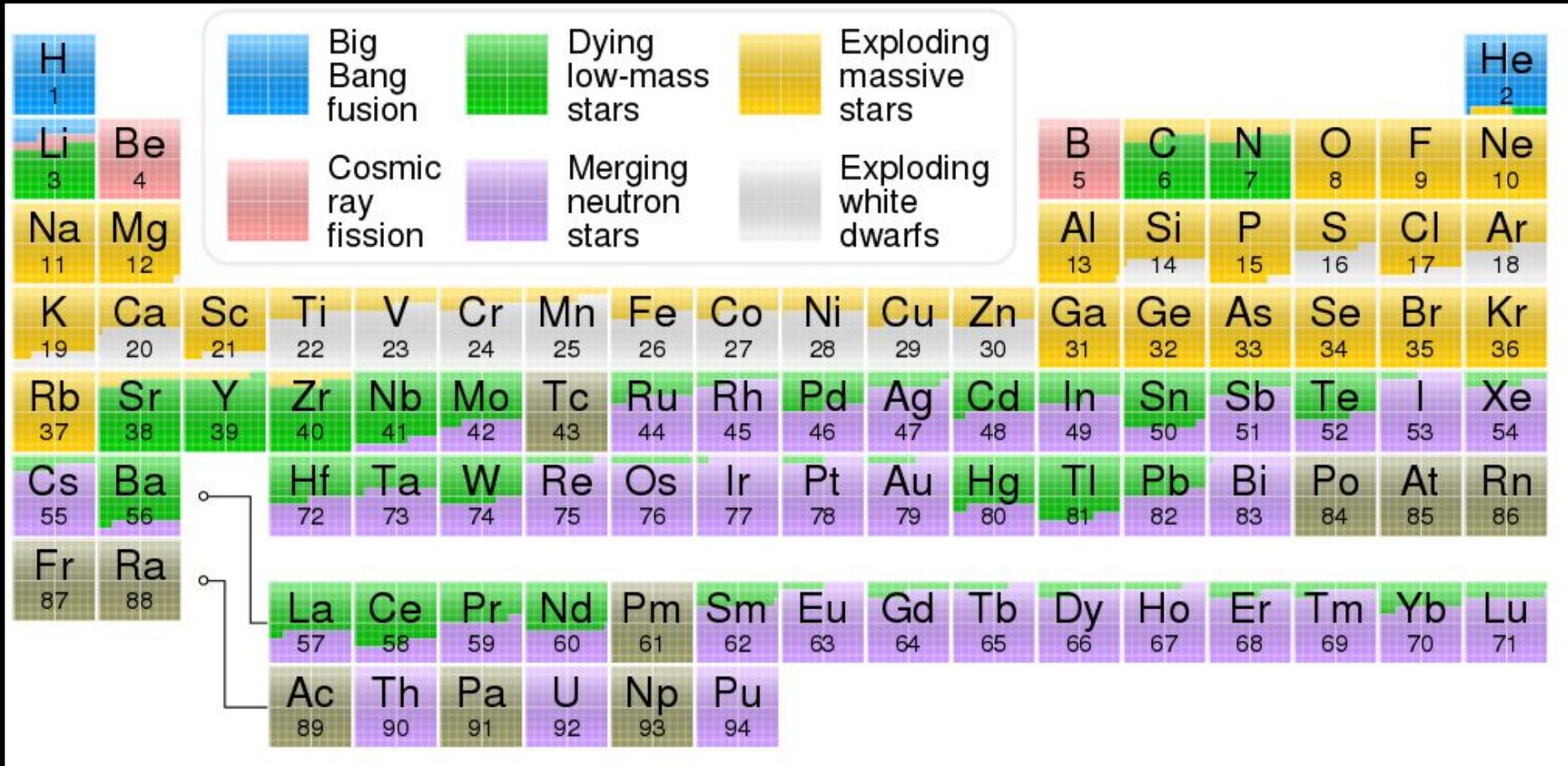


Железо

от начала времен до конца средних веков



Пути происхождения химических элементов



Образование железа

Sirius B

Масса 0.98 массы
Солнца
Радиус 12000 км
Температура 25000 К



Образование железа

Сверхновая тип Ia
SN2011fe в галактике M101



Образование железа



Образование железа

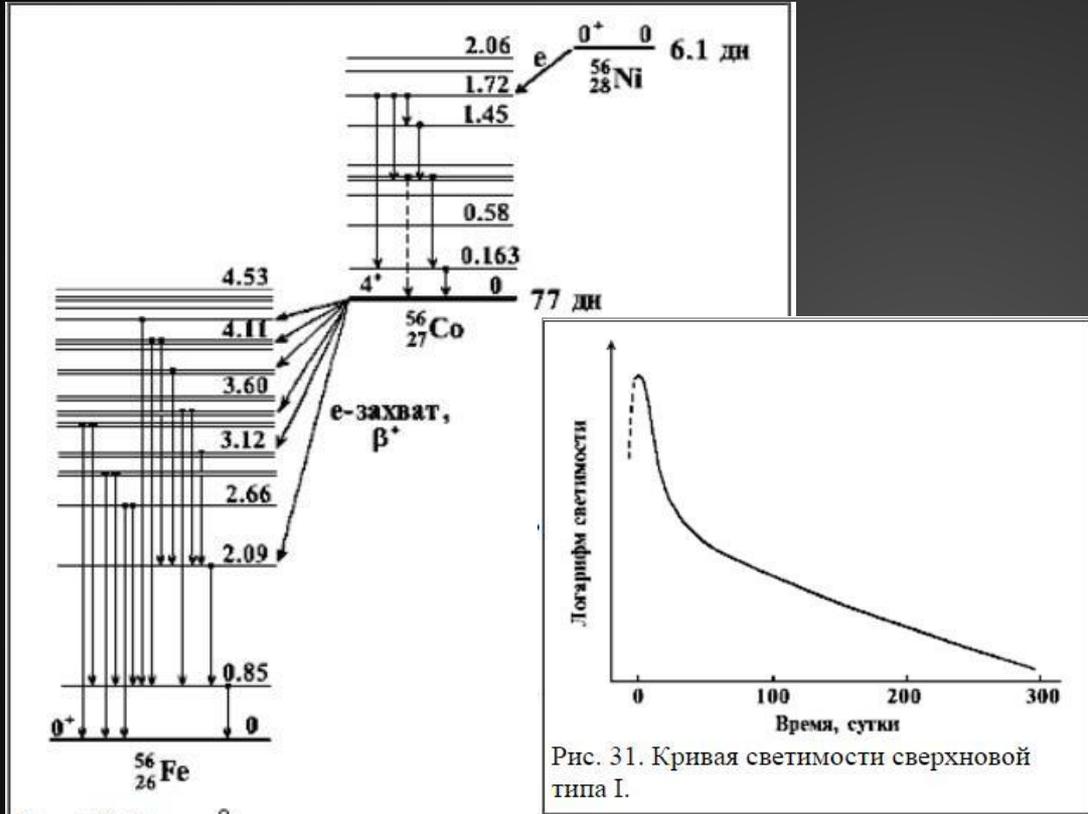
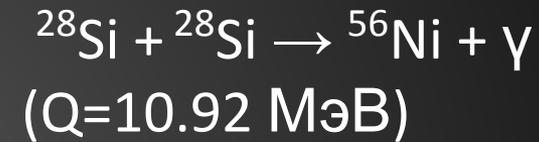
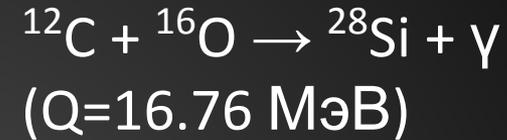


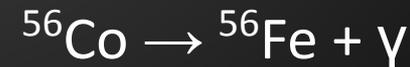
Рис. 33. Схема β^- - и γ -переходов в цепочке $^{56}\text{Ni} \rightarrow ^{56}\text{Co} \rightarrow ^{56}\text{Fe}$. Справа над уровнем указана энергия возбуждения ядра в МэВ. Для основных состояний указаны спины, четности и периоды полураспада.



20-30 сутки:



60-77 сутки:



Метеоритное железо



Метеорит Нова

Намибия.

Находка 1920г.

1 экземпляр весом 66 т.

Метеоритное железо



Гексаэдрит



Атаксит

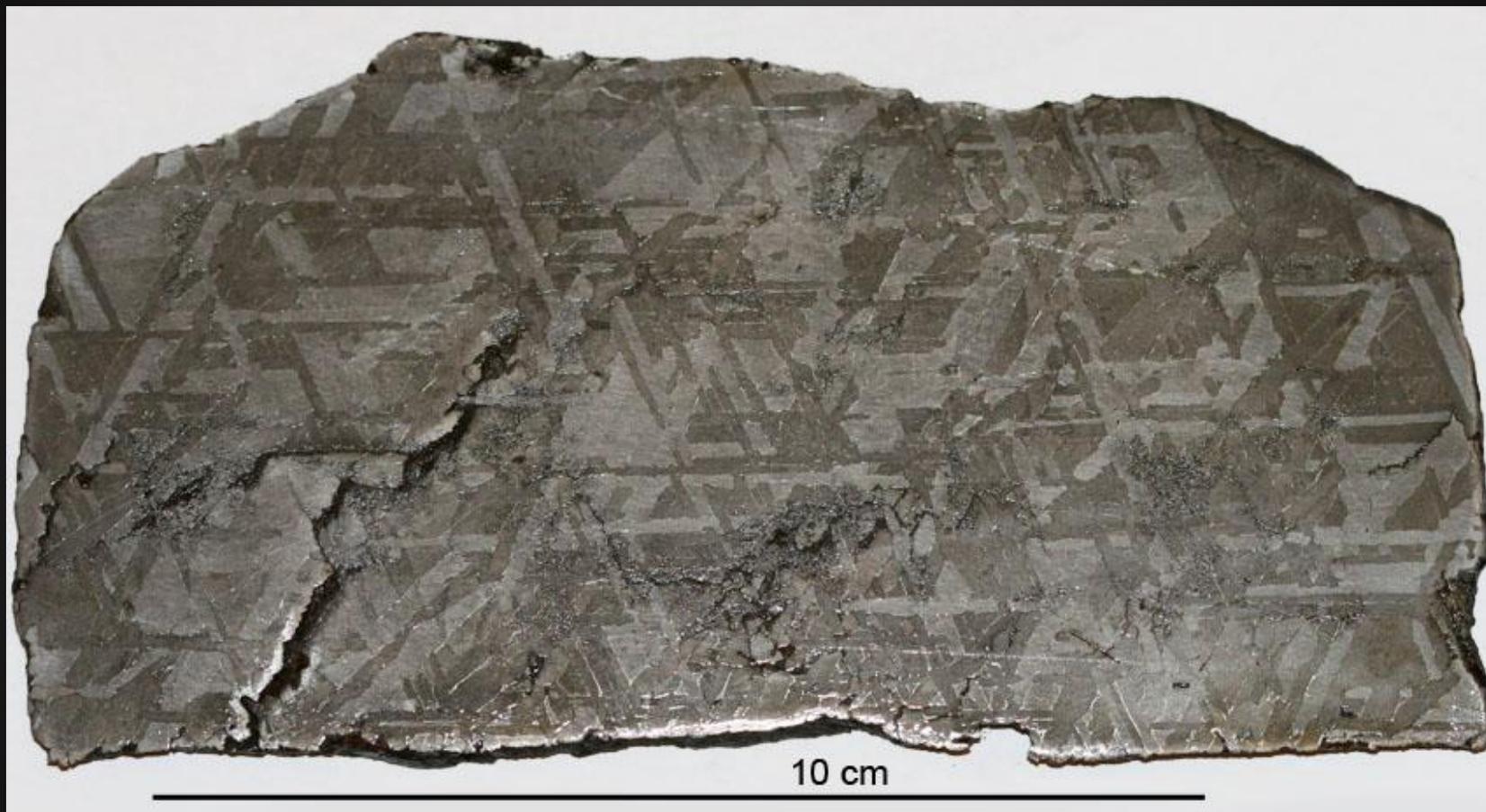


Оксаэдрит

Group	Fe	Ni	Co	P	Analysed quantity
Hexaedrit	92.6	6.07	0.61	0.25	78
Oktaedrit	86.8-92.3	6.54-11.65	0.50-0.61	0.16-0.24	202
Ataksit	79.6	18.85	1.01	0.12	38

Average composition of iron meteorites (from Rösler, Langer 1976: 234-7).

Метеоритное железо



Метеорит Верхний Салтов, железный, группа IIIAB, грубоструктурный октаэдрит (Og).

1 экземпляр массой 9,53 кг. Найден в апреле-мае 2001 г. на береговой линии Печенежского водохранилища при раскопках хазарского городища 8-10 вв.

Метеоритное железо



Кинжал из гробницы Тутанхамона. XIV в. д.н.э.

Состав: железо (Fe), 11% никеля (Ni), 0.6% кобальта (Co)

Comelli, Daniela; d'Orazio, Massimo; Folco, Luigi; El-Halwagy, Mahmud; Frizzi, Tommaso; Alberti, Roberto; Capogrosso, Valentina; Elnaggar, Abdelrazek; Hassan, Hala; Nevin, Austin; Porcelli, Franco; Rashed, Mohamed G.; Valentini, Gianluca (2016). "The meteoritic origin of Tutankhamun's iron dagger blade". *Meteoritics & Planetary Science*

Металлургическое сырье



Гётит



Гематит



Сидерит



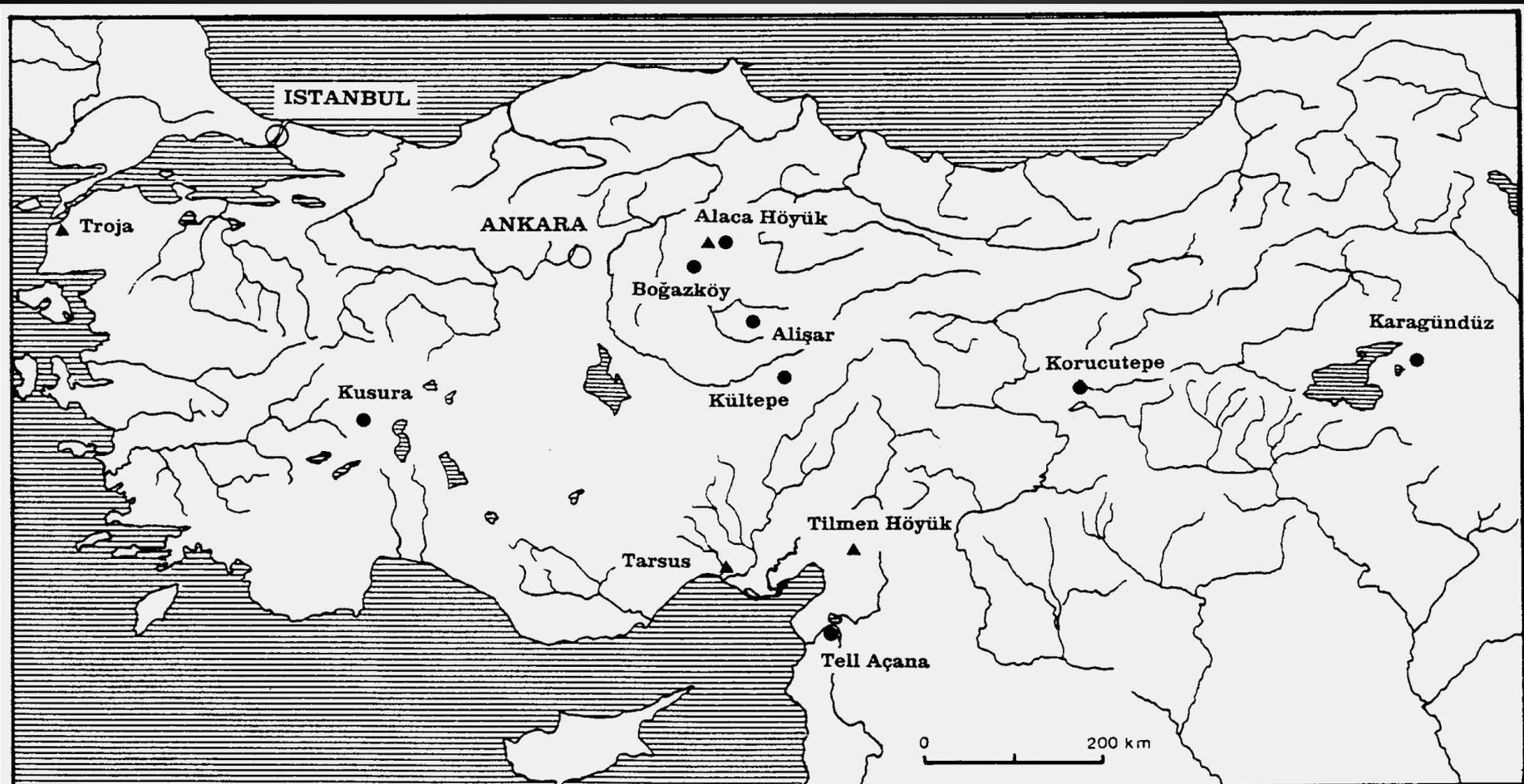
Пирит



Магнетит



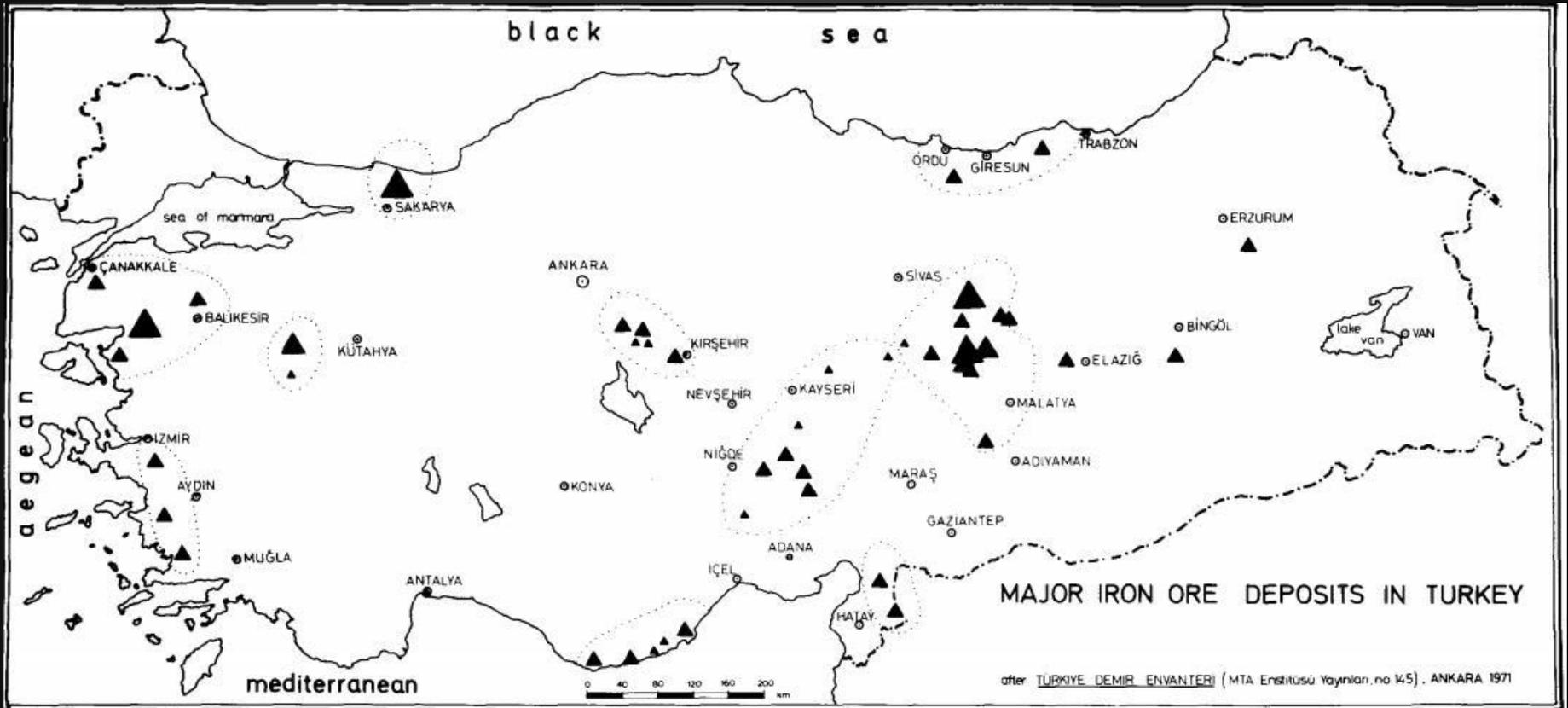
Первые свидетельства металлургии



Map of sites with iron finds up to 1000 BC: ▲ third millennium BC; ● second millennium BC

Карта находок ранних железных предметов 3 - 2-го тысячелетия до н.э.

Первые свидетельства металлургии



Iron ore deposits in Turkey. (Drawing by Engin Özgen, after *Türkiye Demir Envanteri* [MTA Enstitüsü Yayınları no. 145, Ankara 1971])

Карта основных дислокаций железной руды на территории Анатолии

Первые свидетельства металлургии



Кинжал с золотой рукояткой из Alaca Hoyuk
(номер находки A1.K.14) (Kosay 1951; Wertime 1973).

Был найден в захоронении "К" с тремя бронзовыми «солнечными дисками».
2800-2500 г.д.н.э.

Первые свидетельства металлургии



Хетты

Первые свидетельства металлургии

Письмо Хаттусили III (1282-1250 гг. до н.э.)

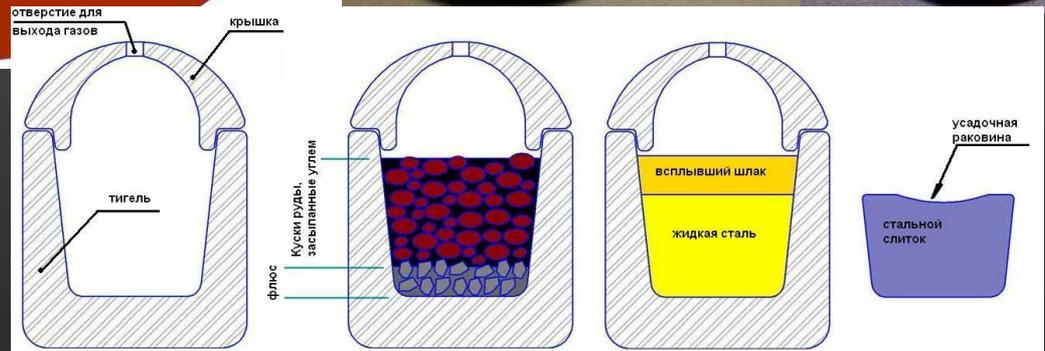
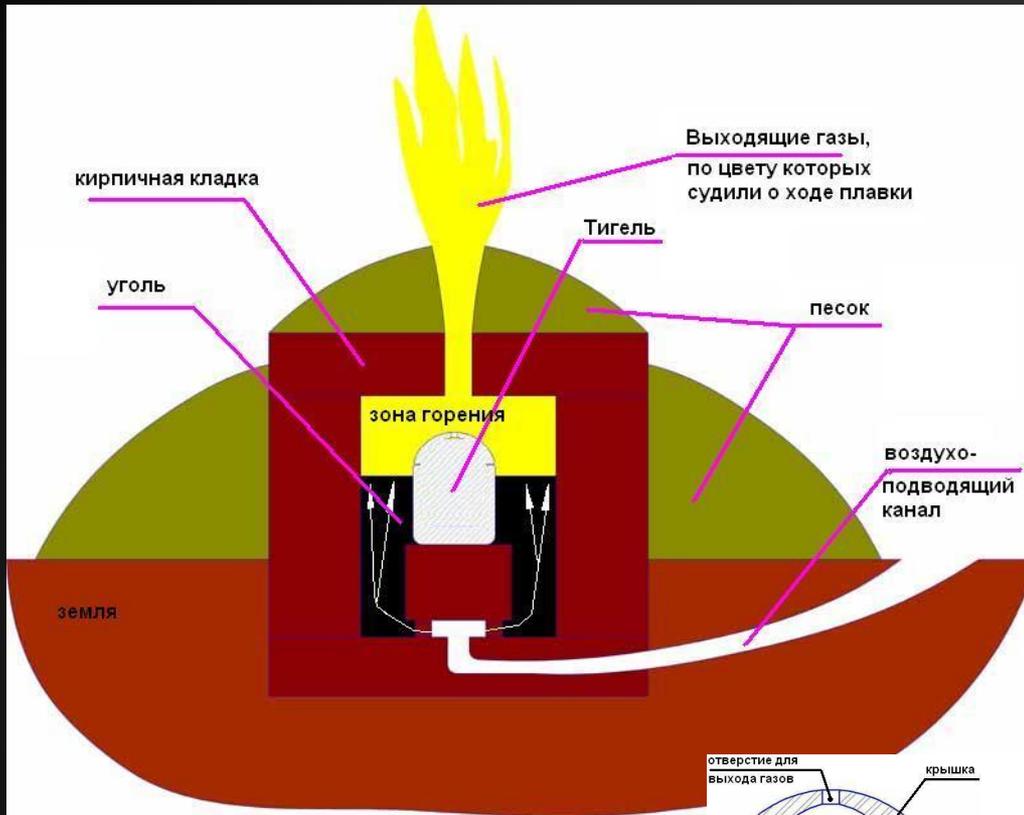
Письмо вероятно было адресовано ассирийскому царю, и в нем говорилось что производство железа находилось под контролем хеттского правителя.

... Относительно хорошего железа, о котором ты упоминаешь в своем послании, на складе в Киццуватне нет хорошего железа. Я писал тебе, что сейчас неподходящее время для производства хорошего железа. Они будут делать железо, но пока еще не закончили. Когда они закончат, я пришлю его тебе. Пока я посылаю тебе железное острие (кинжал?)...

Первые свидетельства металлургии

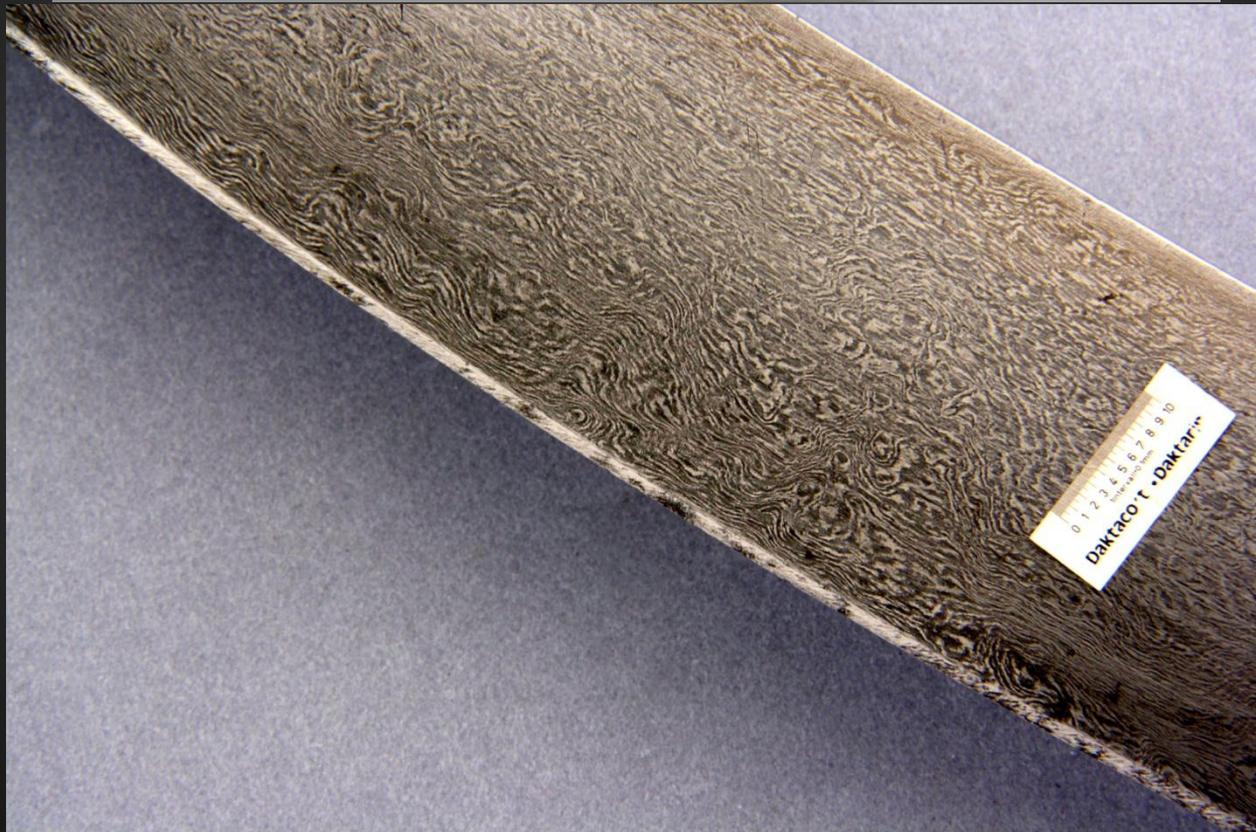


Тигельная сталь



Тигельная печь

Булат



Sabre from the collection of Royal Museum of the Armed Forces and Military History, Brussel

Булат.

Результаты эксперимента Klaas Remmen, Антверпен

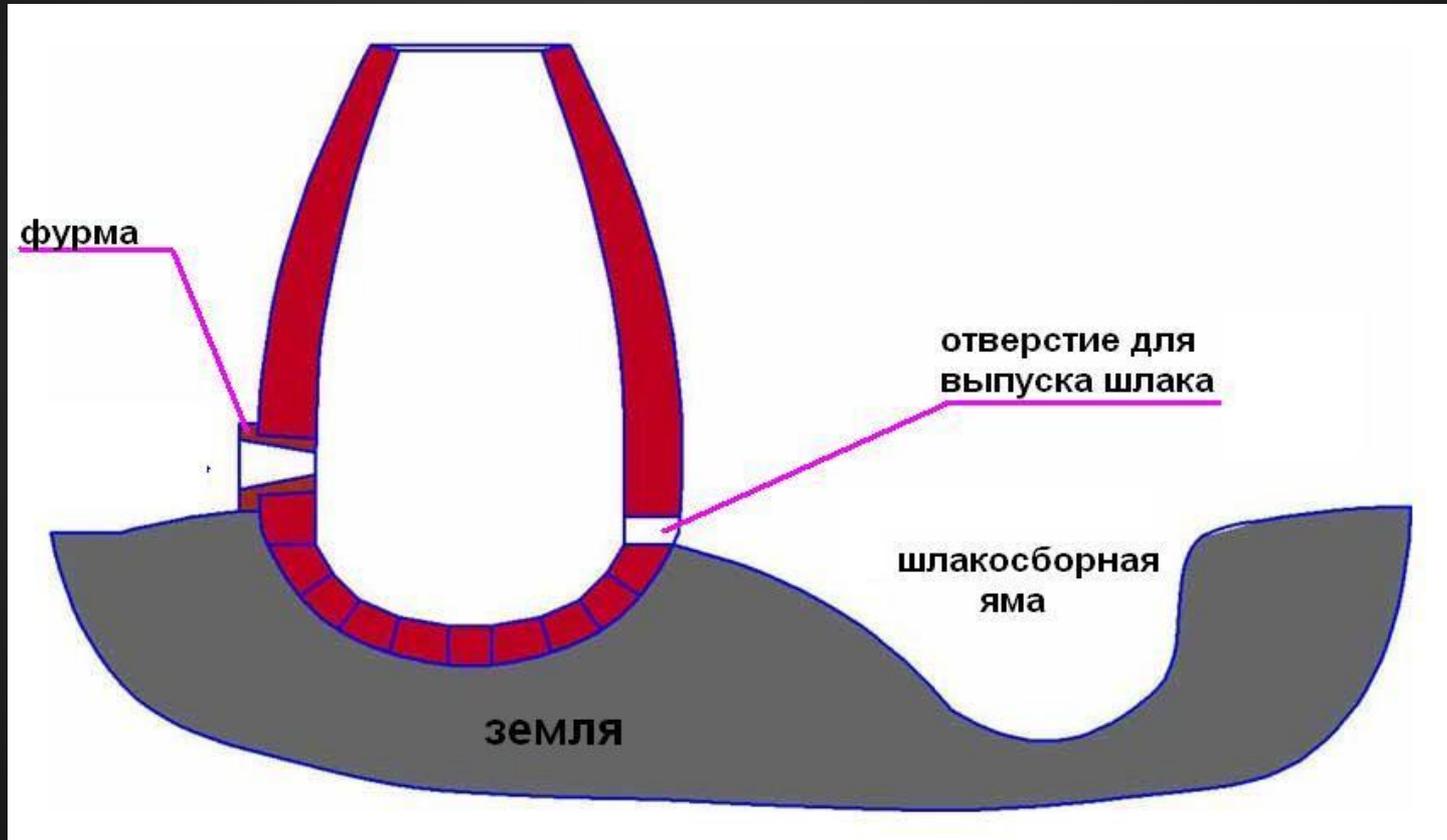


Crosssection of crucible after cooling



Polished and etched surface of a forged piece of crucible steel

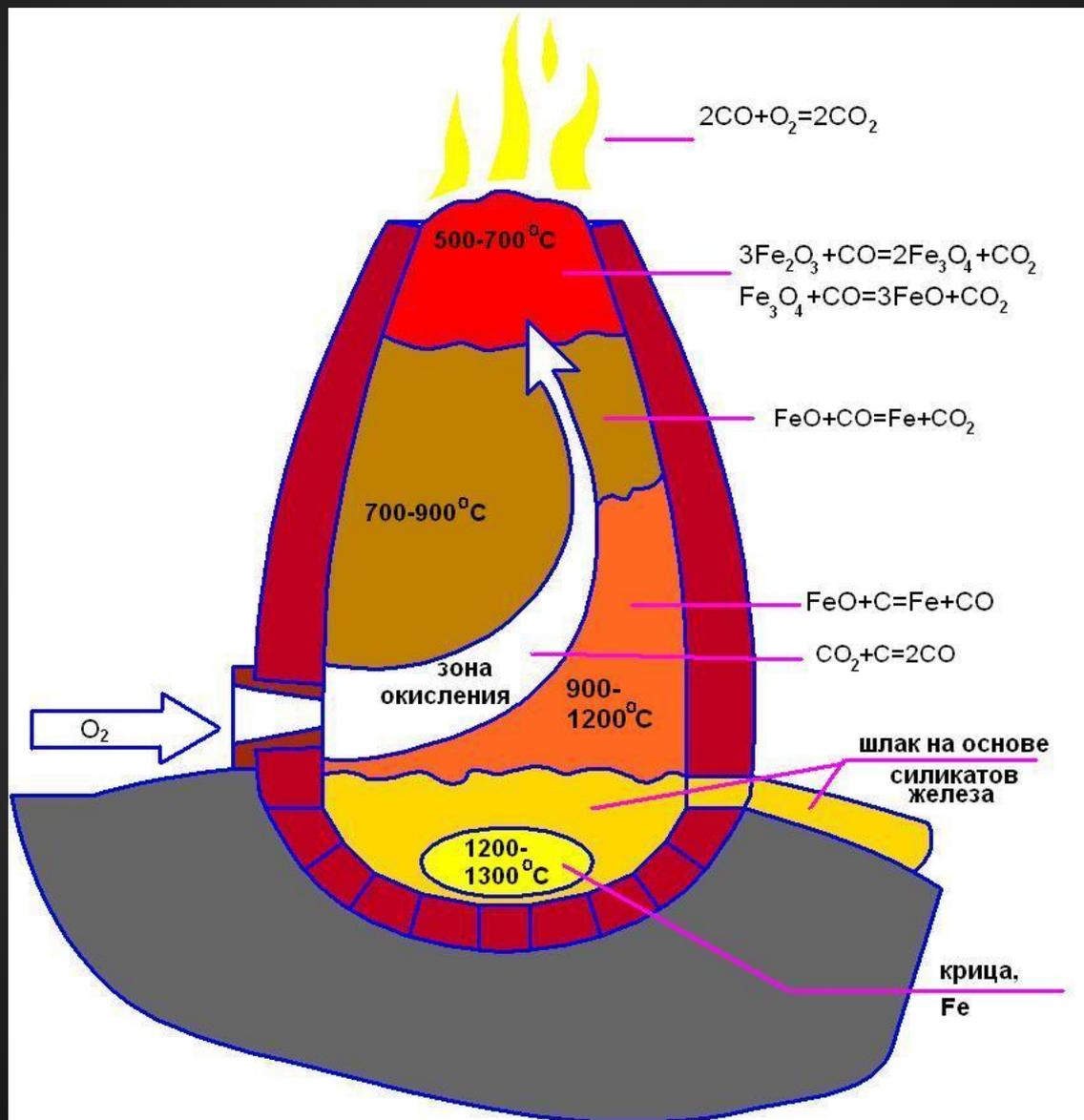
Сыродутный горн



Устройств

0

Сыродутный горн

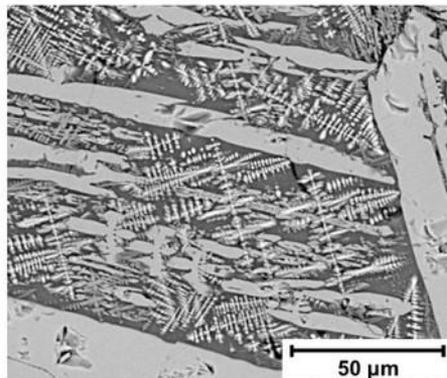
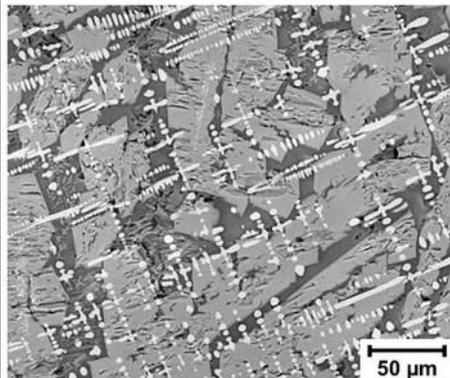
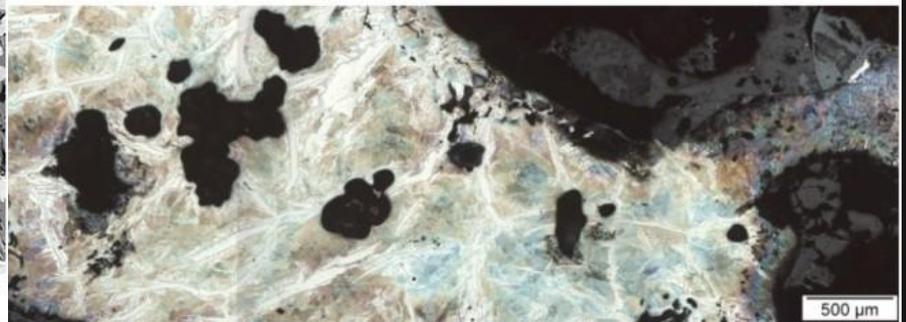
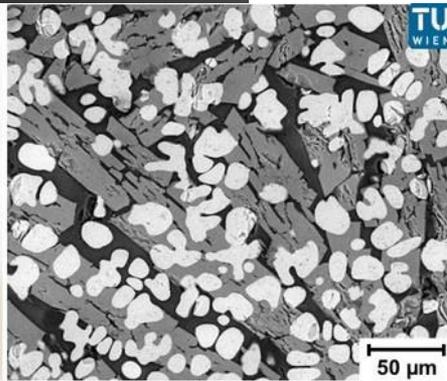


Сыродутный горн

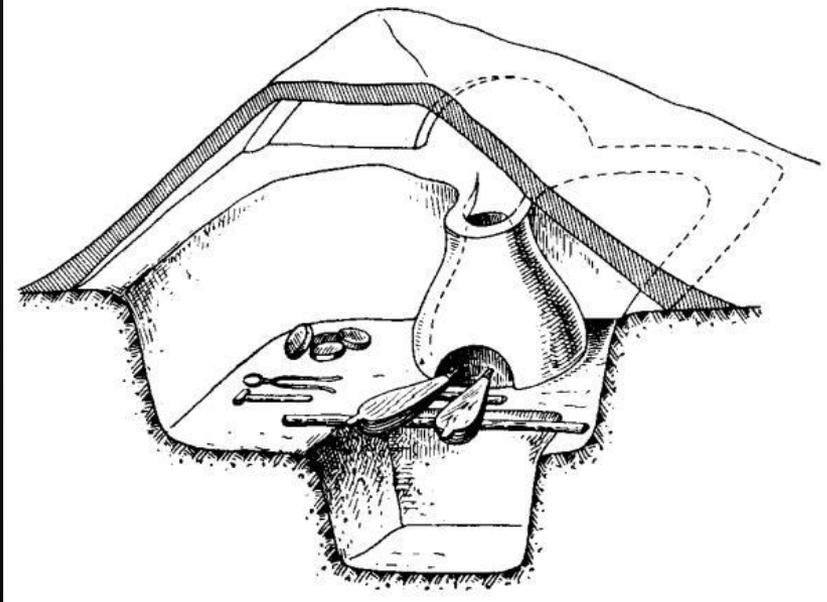
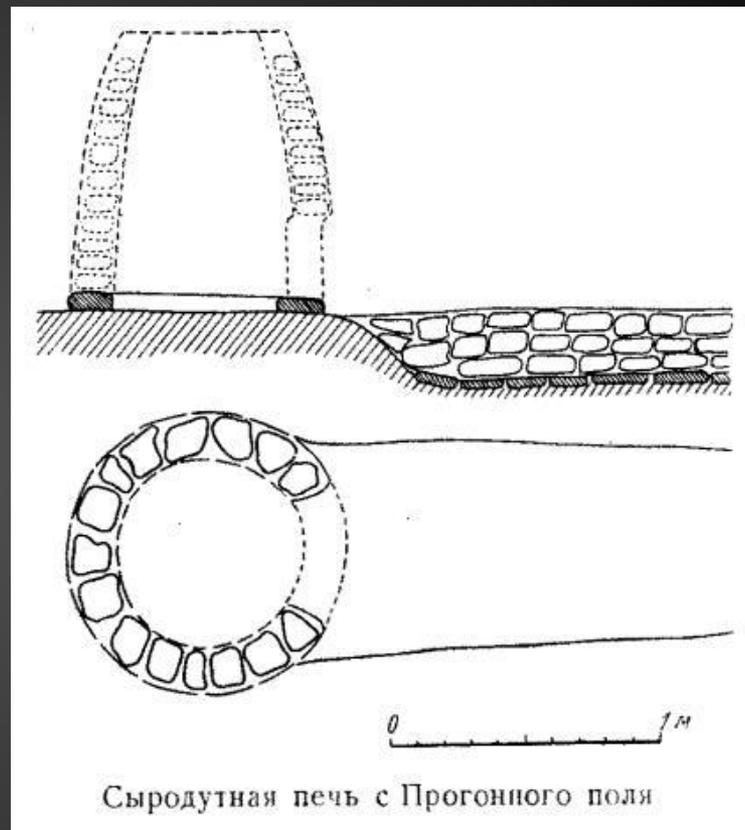
Bloom from Styria, Austria



Slag from Eisenerz, Austria



Сыродутный горн



Сыродутный горн



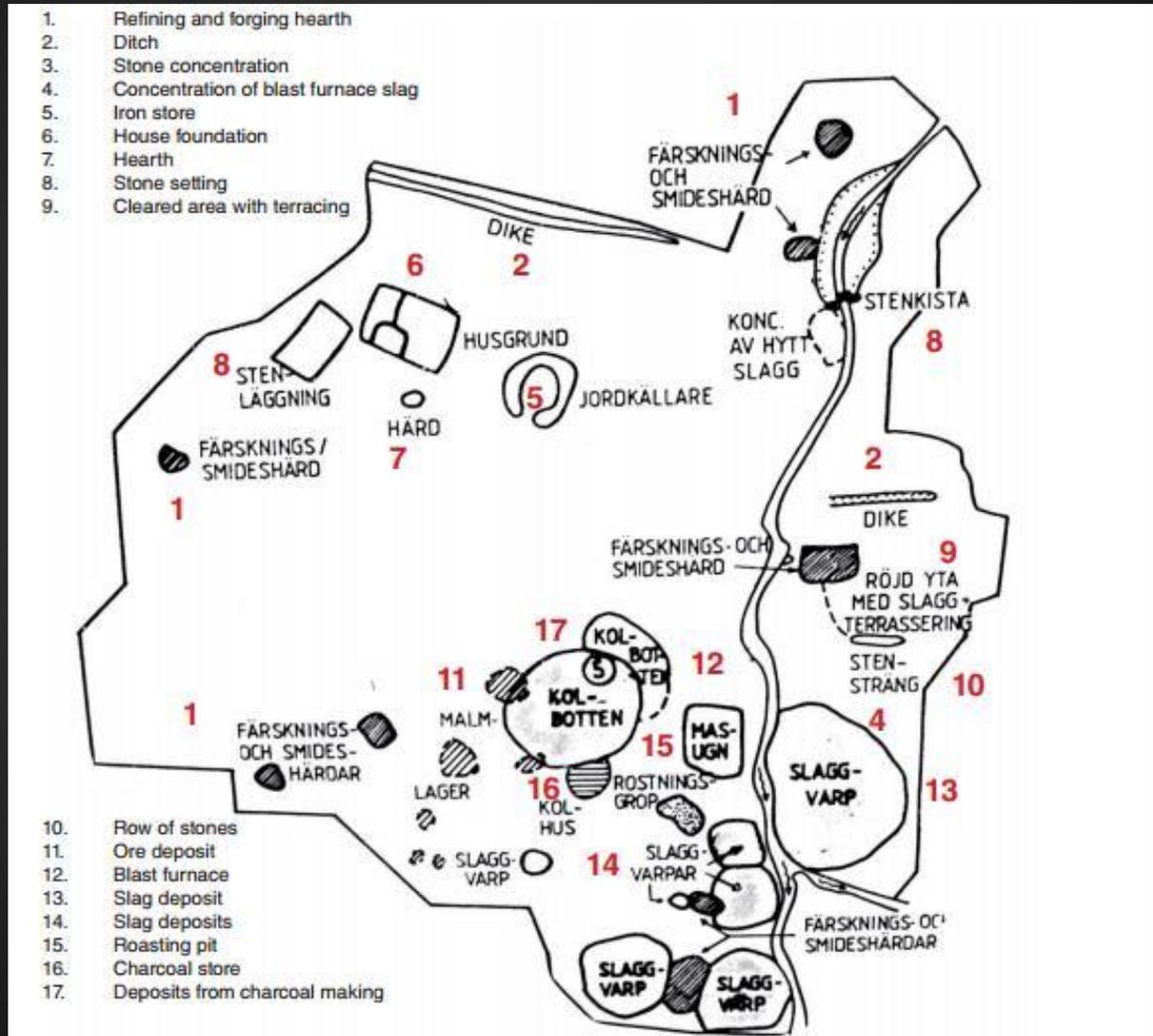
Kerspe-Dam. 13th century blast furnace (Foto: R. Potyka).

Сыродутный горн



Lapphyttan 13th century bloomery furnace during excavation
(Photo by Ing-Marie Pettersson Jensen)

Сыродутный горн



Lapphyttan iron production site

Сыродутный горн

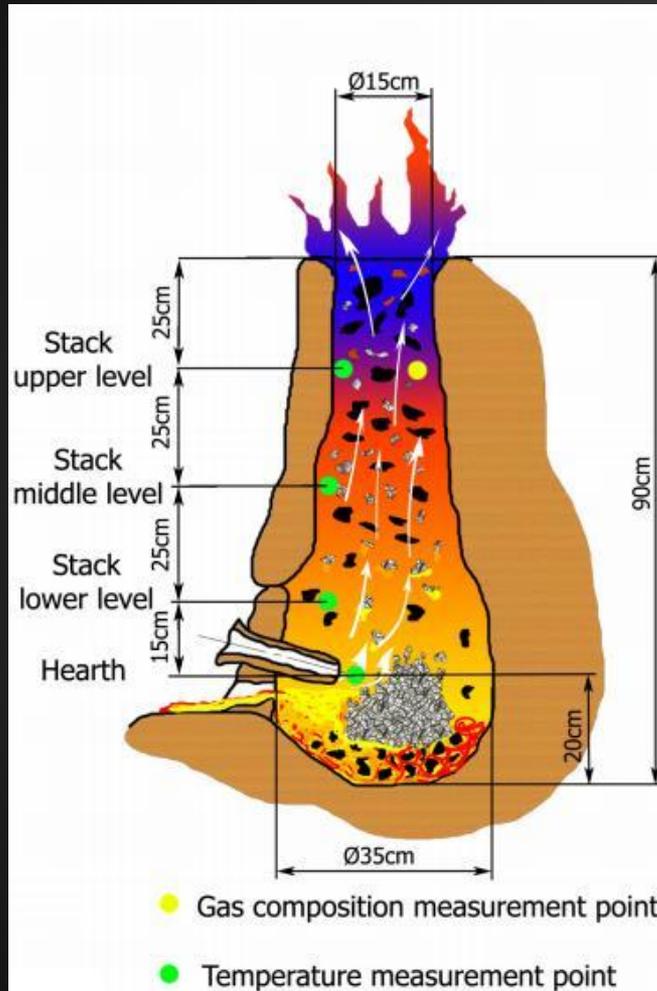
Tab. 1. Summarized chemical compositions of the examined iron ore samples.

Sample	Image	Chemical components (wt%)						Σ Fe
		Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	H ₂ O	
iron ore from Kék-Kálló valley		42..54	28..30	0	0	-	5..6	29..38
iron ore from Fancsika		27..67	17..60	0..5	5..6	-	4..9	19..47
iron ore from Somogyszob		46..61	14..32	6..17	3..8	3	6..8	32..43
iron ore from Petesmalom		80..82	3..5	0..3	0..1	7	9..11	56..58

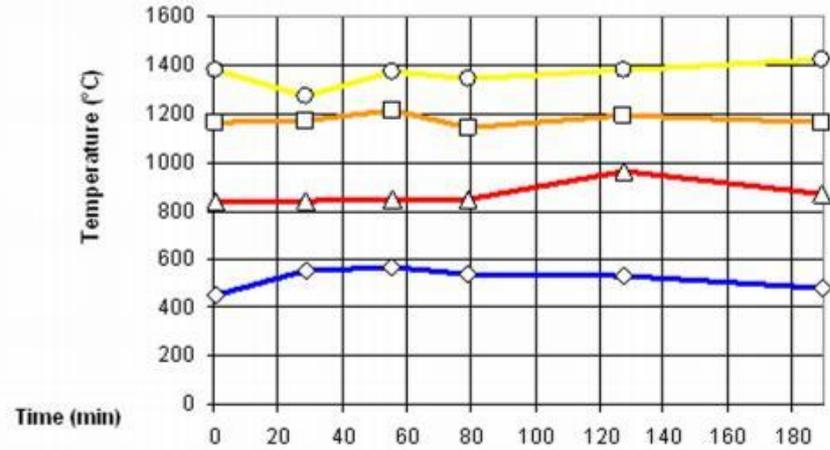
Tab. 2. Summarized phase and chemical compositions of the examined slag samples.

Sample	Image	Phase components (wt%)	Chemical components (wt%)							
			Fayl	Quar	Glass	SiO ₂	CaO	MgO	FeO	MnO
Slag from fancsika ore		10..20	0..5	75..90	22..32	10..12	1	26..32	2..3	2..3
Slag from petesmalom ore		0..50	10..15	30..85	45	11	1	24	3	3

Сыродутный горн



Temperature measurement results



	0	28	55	79	127	189
Stack upper level (°C)	450	550	570	540	530	480
Stack middle level (°C)	840	840	850	850	960	870
Stack lower level (°C)	1160	1170	1210	1140	1190	1160
Hearth (°C)	1380	1270	1370	1340	1380	1420

Gas composition measurement results

Time (min)	H ₂ (Vol%)	N ₂ (Vol%)	CO (Vol%)	CH ₄ (Vol%)	CO ₂ (Vol%)
0,00	9,10	61,75	24,83	1,21	4,17
28,00	2,69	66,84	24,76	0,34	4,89
55,00	0,00	71,31	25,44	0,35	4,67
79,00	8,32	62,59	26,75	0,49	9,38
127,00	5,38	65,19	22,68	0,50	8,05
311,00	1,07	82,81	12,83	0,00	8,19

Сыродутный горн

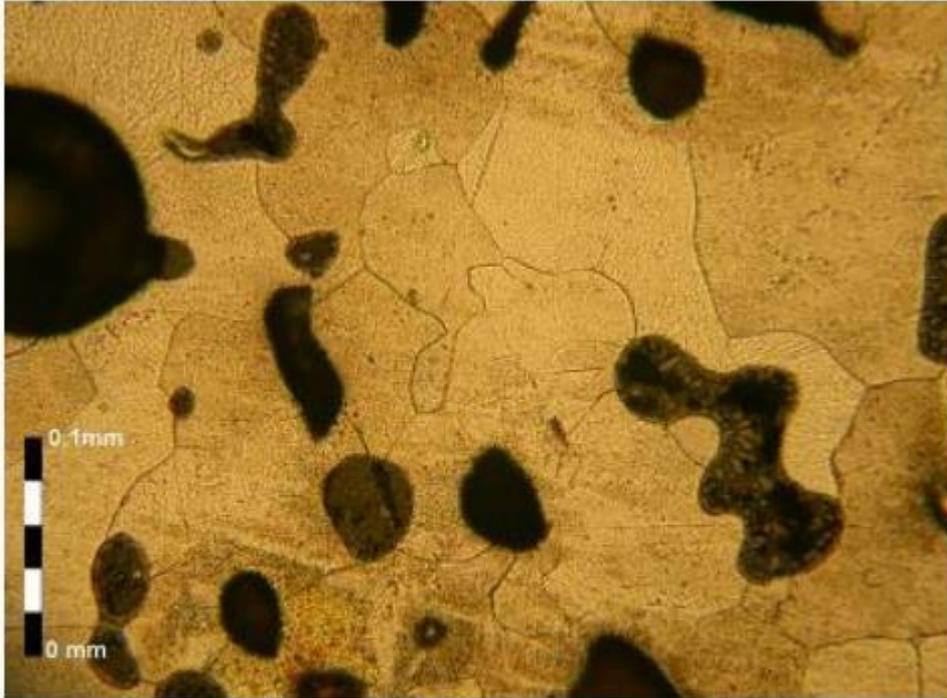


Figure 35: Optical microscope image of a polished and etched section of bar showing the grains of ferrite and slag inclusions.

12 кг железной руды
(сидерит),
35.5кг угля.

2.4кг – крица, 6.6кг – шлак.

Масса крицы после оббивки
1.36кг

После первой проковки
1.08 кг

После перековки в брусок
0.447кг

После окончательнойковки
0.257кг

Сыродутный горн



Figure 6-Consolidated Bloom



Figure 7- Bloom cross section

Сыродутный горн

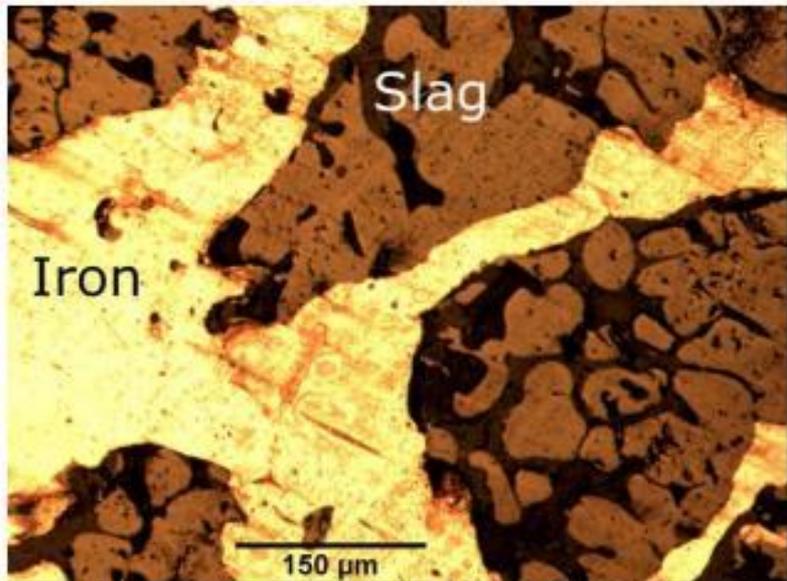


Figure 8-Unconsolidated Bloom

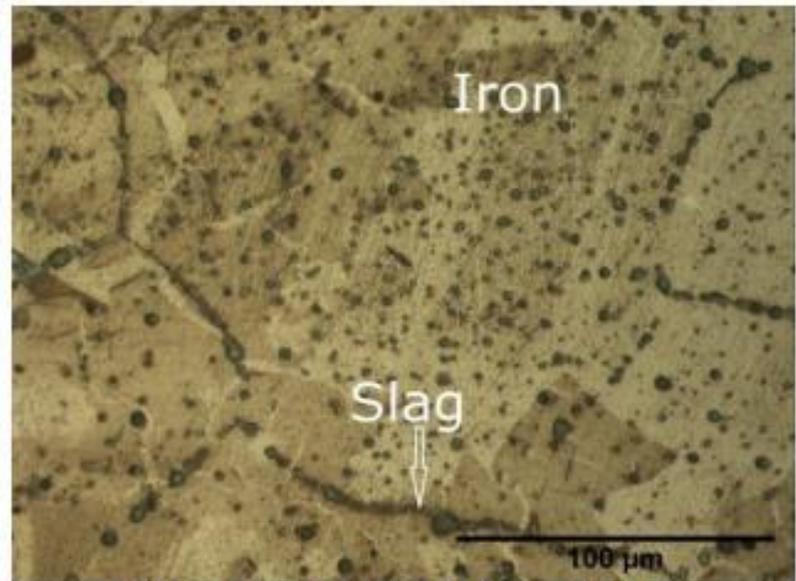
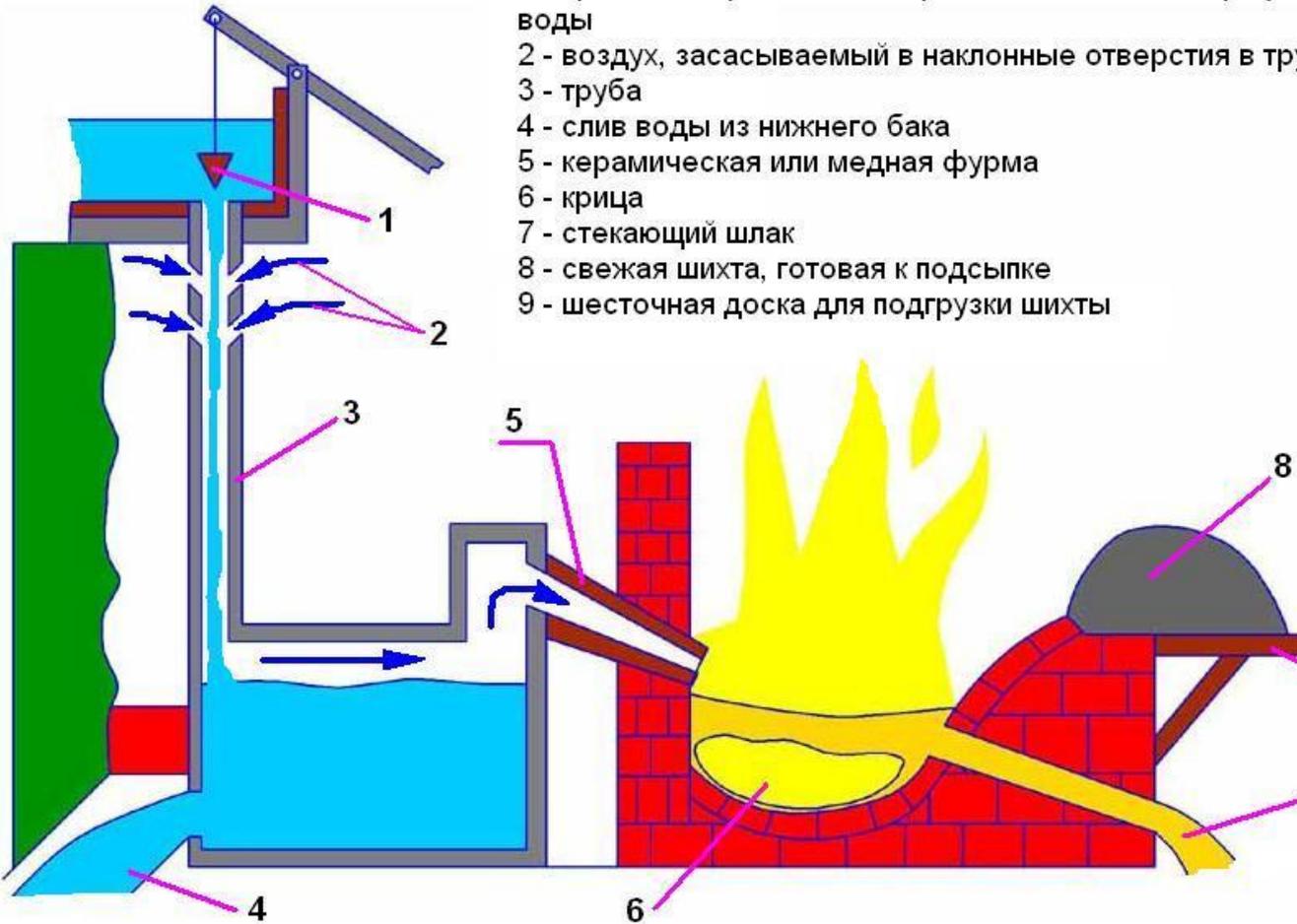


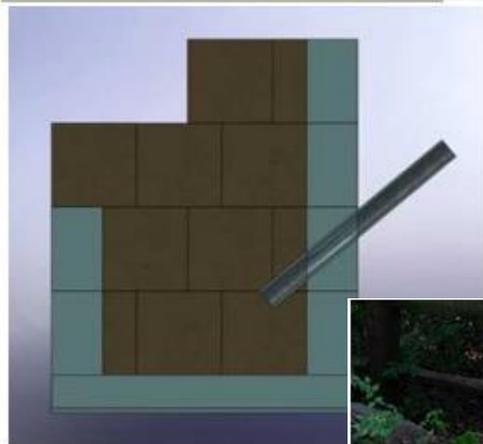
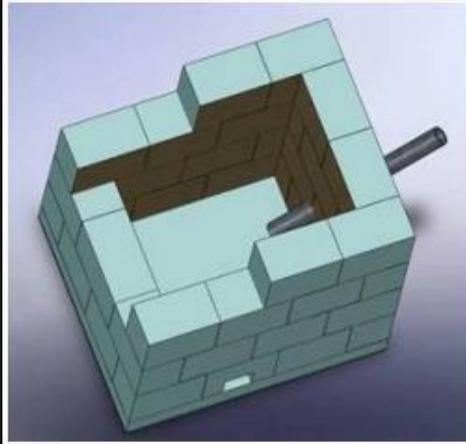
Figure 9-Consolidated bloom

Каталонский горн

- 1 - пробка в верхнем баке, предназначенная для регулирования потока воды
- 2 - воздух, засасываемый в наклонные отверстия в трубе
- 3 - труба
- 4 - слив воды из нижнего бака
- 5 - керамическая или медная фурма
- 6 - крица
- 7 - стекающий шлак
- 8 - свежая шихта, готовая к подсыпке
- 9 - шесточная доска для подгрузки шихты



Каталонский горн



Каталонский горн

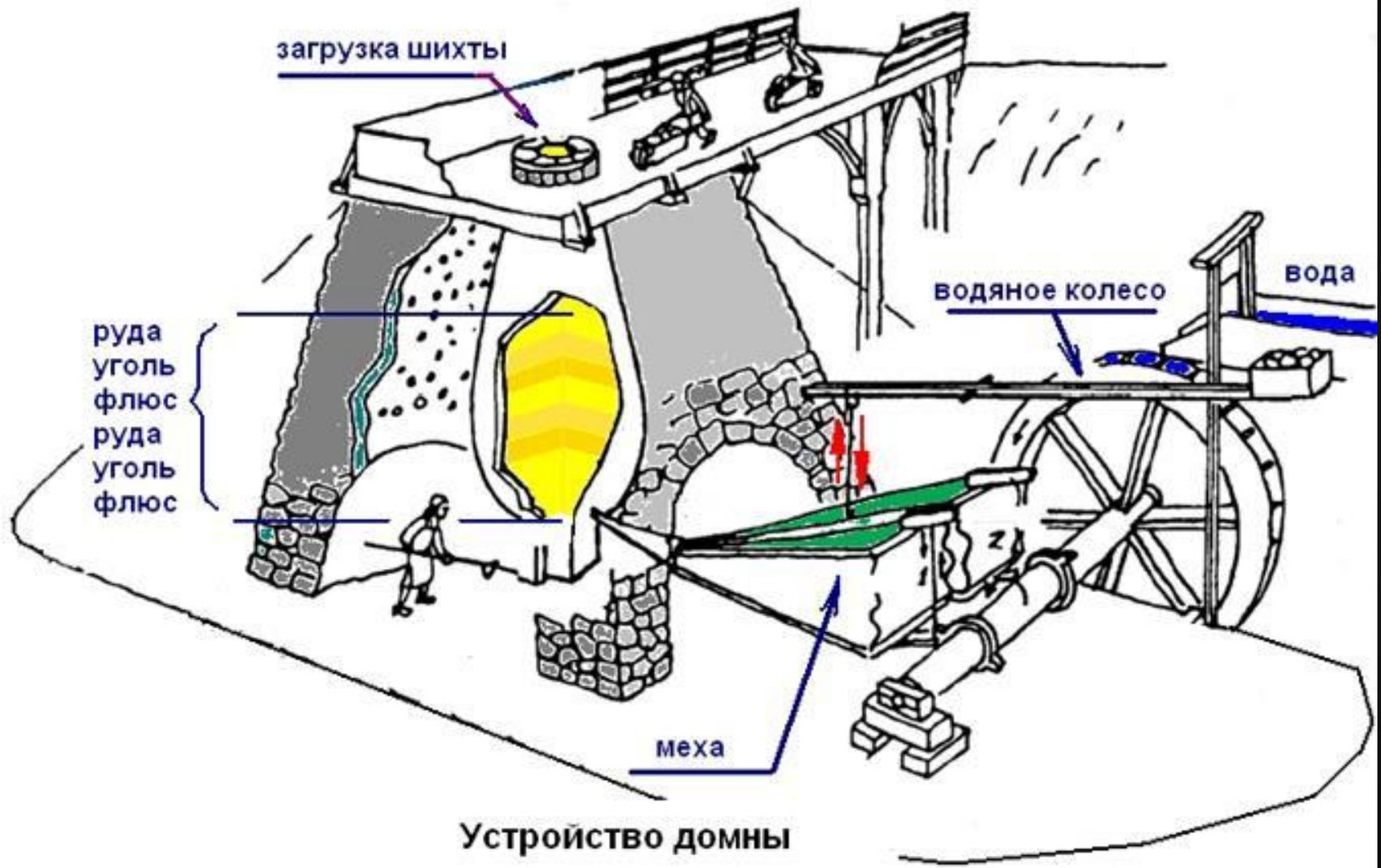


The bloom weighed at 2.5 kg right out of the forge, but after some hammering and cleaning, actually only contained about 1.125 kg of metal

Jesus Hernandez

<http://jhbladesmith.com/craft/making-steel/catalan-forge/>

Доменная печь



Доменная печь

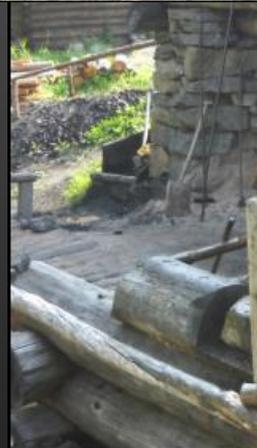
The reconstructed medieval blast furnace
at Nya Lapphyttan in Norberg, Sweden



Доменная печь



Доменная печь



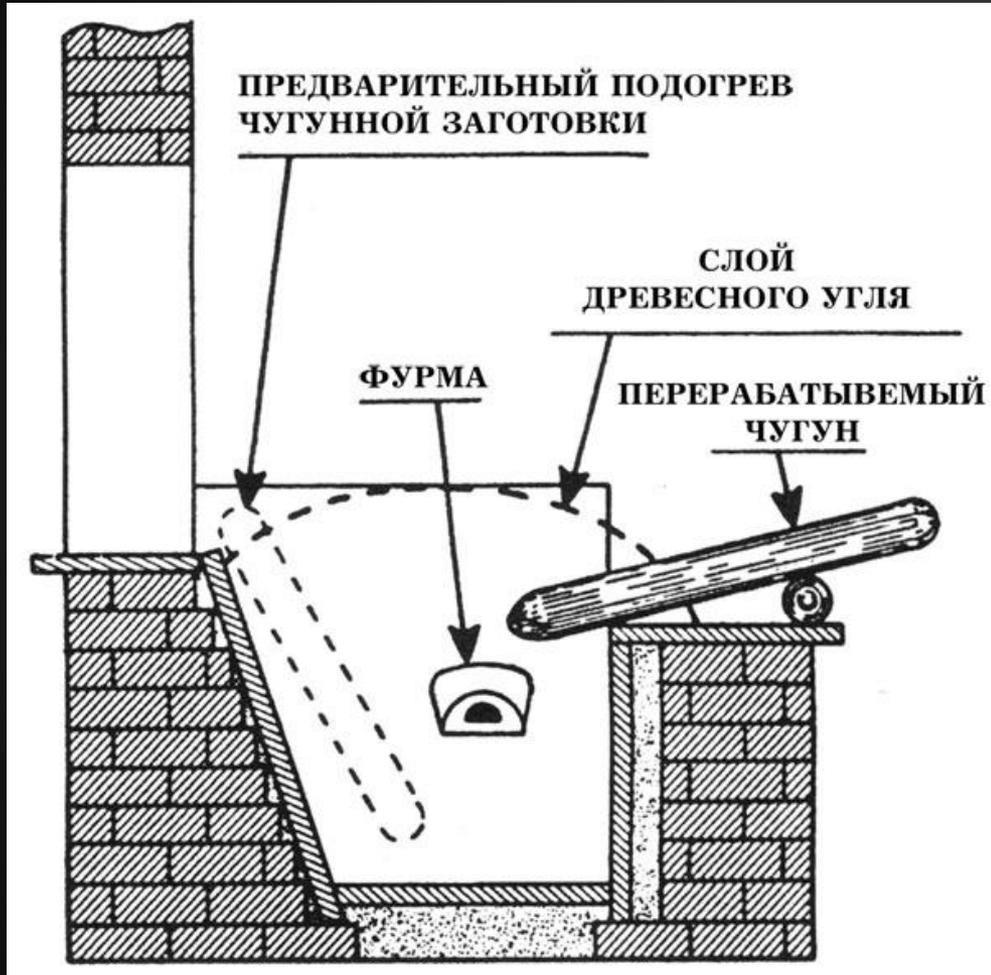
Доменная печь



Доменная печь



Кричный передел чугуна

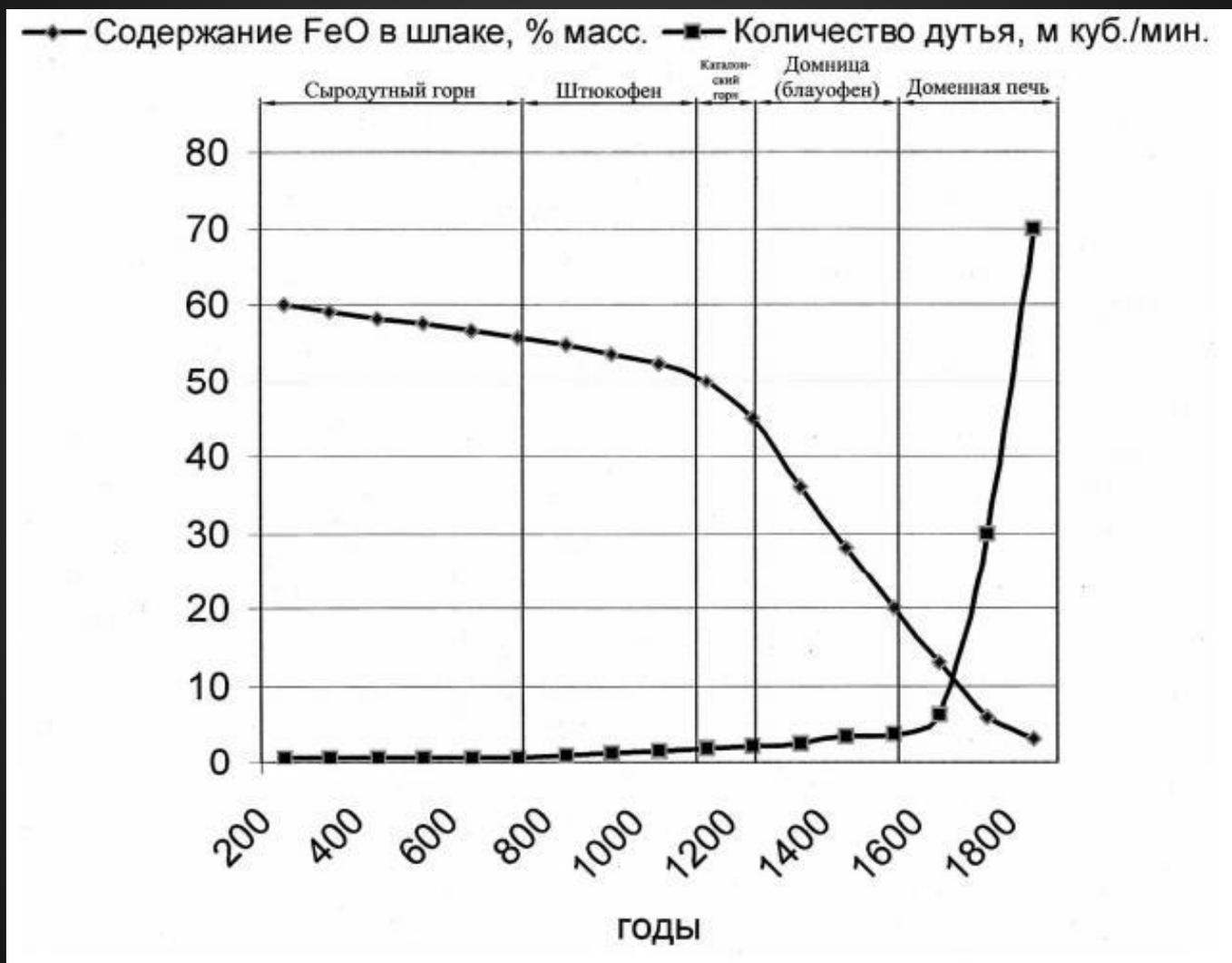


Окисление чугуна в струе воздушного дутья в ходе плавления и стекания капель чугуна по древесному углю.

При этом из чугуна последовательно удалялись кремний, марганец, фосфор и углерод.

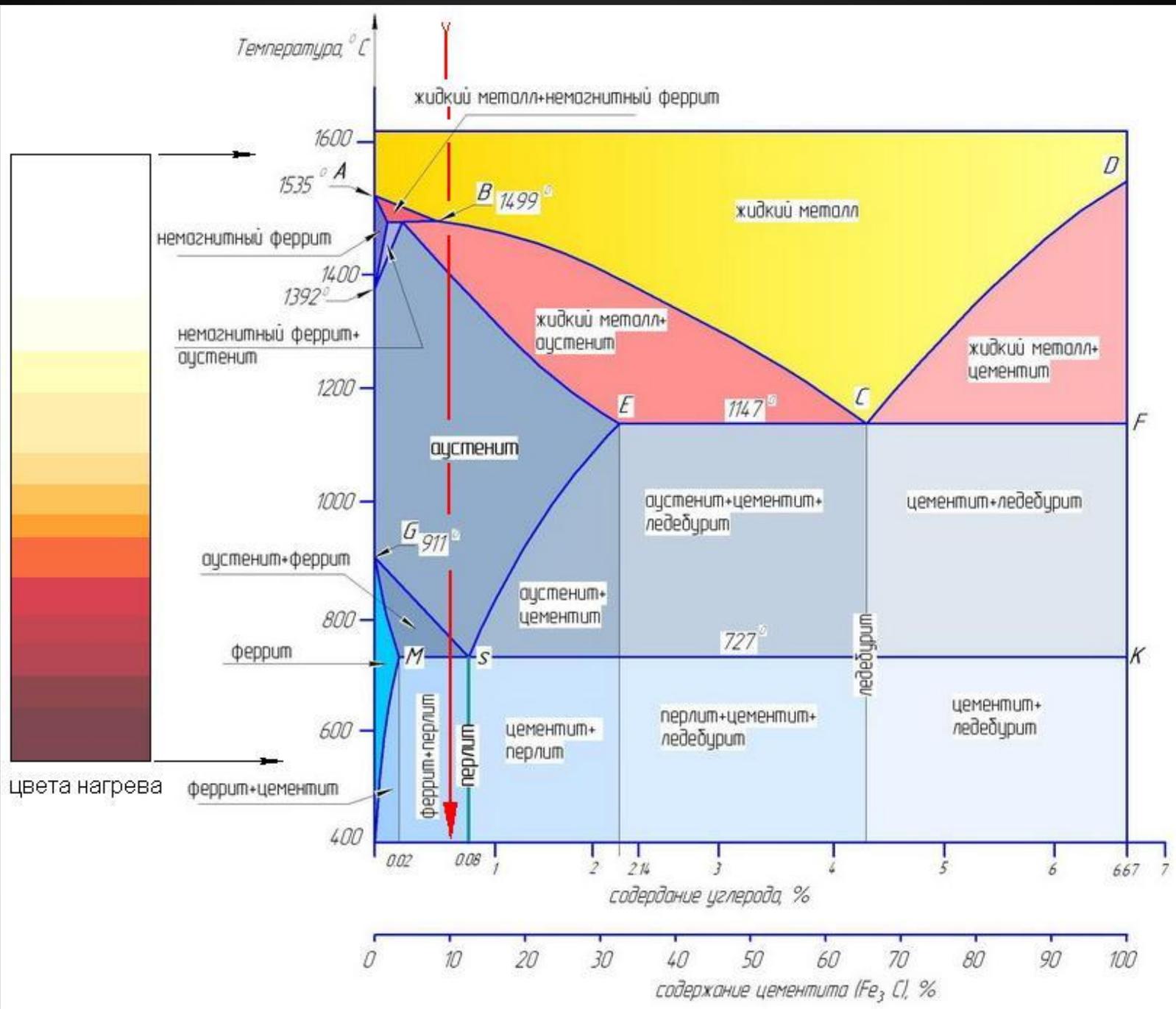
По мере удаления из металла углерода он переходил в тестообразное состояние, и в результате на поду печи формировалась крица с небольшим количеством шлака

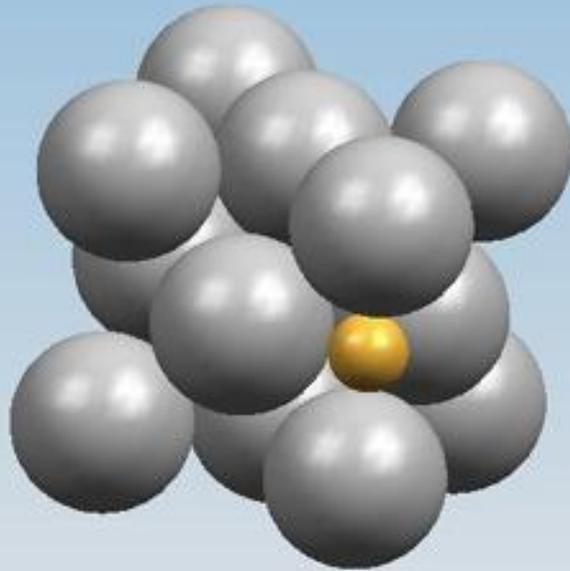
Экономичность металлургического процесса



Черноусов П.И., Мапельман В.М., Голубев О.В. «Металлургия железа в истории цивилизации»

М.: МИСиС, 2005 г.

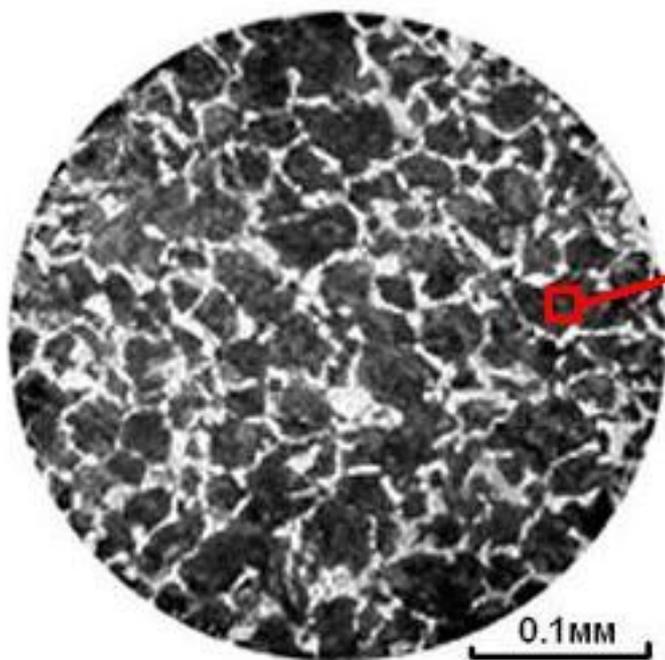




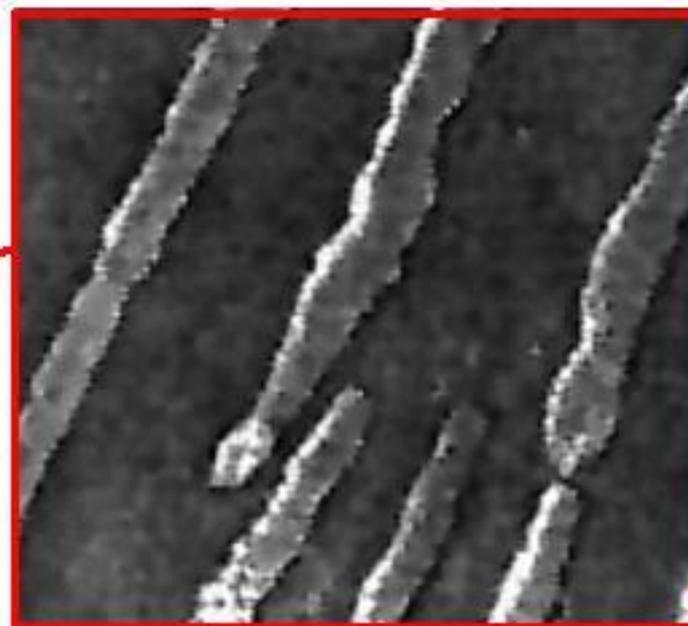
Гранецентрированная решетка
Аустенита
Маленький шарик - атом
углерода, который втиснулся
между атомами железа.



Объемноцентрированная
решетка
Феррита
Для углерода места нет.

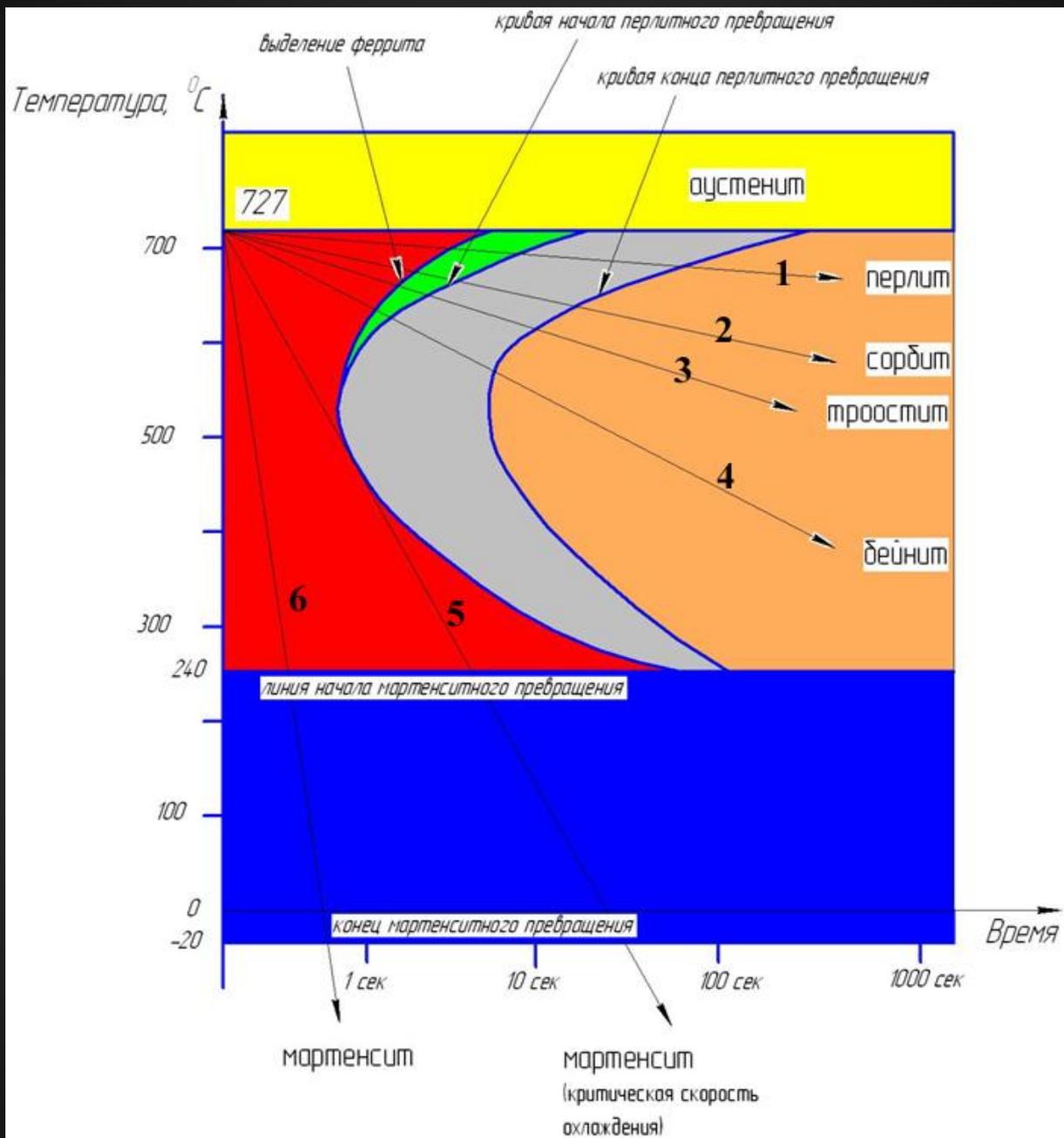


феррит (светлый) по границам
зерен перлита



0.011мм

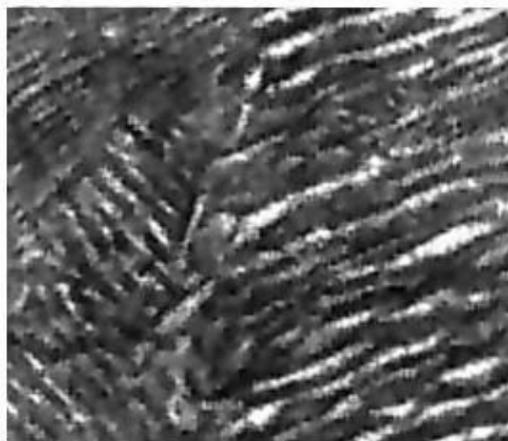
Перлит





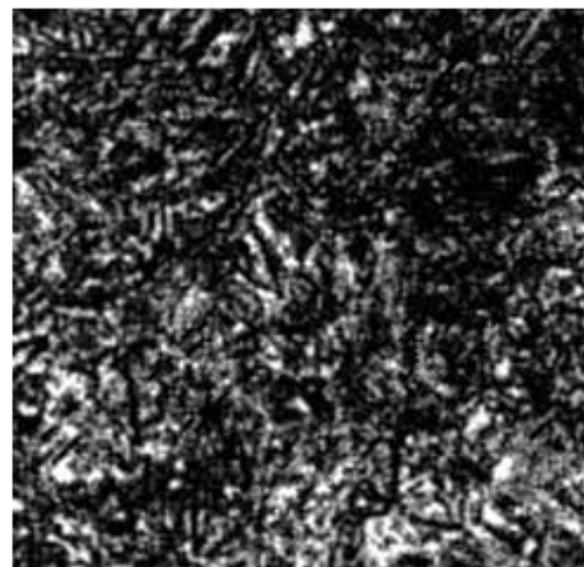
0.011 мм

Сорбит закалки



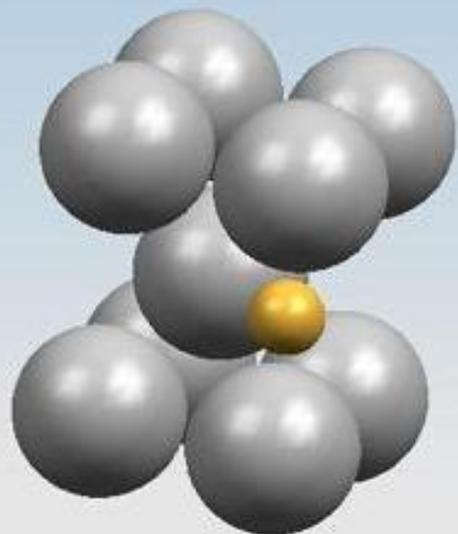
0.007 мм

Троостит закалки



0.05 мм

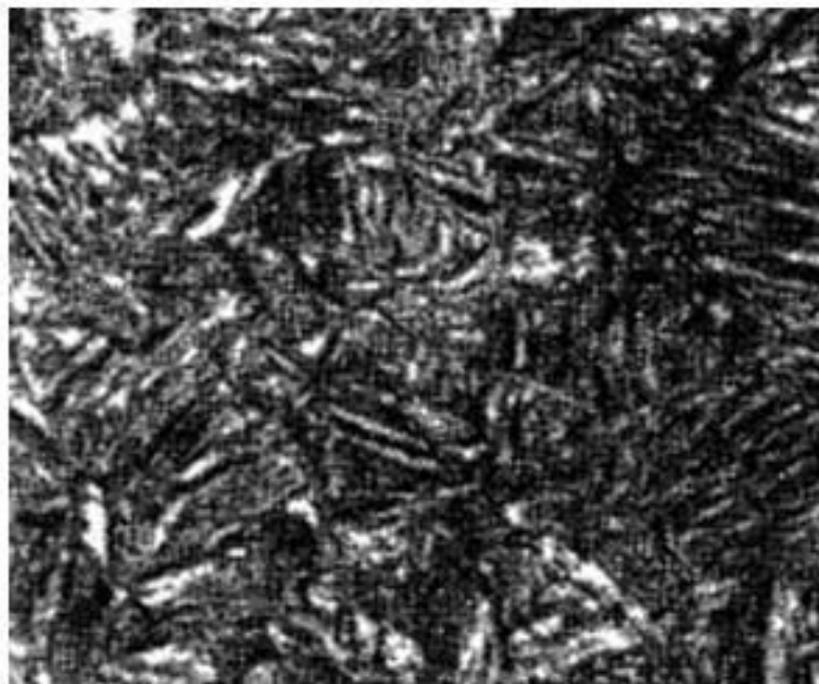
Бейнит



Объемноцентрированная
плотная решетка

Мартенсита

Для углерода опять находится
местечко



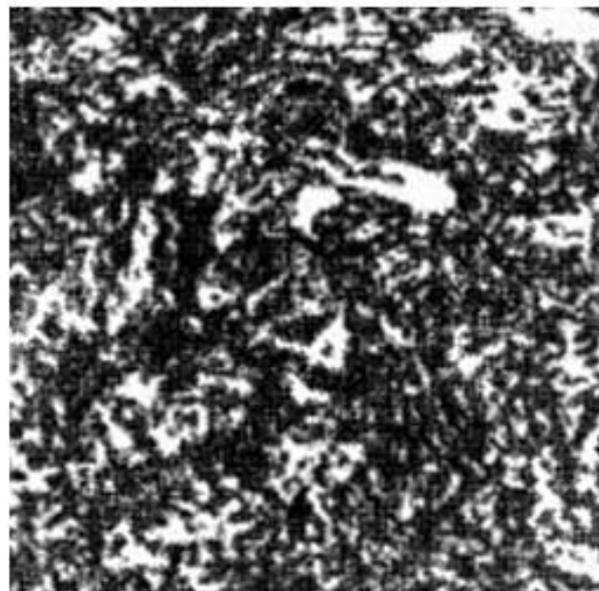
0.05mm

Игольчатая структура мартенсита



0.1 мм

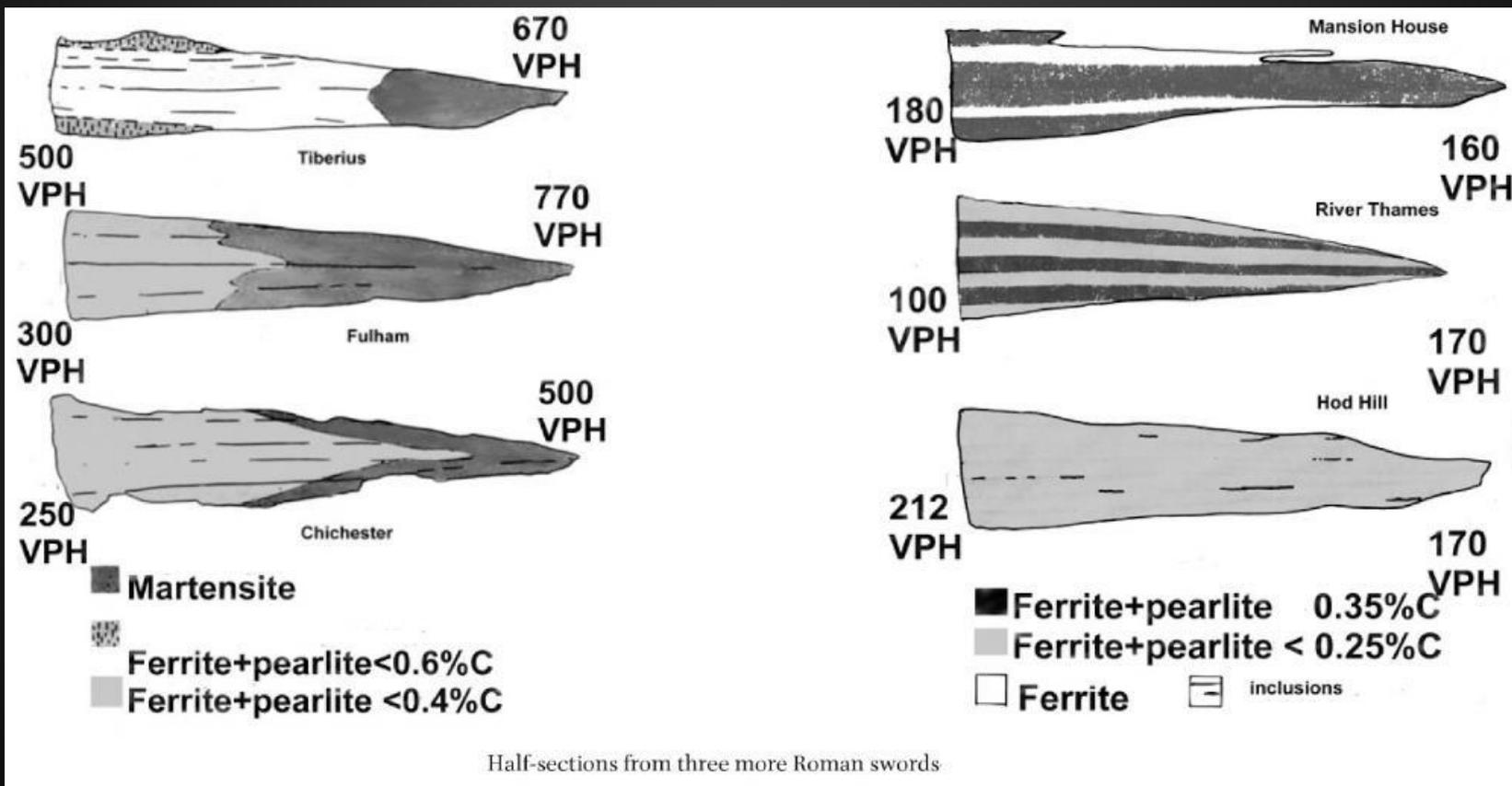
Троостит отпуска



0.1 мм

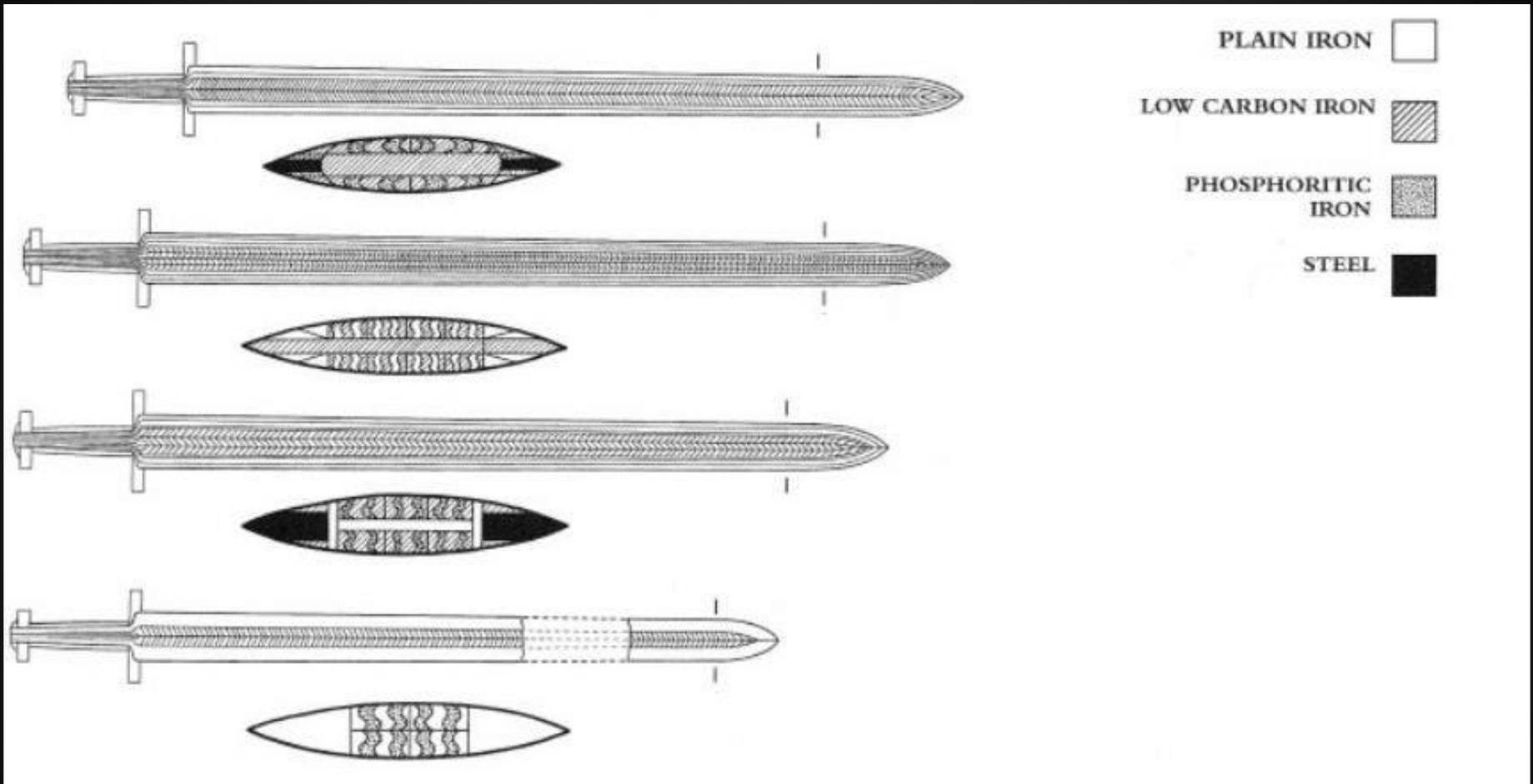
Сорбит отпуска

Римские мечи



Half-sections from three more Roman swords

Мечи раннего средневековья



Diagrammatic reconstruction of the surface appearance and composite structure of four Anglo-Saxon swords of probable 6th–early 7th century AD date (from recent excavations at Park Lane, Croydon, Surrey, UK).

Мечи раннего средневековья



Figure 28. Sword # A9 from Helsinki.

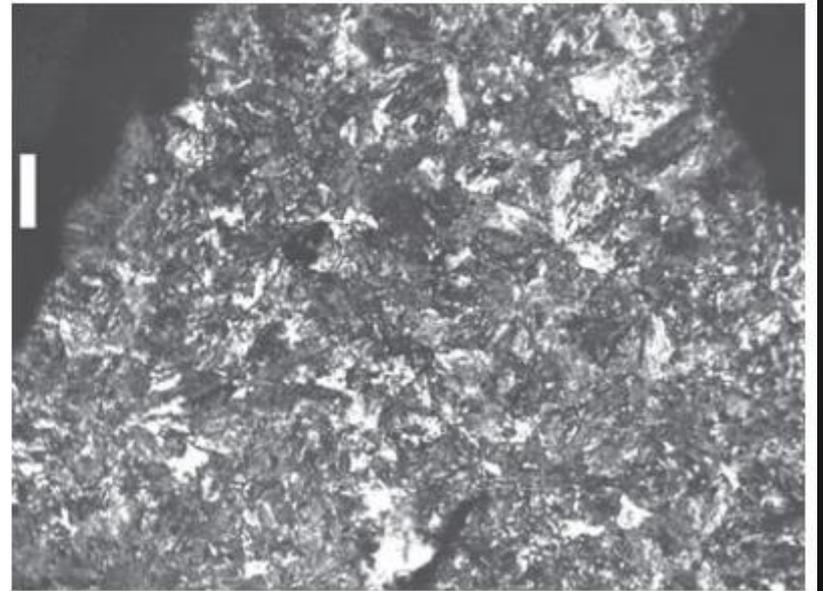


Figure 29. Microstructure of sword # A9: very fine (almost irresolvable) pearlite. (scale bar = 50 microns).

Мечи раннего средневековья

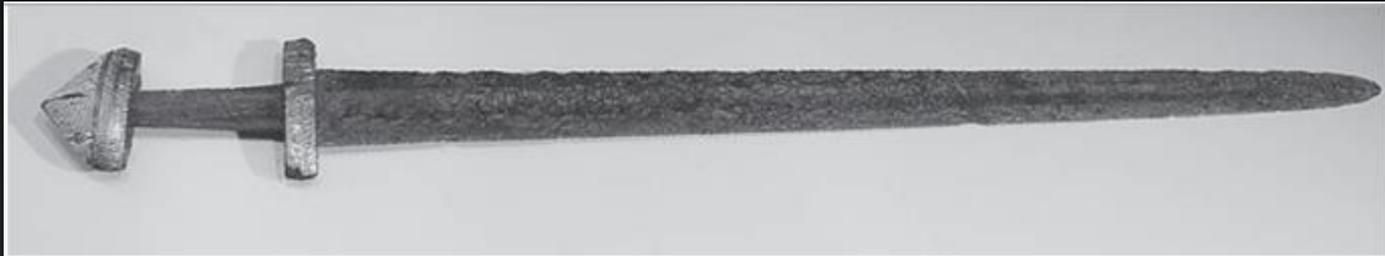


Figure 32. Sword # A11 on exhibition at the Metropolitan Museum of Art, New York (L.2006.57).

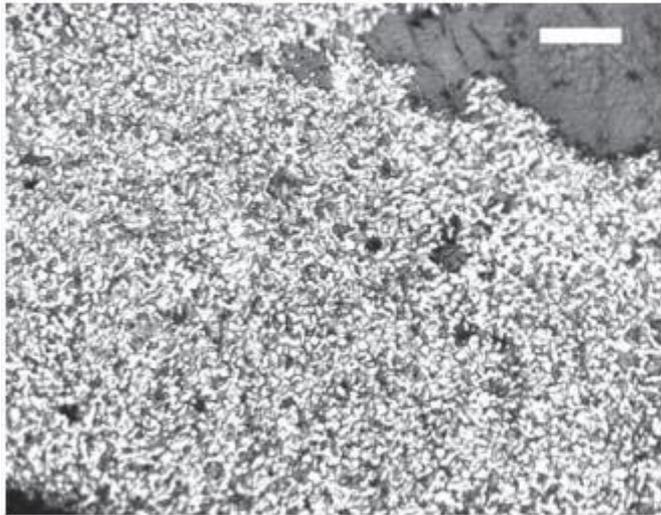


Figure 33. Microstructure of # A11: pearlite and ferrite (scale bar = 50 microns).

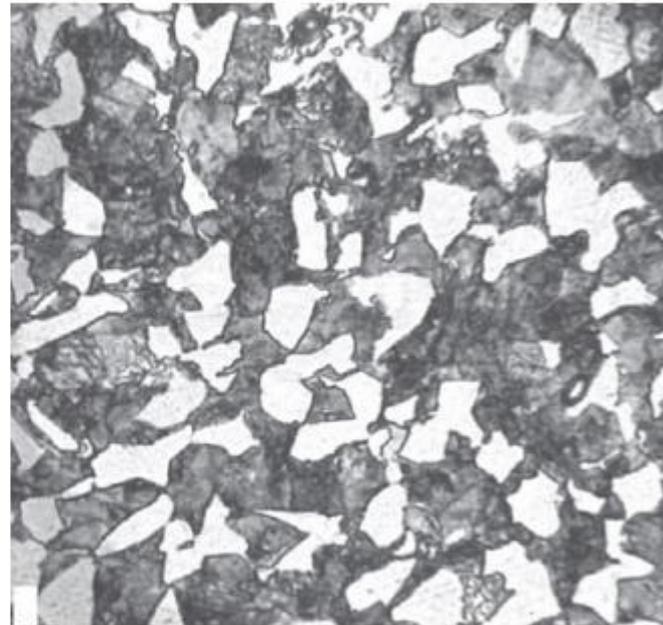


Figure 34. Microstructure of # A11: pearlite and ferrite (scale bar = 10 microns).

Мечи раннего средневековья



Figure 54. Sword # B5.

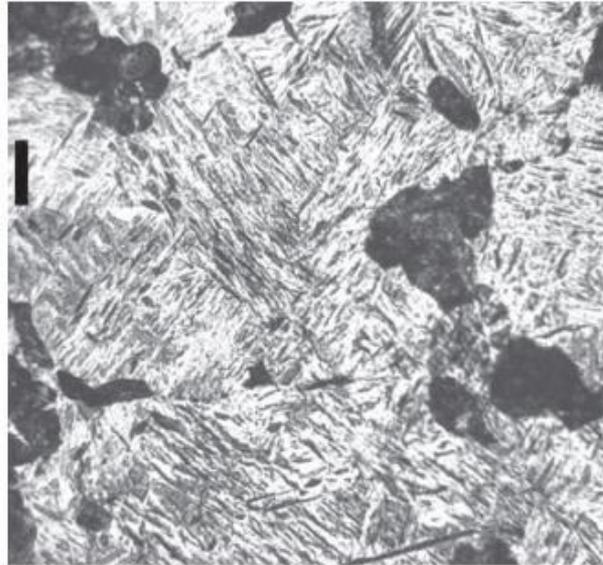


Figure 56. Microstructure of sword # B5: tempered martensite and nodular pearlite. (scale bar = 10 microns).

Мечи раннего средневековья



Figure 61. Sword # C2.

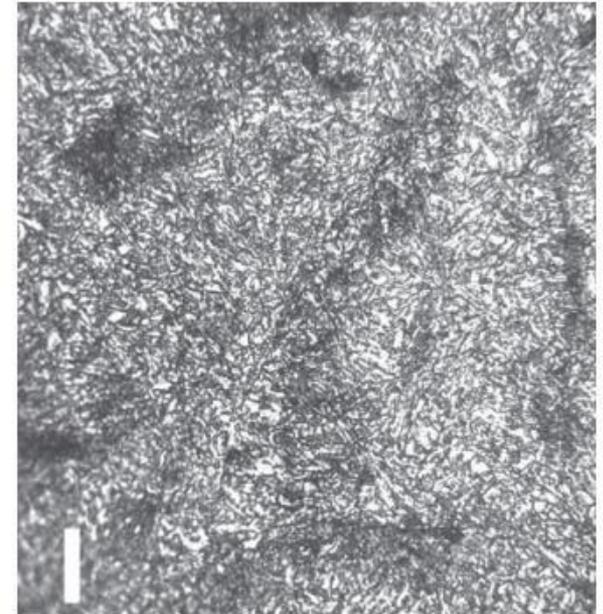


Figure 63. Microstructure of sword # C2: acicular martensite (?) and bainite.

Мечи раннего средневековья



Figure 117. Sword # D9.

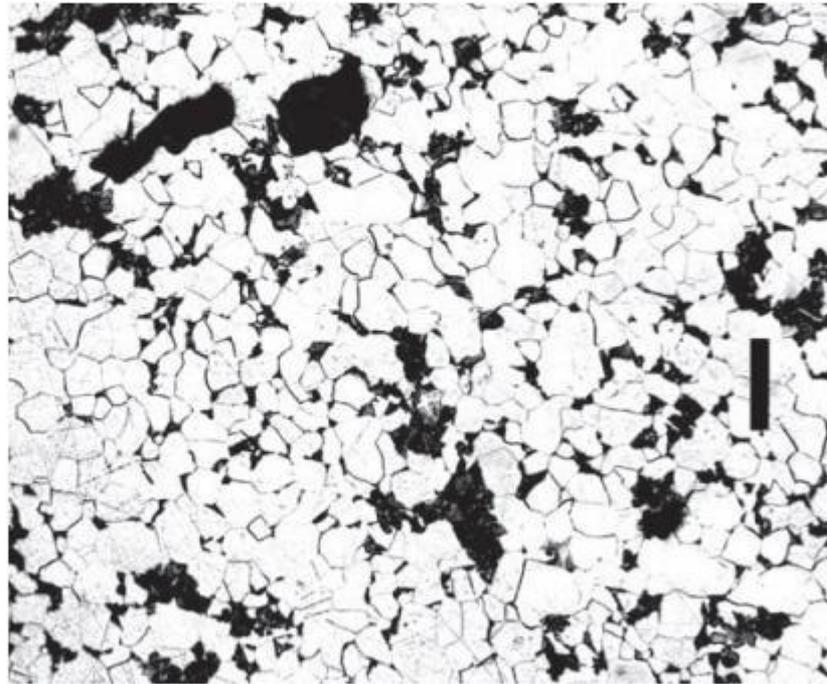
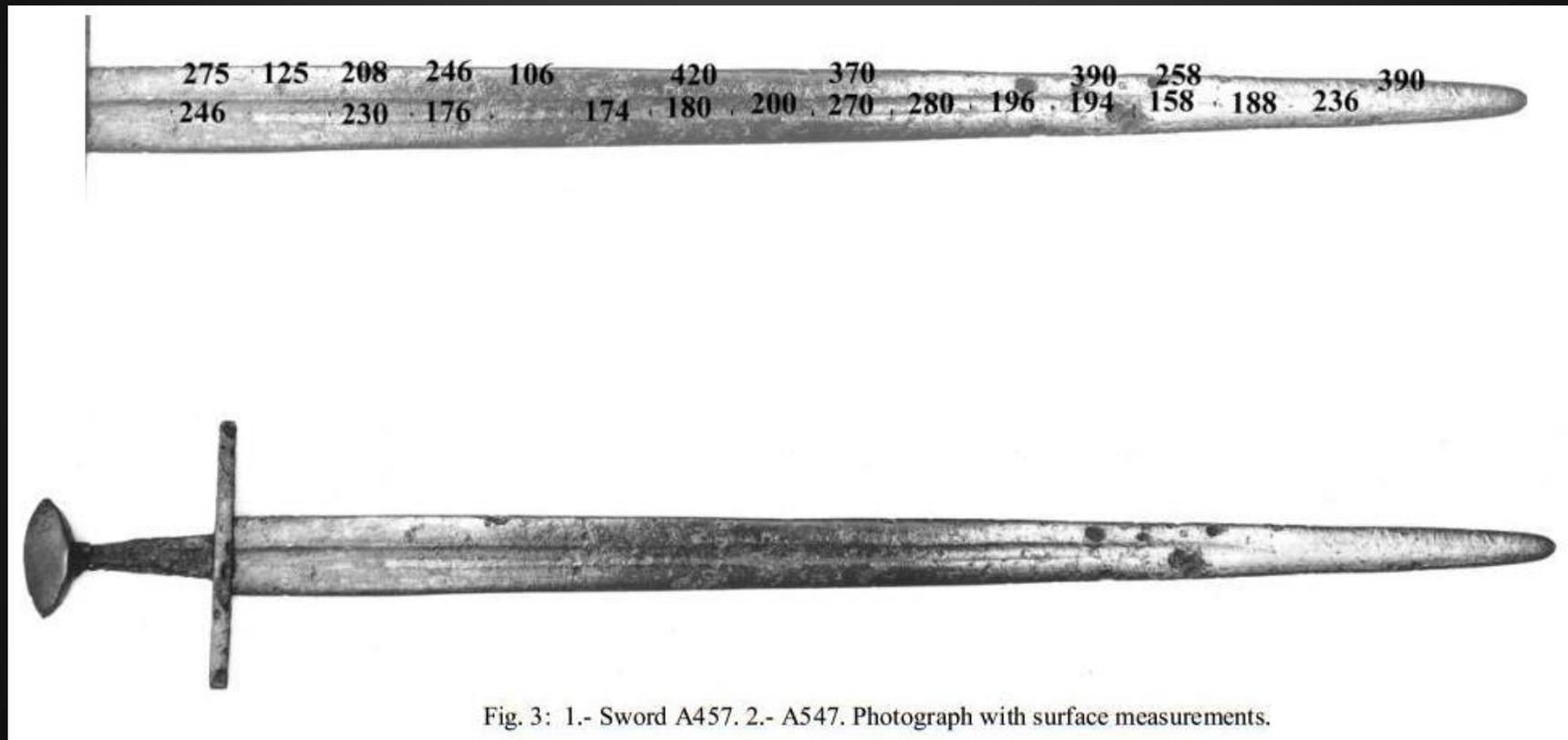


Figure 119. Microstructure of # D10: ferrite, slag, and a little pearlite (scale bar = 50 microns).

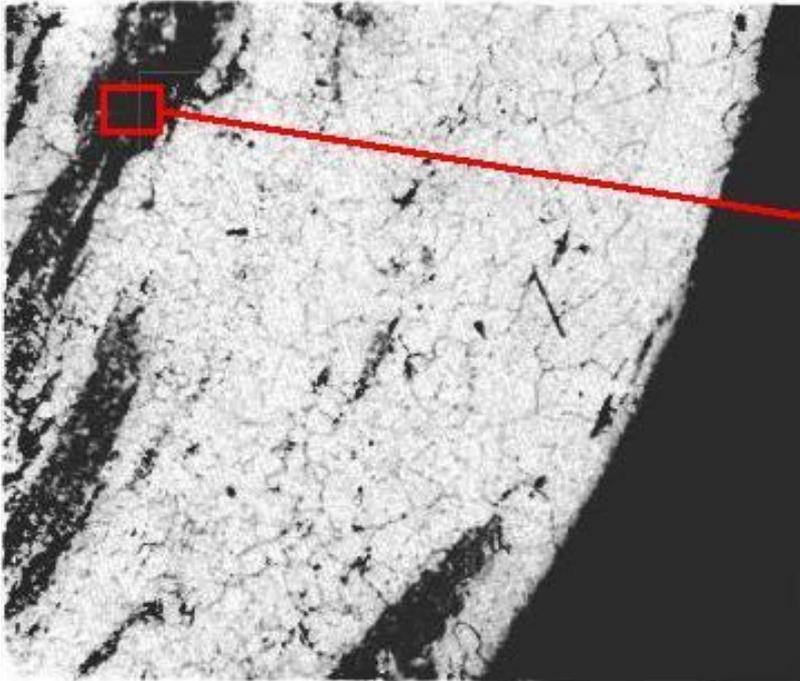
Мечи высокого средневековья



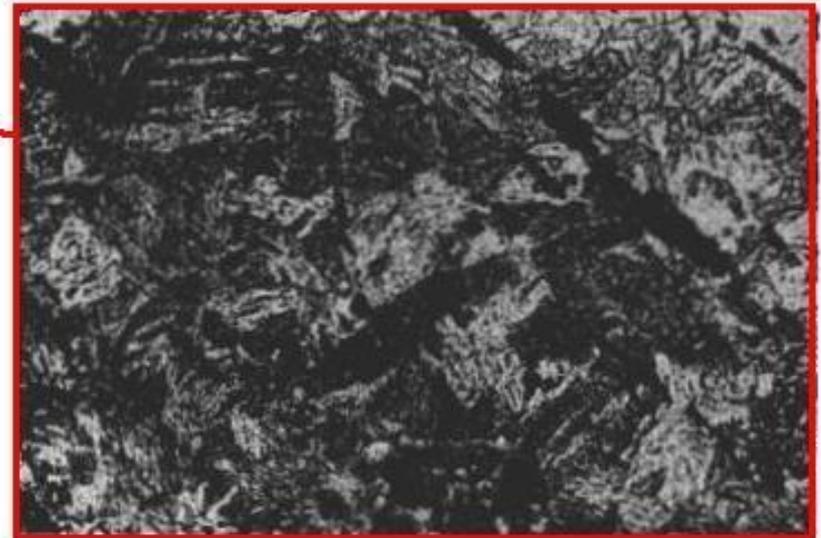
Элементы доспеха. Кольчуга 13в.

Approximate grain size (ferrite) = 7 ASTM.

Average VPH (ferrite) = 123 }
(bainite) = 314 }



Mostly ferrite with streaks of a dark-etching material

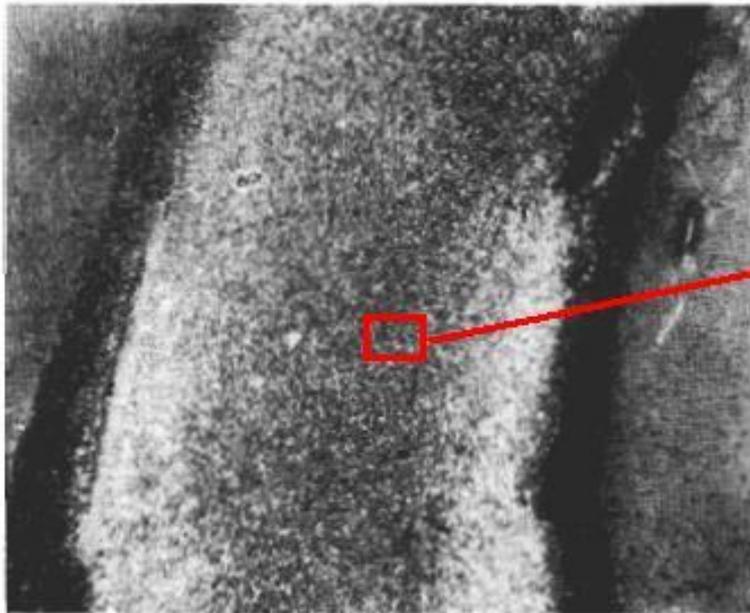


One of the dark-etching streaks (bainite)

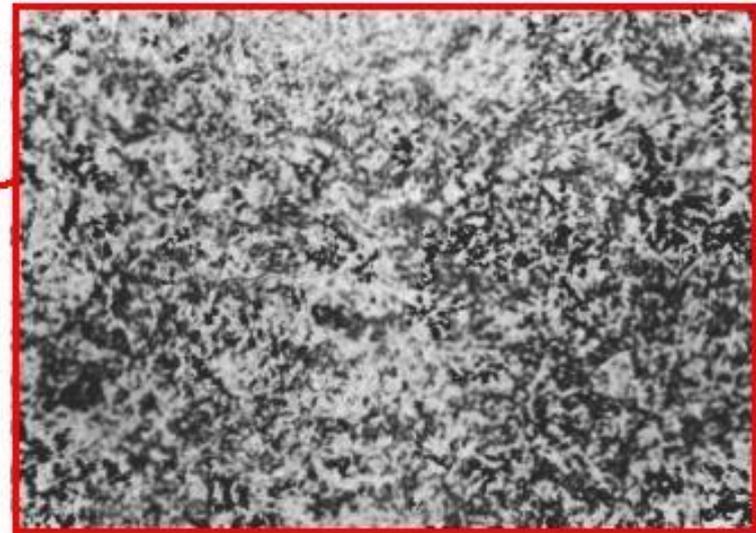
Элементы доспеха. Кольчуга 15в.

Average VPH = 527.

Carbon content = 0.32 %.



X 100 mag.



X 2000. Tempered martensite, showing a mass of tiny carbide particles

Элементы доспеха. Шлем MadeIn тип 1



Fig. 3. Helm Liestal 531.211.

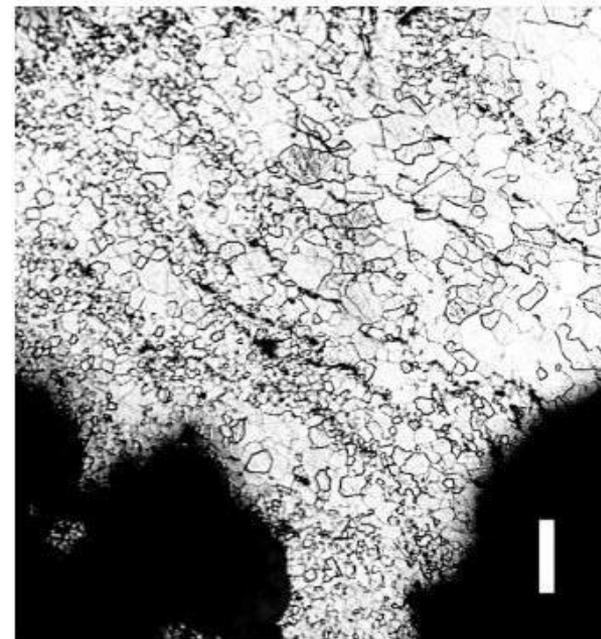


Fig. 4. The microstructure of helm Liestal 531.211; ferrite only.

Элементы доспеха. Шлем Dargen.



Fig. 1. Helm DHM 1003.

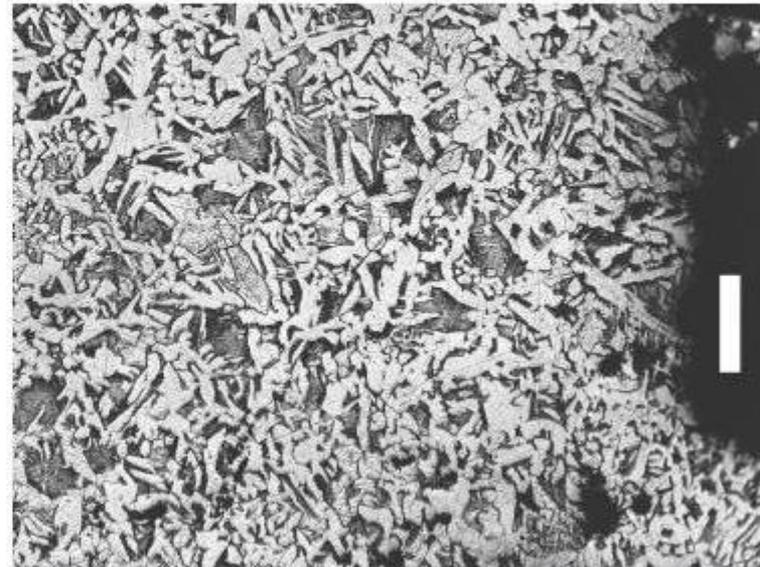


Fig. 2. The microstructure of helm DHM 1003; pearlite and ferrite (scale bar = 100 microns in each photomicrograph).



Спасибо за внимание!

