



**ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ) Г. ЧЕЛЯБИНСК**

НОВЫЕ НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ИЗ КОМПЛЕКСНЫХ РУД И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ

ЧТО ДАЛЬШЕ?

Эксперимент

1. Расширение доказательной экспериментальной базы на основе экспериментов с разными рудами и нерудными (техногенными) материалами.

Теория

2. Термодинамическая и кинетическая температура начала восстановления (методика и расчёт).

3. n – и p –проводимости ионных соединений (физика полупроводников, «кулеровская пара»)

Практика

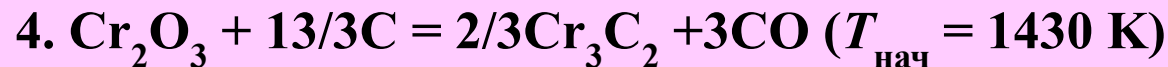
4. Разработка технологических параметров переработки комплексных руд и техногенных материалов.

5. Создание пилотного предприятия («Центр превосходства»)

Теория



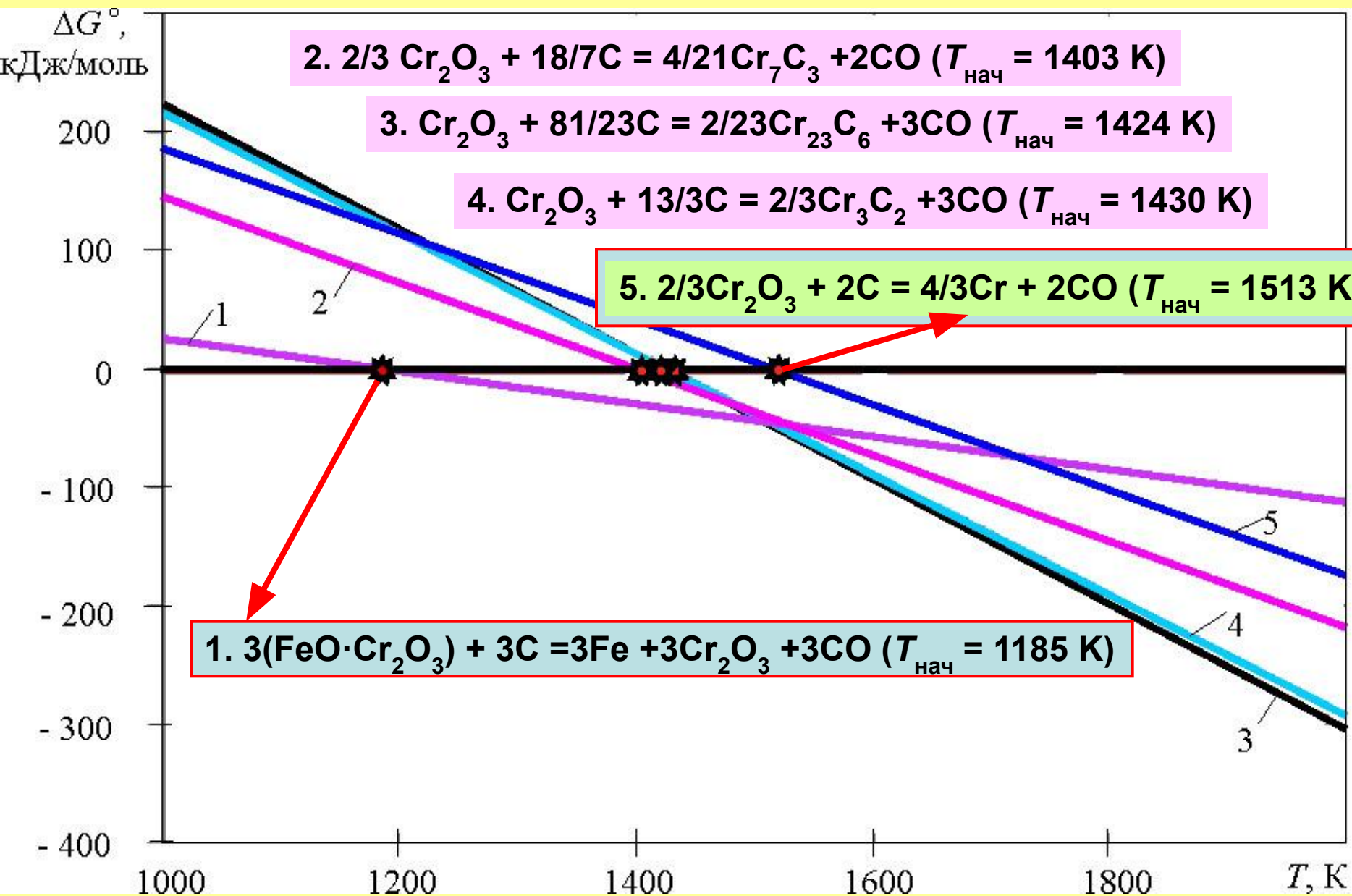
$$\Delta G_T^\circ = 205426 - 162,305T; T_{\text{нач}} = 1185 \text{ K}$$



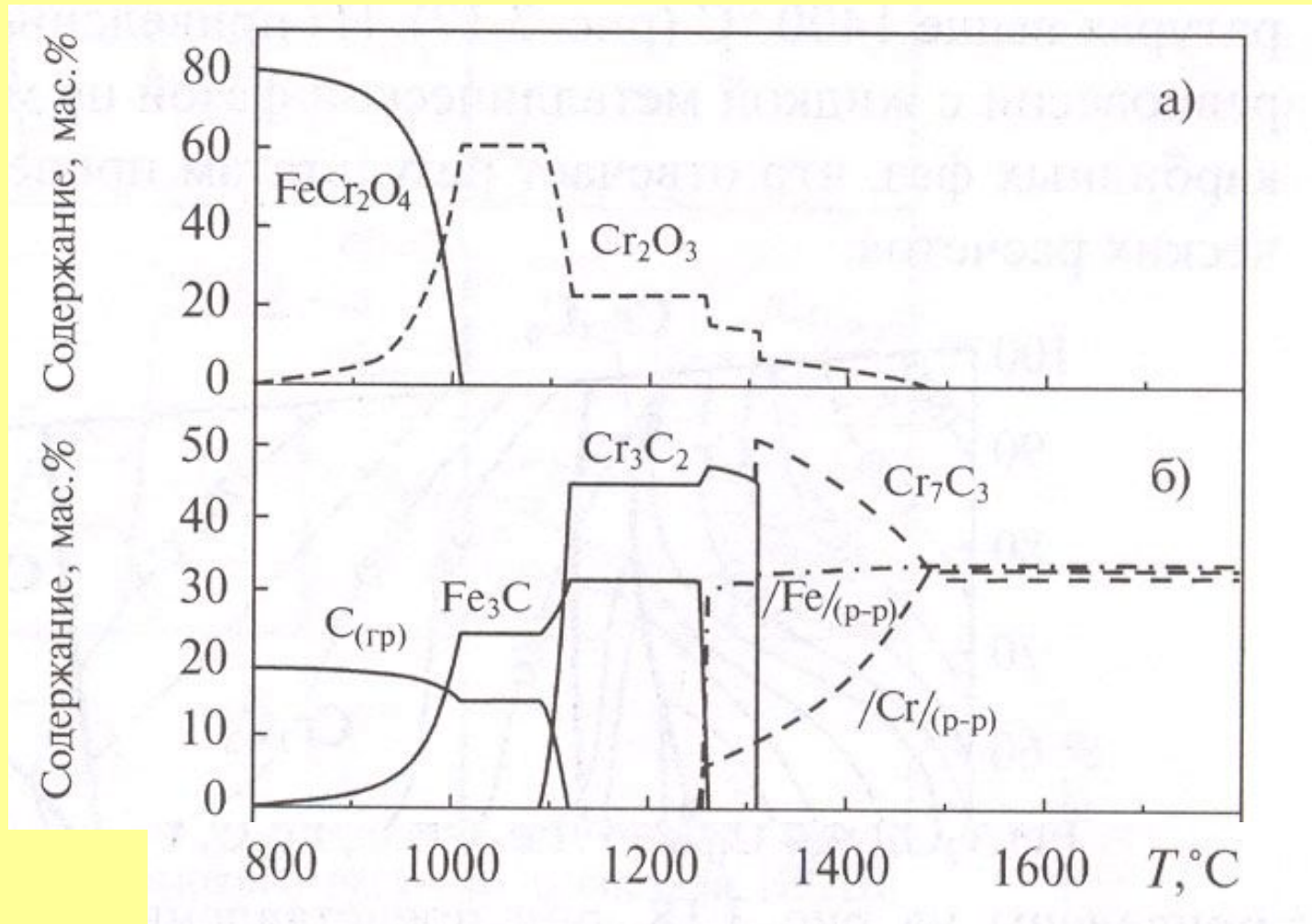
$$\Delta_r G_T^\circ = 0$$

$$\Delta_r G_T^\circ = \Delta_r H^\circ - T_{\text{нв}}^\circ \Delta_r S_T^\circ = 0$$

$$T_{\text{нв}}^\circ = \Delta_r H^\circ / \Delta_r S_T^\circ$$

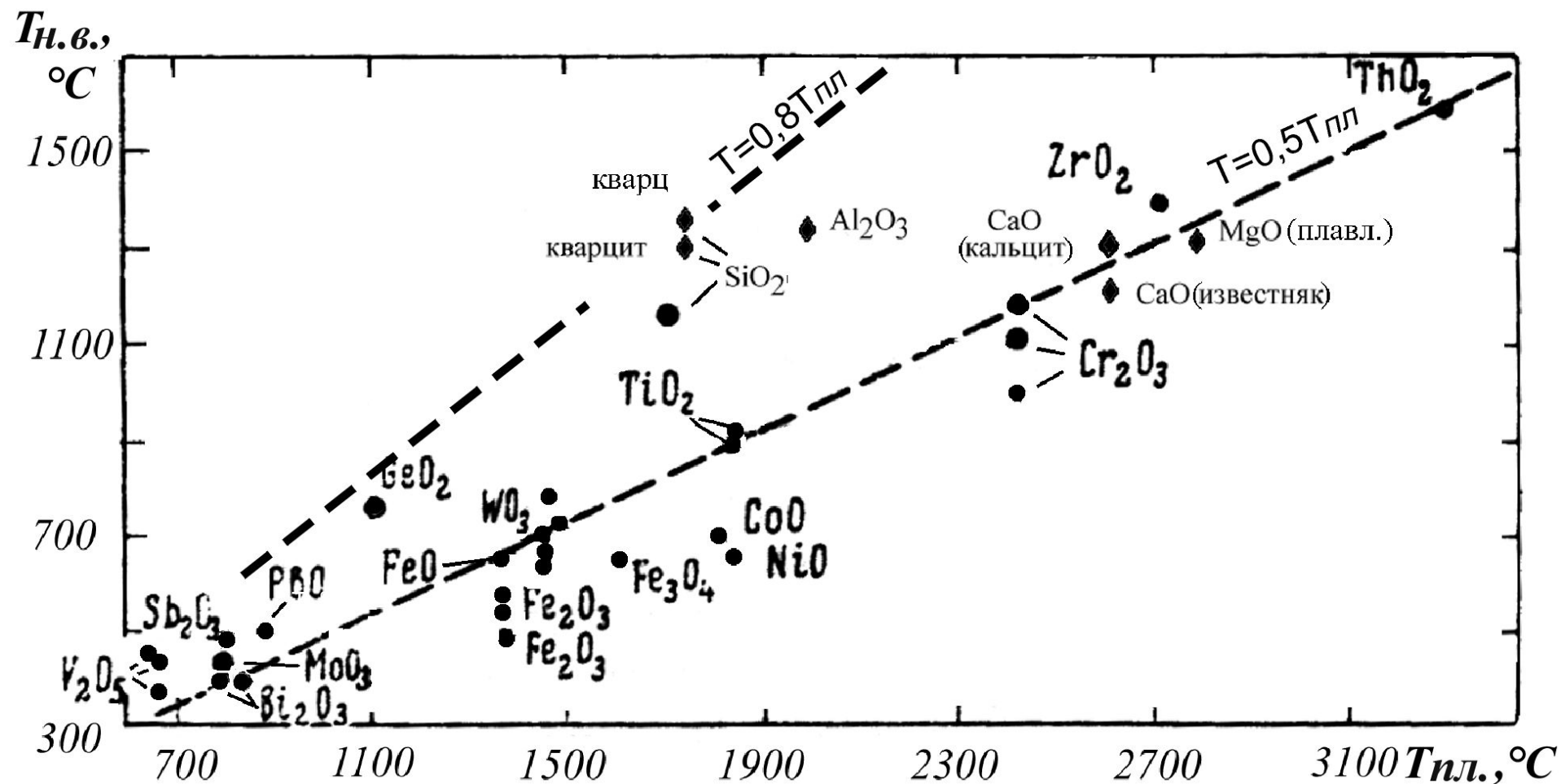


Последовательность восстановления металлов из хромита железа «через образование карбидов»



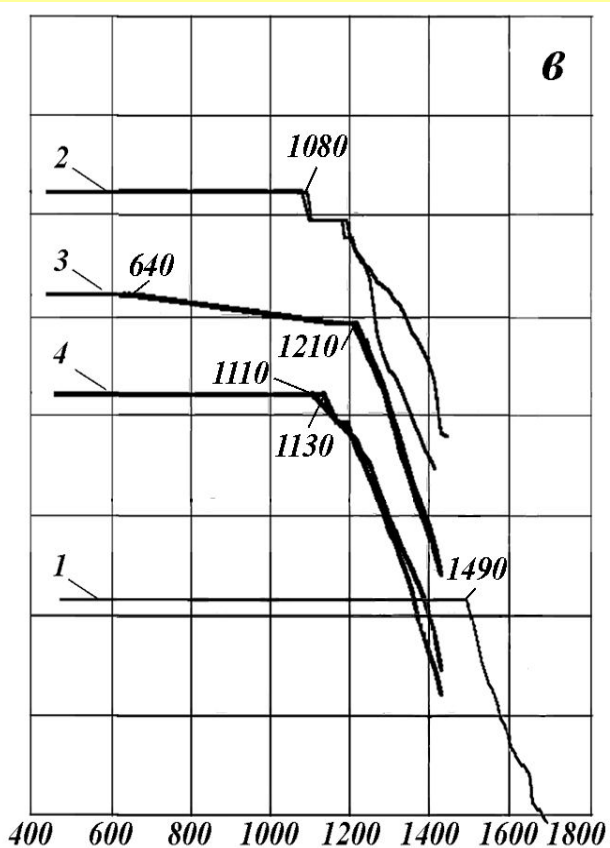
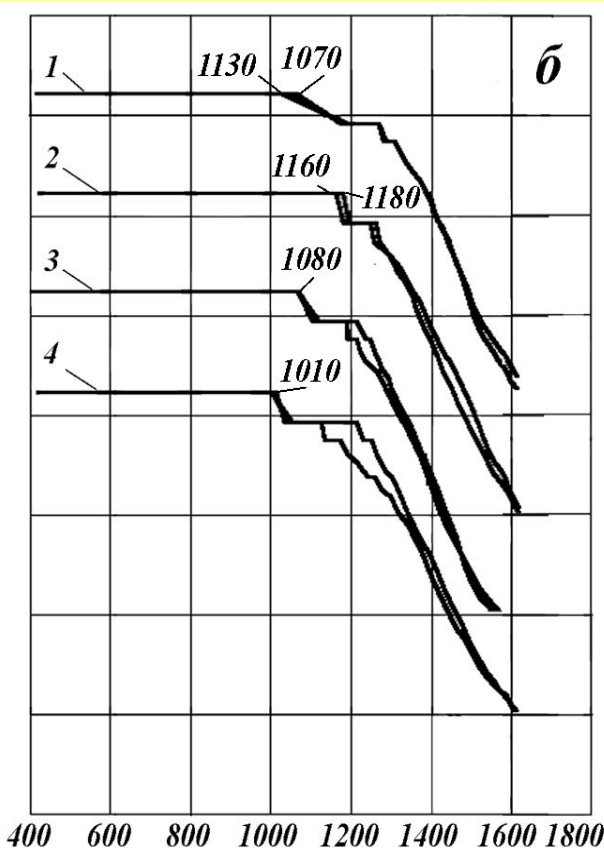
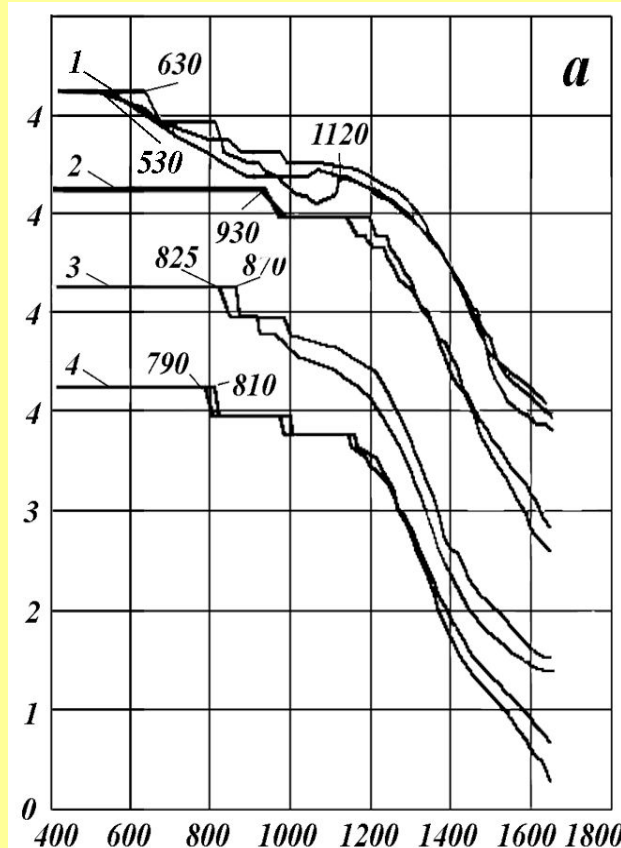
Чернобровин В.П., Пашкеев И.Ю., Михайлов Г.Г. и др. Теоретические основы процессов производства углеродистого феррохрома из уральских руд. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004, 346 с

Зависимость температуры начала восстановления углеродом металлов из оксидов ($T_{н.в.}$) от температуры их плавления ($T_{пл.}$)



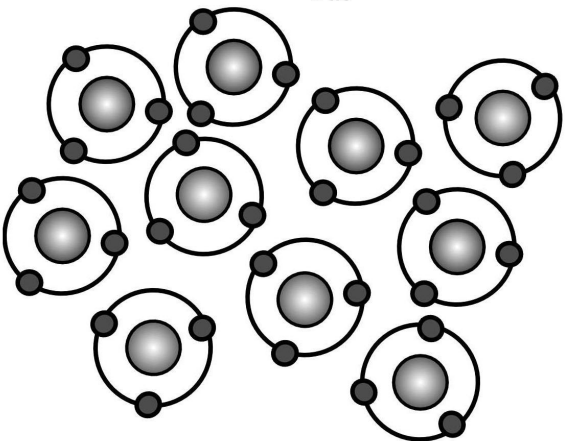
Изменение электропроводности при нагреве хромовых руд

1 – чистая руда, 2-4 – руда в контакте: 2 – с известью, 3 – с углеродом, 4 – известью и углеродом

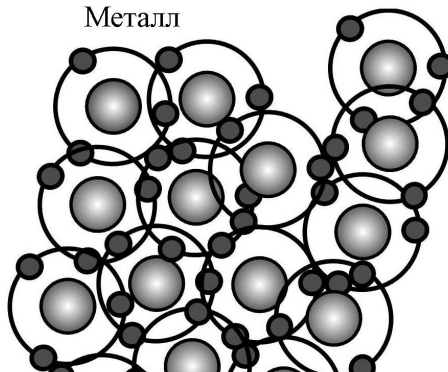


а - сплошная, б и в - средневкрапленные
актюбинская типа I (б) и уфалейская типа II (в)

Газ



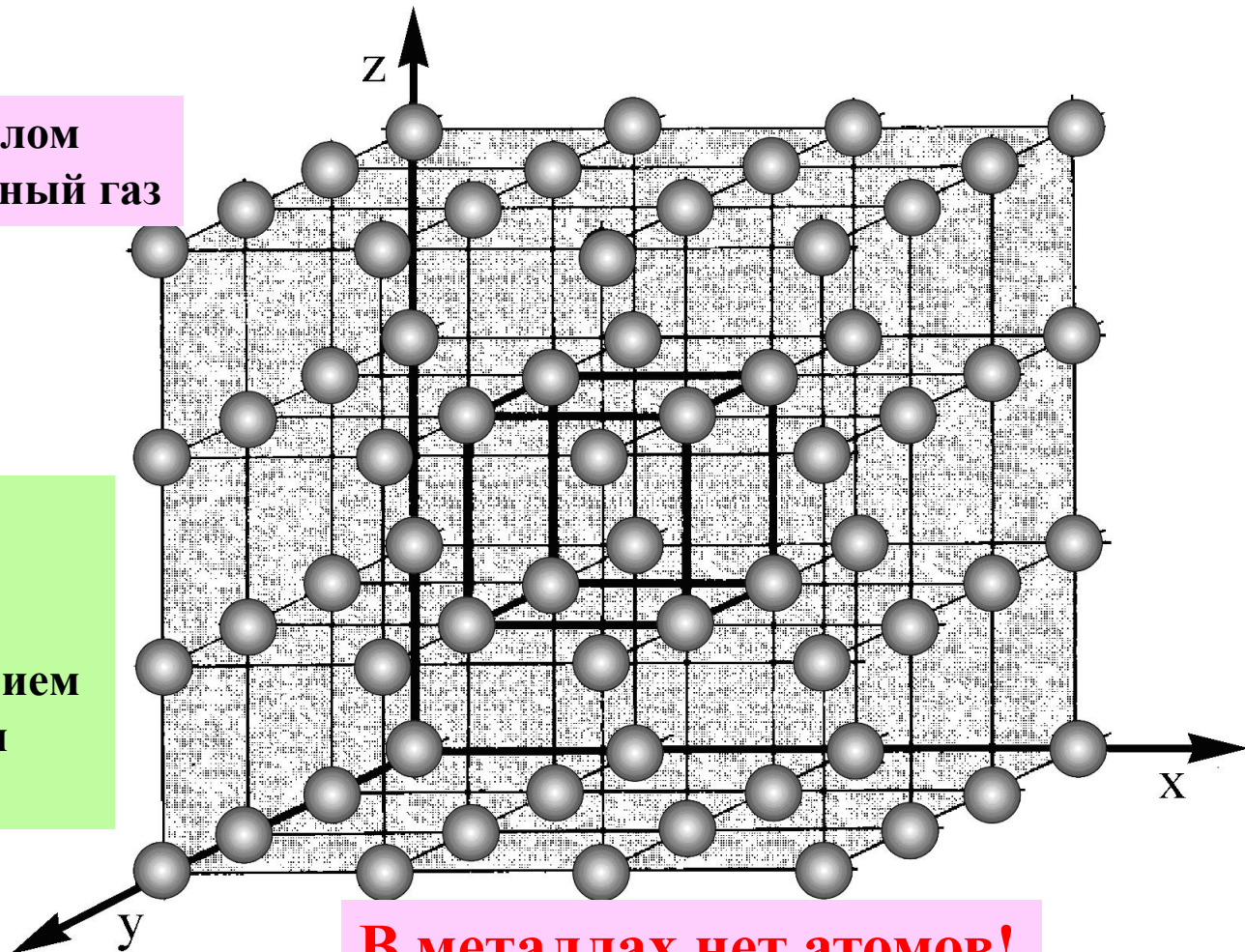
Металл



**Атомы становятся металлом
в результате конденсации
и превращения в катионы**

**Отдельные атомы металлом
не являются – это типичный газ**

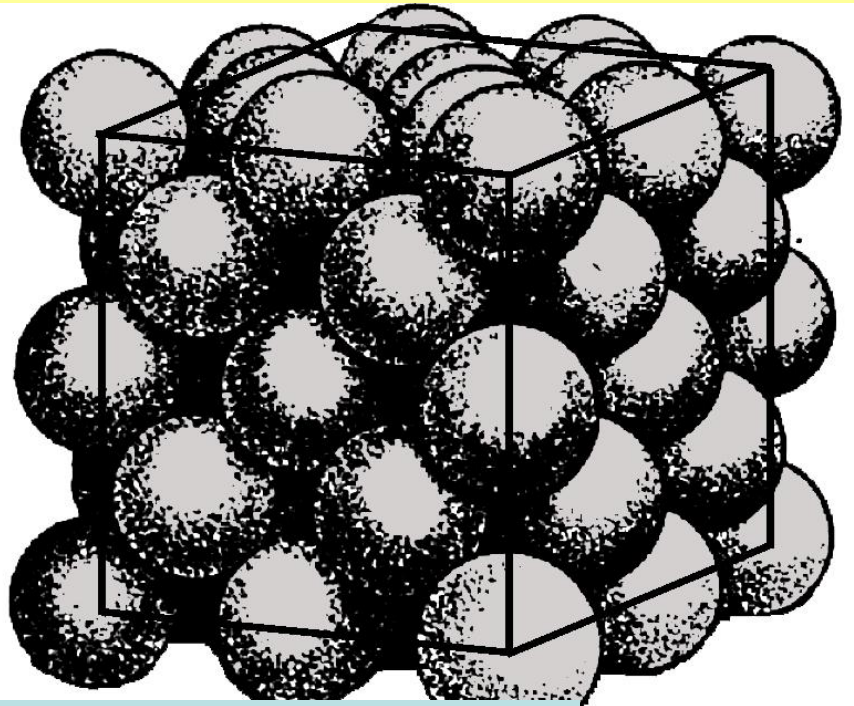
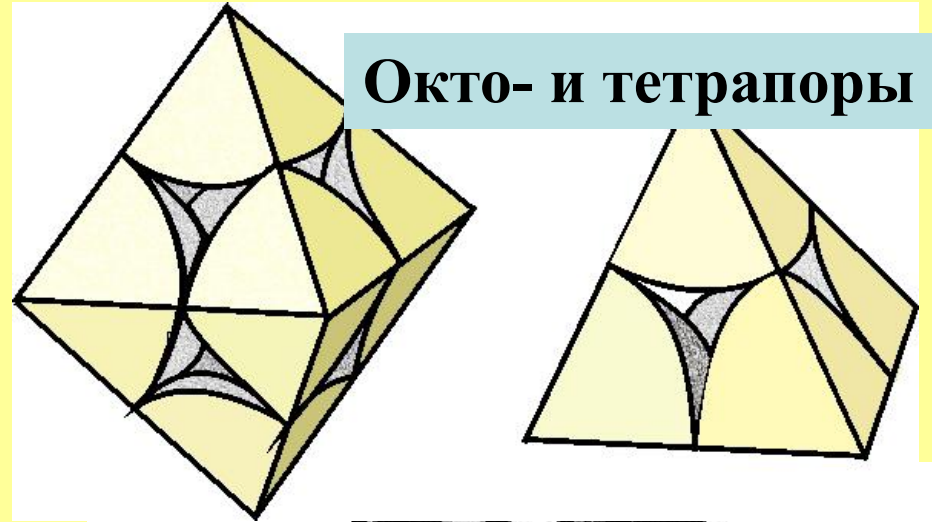
**Вследствие одинакового
взаимодействия всех
катионов происходит их
упорядочение с образованием
кристаллической решётки
(модель Друде)**



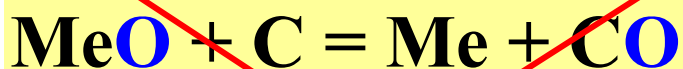
В металлах нет атомов!

В оксидах нет молекул!

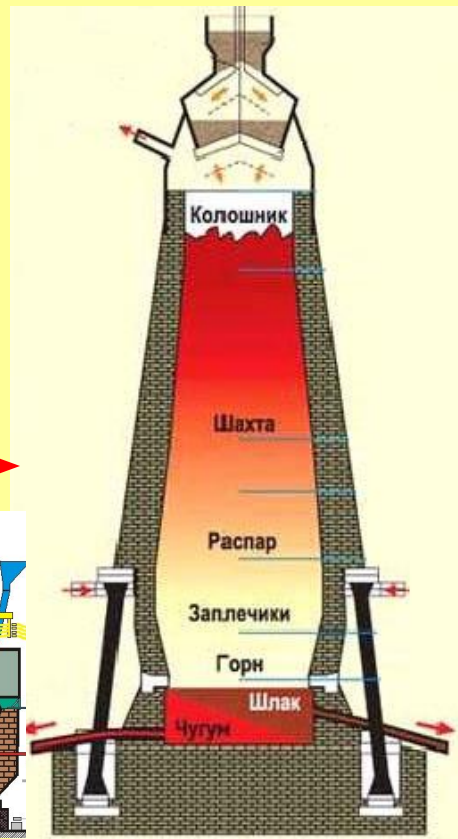
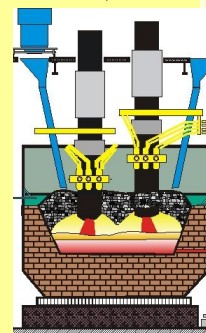
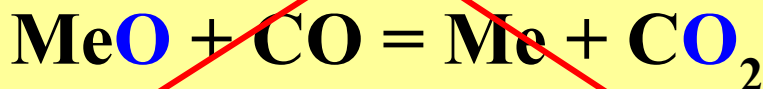
Структура оксидов



В основе современных восстановительных технологий лежат химические процессы удаления из руды кислорода



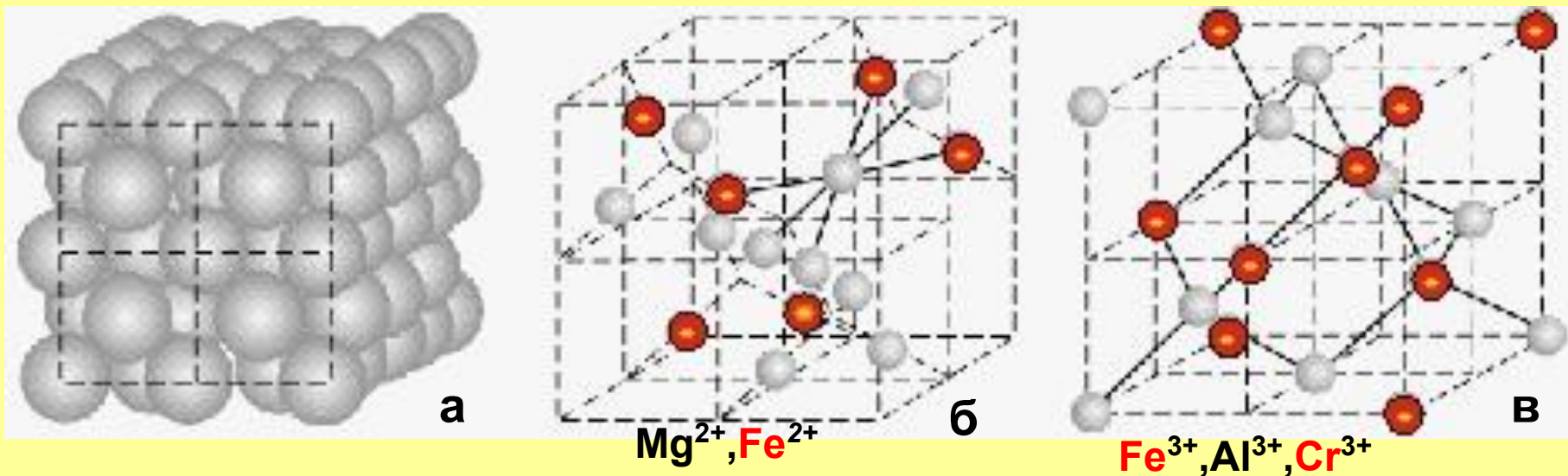
ИЛИ



В оксидах нет молекул!

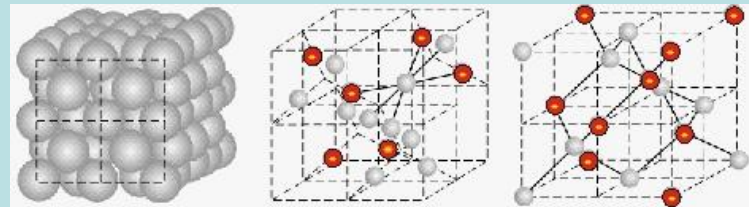
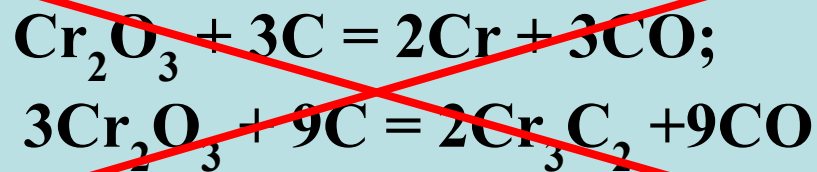
В металле нет атомов!

**Кристаллическая решётка шпинели (Mg_m^{2+}, Fe_n^{2+})[$Fe_x^{3+}, Al_y^{3+}, Cr_z^{3+}$]O₄:
плотнейшая упаковка анионов и множество катионных вакансий**

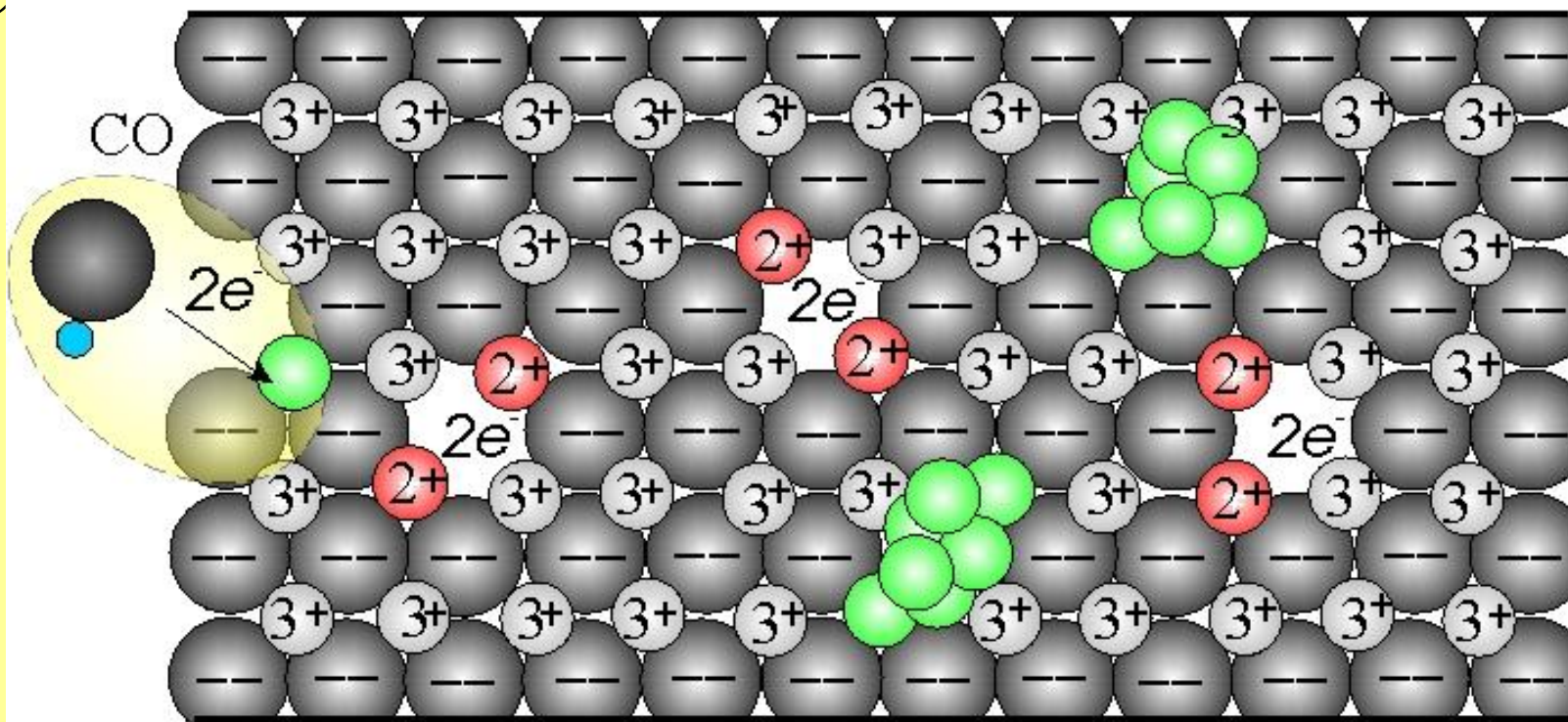


а – плотнейшая упаковка анионов, *б* – катионы Me^{2+} в тетраэдрических порах, *в* – катионы Me^{3+} в октаэдрических порах анионной подрешётки

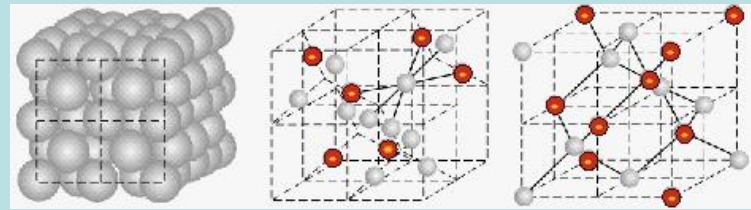
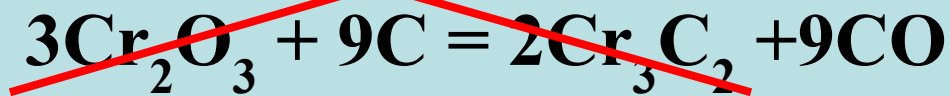
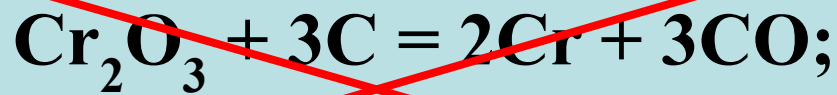
В комплексных рудах катионы восстанавливаемых металлов (Fe, Cr, Mn и др.) вследствие одинаковых зарядов и близких размеров с катионами невосстанавливаемых металлов (Mg, Al, Ti и др.) изоморфно замещают друг друга в тетра- и октапорах плотноупакованной анионной подрешётки.



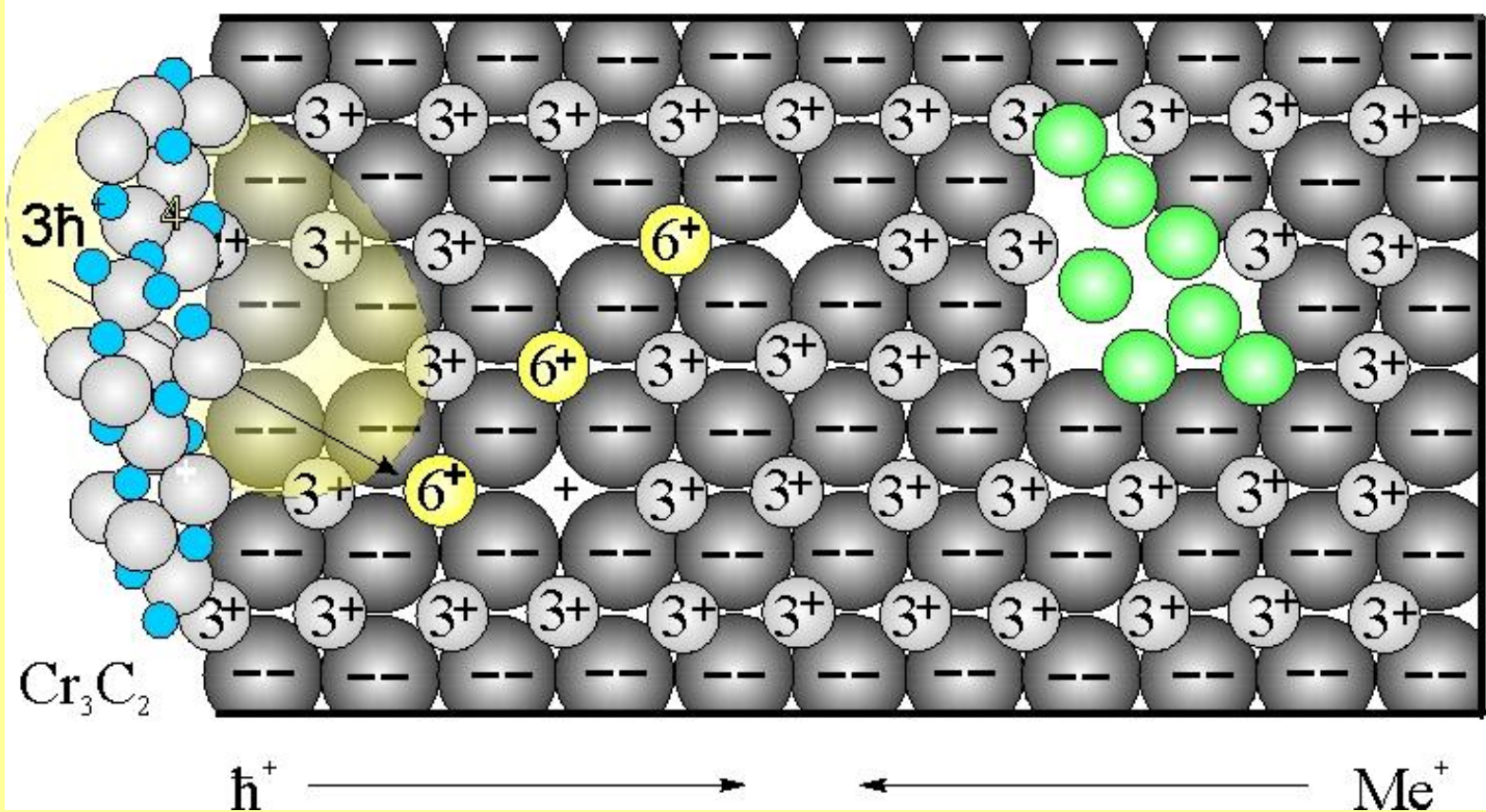
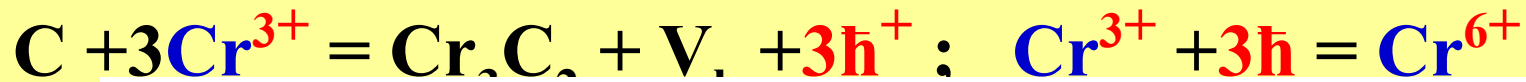
В оксидах элементы находятся в виде ионов Cr^{3+} и O^{2-} , поэтому



При удалении аниона кислорода образуется металлический хром O^{2-}



В оксидах элементы находятся в виде ионов Cr^{3+} и O^{2-} , поэтому



При удалении катиона хрома образуется шестизарядный хром

В кристаллической решётке оксидов элементы находятся в виде ионов Me^{2+} и O^{2-} , поэтому $\text{C} + \text{O}^{2-} = \text{CO} + \text{Va} + 2\bar{e}$; $\text{Me}^{2+} + 2\bar{e} = \text{Me}^0$

$$\Delta_r G_T^0 = 0$$

$$\Delta_r G_T^0 = \Delta_r H^0 - T_{нв}^0 \Delta_r S_T^0 = 0$$

$$T_{нв}^0 = \Delta_r H^0 / \Delta_r S_T^0$$

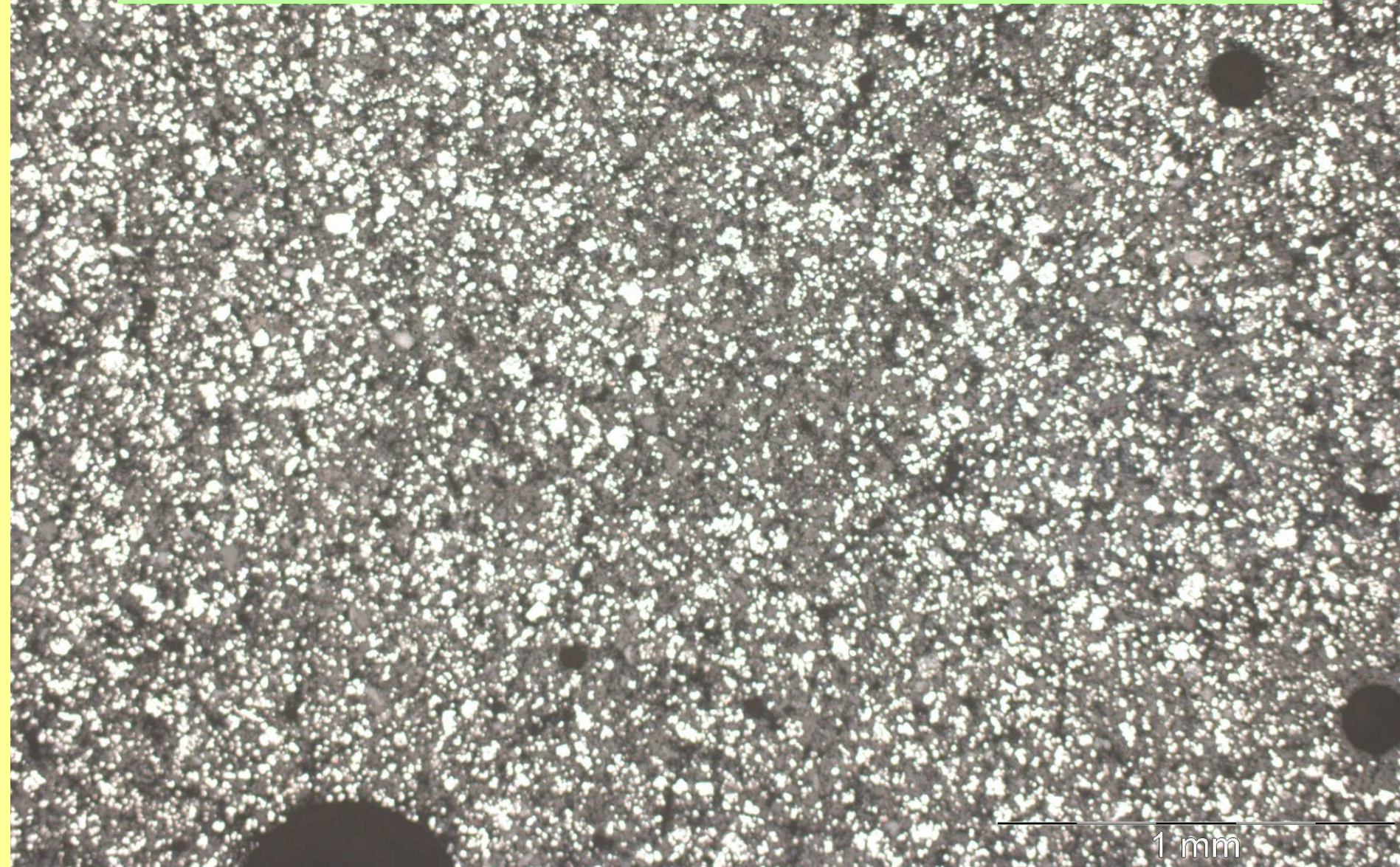
Практика

1. Сидериты.
2. Титаномагнетиты.
3. Хромиты.
4. Шлаки и шламы.

Кусочки сидеритовой руды после восстановления железа



Металло-магнезиальный композит в куске сидеритовой руды



1 mm

**Растворение металло-магнезиального
композиата в сталеплавильном шлаке АМЗ**

1 mm

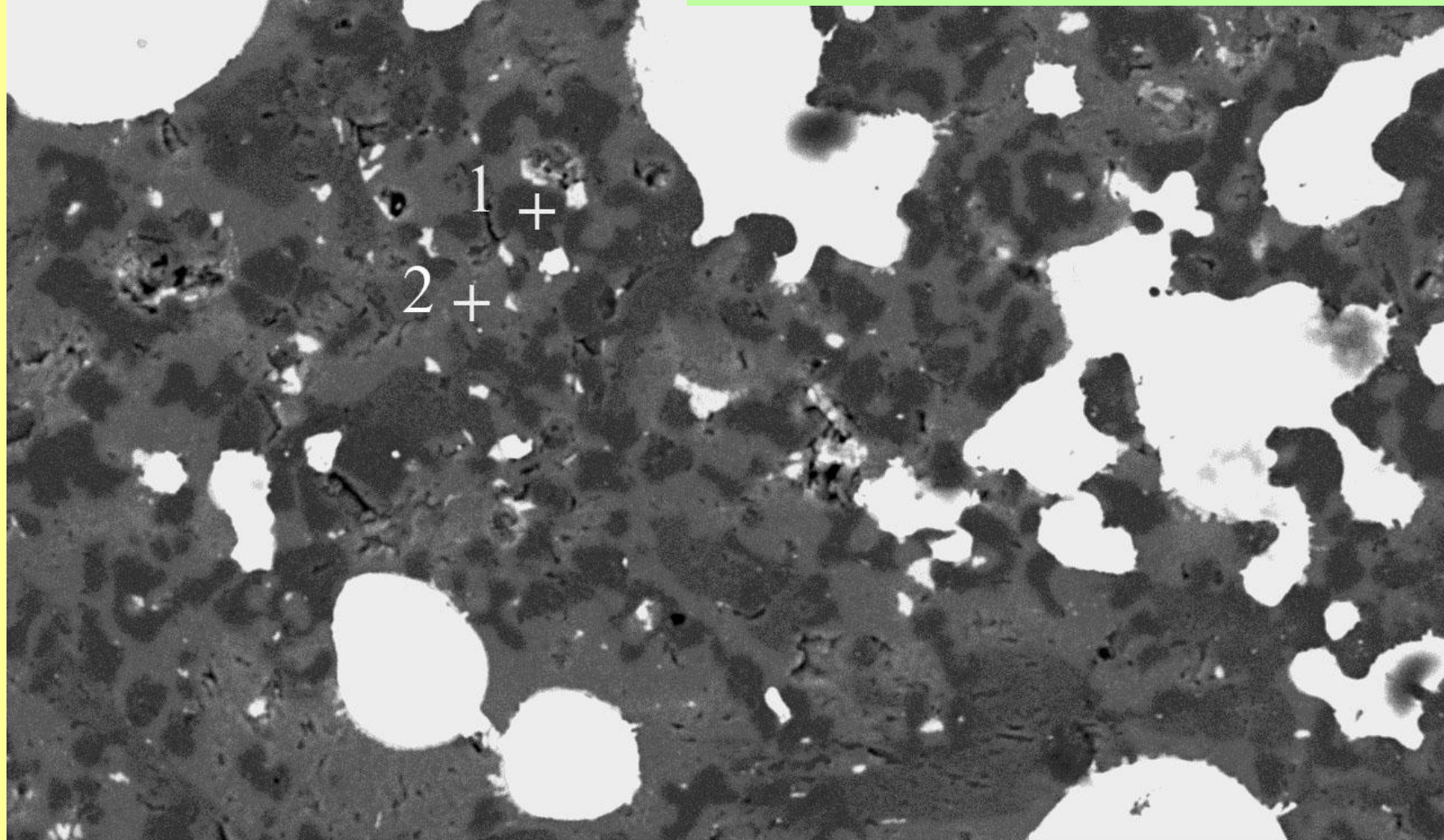
Состав оксидов, % масс.:

1 – 80,08 MgO; 0,59 Al₂O₃;

0,22 SiO₂; 0,29 CaO; 7,84 MnO; 10,98 FeO;

2 – 25,74 MgO; 0,80 Al₂O₃; 37,57 SiO₂;

26,74 CaO; 5,79 MnO; 3,35 FeO



X 400

20.0kV COMPO SEM

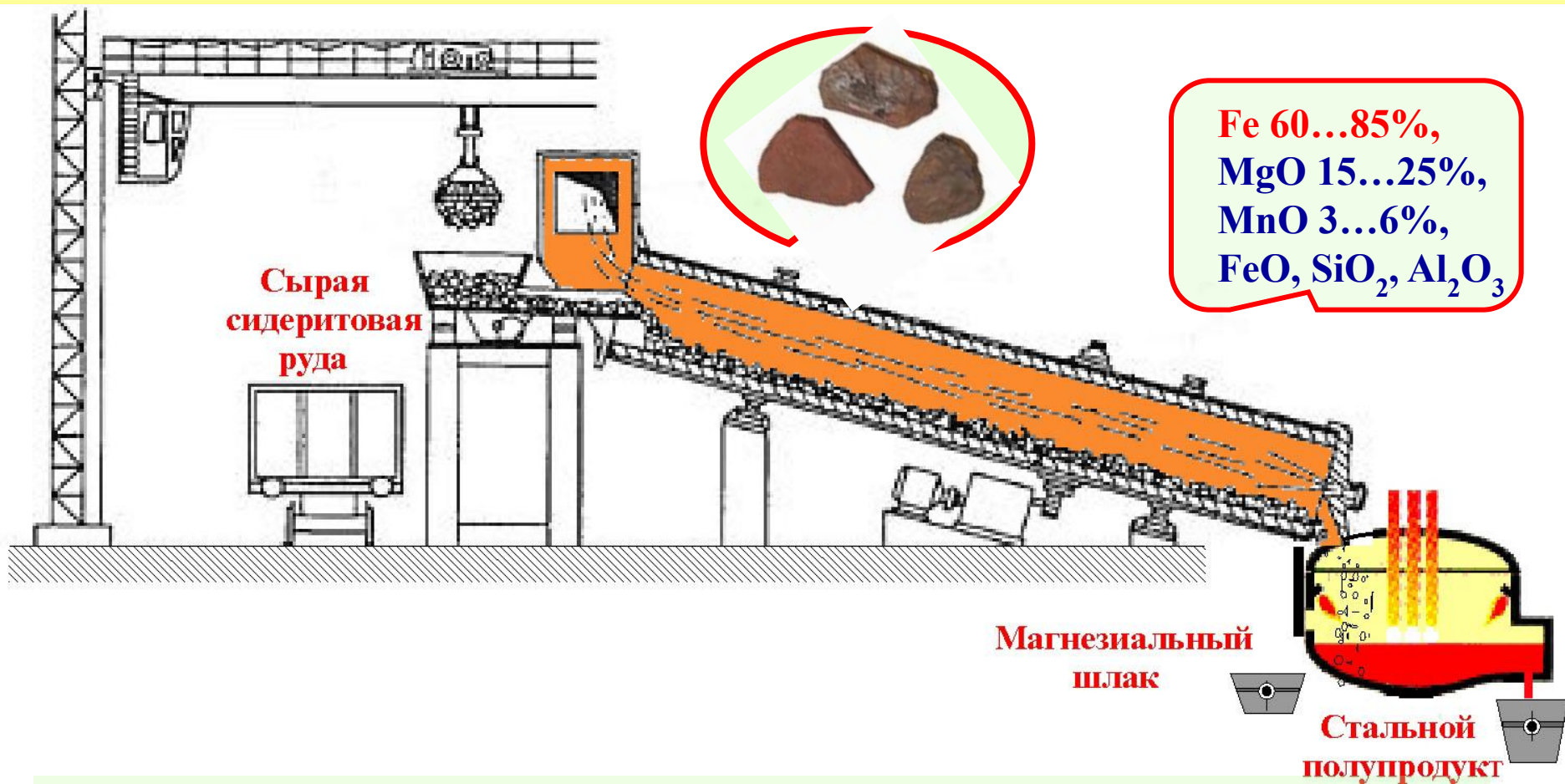
10µm JEOL

11/21/2013

WD 10mm

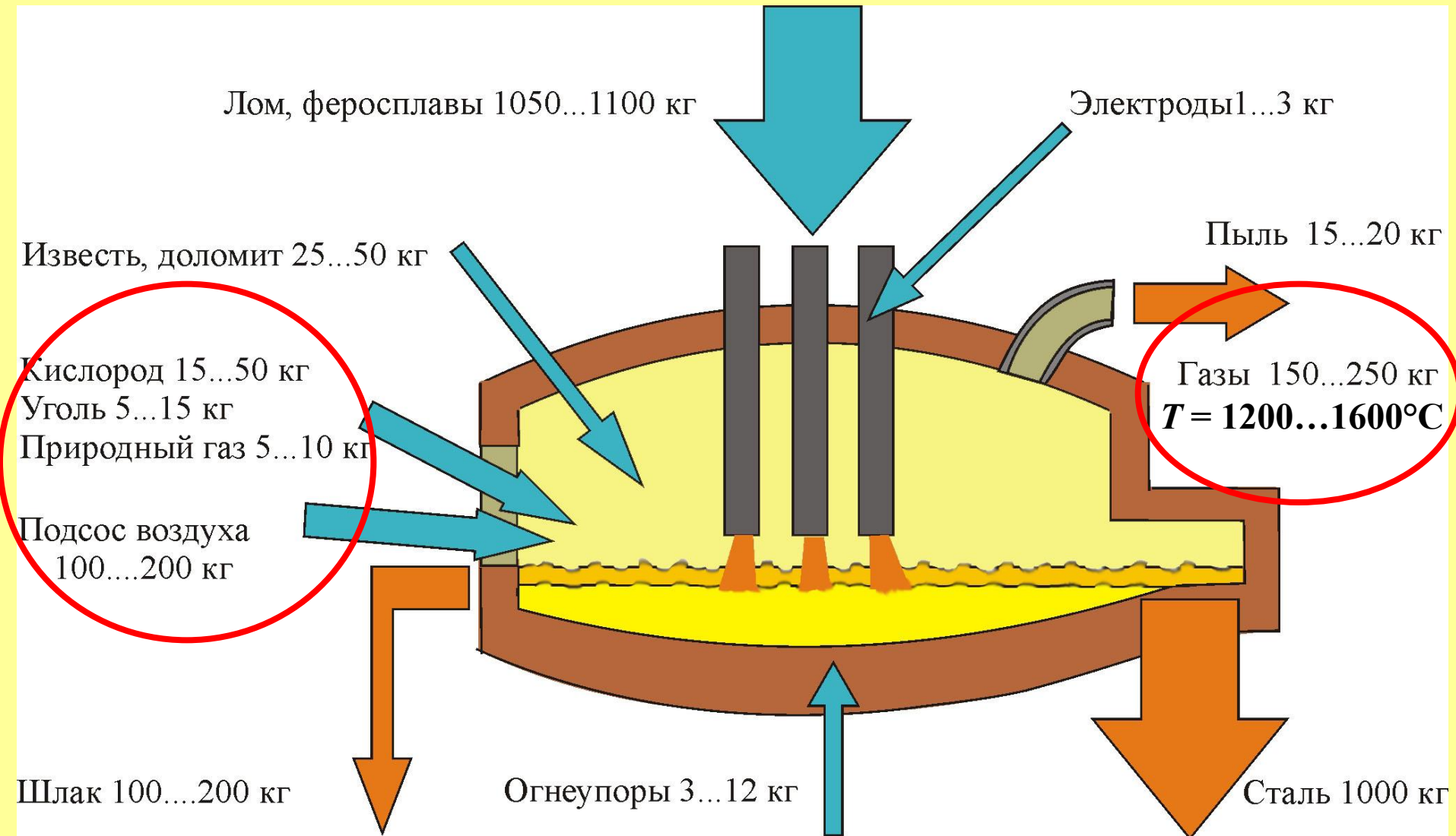
12:50:55

Безотходная технология получения стали и магнезиального флюса из кусковой сидеритовой руды

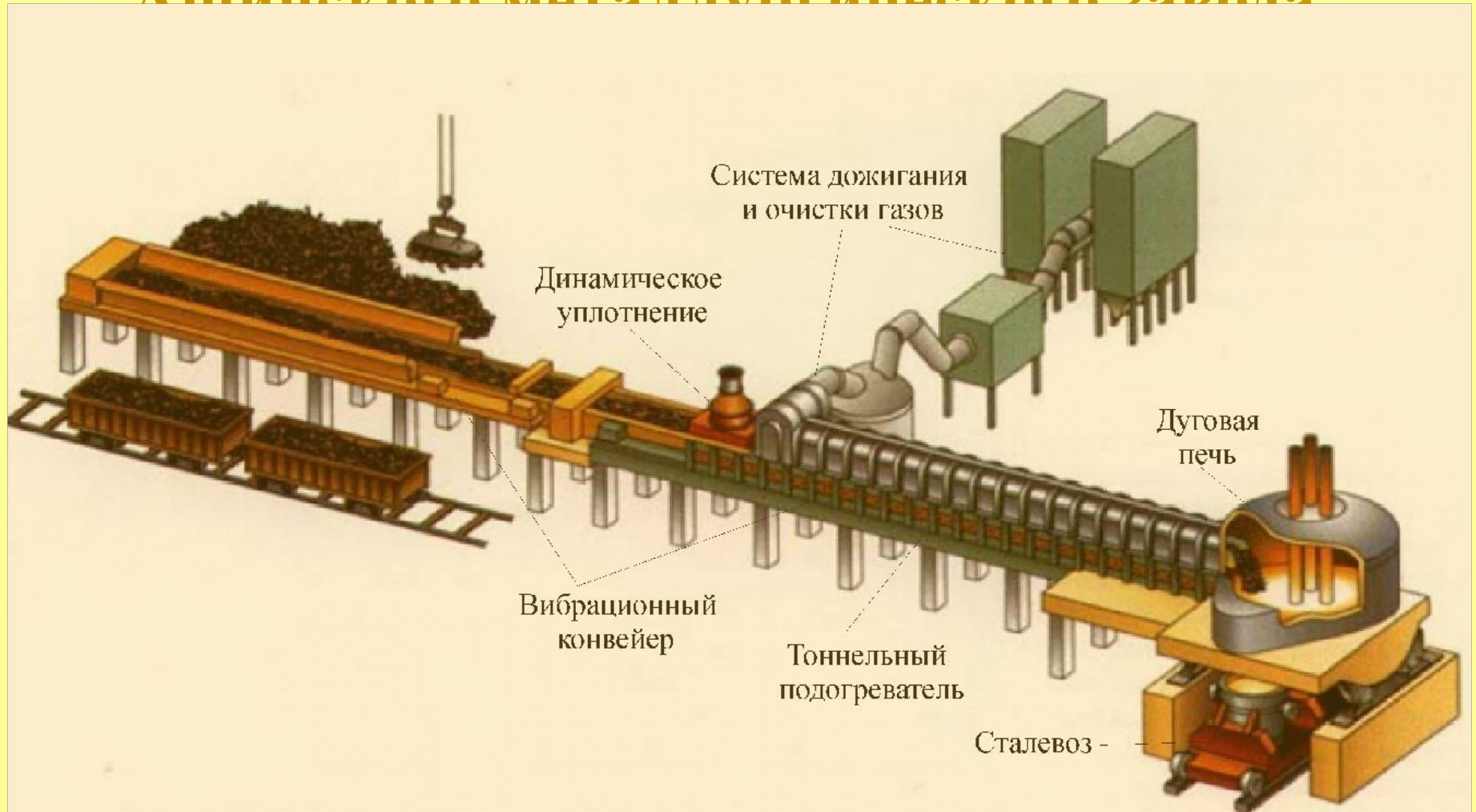


Годовое потребление магнезиальных флюсов в России превышает 300 тыс. т.

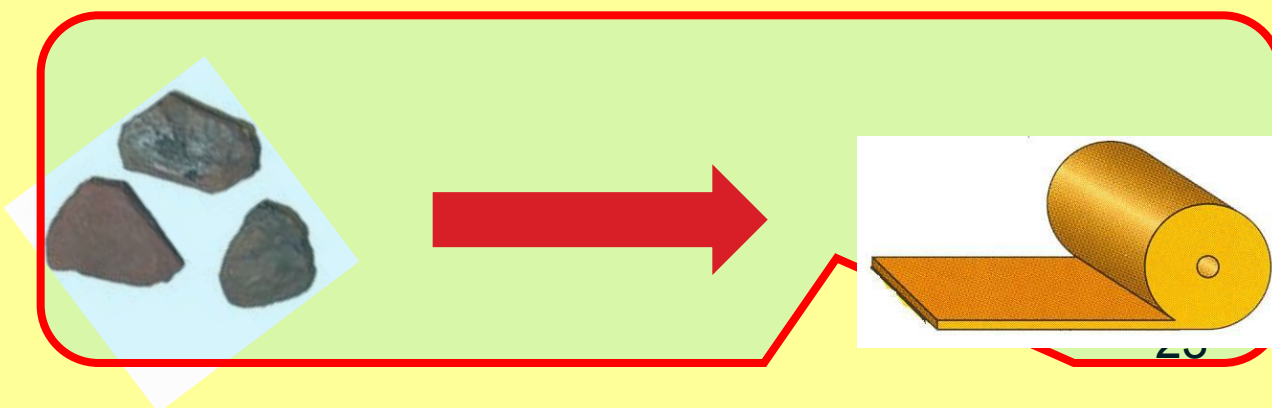
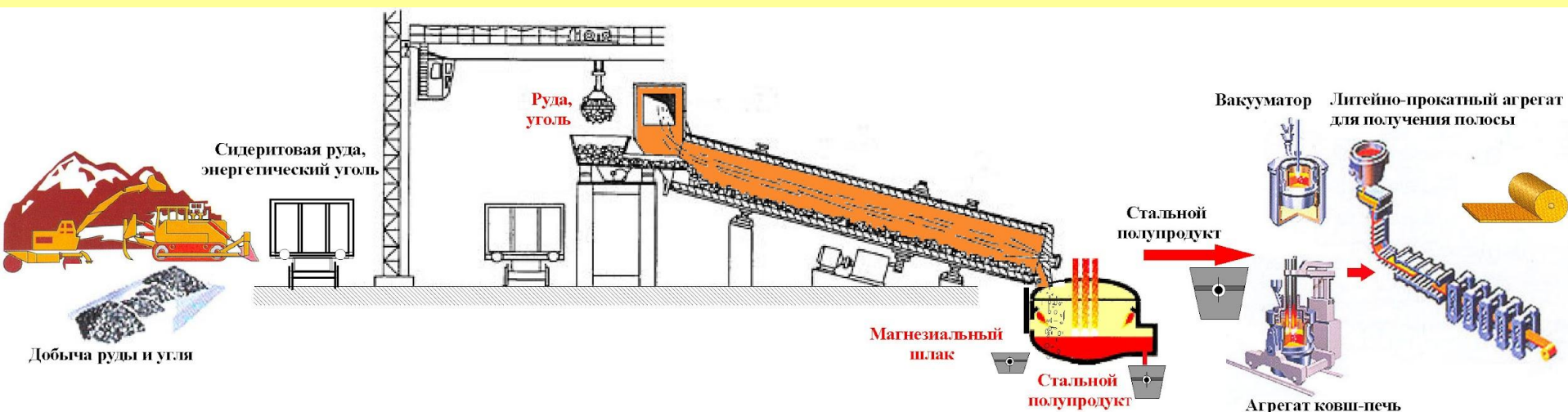
Расход материалов на 1т стали при плавке на металлическом ломе



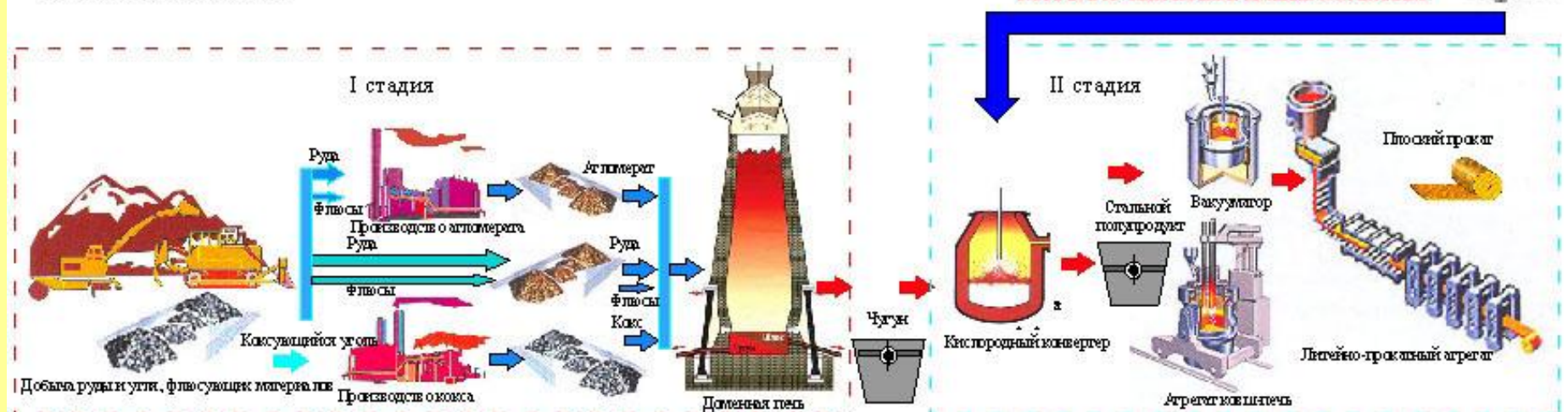
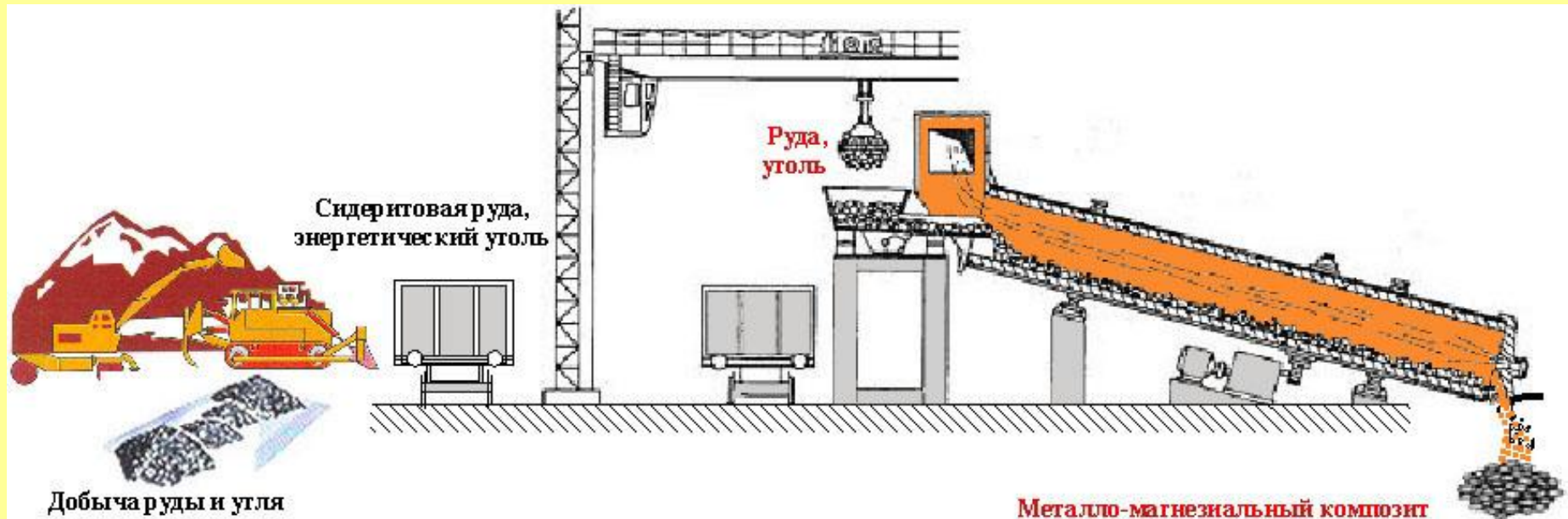
Железо-магнезиальный композит - идеальный шихтовый материал для Ачинского металлургического завода



Восстановленное из сидеритовой руды чистое железо — идеальное сырьё для производства плоского проката



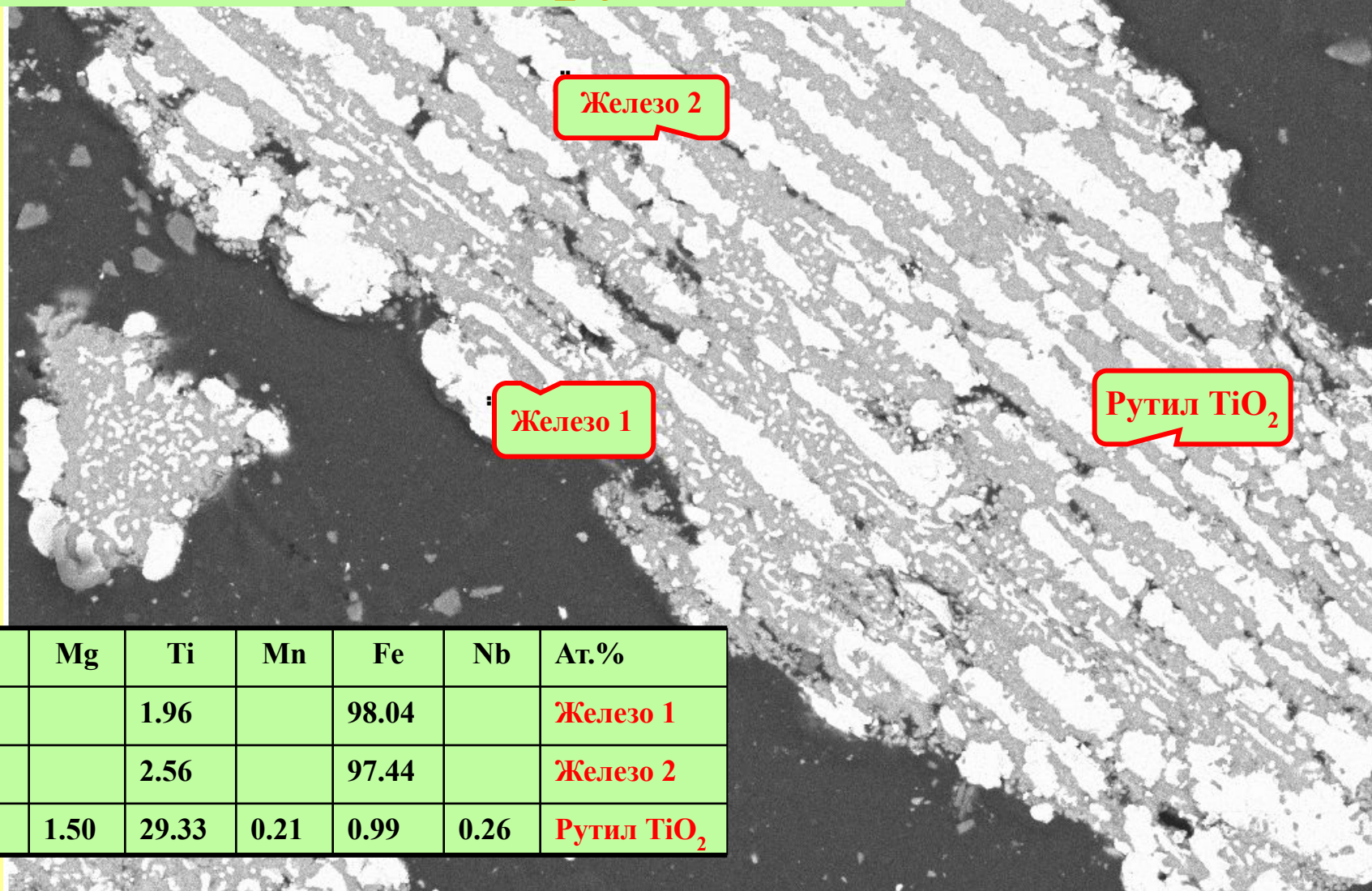
Железо-магнезиальный композит пригоден в качестве добавки чистого железа и магнезии в конвертер на интегрированных заводах



Получение стали и диоксида титана из ильменитовой и титаномагнетитовой руд — идеальная перспектива для Златоустовского металлургического завода



Железо и диоксид титана в ильменитовой руде

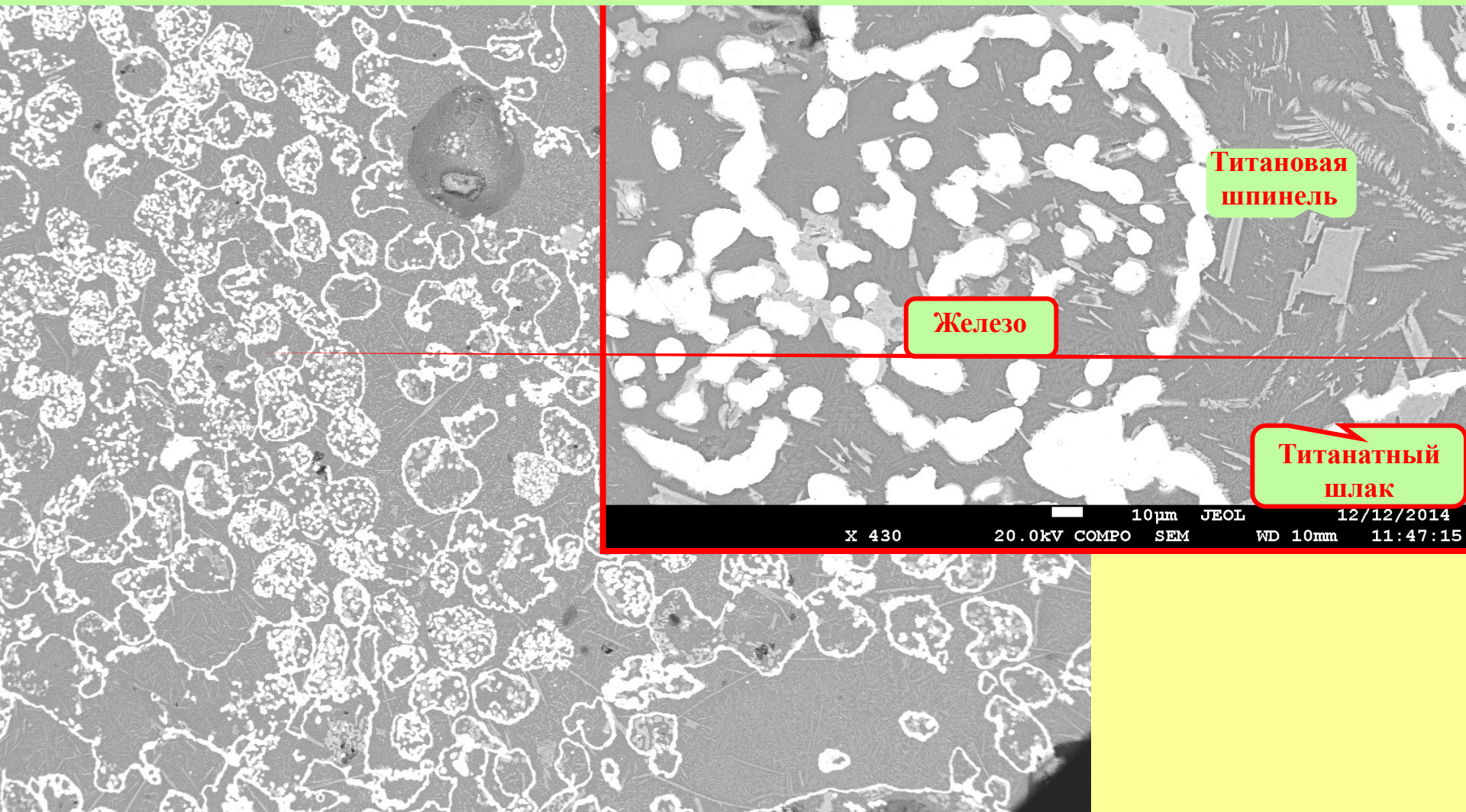


	O	Mg	Ti	Mn	Fe	Nb	Ат.%
1			1.96		98.04		Железо 1
2			2.56		97.44		Железо 2
3	67.71	1.50	29.33	0.21	0.99	0.26	Рутил TiO ₂

100мкм

Электронное изображение 1

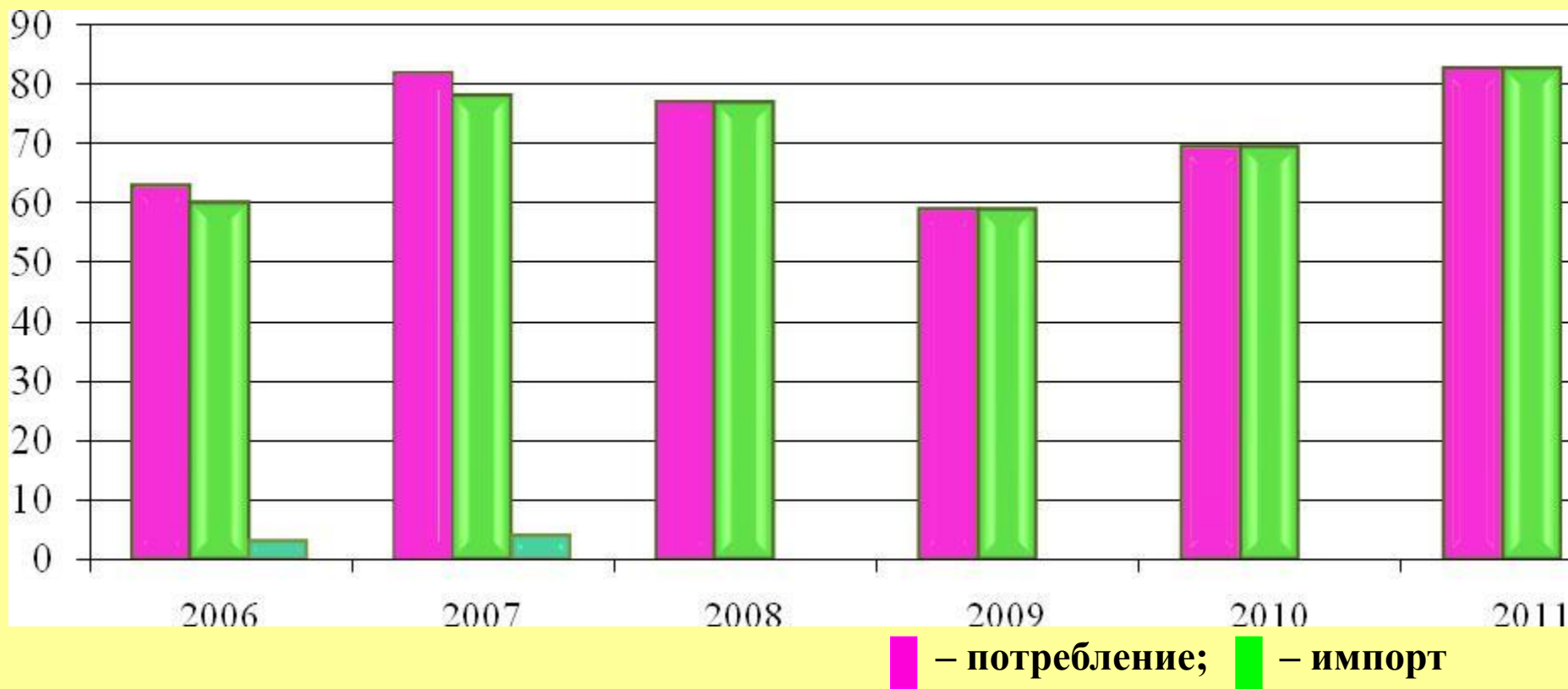
Железо и титанатный шлак титаномагнетитовой руды



100µm JEOL 12/12/2014 WD 10mm 11:45:24

ат	O	Mg	Al	Si	Ca	Ti	V	Mn	Fe
1				0.7		0.5			98.8
2	63.5	3.2	1.8	0.3	0.1	23	2	0.2	5.9

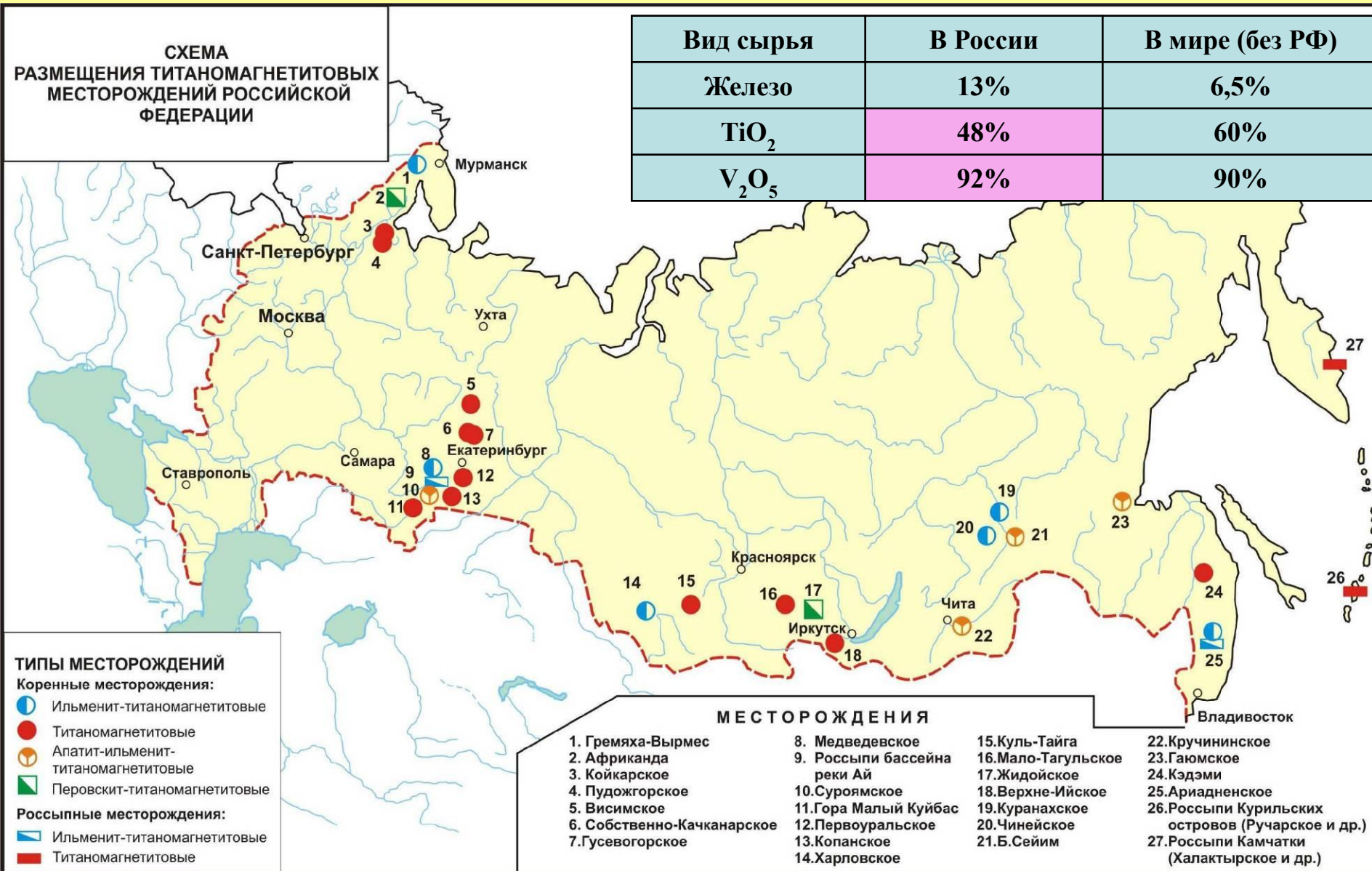
Потребность РФ в диоксиде титана (тыс.т/год)



В настоящее время **вся потребность РФ в диоксиде титана закрывается за счет импорта**

В титаномагнетитовых (железных) рудах сосредоточен практически весь ванадий и половина мировых запасов титана

Вид сырья	В России	В мире (без РФ)
Железо	13%	6,5%
TiO ₂	48%	60%
V ₂ O ₅	92%	90%

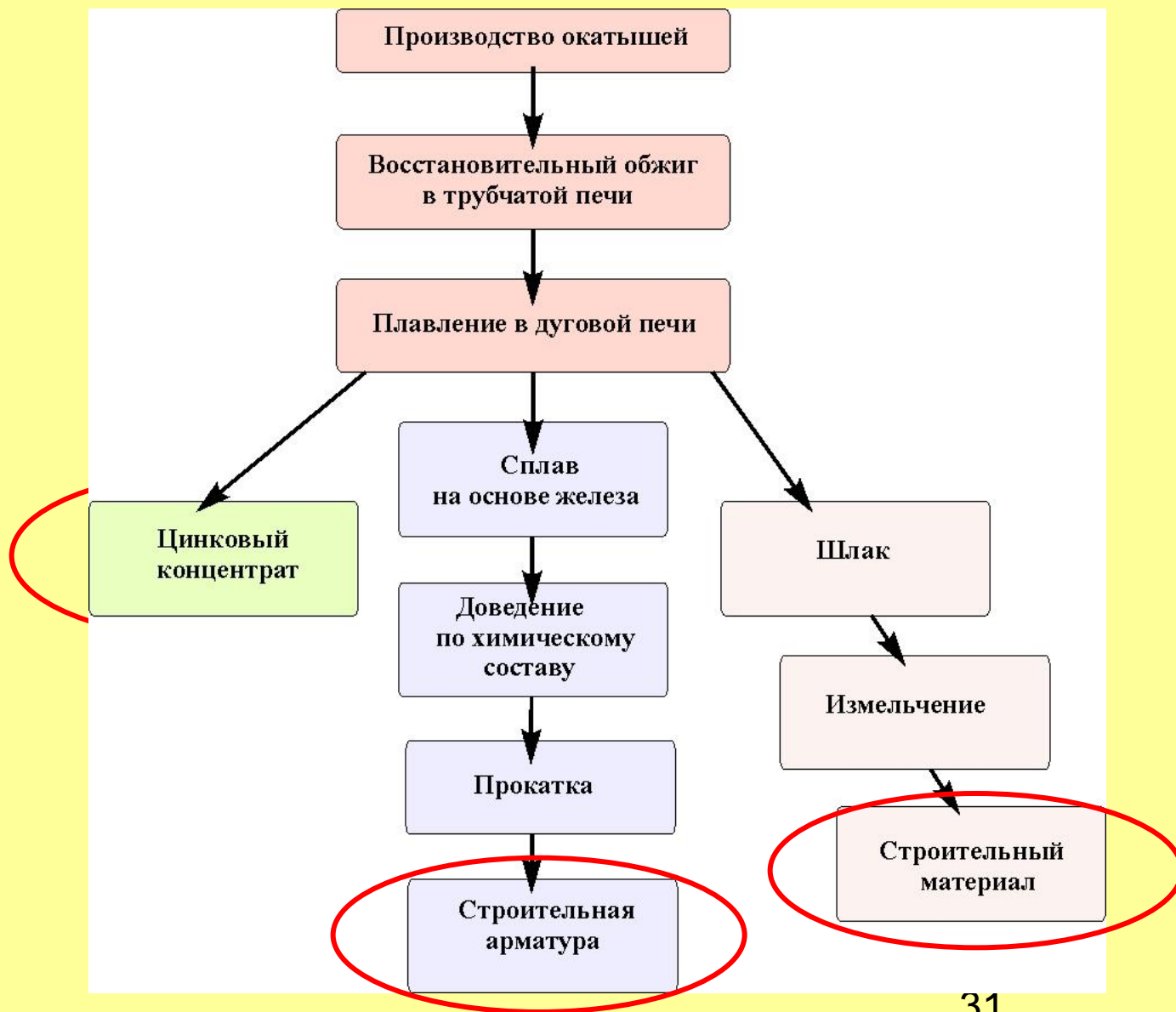


Вблизи г. Златоуста (15 и 30 км) находятся два наиболее перспективных по содержанию Ti и V месторождения – Медведёвское и Копанское (6 млрд. т)

Месторождение	Минеральный тип руд	Титаномагнетитов. концентрат			Ильменитовый концентрат		
		Fe _{общ}	TiO ₂	V ₂ O ₅	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	V ₂ O ₅
Медведёвское	Ильменит-титаномагнетитовые	56,7	12,5	0,80	44,1	35,2-36,3	0,13-0,21
Копанское	Ильменит-титаномагнетитовые	60	11	0,85	40,2	39	-
Собственно Качканарское	Титаномагнетитовые	55-59	3,6	0,4-0,55	-	-	-

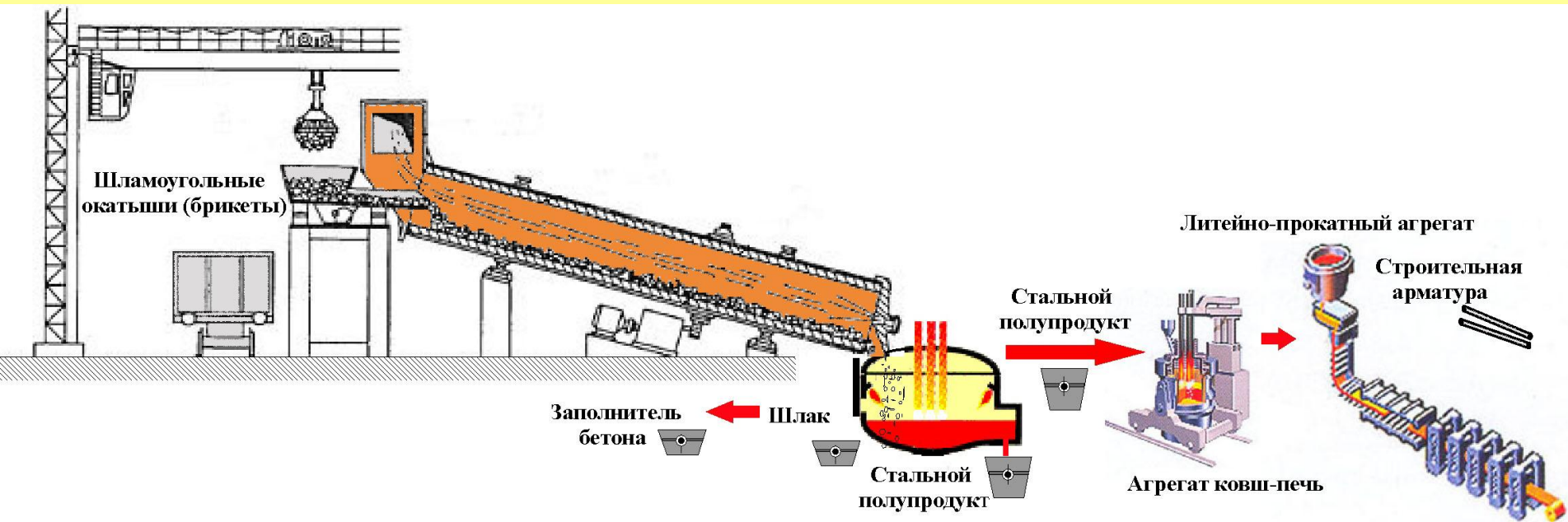
Концентраты этих руд по содержанию ванадия и титана существенно богаче перерабатываемых в настоящее время на НТМК Качканарских концентратов

Схема безотходной переработки шламов



На выходе три востребованных продукта

Технологическая линия мини-завода по переработке медеплавильных шлаков



Арматурный пруток из стали, полученной из железа медеплавильных шлаков

C	S	P	Cu	Si	Mn	As	Ni	Cr	Al
0.28	0.04	0.04	0.97	0.58	1.32	0.18	0.17	0.08	0.14

