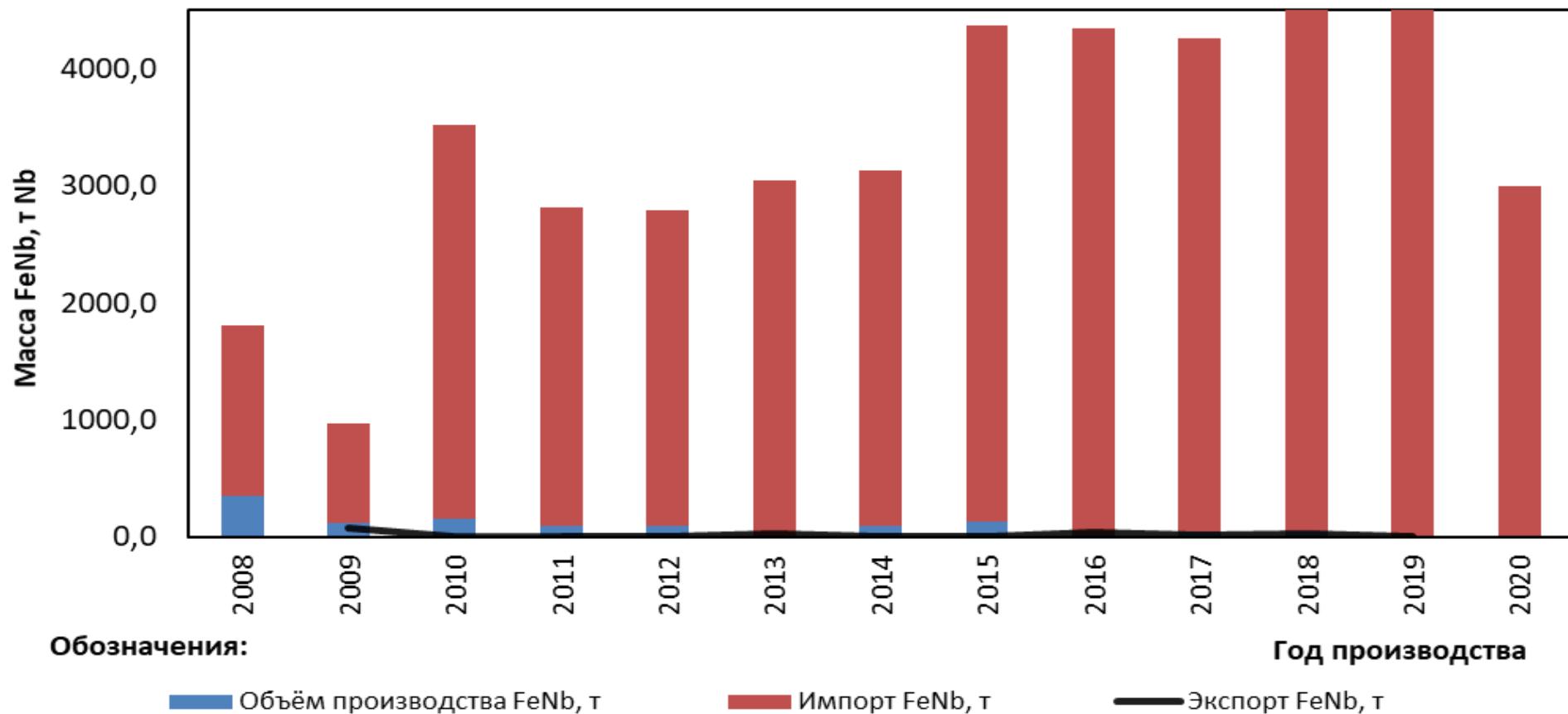
Ниобий в виде феррониобия (содержит 60-65 % Nb) применяется для производства жаропрочных сталей в авиации, нержавеющих низколегированных сталей в машиностроении, судостроении, трубной промышленности

Применение ниобия в низколегированных сталях повышает их прочность на 20 % и использование таких сталей для газопроводных труб большого диаметра в 1,5 раза повышает их производительность, а также значительно снижает расходы при их эксплуатации.

Вид стали	марка	Содержание Nb, %
Трубы большого диаметра	X 80	0,05
Стали для судостроения	EH 36 normalized	0,03
Конструкционные стали	S 355 MC	0,025
Автомобильные полосы	S 500 MC	0,04
Автомобильный лист	H 340 LA	0,04
Жаростойкие стали	1.4509	0,60



## Ниобий: потребление, производство и импорт



В 2021 году импорт ниобия в Россию составил 3255,5 тонн, в 2022 году - 4159,9 тонн, в 2023 году 3091,2 тонн.

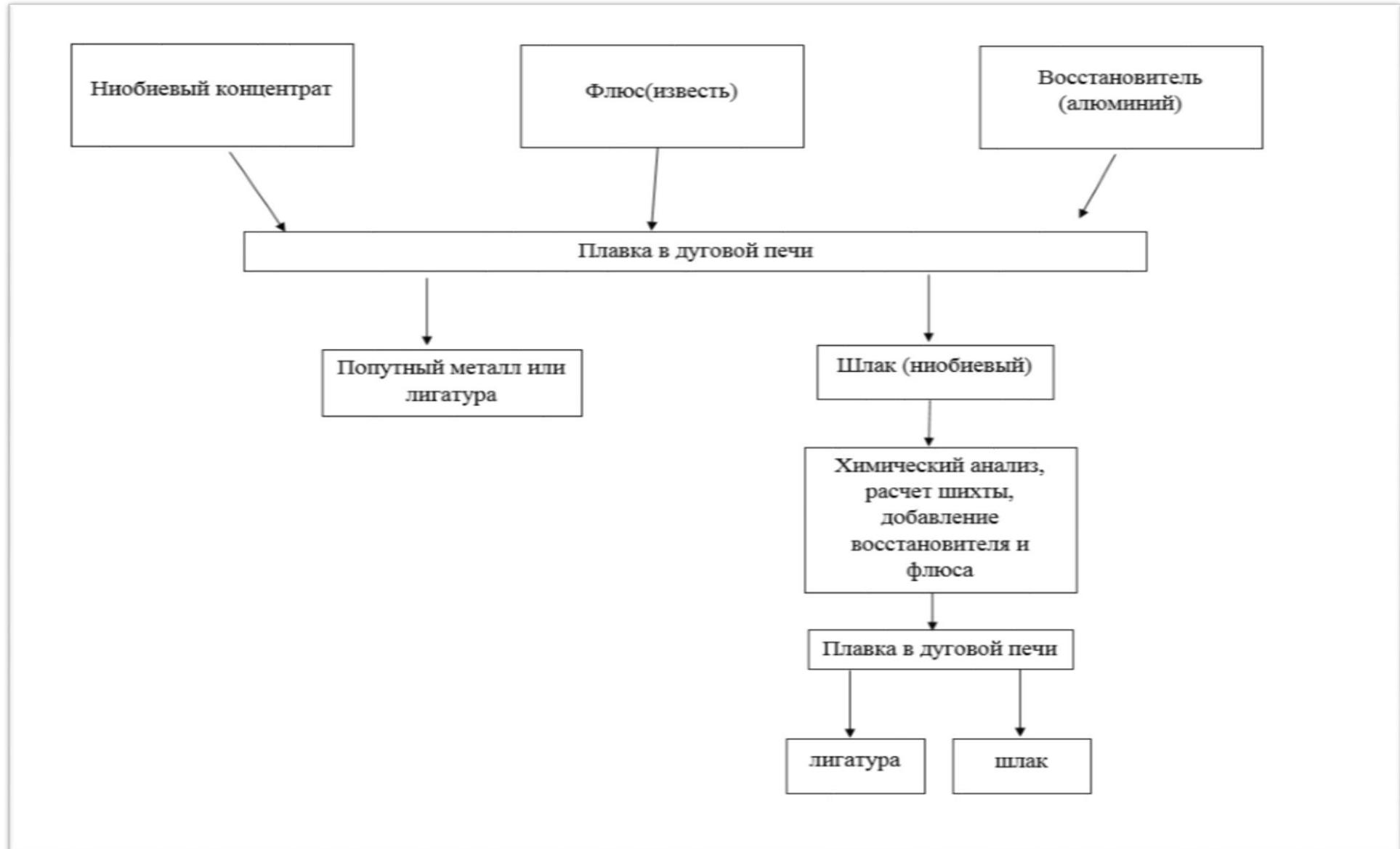
Серьёзной проблемой является практически полная зависимость отечественной чёрной металлургии от импортных поставок феррониобия (в среднем 99 % от объёма потребления).

Основной поставщик - бразильская компания Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineracao (CBMM) прекратила поставки продукции в 2022 году.

Поставки не прекратились, но изменилась география стран поставщиков



# Схема металлургической переработки ниобиевых концентратов (Белозиминское и Большетагнинское месторождения)





## *Ванадий: области применения*

Пентаоксид ванадия является важнейшим сырьём для металлургии (феррованадий и лигатуры), химической технологии (катализаторы), энергетики (накопители энергии) и т.д.

Основным потребителем ванадия является черная металлургия, которая использует около 95% всего производимого ванадия. Роль ванадия как легирующего элемента в сталях весьма велика: около 50% выпускаемых легированных сталей содержат присадку ванадия.

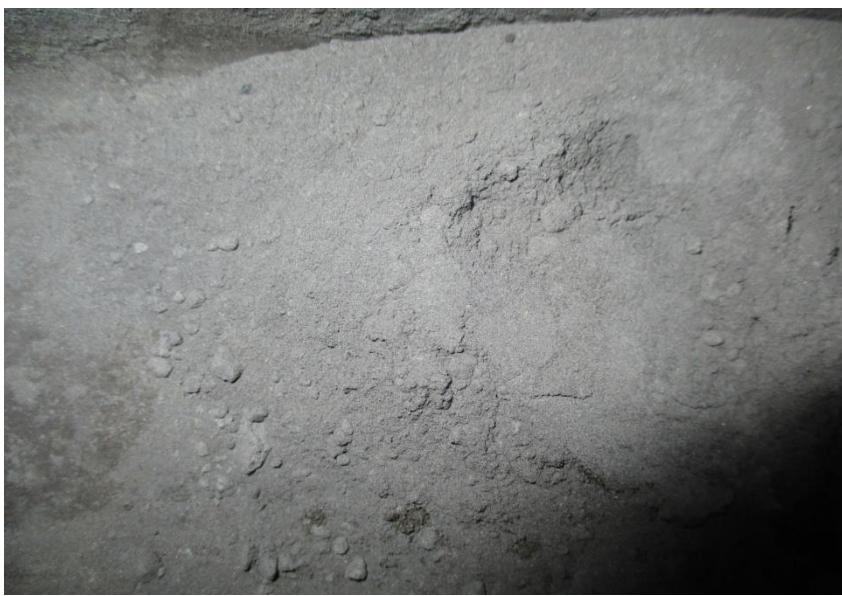
Ванадиевые конструкционные стали широко используют в авто- и авиастроении, железнодорожном транспорте, машиностроении. Инструментальные стали содержат от 0,2 до 2,6% ванадия.

Присадка 1% ванадия к быстрорежущим сталям повышает эффективность резания и сверления инструментами из этой стали примерно на 100%.

Ванадий используют также для легирования чугуна. В машиностроении применяют чугунное литье с присадкой 0,10—0,35% V для изготовления паровых цилиндров, поршневых колец и золотников паровых машин, изложниц, прокатных валков, матриц для холодной штамповки.



## Ванадий: пути совершенствования отрасли



Шламохранилище АО «ЕВРАЗ

Ванадий-Тула»

Общий объём свыше 3 млн. т

Ежегодный объём образующихся  
шламов до 80 тыс. т  
1-й класс опасности

Компонент	Содержание, % масс.
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.04 - 2.28
CaO	10.0 - 11.2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.95 - 3.13
Fe	27.1 - 28.7
K <sub>2</sub> O	0.07 – 0.10
MgO	1.36 - 1.53
Mn	4.45 - 5.17
Na <sub>2</sub> O	0.13 - 0.17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.027 - 0.035
S	4.65 - 5.28
SiO <sub>2</sub>	10.9 - 11.2
TiO <sub>2</sub>	7.14 - 7.69
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2.25 - 2.78
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> кислотораств.	0.94 - 1.61
Влага	21.8 - 23.4
ППП (1050 °C)	10.8 - 11.7



## Образцы золы



Компонент	Диапазон содержаний
Na <sub>2</sub> O	0,10–4,74
MgO	0,09–2,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,61–7,10
SiO <sub>2</sub>	0,11–23,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,14–0,53
S	0,39–11,21
Cl	0,13–0,23
K <sub>2</sub> O	0,02–2,04
CaO	0,08–4,94
TiO <sub>2</sub>	0,11–0,75
<b>V<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>15,18–70,70</b>
MnO	0,04–0,42
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>7,15–64,91</b>
Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	0,06–4,60
<b>NiO</b>	<b>1,30–18,59</b>
ZnO	0,21–1,99
SrO	0,03–0,06
MoO <sub>3</sub>	0,06–0,75
BaO	0,94–1,64
PbO	0,04–0,11
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,17–0,51



## Проведение плавки металла и шлака из золы

### Химический состав шлака, % масс.

Образец	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	S	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Отложения на электроде	7.9	1.94	0.52	5.0	49.0	0.15	0.039	0.03	4.04	0.13	23.9
Шлак № 1	23.8	3.03	0.50	3.8	5.6	0.11	0.032	0.08	3.78	0.22	48.1
Шлак № 2	27.3	1.83	0.52	4.5	2.8	0.07	0.041	0.04	6.77	0.18	41.4
Шлак № 3	14.7	6.99	0.71	15.1	5.9	0.16	0.027	0.02	4.18	0.18	42.6

### Степень извлечения ванадия в раствор, % отн.

Образец	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (общ), % масс.	Степень извлечения ванадия, % отн.	FeV <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , % масс.	NaVO <sub>3</sub> , % масс.	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , % масс.	Ca <sub>5</sub> Mg <sub>4</sub> (VO <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> , % масс.
Зола	16.2	18.9	н/о *	н/о	н/о	н/о
Шлак № 1	48.1	96.2	1.2	13.5	9.2	н/о
Шлак № 2	41.4	94.2	0.5	8.8	7.5	н/о
Шлак № 3	42.6	72.3	35.3	4.2	н/о	26.1

Химический состав металла: 0.25% V, 3.45% Fe, 0.49% Al, 0.09% Si, 89.9% Ni.

Характеристика электропечи ДП-0,05.

- максимальное напряжение до – 140 Вт;
- максимальный ток – 2500 А;
- максимальная температура рабочая – 2250 °C;
- напряжение сети питания – 220 В;
- частота переменного тока – 50 Гц;
- тип нагревателей – угольные электроды – 75 мм;
- количество электродов – 2 шт.; расстояние между электродами 180мм.
- расположение электродов - в линию;
- размер рабочей камеры (длина-ширина-высота) –460x460x475 мм;
- габаритные размеры печи (длина-ширина-высота) – 862x850x835 мм.





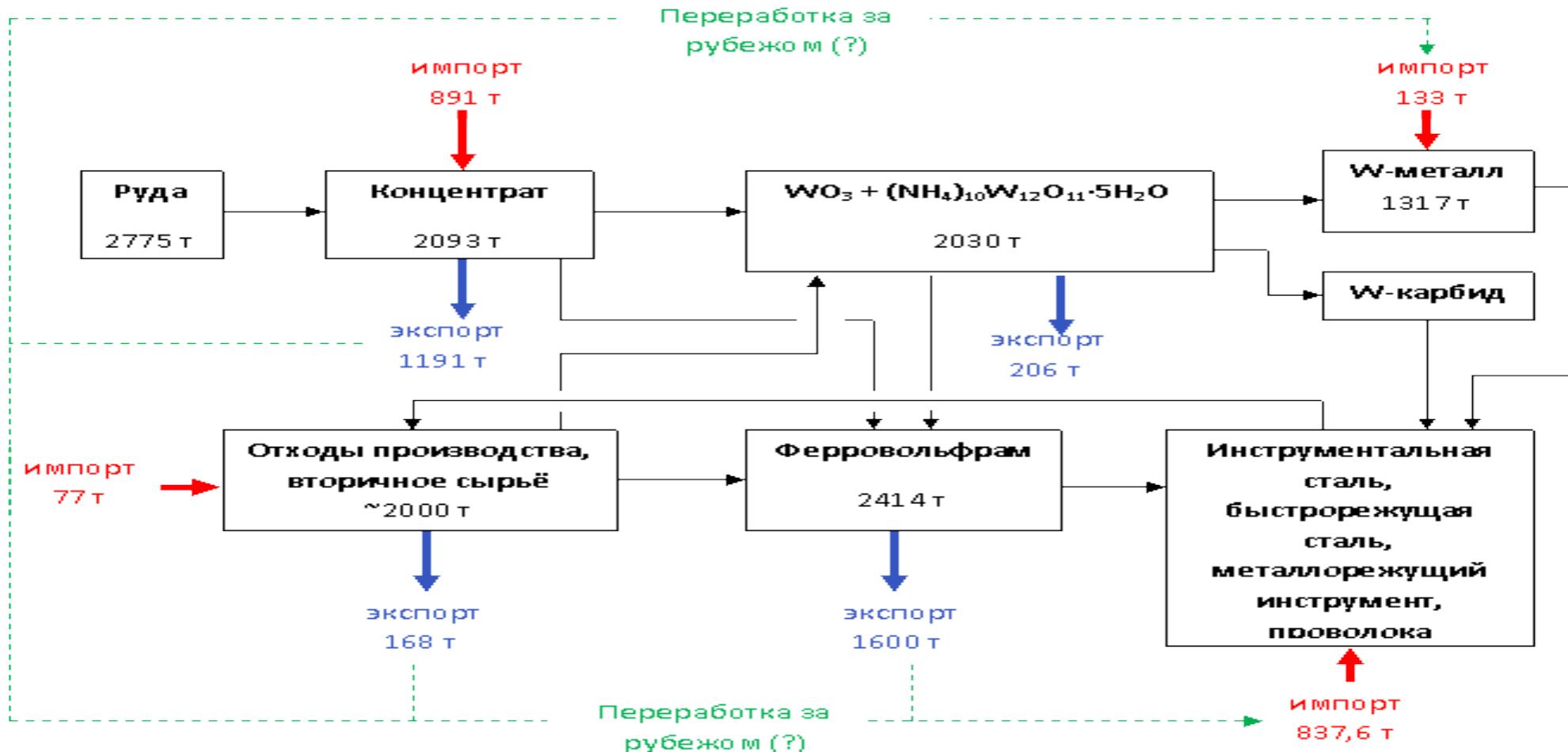
## Вольфрам: применение в металлургии

Вольфрам используется для твердых и жаропрочных материалов в качестве легирующей добавки в стали, кислотоупорных и специальных сплавах, в электротехнике, химической промышленности. Из сплавов вольфрама изготавливают танковую броню, детали для машино- и авиастроения, а также внешние оболочки для снарядов или торпед.

Вольфрам - обязательная составляющая инструментальной стали. С ее помощью производят надежные инструменты для резки, обработки и вытачивания деталей и запчастей. Доля потребления вольфрама в чёрной металлургии России составляет 65%.

Наблюдается отсутствие эффективной кооперации переработчиков вольфрамового сырья и производителей товарных продуктов на российском рынке. В результате чего, объём экспортируемого концентрата превышает объём импортируемого. Это обусловлено разным географическим положением добытчиков сырья и его переработчиков

# Вольфрам: производство и применение



Баланс производства и потребления вольфрама (в прямоугольниках указан объём производства, все цифры приведены в пересчёте на чистый вольфрам)



## Выплавка ферровольфрама из техногенных отходов



Сырье ( сплав ВК )



Вольфрамат кальция или  
оксид вольфрама



Ферровольфрам



Одной из значимых сфер применения РЗМ является металлургия. Доля металлургии в мировом потреблении РЗМ составляет по разным оценкам от 7 до 20%. В России металлургией потребляется всего 120 т РЗМ, т.е. 10% от общего объема.

Добавки РЗМ используют в производстве чугуна для повышения его качества (модификации структуры, очистки от вредных примесей). Распределение РЗМ по направлениям металлургии России в 2018-2019 гг. показано на рисунке. Подавляющее количество (86%) РЗМ находит применение в чёрной металлургии.

Волков А.И., Стулов П.Е., Леонтьев Л.И., Углов В.А. Анализ использования редкоземельных металлов в чёрной металлургии России и мира/ Известия Высших Учебных Заведений. Чёрная Металлургия. 2020. Т. 63. № 6. С. 405-418.



## РЗМ: применение в металлургии

Марка стали	Количество РЗМ	Эффект	Изменение свойств
Быстрорежущая Р18	До 0,3%	Деоксидизация и десульфуризация	Повышение предела прочности, теплостойкости, повышение стойкости резцов в 2 раза
35ГЛ	0,2% Y	Глобулярная форма окисисульфидов, чистота границ зёрен	Рост ударной вязкости в 2-4 раза
10Х18Н9Л	0,2% Y	[O]=0,005%, H=4см <sup>3</sup> /100г Кол-во неметаллических включений уменьшается в 2 раза	Повышение пластических свойств, рост жидкотекучести на 10%
45Л, 40ХЛ	2-3 кг/т	-//-	Улучшение пластичности и хладостойкости
110Г13Л	2-3 кг/т	-//-	Увеличение износостойкости
ОХ23Н18 трубная заготовка		Рост пластичности	Рост выхода годного при горячей прокатке на 30%. Замена ковки прокаткой



## Импортируемые материалы и области их применения в металлургии

Материал	Область применения
мишметалл, ферроцерий, Ce-металл	сталь, чугун, производство модификаторов
ферросплавы типа ФС30Р3М30	сталь, чугун, производство модификаторов
Y-металл	сталь, магниевые сплавы
La-металл	сталь, производство модификаторов
Nd-металл	магниевые сплавы
Sm-металл	
Ni-Ce-лигатура	сталь, никелевые сплавы
оксиды РЗМ	производство лигатур и модификаторов

Структура потребления РЗМ по формам, по нашей оценке, выглядит следующим образом: около 90% в виде комплексных модификаторов, до 10% в виде мишметалла и чистых РЗМ, менее 10% в виде ферросплавов типа ФС30Р3М30. Практически все исходные материалы с РЗМ для металлургии ввозят из-за рубежа. Основную часть мишметалла, ферросплава с РЗМ, лантана и церия (около 90 т) потребляют для получения комплексных модификаторов, остальное используют напрямую для легирования чугуна, стали и сплавов цветных металлов.

## Получение лигатуры из оксида цериевой группы с использованием в качестве восстановителя силикокальция (СК 30) и ферросилиция (ФС 75)

### Химический состав оксида цериевой группы

CeO <sub>2</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	F	CaO	S	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO
48,0	24,5	15,0	4,0	0,4	0,2	4,0	0,5	0,2	3,0	0,2

### Химический состав полученных лигатур

Ce	La	Nd	Pr	Si	Ca	Fe	C
26,7	12,3	7,5	1,5	36,8	5,6	8,8	0,1
23,6	8,4	7,2	1,9	30,3	1,5	27,1	0,15

### Химический состав шлака

R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	F	C
19,6	23,2	47,6	0,5	6,3	2,3
31,2	19,9	36,5	0,7	11,7	2,35



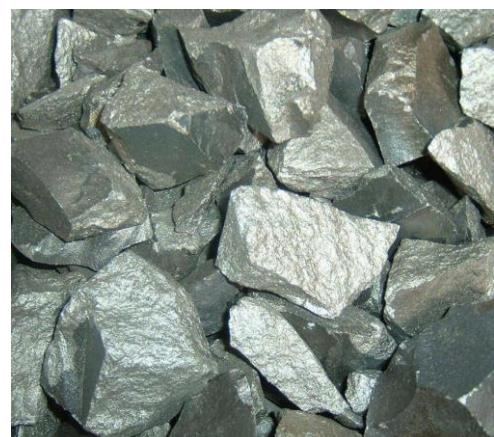


## Никель

Основным потребителем никеля являются предприятия чёрной металлургии. Он используется при получении нержавеющих сталей, жаропрочных сплавов и т.д.



Основное содержание никеля в таких сталях в диапазоне от 8 до 20 %. Добавление никеля в такой пропорции усиливает коррозионную стойкость и прочность в широком диапазоне температурного режима эксплуатации, придает стали хорошую пластичность и устойчивость в агрессивных средах, делает ее немагнитной.



В России в настоящее время никель получают по сложной многостадийной технологии. Поэтому цена такого продукта высока. Сложнейшая электрохимическая технология имеет смысл при получении дополнительно кроме никеля дорогих продуктов – Cu, Co, металлы Pt-группы.

Проблема переработки бедных оксидных руд – получение бедного по никелю сплава, имеющего ограниченный спрос. В России опробована технология получения сплава с 6-9% Ni в доменной печи. Такой процесс характеризуется высоким расходом кокса. В Китае таким образом получают чугун с 2-4% Ni.

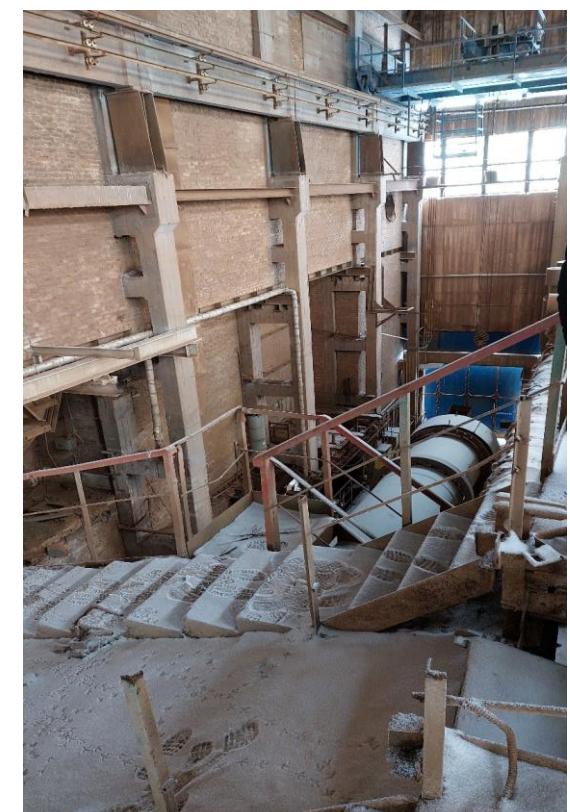




## Цех получения ферроникеля Буруктальского завода в настоящее время.

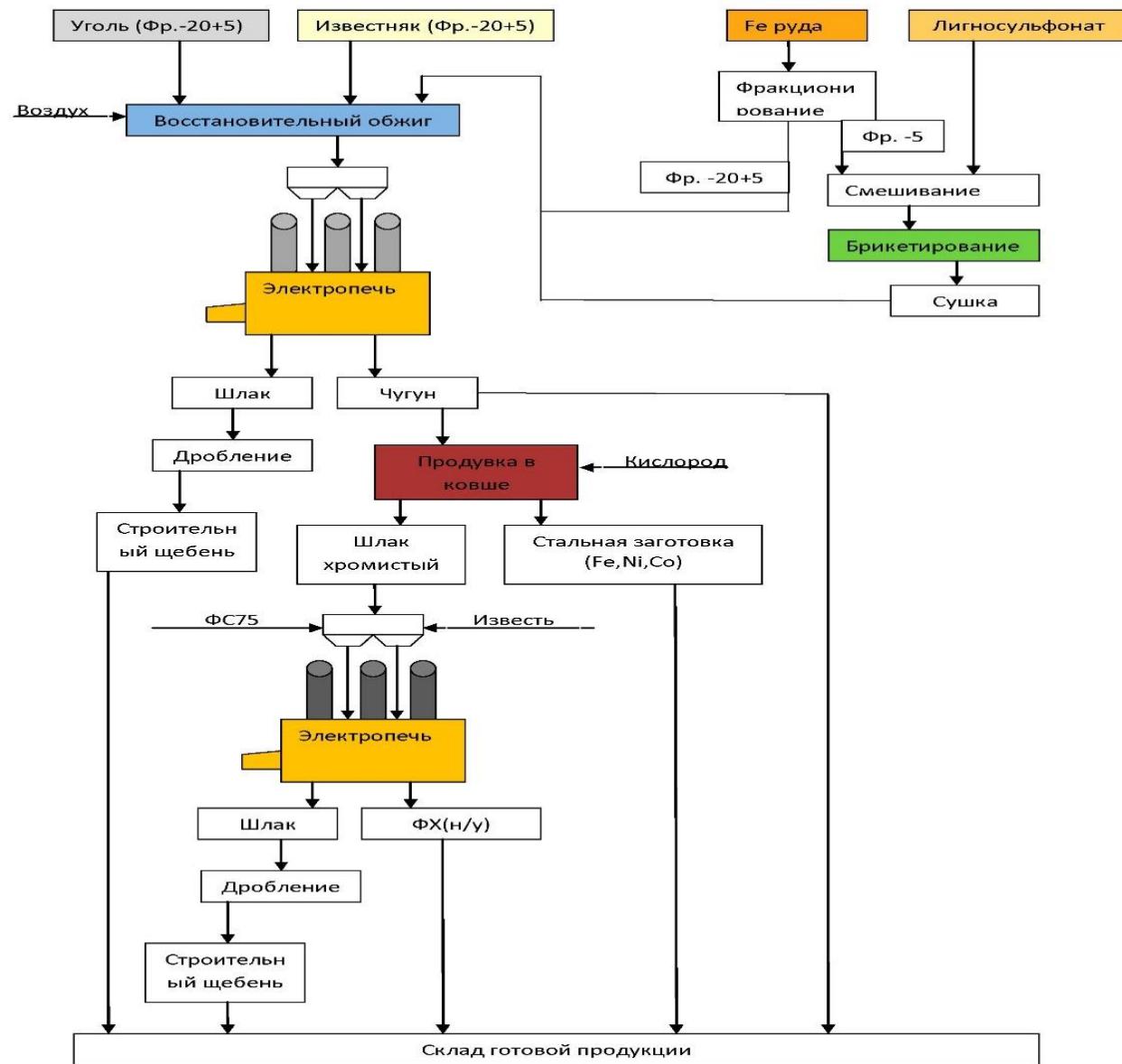


Наиболее эффективной считается технология получения FeNi в электропечах. На Буруктальском заводе получали FeNi с 3,5-6,0% Ni. Во времена СССР бедные руды Буруктальского и Побужского месторождений перерабатывали. Был спроектирован и построен опытный цех в п. Светлый Оренбургской области. А по результатам испытаний технологии в этом цехе построили Побужский никелевый завод.



# Технологическая схема переработки железосодержащих руд Серовского месторождения

- чугун по ГОСТ 7769-87 - 3.0% C, 2.30% Si, 0.15% P, 0.59% Ni, 4.10% Cr;
  - стальная заготовка 0,14% C, 0.12% Si, 0.19% P, 0.57% Ni, 0.39% Cr;
  - низкоуглеродистый феррохром по ГОСТ 4757-91 (0,30% C, 2.75% Si, 0.04% P, 48.8% Cr);
  - щебень шлаковый





**Спасибо за внимание**