Лекция 9.

Технология керамики

Технология керамики

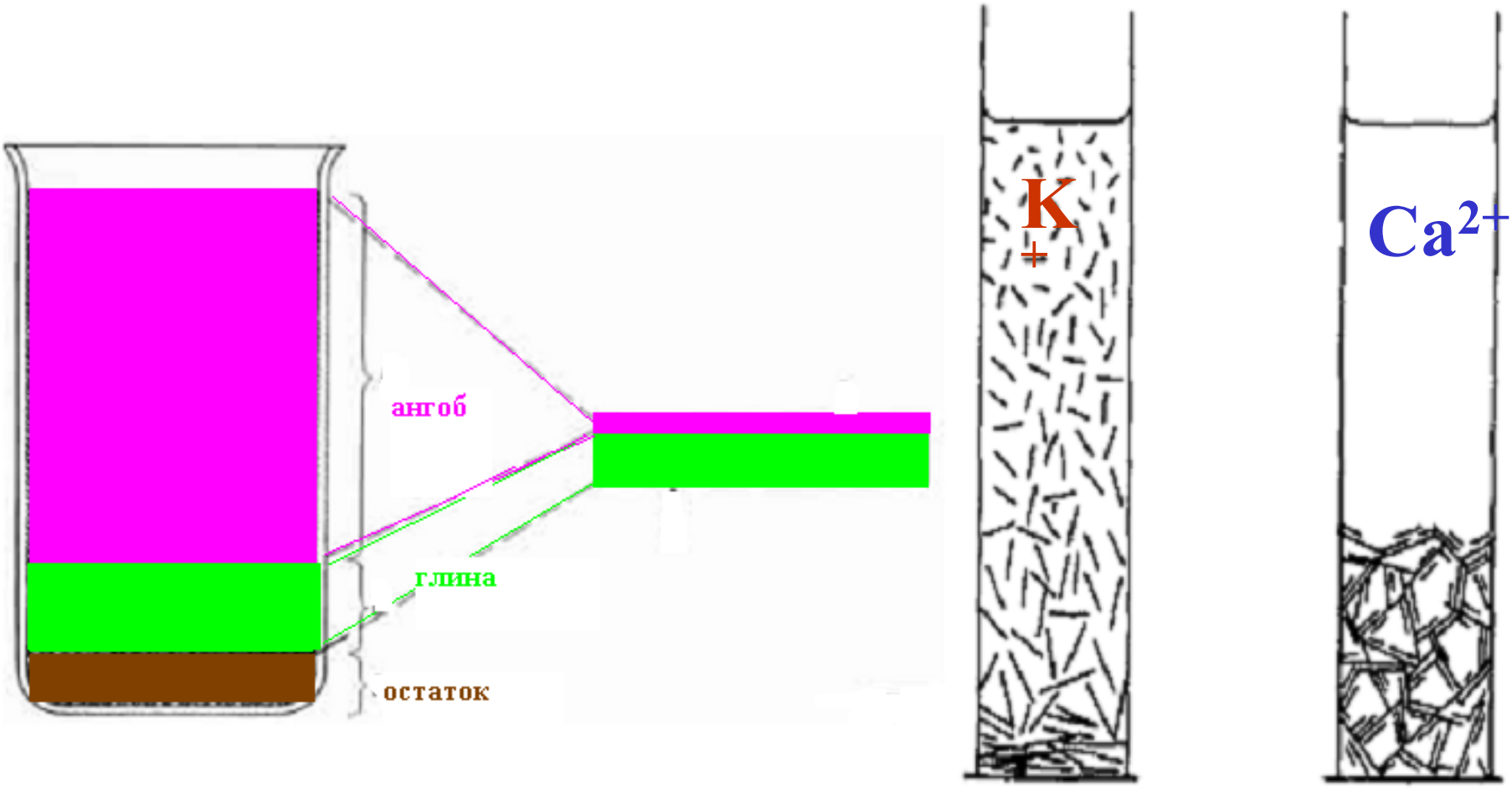
Подготовка глинистых

- Вымораживание
- Зумпфование
- Грубое дробление
- Тонкое измельчение
- Приготовление глиняного теста
- Вакуумирование

Формование изделий. Способы формования

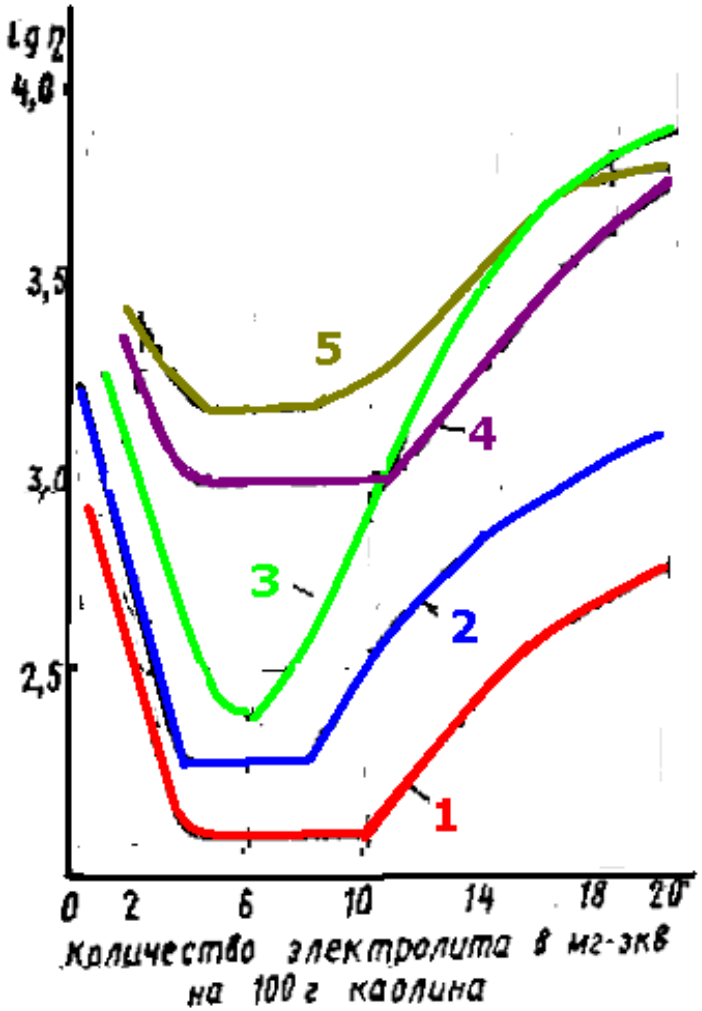
1) Литье (25 – 34% влажность)
2) Пластическое формование (16 – 25%)
3) Полусухое формование (7 – 16%)
4) Сухое формование (2 – 7%)

Взаимодействие суспензии глины с электролитами

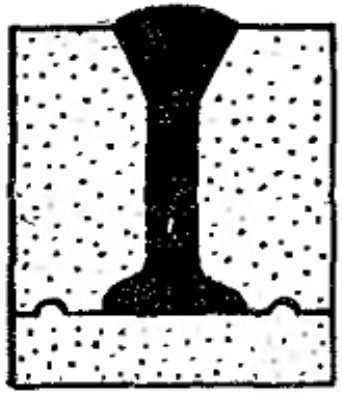


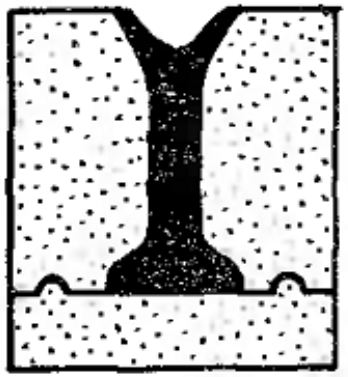
1) Глинистые частицы
2) Отощающие вещества
3) Плавни
4) электролиты

Литье

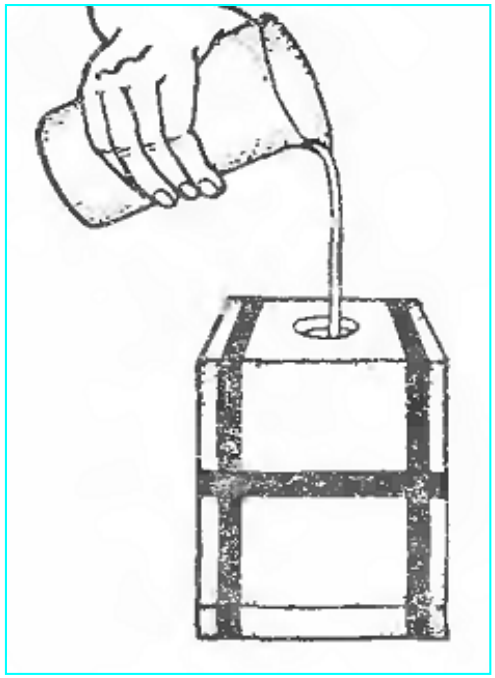


Наливное литье

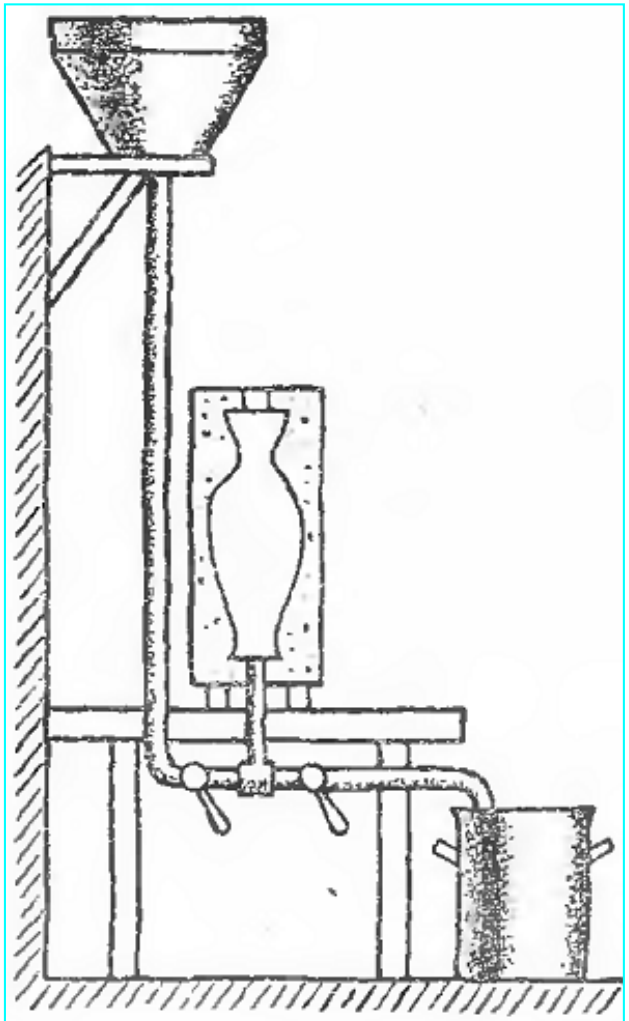




Разобранная форма

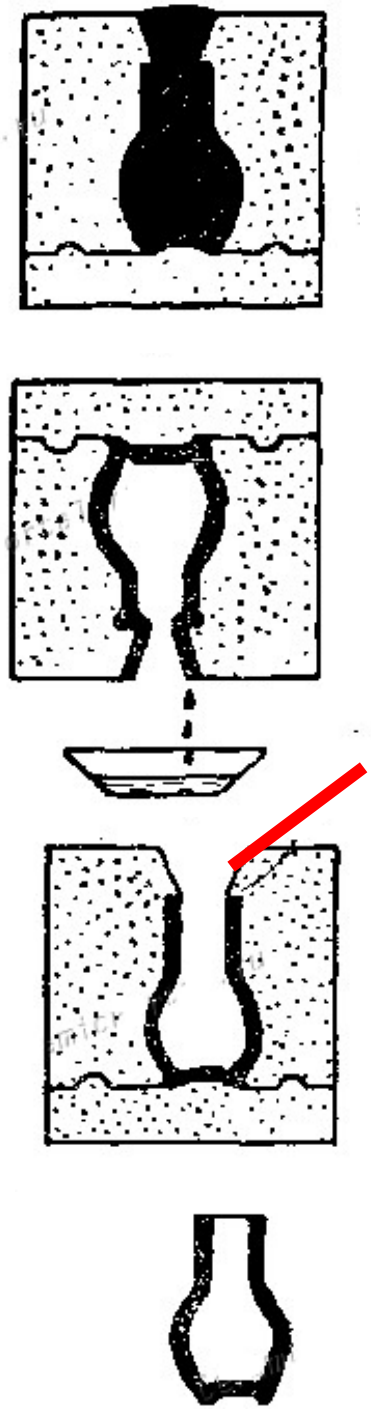


Заливка



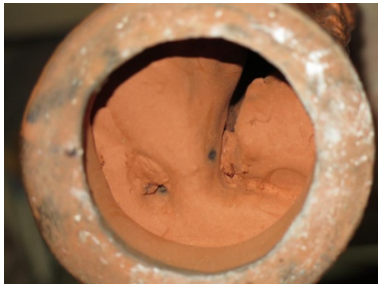
Заливка шликера снизу
избыток сливается
через спускной кран

Сливной способ



Изготовление скульптуры литьем

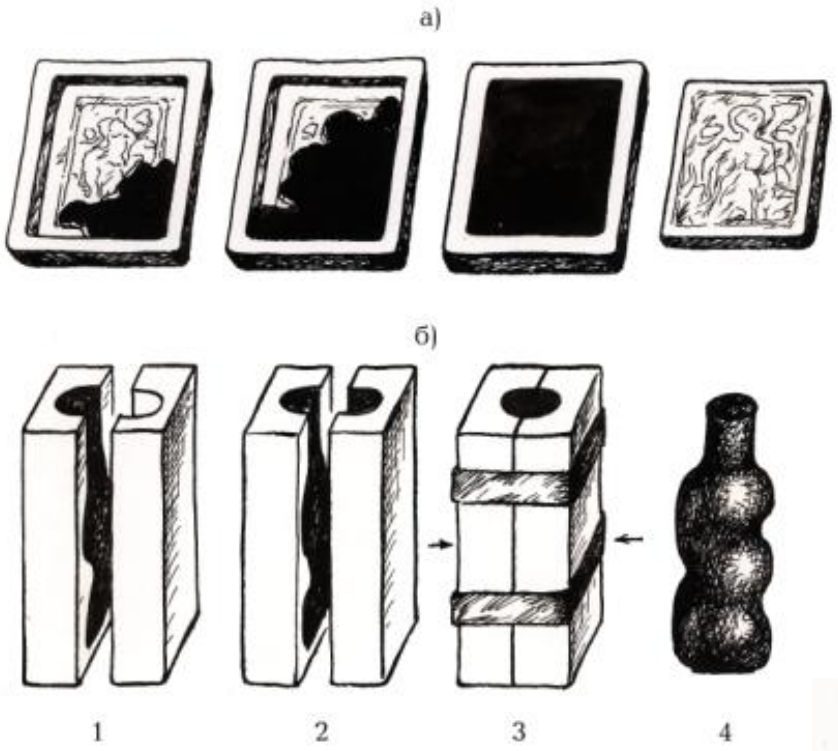
- Эскиз
- Черновая модель
- Первичная форма
- Чистовая модель
- Литьевая форма
- Склейка изделия из нескольких форм
- Скульптура

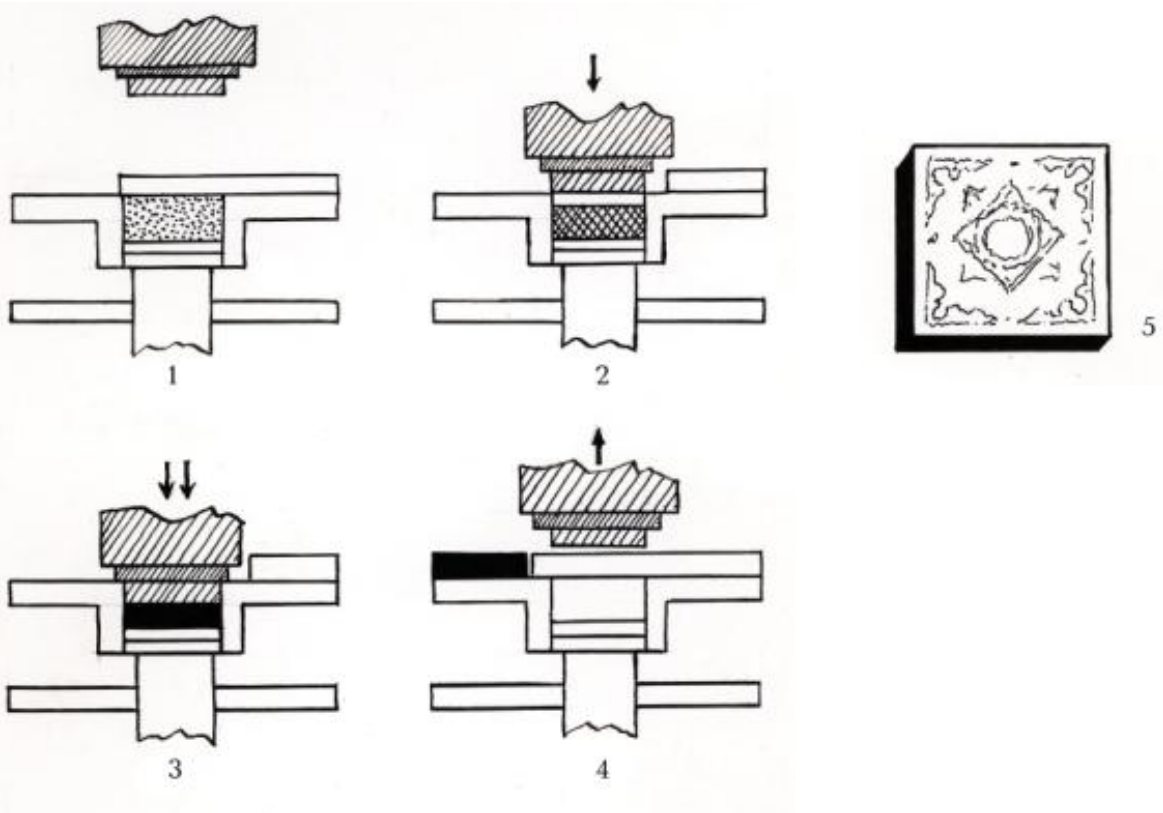


Пластическое формование

- свободная лепка
- формование на гончарном круге,
- ручной оттиск в форме (отминка),
- формование по вращающейся гипсовой форме с помощью шаблона или ролика

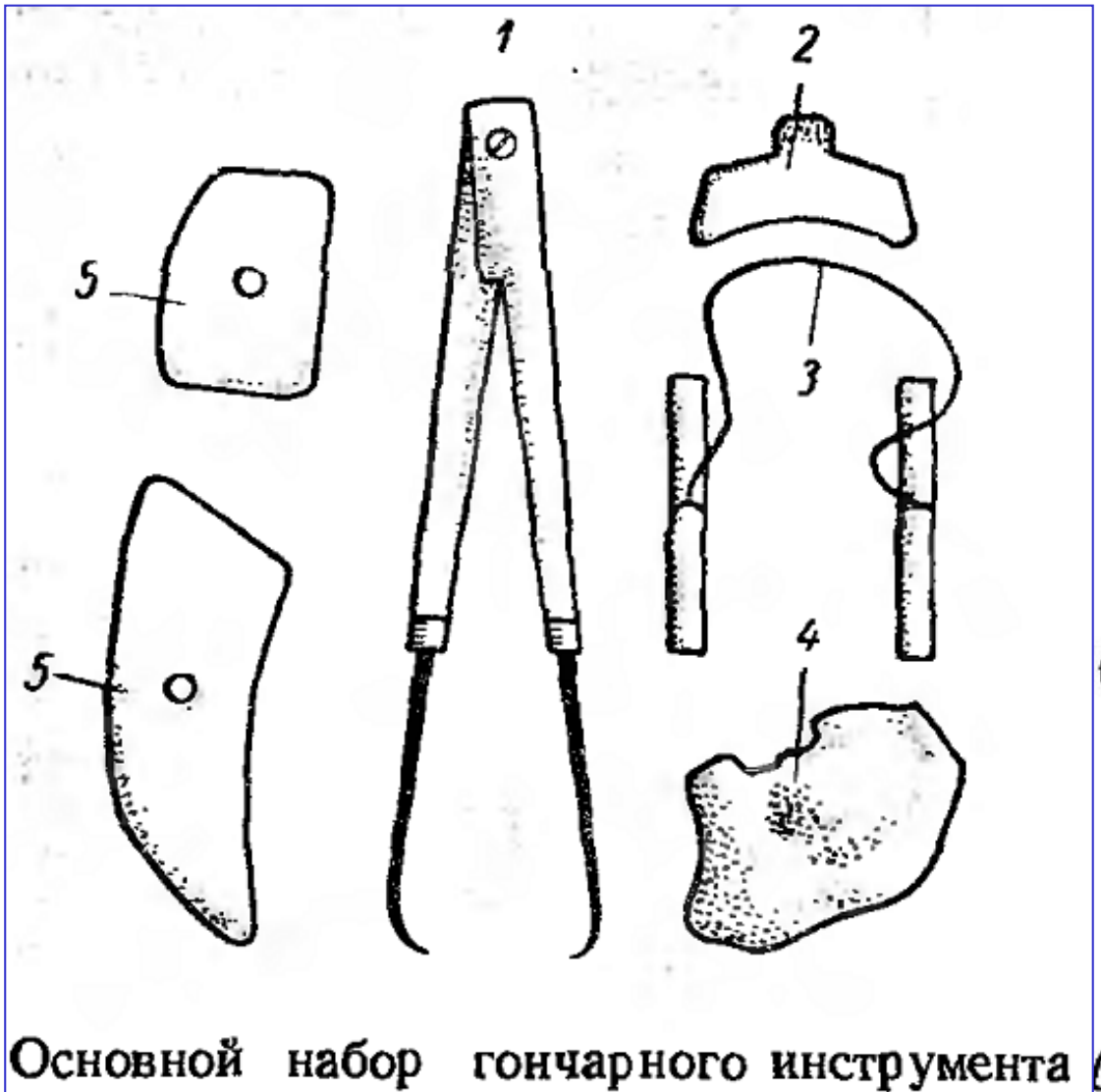
Пластическое формование





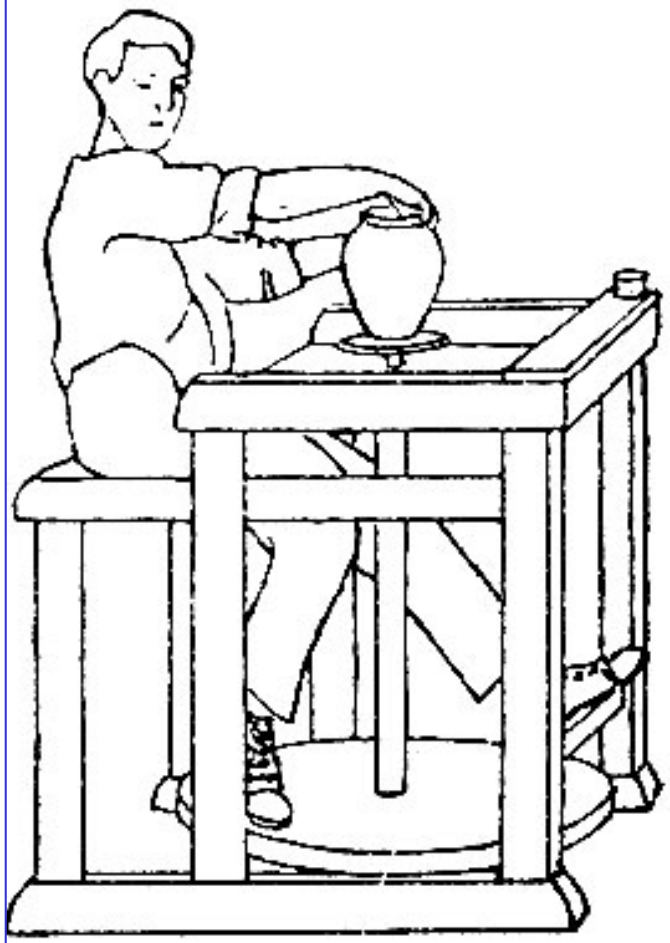
Гончарный круг

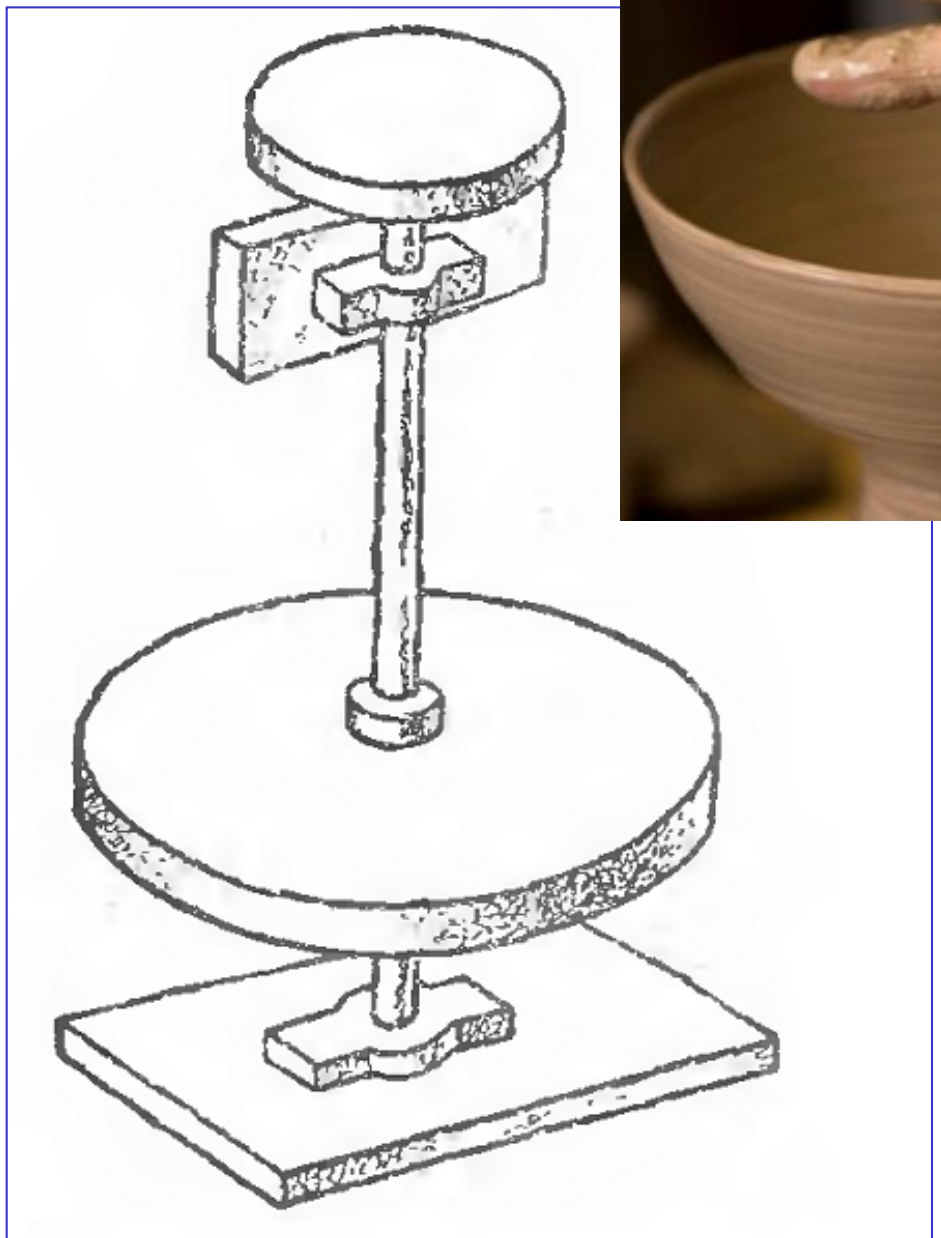
Появился в Китае
в конце IV тыс до н.э.



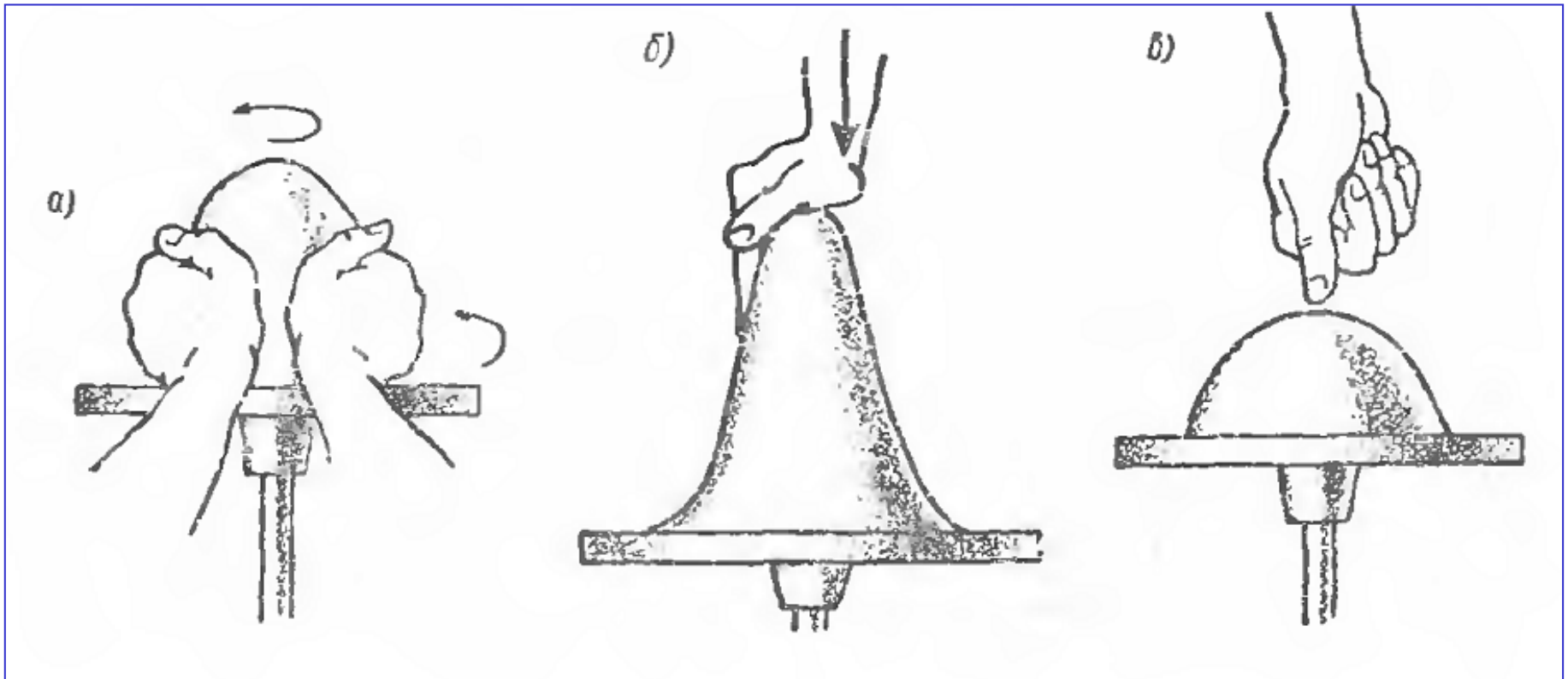
Основной набор гончарного инструмента

1 — толщиномер; *2* — подъемник; *3* — проволока; *4* — губка; *5* — шаблоны





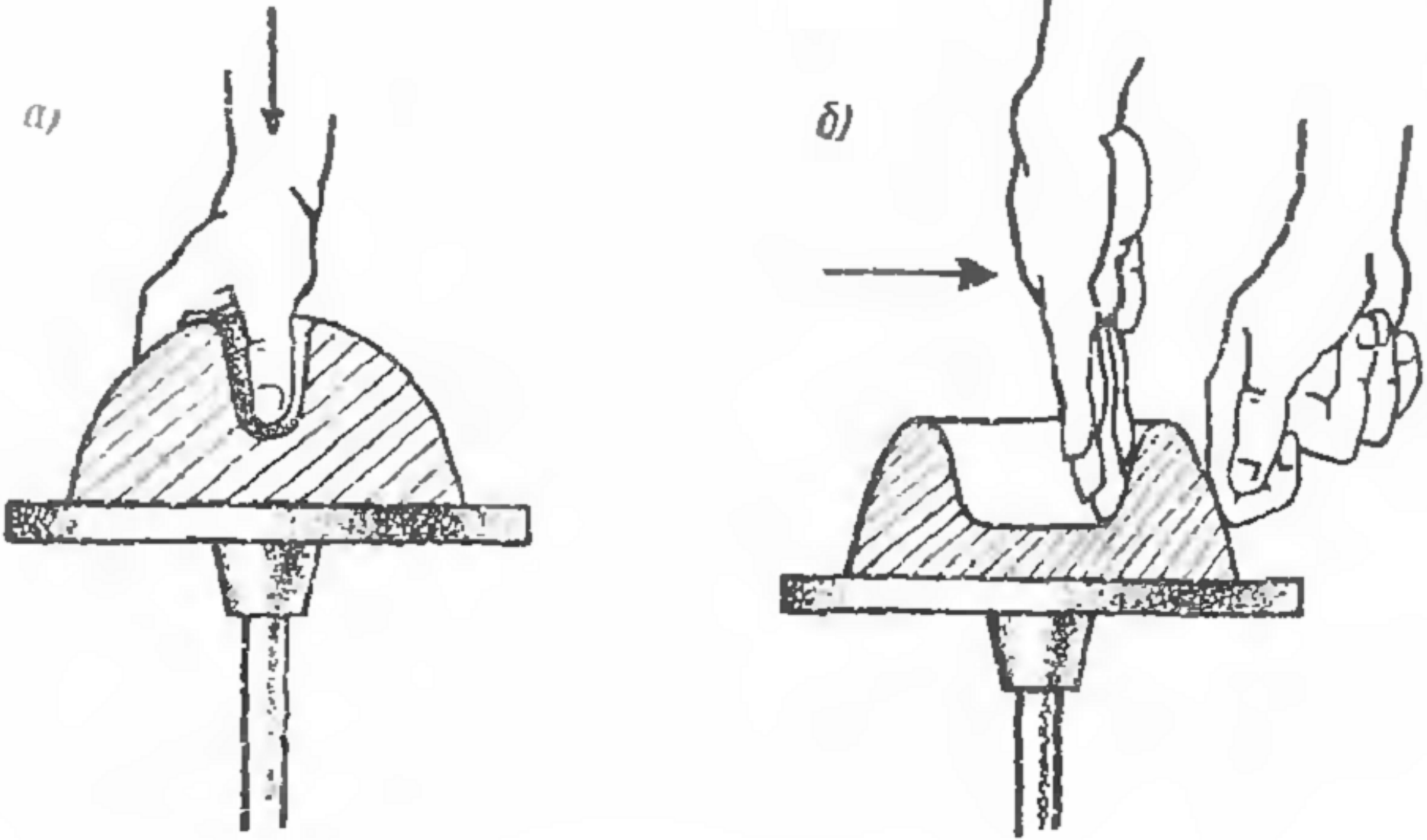
Головка и маховик гончарного круга



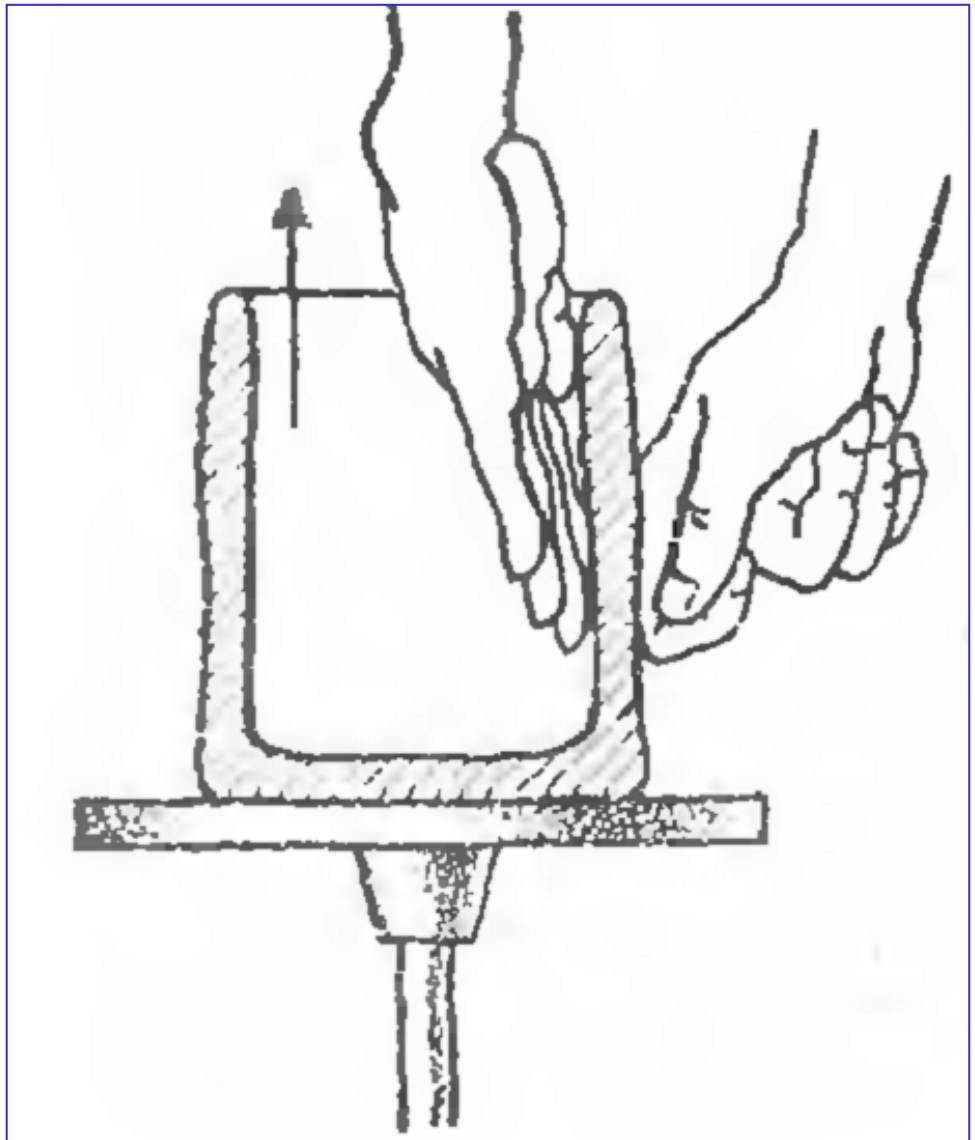
Усиление текстуры массы

а — преобразование купола в конус, *б* — прижатие конуса книзу, *в* — отметка центра на куполе

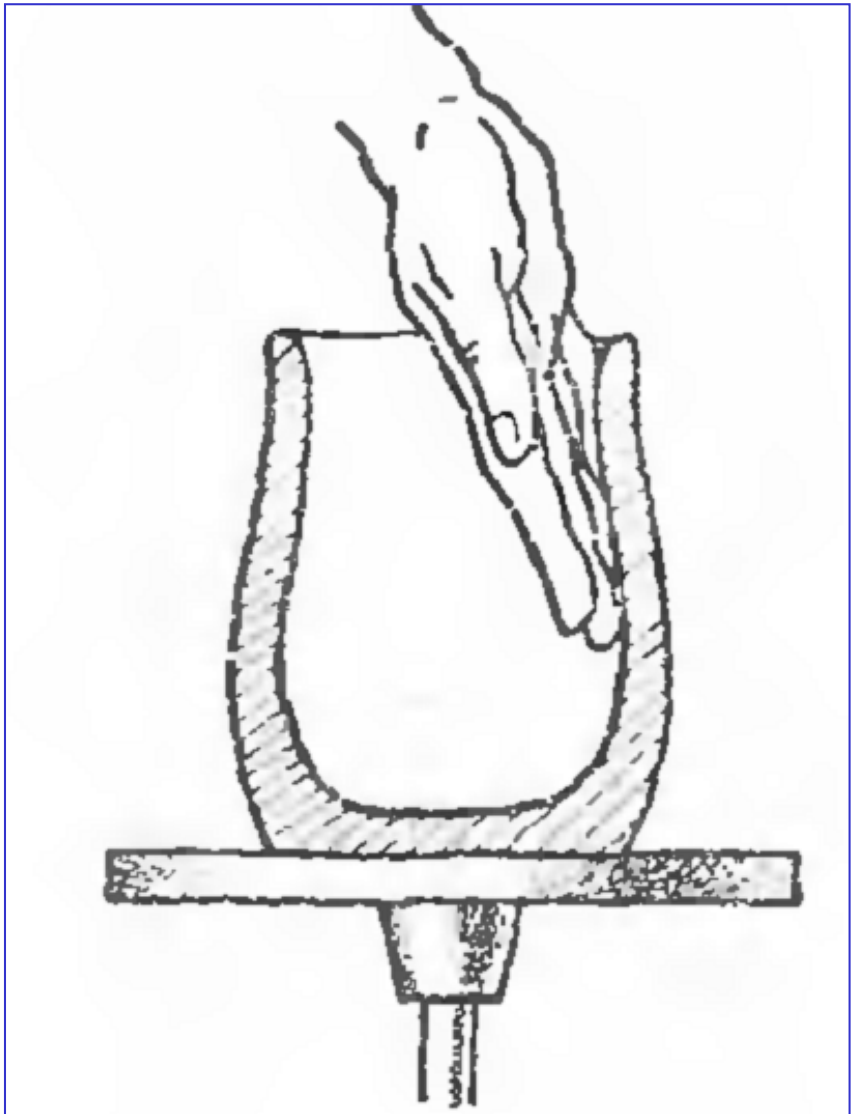
Проминка



Формование полости и дна



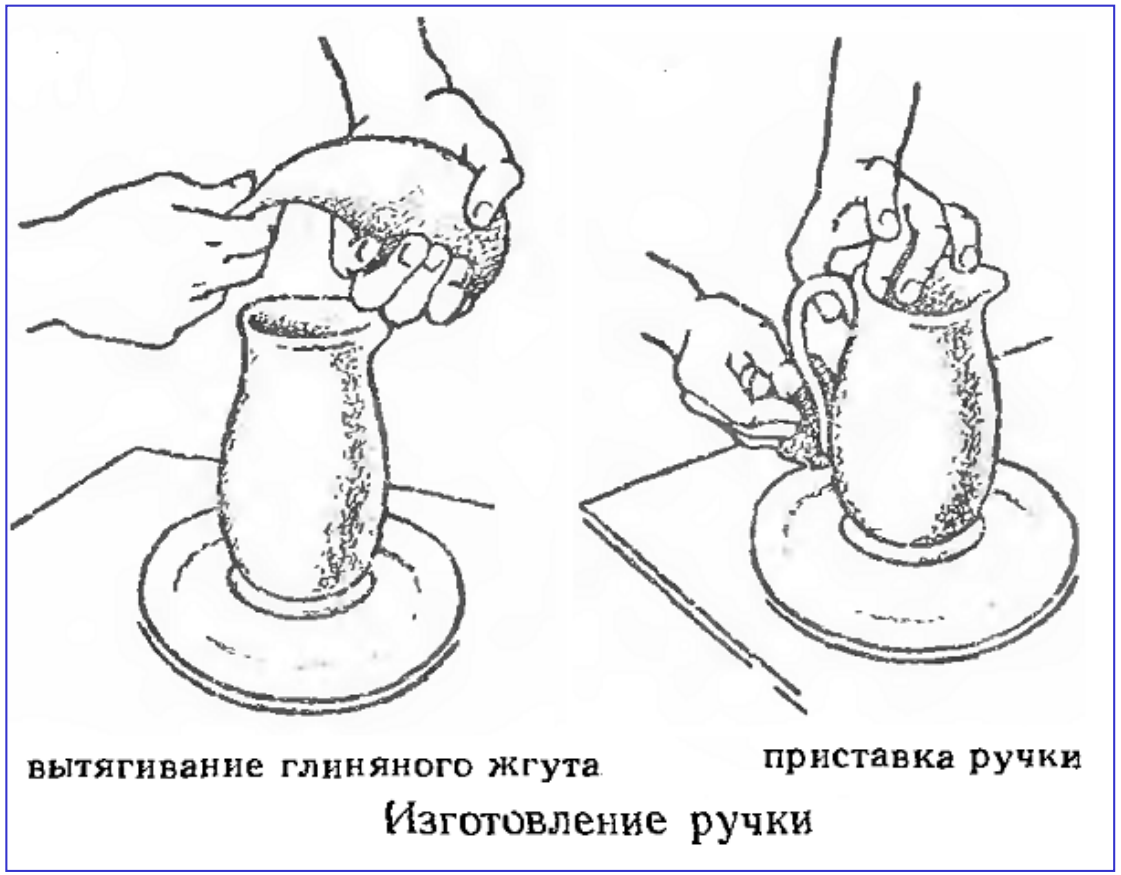
Вытягивание цилиндра



Расширение стенок до необходимой формы

Развертывание края устья

Оттягивание носика

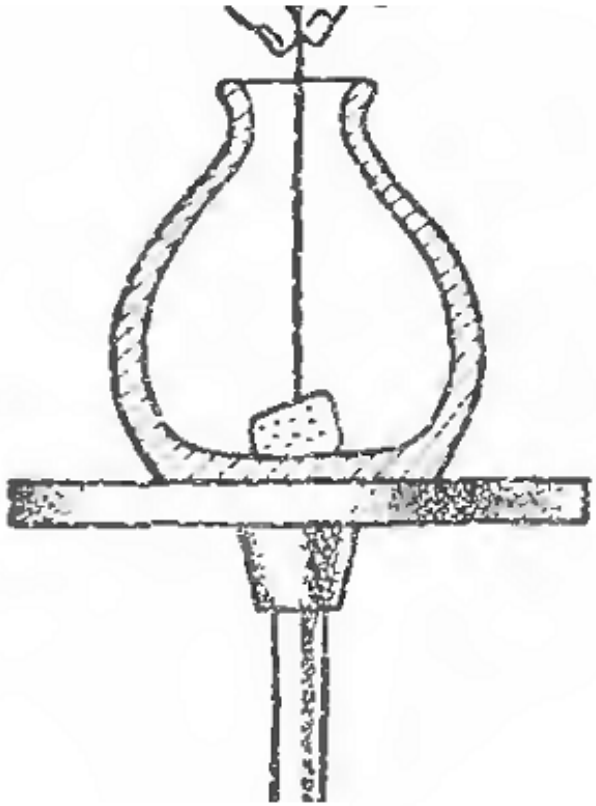


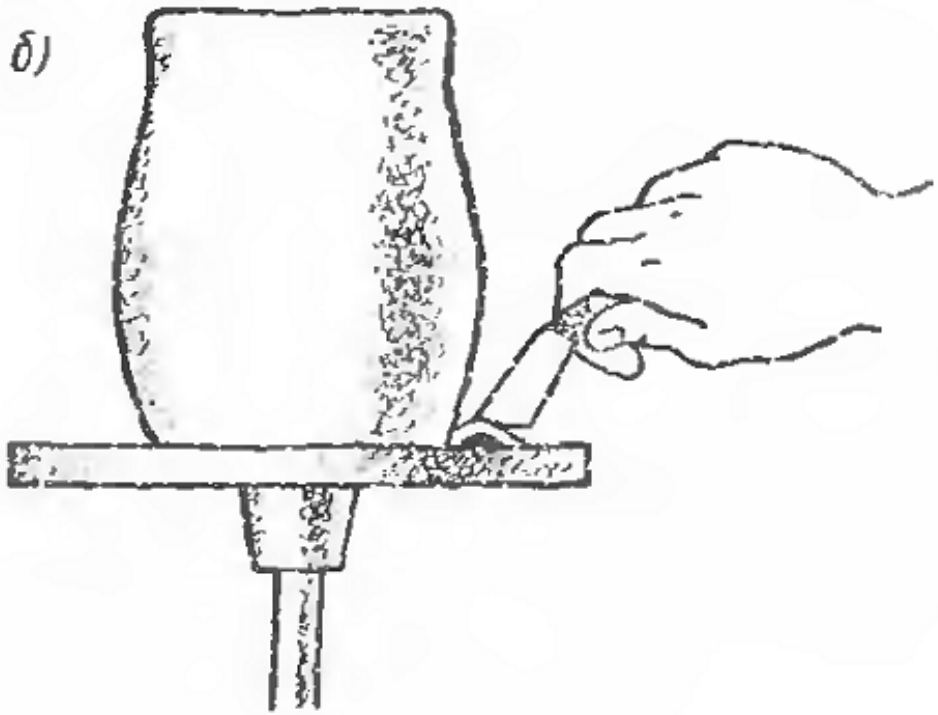
вытягивание глиняного жгута

приставка ручки

Изготовление ручки

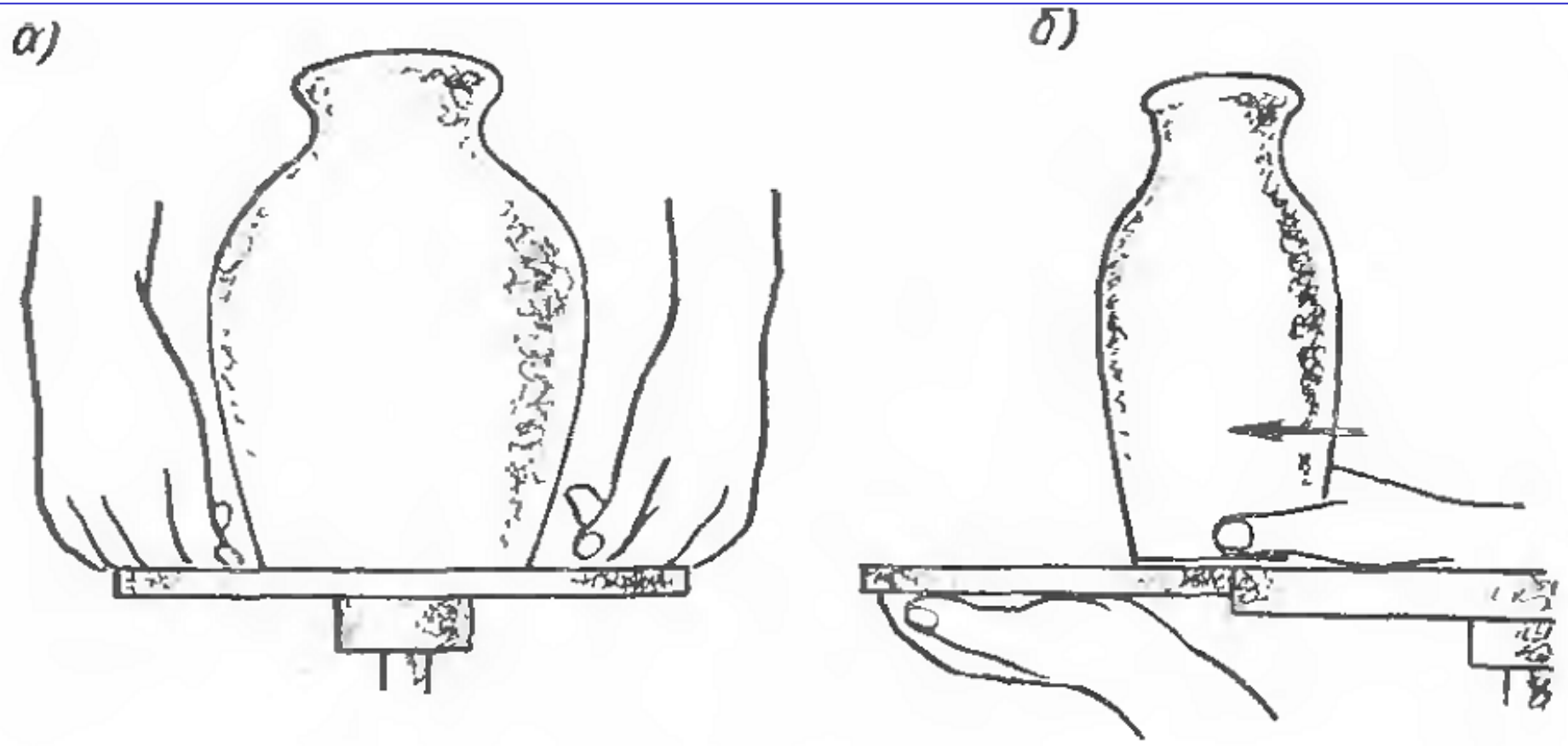
Вытягивание шейки





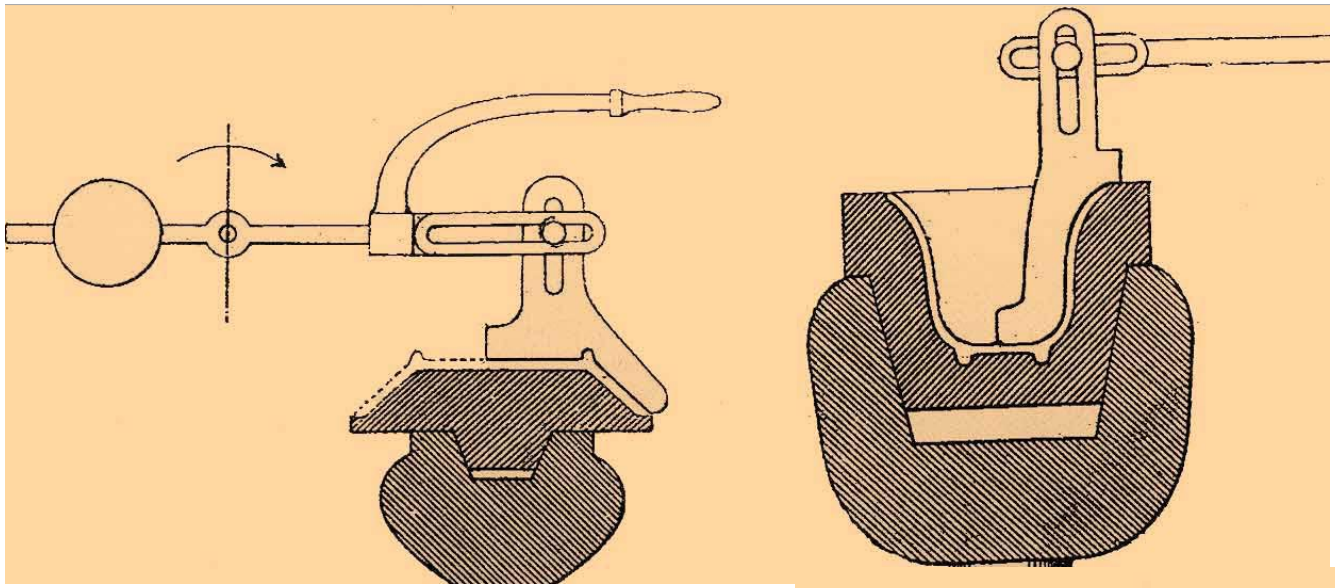
Удаление избытка влаги и жидкой массы

а — губкой на проволоке изнутри узкогорлой вазы, *б* — скребком снаружи



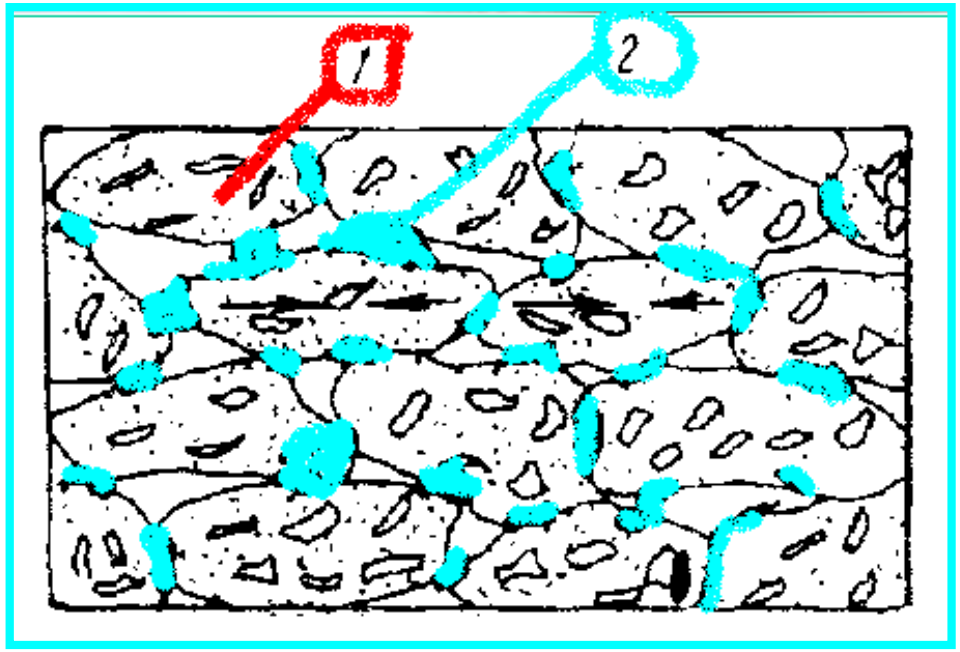
Снятие изделия с головки круга

а — срезание проволокой, *б* — сдвиг на подставку



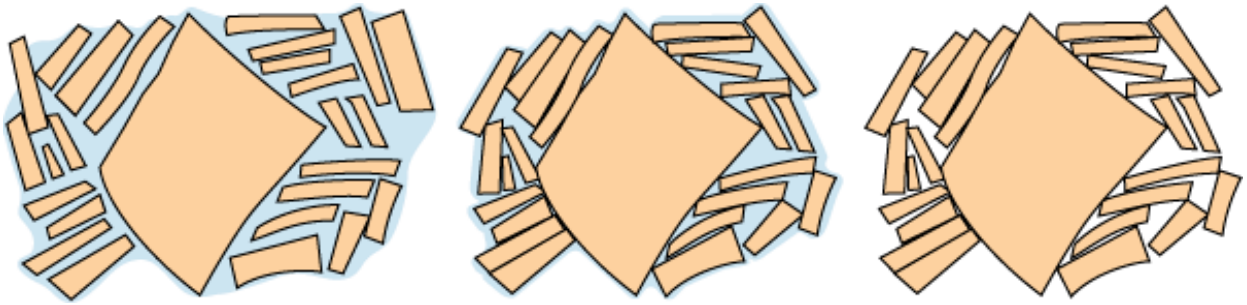

g
d

Полусухое формование

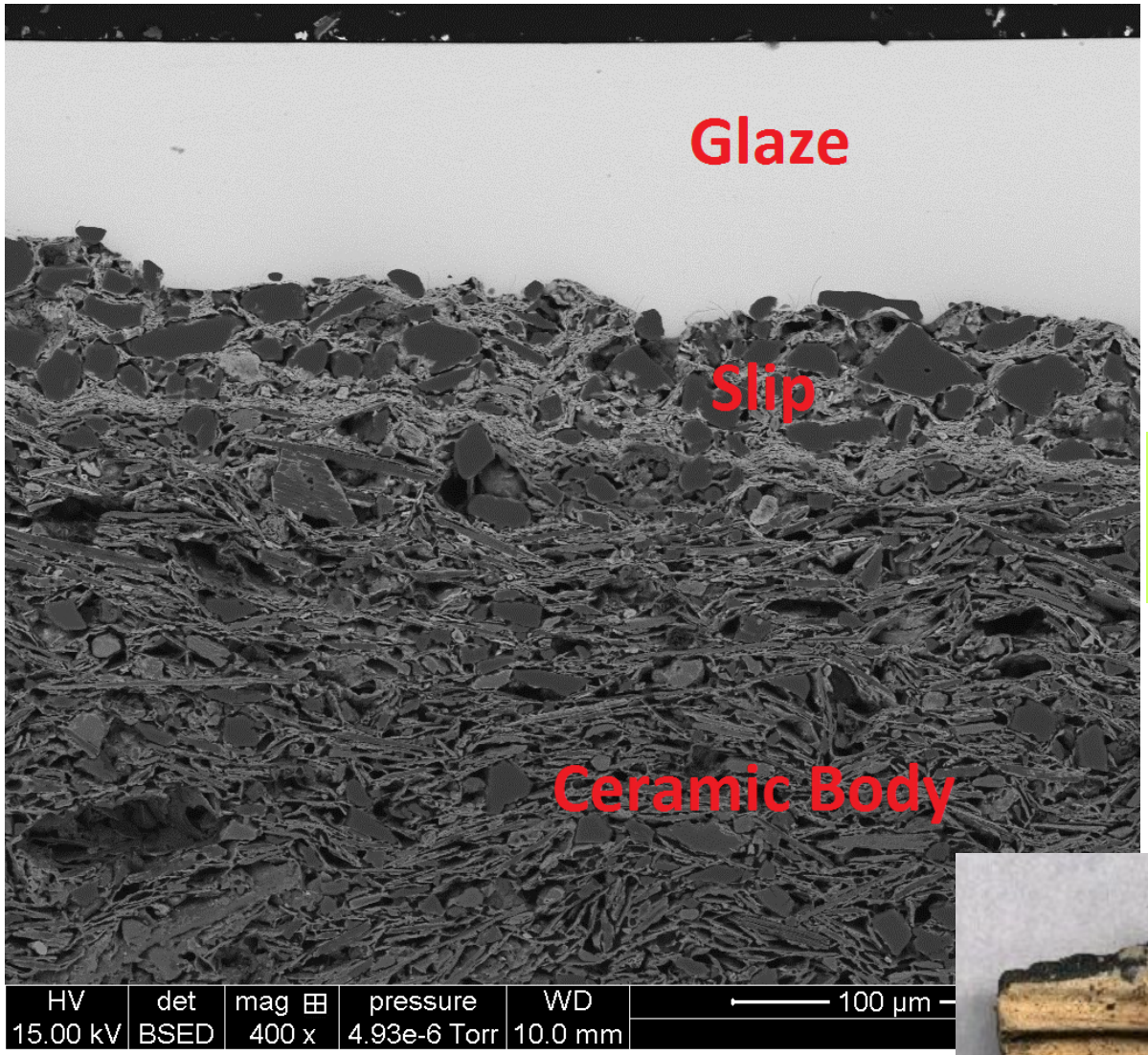


Оправка

Сушка



wet body partially dry completely dry


Glaze
Slip
Ceramic Body
HV
15.00 kV
det
BSED
mag
400 x
pressure
4.93e-6 Torr
WD
10.0 mm
100 µm


Москва,
XIV век

Ангоб

- Улучшение внешнего вида изделия
- Полная адгезия к изделию

Глина + витрификатор (кварц)

Скульптурное декорирование Лощение

Глазури и эмали

$$\left.\begin{matrix}0{,}6\ K_2O \\ 0{,}4\ CaO\end{matrix}\right\}\ 0{,}5\ B_2O_3 \qquad 2{,}5\ SiO_2$$

Формула Зегера

Состав шихты:

KNO_3	121,17 г
$CaCO_3$	40,04 г
$H3BO_3$	61,9 г
SiO_2	150,8 г

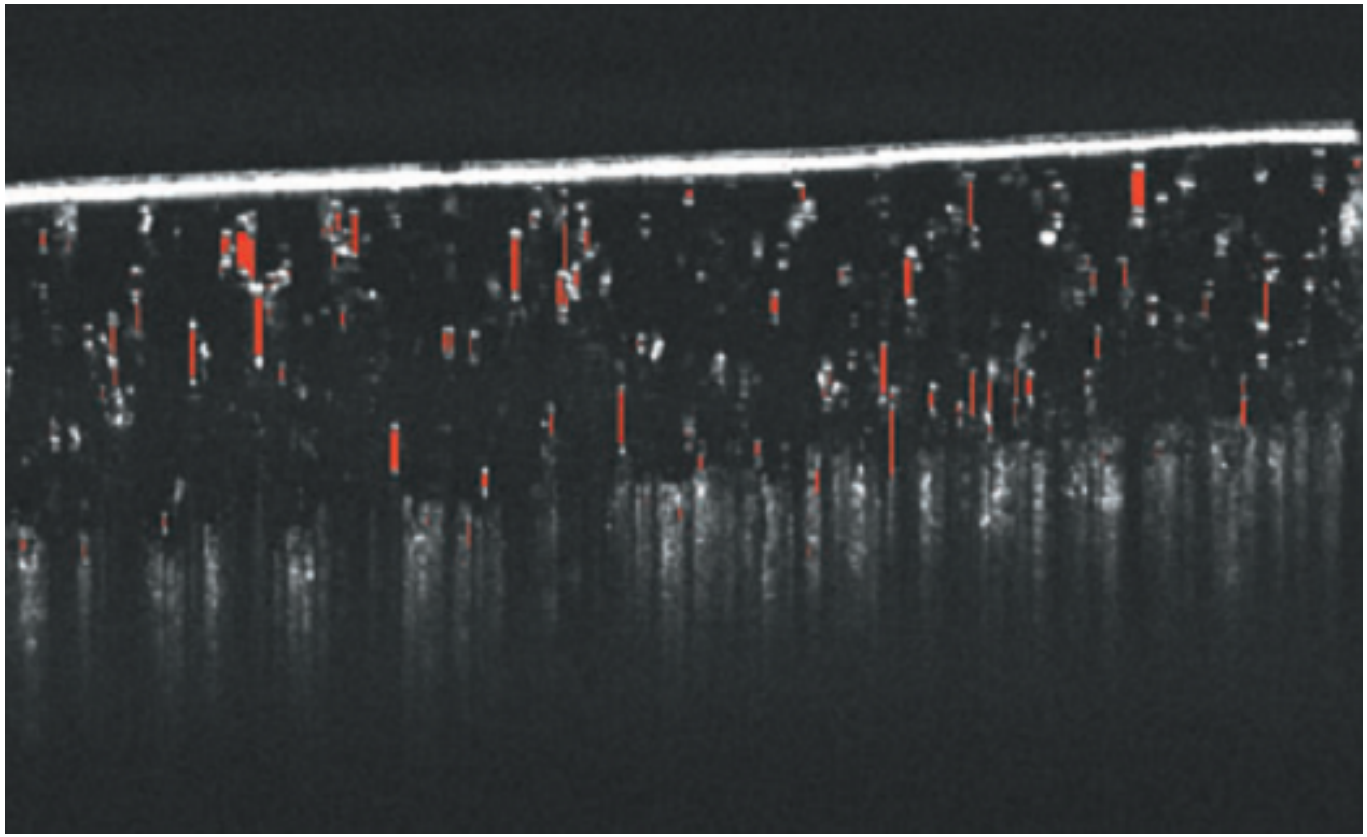
Классификация

- Прозрачные и глухие
- Бесцветные и окрашенные (одноцветные, многоцветные)
- По поверхности: кристаллические, мелкокристаллические (авантюриновые), блестящие (глянцевые), матовые, кракле, пузырчатые
- Легкоплавкие (до 1100°С) и тугоплавкие
- По компоненту (полевошпатовые, свинцовые, литиевые, фосфатные, боратные)
- По назначению (фарфоровые, фаянсовые, майоликовые)

Состав глазурей

- Стекло
- Газовая фаза
- Ликвация
- Кристаллические фазы (нерастворившаяся шихта или вновь образовавшиеся)

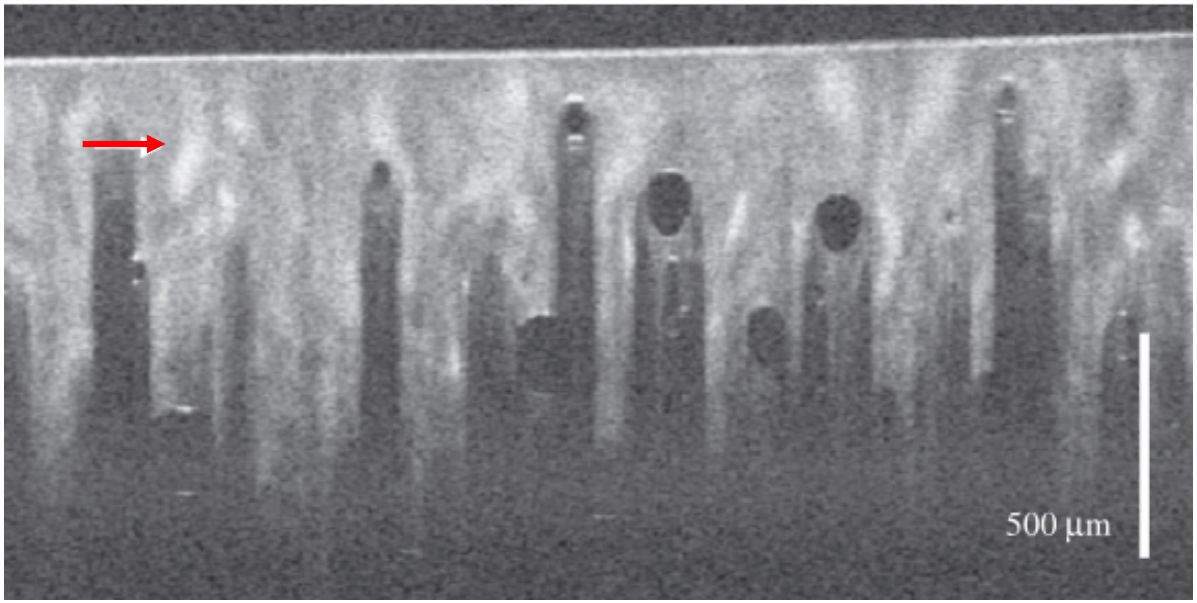
Влияние темаературы, времени и скорости охлаждения

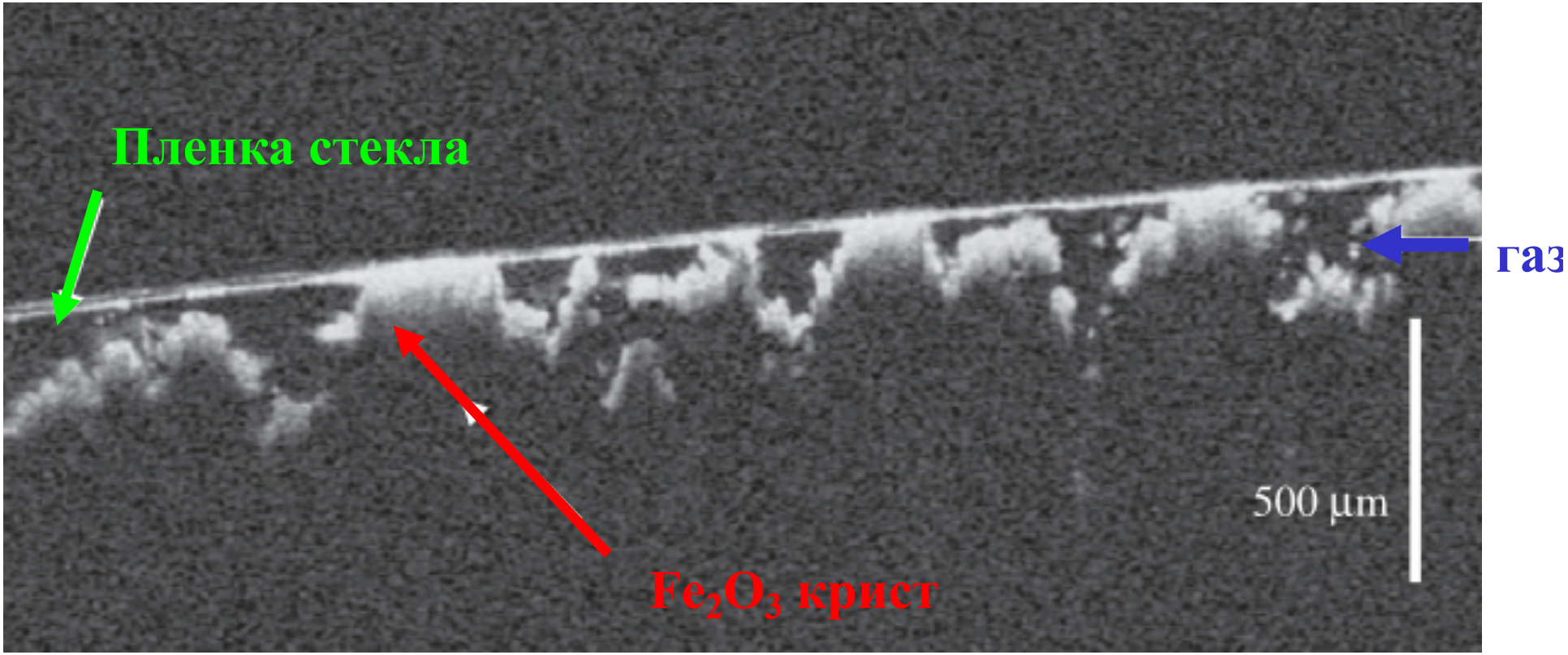


Лунцюань

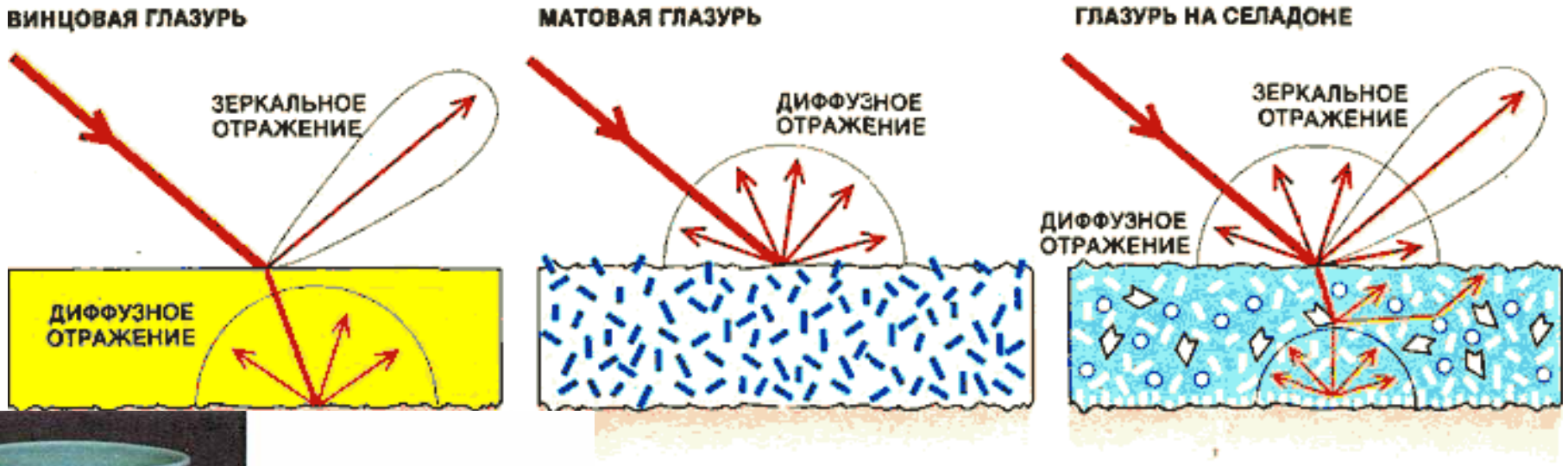
Газовые пузырьки (показаны красным) в глазури

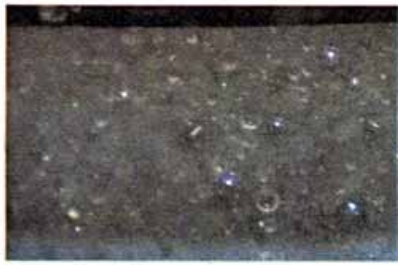
Белым – кристаллы псевдоволластонита (стрелка), черные капли - ликвация




Пленка стекла
газ
500 µm
Fe_2O_3 крист

Отражательная способность





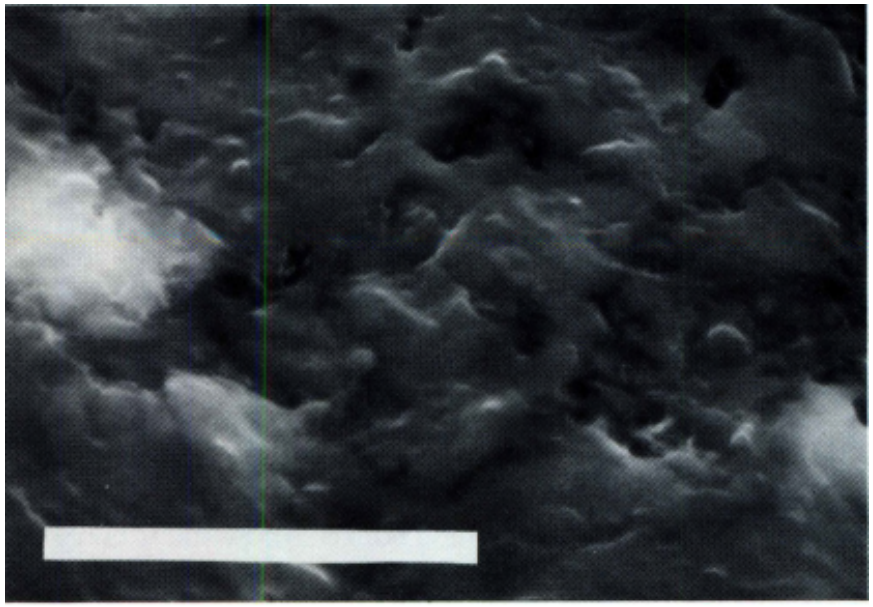
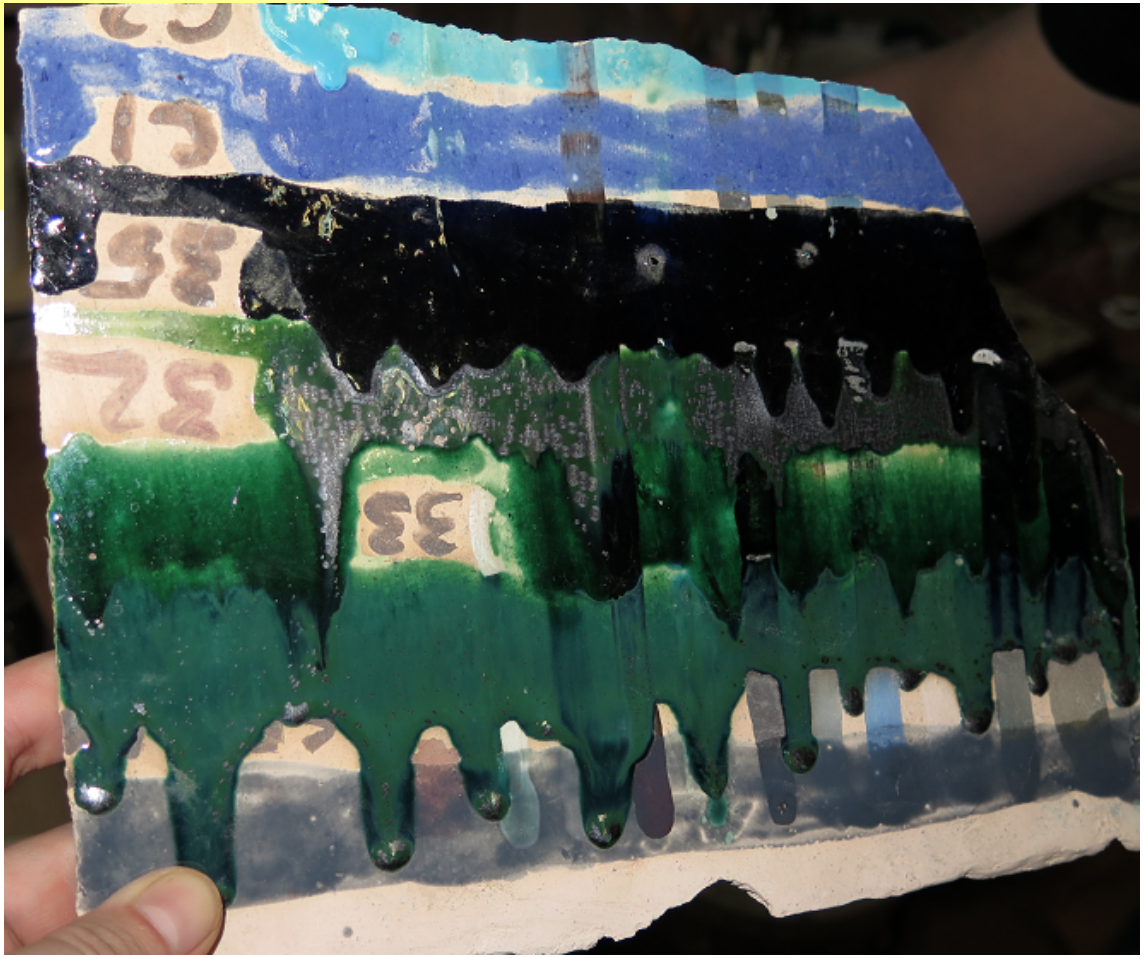
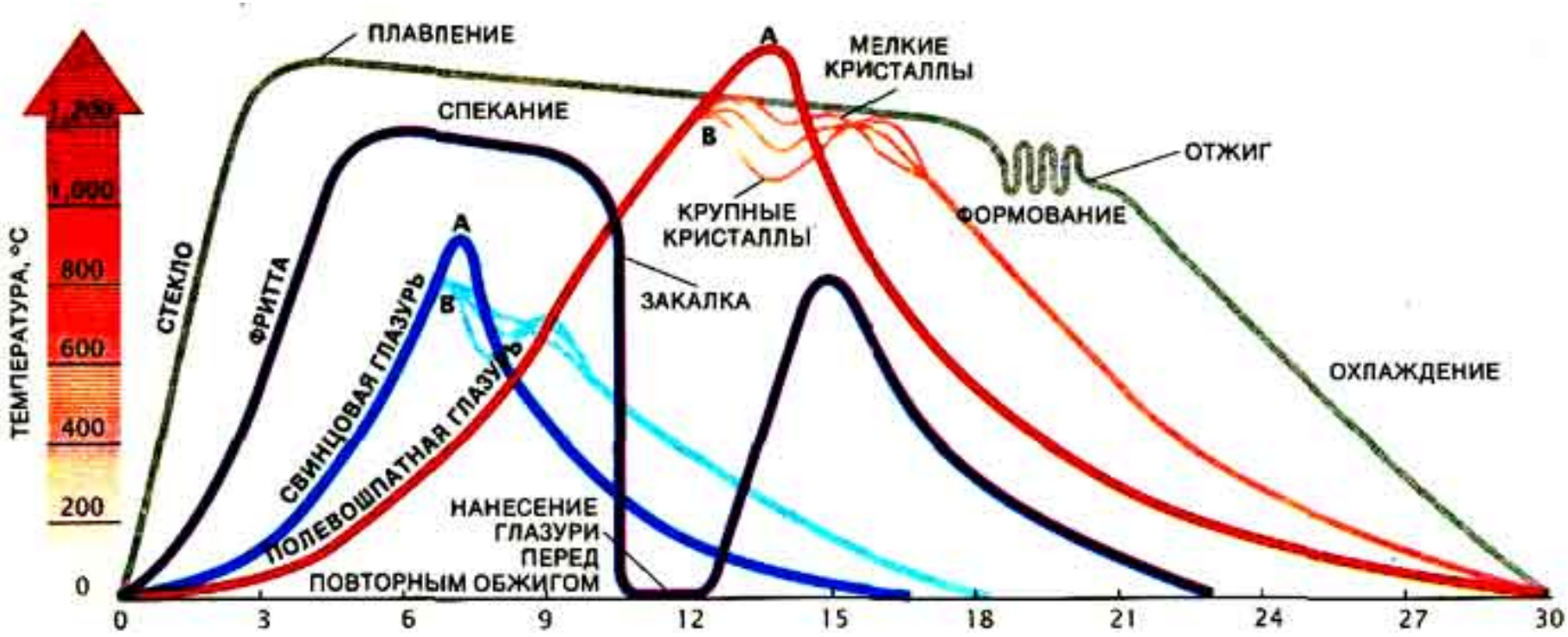


Fig. 2. Fracture surface of celadon sample L-1a. Rough surface indicates presence of crystallites in glass (bar=10 μm).

Традиционные виды глазурей

- Щелочные
- Свинцовые
- Щелочно-известковые
- Боратные





Глазури по способу приготовления

Сырые (компоненты нерастворимы в воде)

Фриттованные (некоторые компоненты растворимы в воде)

Пример сырой свинцовой глазури

$$\left.\begin{array}{l} 0{,}6\,PbO \\ 0{,}3\,CaO \\ 0{,}1\,Na_2O \end{array}\right\} \quad 0{,}2\,Al_2O_3\} \quad 1{,}6\,SiO_2.$$

Состав шихты:
свинцовые белила — 49%
мел — 10%
натриевый полевой шпат — 18%
сырой каолин — 5%
обожженный каолин — 3%
кварцевый песок — 15%

Температура плавления 950—1050°С
Плотность глазурного шликера 1,4 (на 100 в. ч. глазури около 150 см 3 воды).

Состав глазури

RO и R_2O	R_2O_3	RO_2
0,40 Na_2O 0,46 PbO 0,14 FeO	0,03 Al_2O_3 0,32 B_2O_3	2,1 SiO_2

Состав шихты 1

Весовые части (г, кг)	Сырьевые материалы	Молекулярная формула
15,72	Натриевый полевой шпат	$Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$
61,12	Бура	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 10H_2O$
22,26	Сода	$Na_2CO_3 = Na_2O \cdot CO_2$
118,58	Свинцовые белила	$2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2 = 3PbO \cdot 2CO_2 \cdot H_2O$
11,20	Окись железа	Fe_2O_3
115,20	Кварц	SiO_2

Состав шихты 2

Весовые части (г, кг)	Сырьевые материалы	Молекулярная формула
61,12	Бура	$Na_2O \cdot 2B_2O_3 \cdot 10H_2O$
25,44	Сода	$Na_2CO_3 = Na_2O \cdot CO_2$
104,89	Свинцовый сурик	$Pb_3O_4 = 3PbO \cdot O$
10,08	Закись железа	FeO
7,74	Каолин	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$
122,40	Кварц	SiO_2

Древние глазури

SiO_2 31.7%
PbO=61.2%
Al_2O_3=7.1%
эвтектика

≈

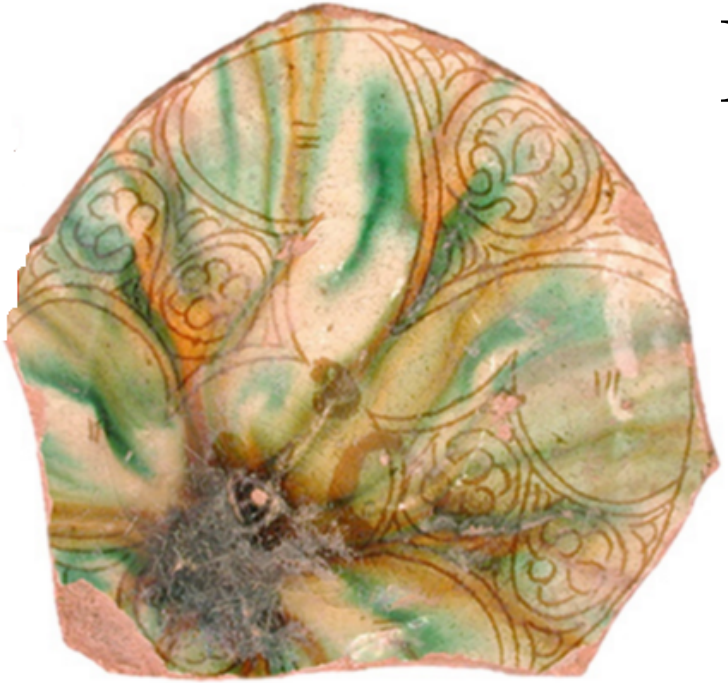
PbO=0·85
$(KNa)_2O$=0·04
CaO=0·08
MgO=0·03
Al_2O_3=0·22
SiO_2=1·6

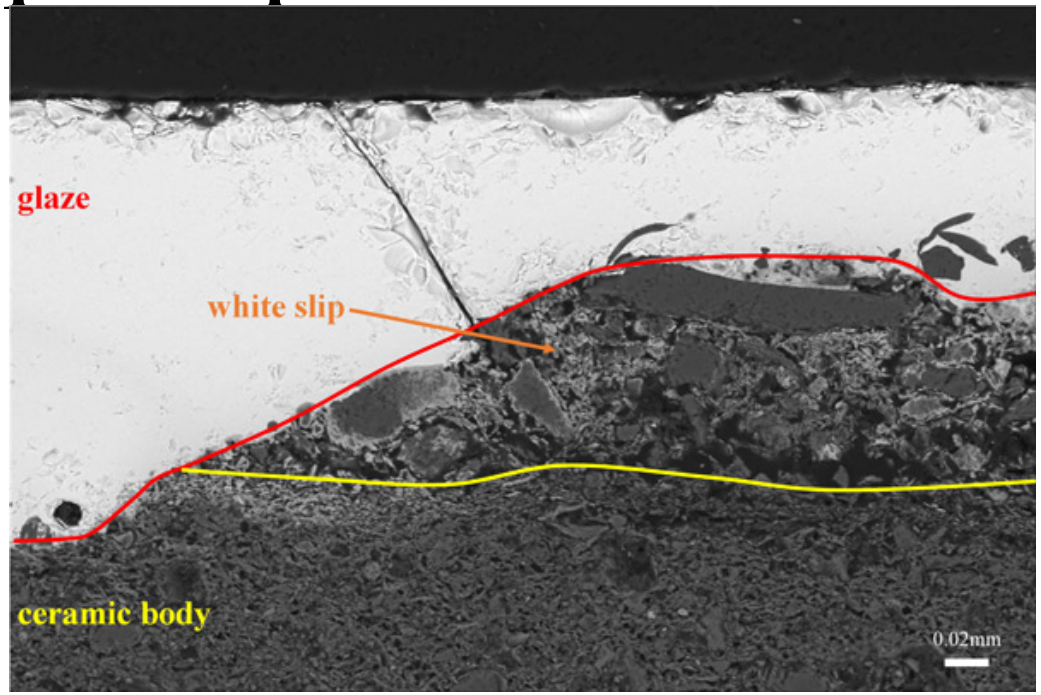
моли

Table 2. Chemical composition of the high lead gazes

Object no.	8	9	10	11	12	13	
Type of object	Bowl sherd	Rim sherd	Fragment of a jug	Fragment of a jar	Handle of a large jar	Handle fragment	
Colour	Transparent, dark green	Transparent, green	Transparent, brown	Yellowish green	Dark brown	Pale green	
% Oxide							Average
SiO_2	31·00	32·08	30·10	29·21	28·52	30·36	30·21
PbO	57·30	56·30	56·76	59·10	59·42	58·26	57·86
Na_2O	0·51	0·59	0·46	0·56	0·45	0·41	0·50
K_2O	0·32	0·30	0·48	0·21	0·31	0·38	0·33
CaO	1·51	1·56	1·50	1·70	1·28	1·62	1·53
MgO	0·30	0·36	0·40	0·41	0·52	0·31	0·38
Al_2O_3	6·70	6·60	6·36	6·70	6·96	7·10	6·74
MnO	—	—	2·12	—	1·92	—	—
Fe_2O_3	0·40	0·46	1·20	1·89	0·20	0·65	0·80
CuO	1·60	1·49	0·20	—	0·06	0·52	—
SnO_2	—	—	—	—	—	—	—
AgO	0·31	0·21	0·12	0·13	0·24	0·30	0·22
Total%	99·95	99·95	99·50	99·91	99·88	99·41	

Пример технологии

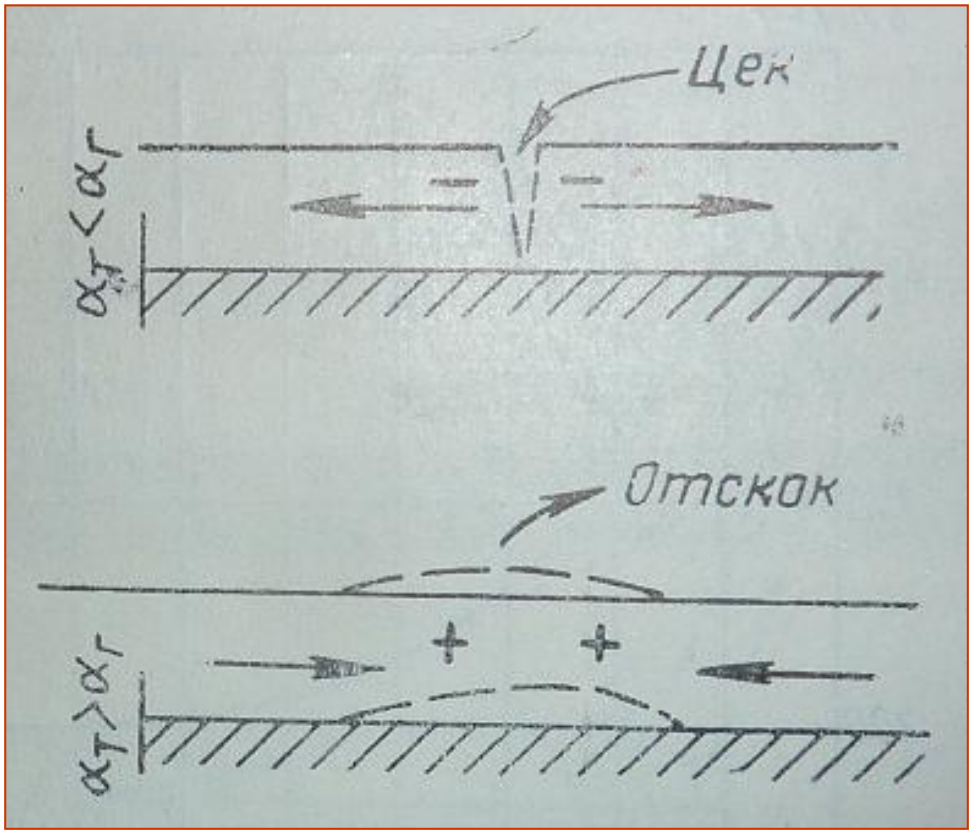




Нишапур, 10 век

1) Формование
2) Нанесение ангоба
3) Процарапывание рисунка по ангобу
4) Обжиг 1000 - 1050°
5) Нанесение глазури
6) Обжиг 700 - 750°

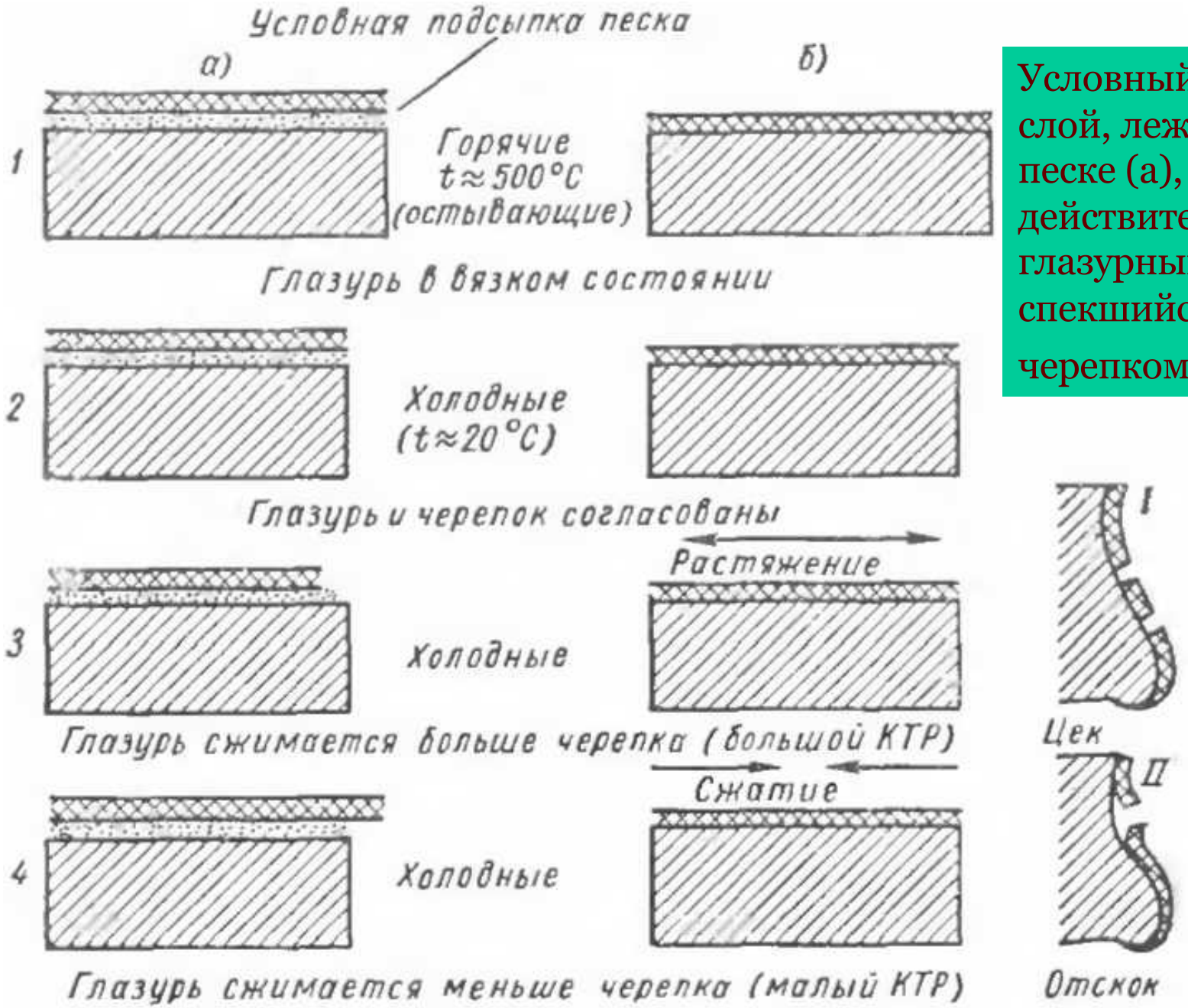
Термическое расширение глазури



Распределение напряжений в глазури

Na_2O —K_2O—CaO—$A1_2O_3$ —BaO—PbO— ZnO — SiO_2 — B_2O_3 —MgO

Коэффициент ЛТР (α) возрастает

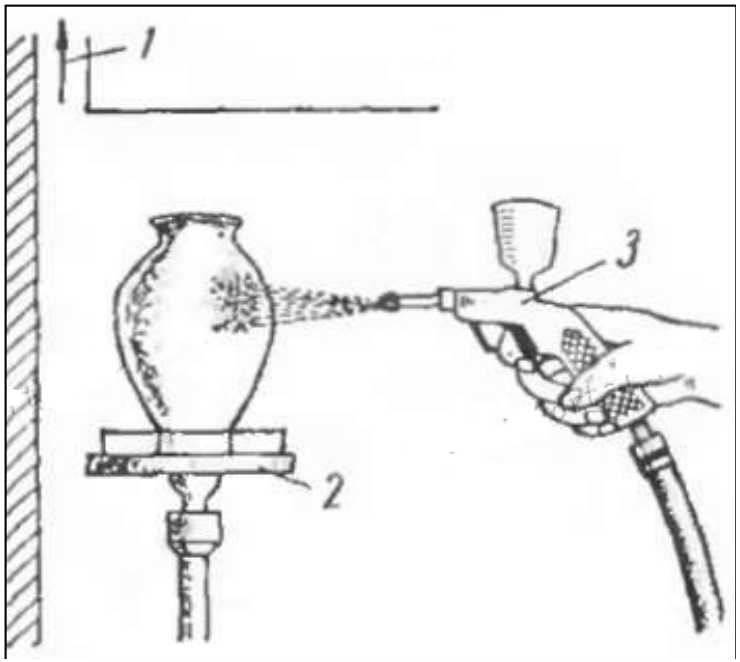


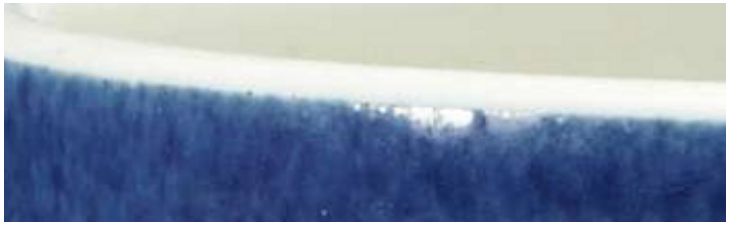
Условный глазурный слой, лежащий на песке (а), и действительный глазурный слой, спекшийся с черепком (б)

Нанесение глазури

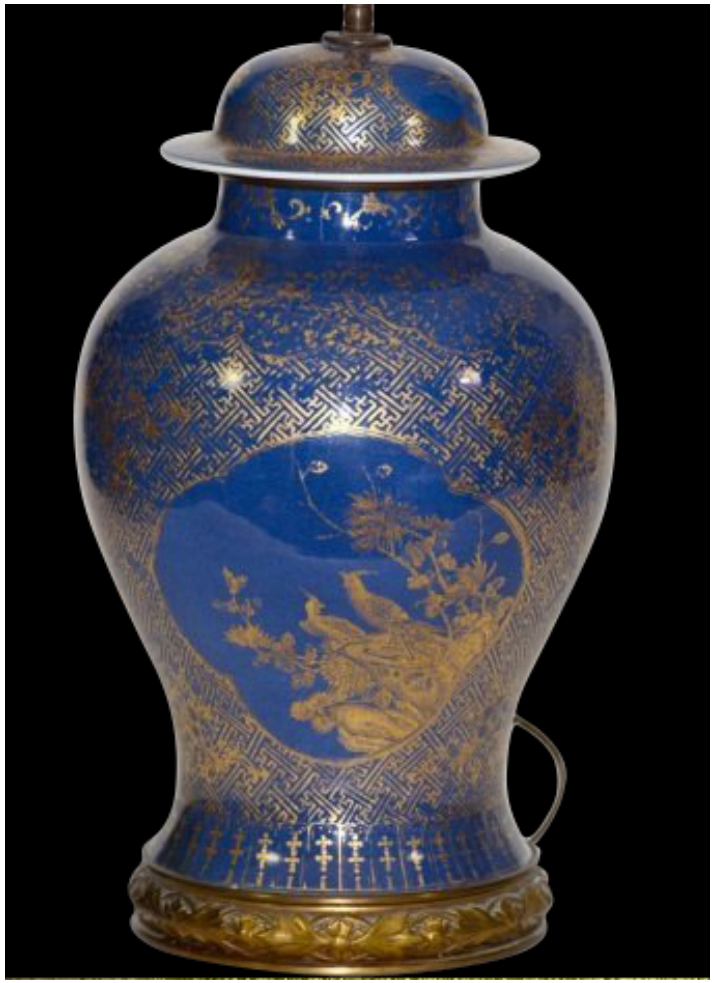
- Погружением
- Кистью
- Распылением

Потечные глазури





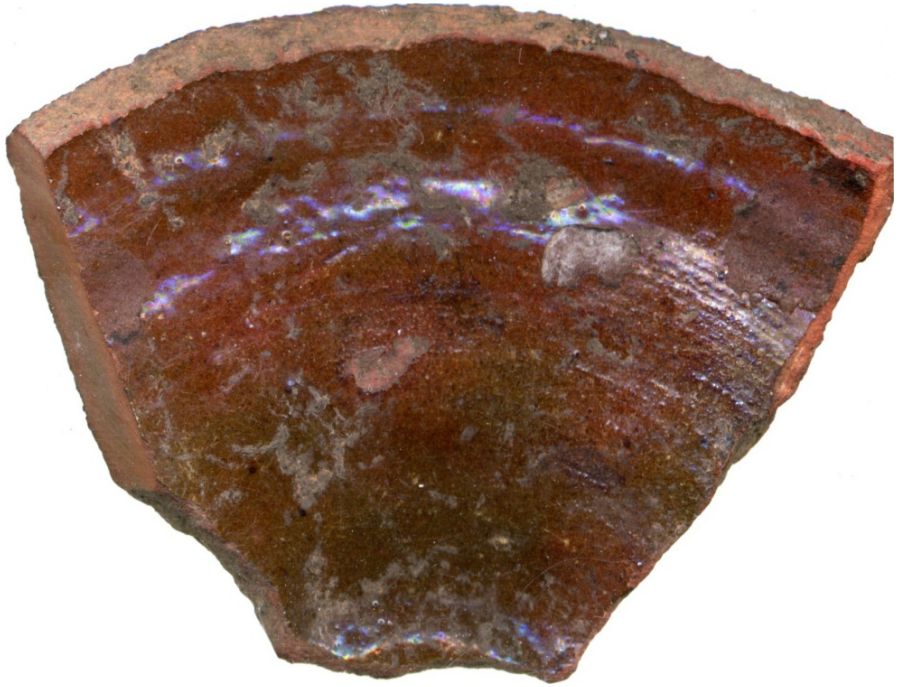
Порошковые глазури

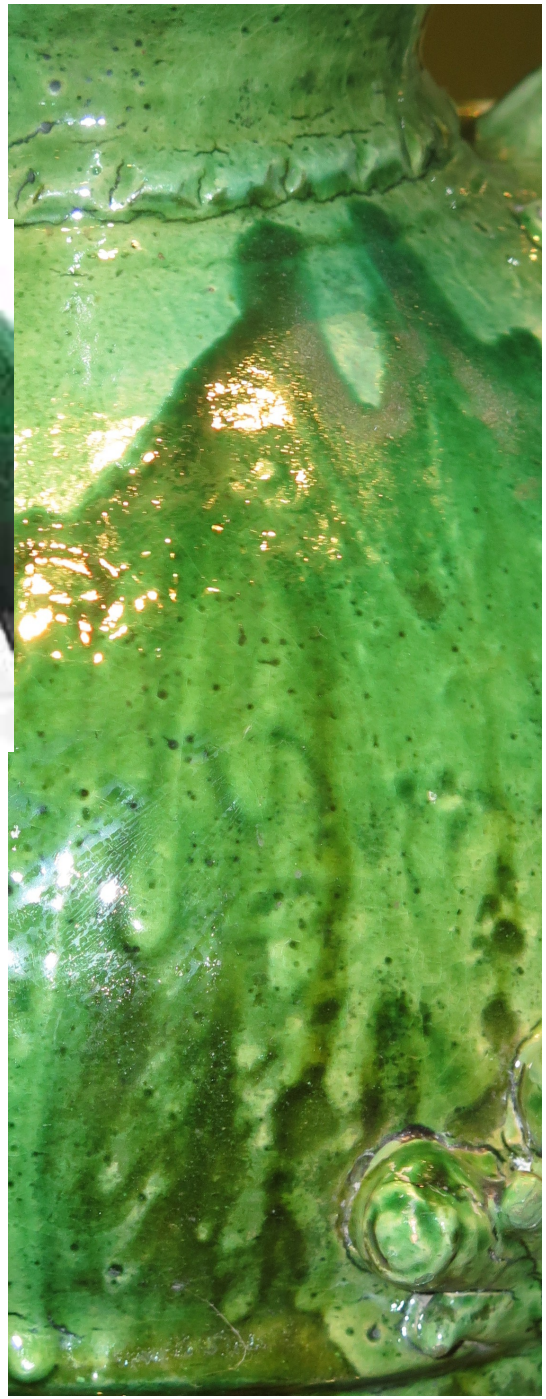


Зольная глазурь

Соляная глазурь

$2NaCl + SiO_2 + H_2O = Na_2SiO_3 + 2HCl$

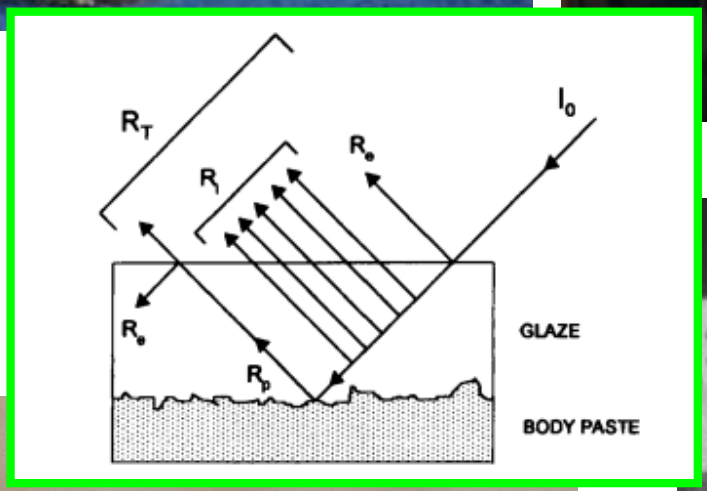


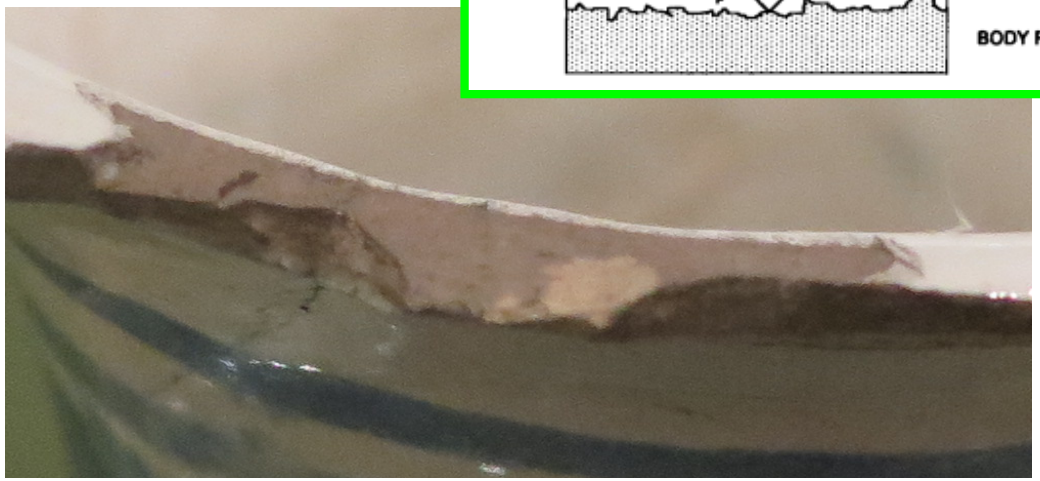


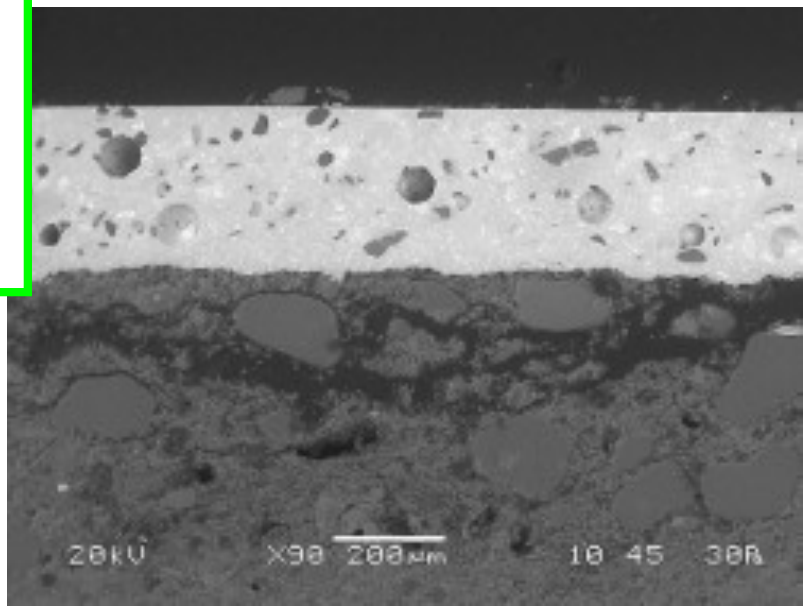
Свинцовая глазурь

Муравленые изразцы

Эмали







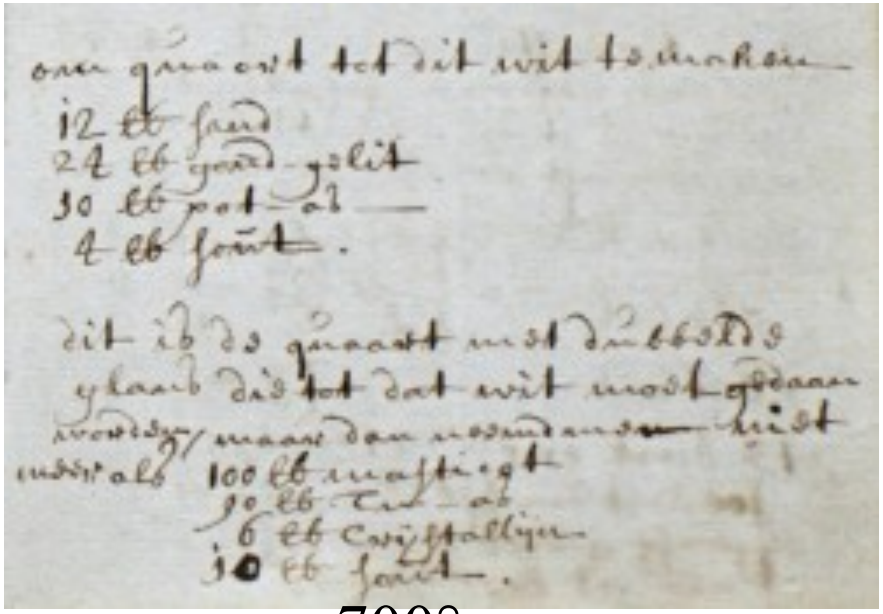
Состав исламских эмалей

$PbO = 0{\cdot}32$
$Na_2O = 0{\cdot}29$
$K_2O = 0{\cdot}03$
$CaO = 0{\cdot}32$
$MgO = 0{\cdot}04$
$Al_2O_3 = 0{\cdot}03$
$SiO_2 = 1{\cdot}73$
$SnO_2 = 0{\cdot}07$

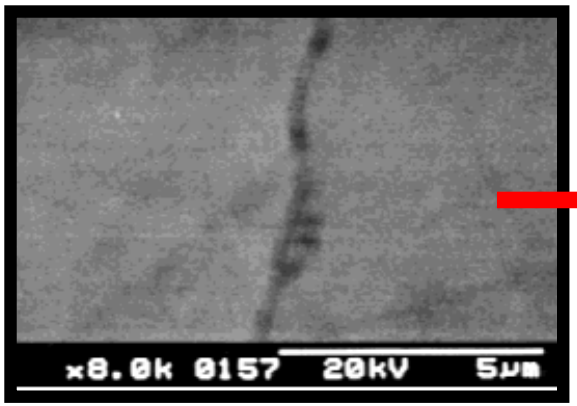
МОЛИ

Number	14		15		16		17		Average	
Type	Body shard		Rim shard		Handle shard		Body shard			
Colour	White	Blue	White	Blue	White	Blue	White	Blue	White	Blue
% Oxide										
SiO_2	44·13	52·44	42·90	49·24	45·02	49·46	46·01	52·45	44·51	50·90
Na_2O	7·20	5·26	7·31	5·26	7·62	5·43	8·42	5·89	7·64	5·46
K_2O	1·10	1·89	1·05	2·10	1·62	1·76	1·11	1·92	1·22	1·92
CaO	8·13	4·26	7·63	5·26	7·81	5·78	7·02	4·89	7·65	5·05
MgO	0·6	1·21	0·51	1·10	0·58	1·26	0·59	1·02	0·67	1·15
PbO	31·34	24·65	32·20	26·45	30·30	25·54	29·09	23·65	30·73	25·07
Al_2O_3	1·12	2·10	1·33	2·31	1·21	2·70	1·32	2·61	1·25	2·43
Fe_2O_3	1·30	3·20	1·22	3·42	0·92	3·10	0·87	2·82	1·08	3·14
CuO	0·34	1·78	0·67	1·86	0·34	1·76	0·43	1·87	0·45	1·82
SnO_2	4·51	1·23	4·87	1·12	4·26	1·32	4·78	1·10	4·60	1·19
AgO	0·21	0·12	0·23	0·14	0·30	0·11	0·26	0·16	0·25	0·13
CoO	—	0·91	—	0·86	—	0·90	—	0·84	—	0·88
NiO	—	0·32	—	0·38	—	0·39	—	0·30	—	0·35
ZnO	—	0·43	—	0·34	—	0·38	—	0·40	—	0·39
Total	99·98	99·80	99·92	99·84	99·96	99·89	99·90	99·92		

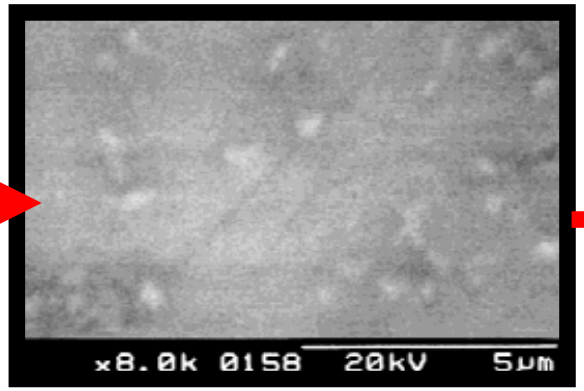
Получение



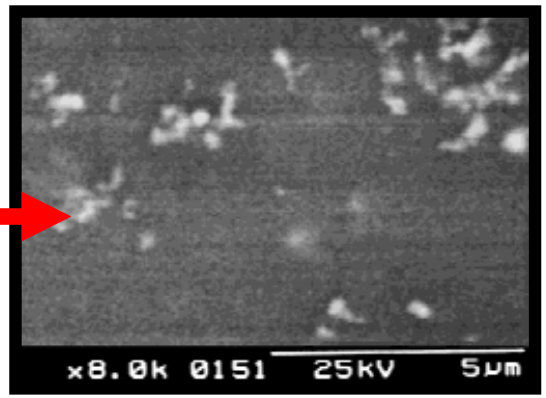
700°



900°



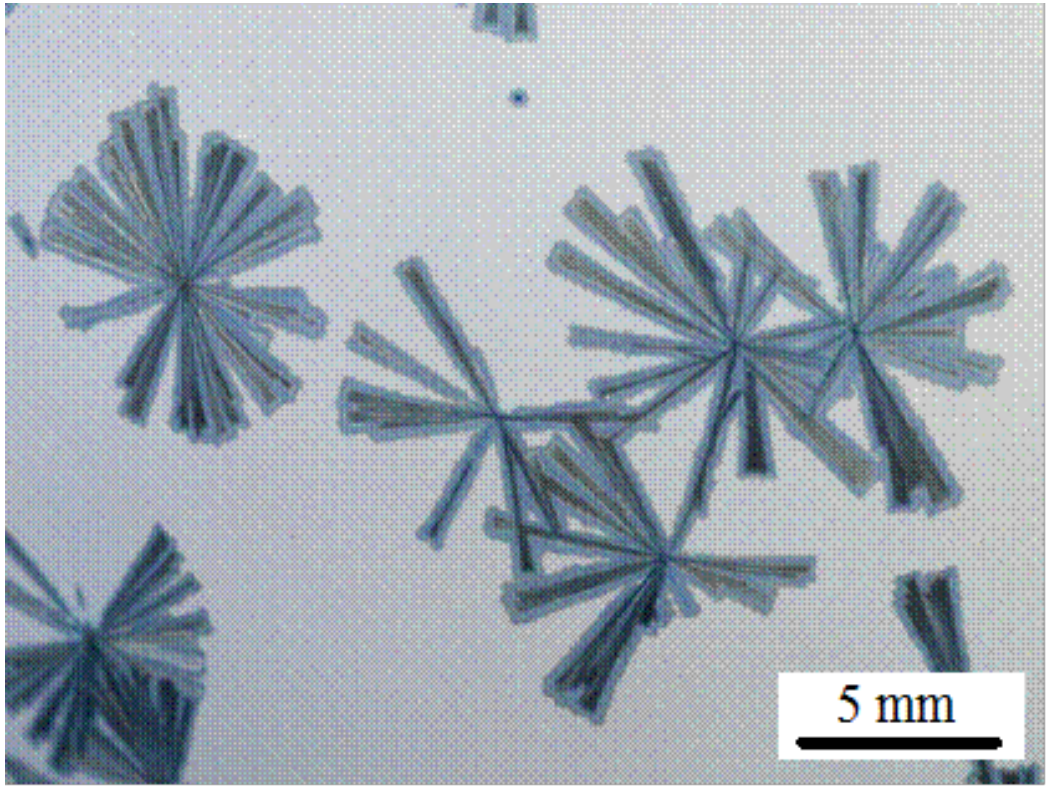
1000°



Сохранение

Кристаллические глазури

- Макрокристаллические
- Авантюриновые
- Микрокристаллические



ZnO, TiO_2, UO_3, Li_2O

$ZnO + SiO_2$ Royal Copenhagen, Clement and Engelhardt, 1886
Рост кристаллов виллемита Zn_2SiO_4

Температура > 1000°C

$[ZnO_4]$ – замещение на Co, Cu

K_2O	.2	B_2O_3	.47	SiO_2	2.05
Na_2O	.04	Al_2O_3	.18		
CaO	.5				
BaO	.03				
ZnO	.23				

+4% MoO_3
+4% TiO_2

Custer Feldspar	32.49
Gerstley Borate	23.85
Whiting	6.86
Barium Carbonate	1.79
Zinc Oxide	6.76
Kaolin	3.69
Nitre	2.45
Flint	22.2

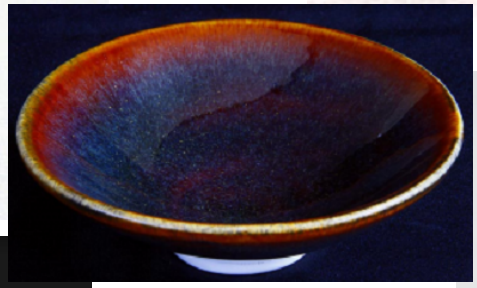
Глазури восстановительного обжига

$$CuO + CO = Cu + CO_2$$

Абрамцевская мастерская, технолог Петр Ваулин

Маска ливийского льва 1892

Temmoku



Iron rust glaze

Tea dust glaze

Красные медные глазури

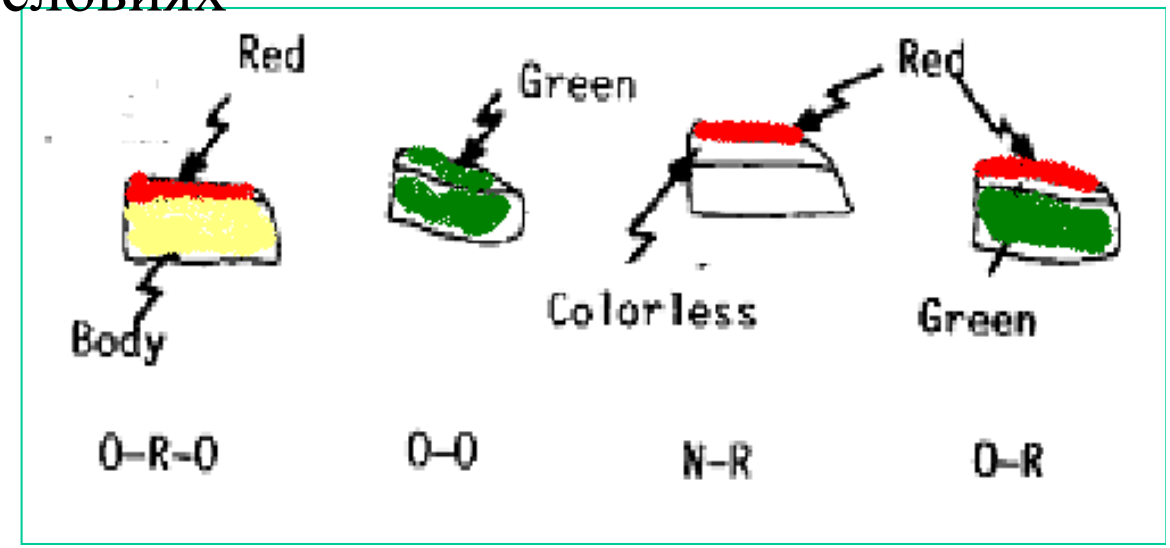
Методы получения

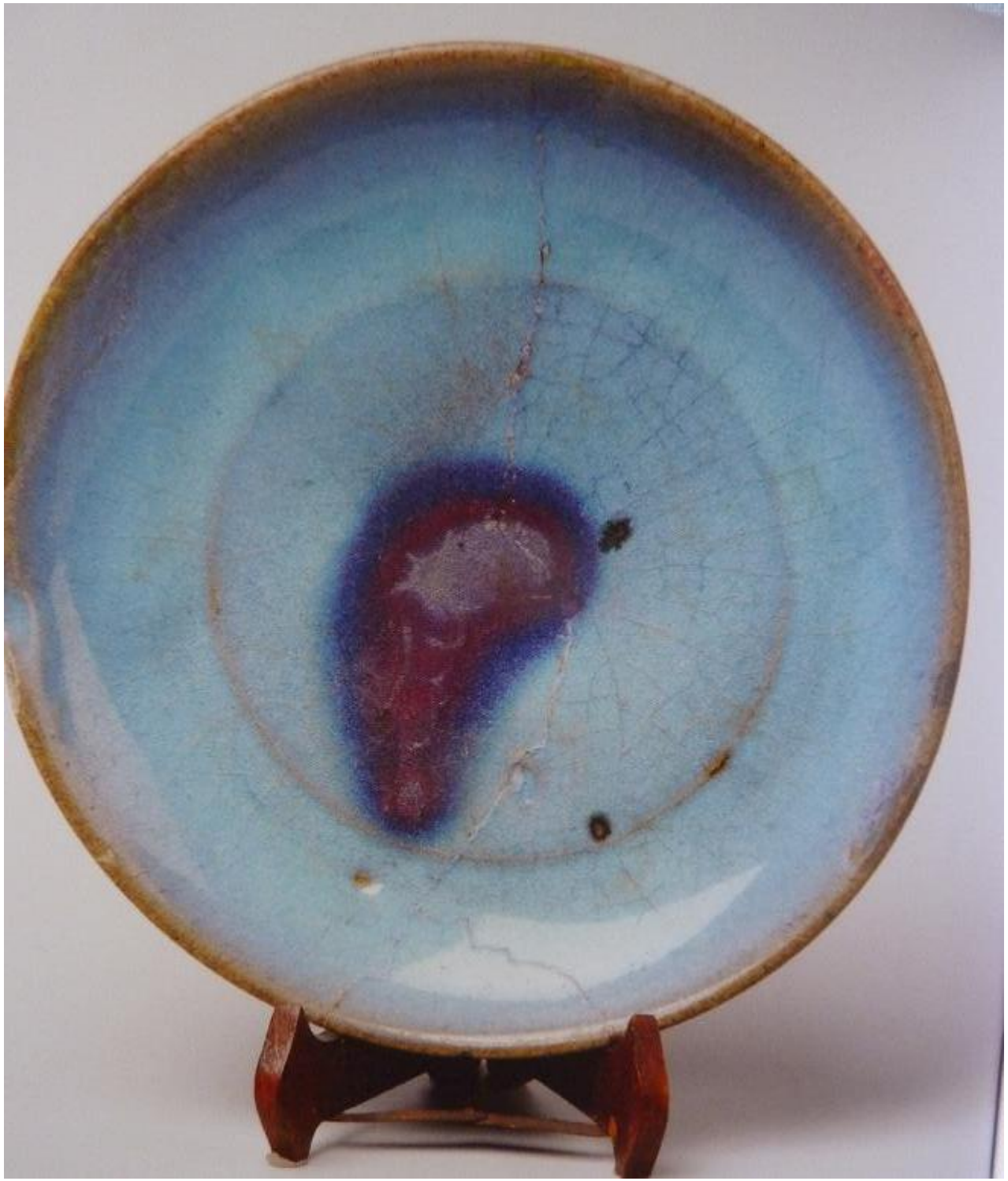
1) Чередование восстановительного (R) и окислительного (O) обжига
2) Введение в глазурь восстановителя (SiC) и окислительный обжиг
3) Выдерживание в парах летучих соединений меди в восстановительной атмфосфере
4) Длительное выдерживание в мягких восстановительных условиях

Формула глазури

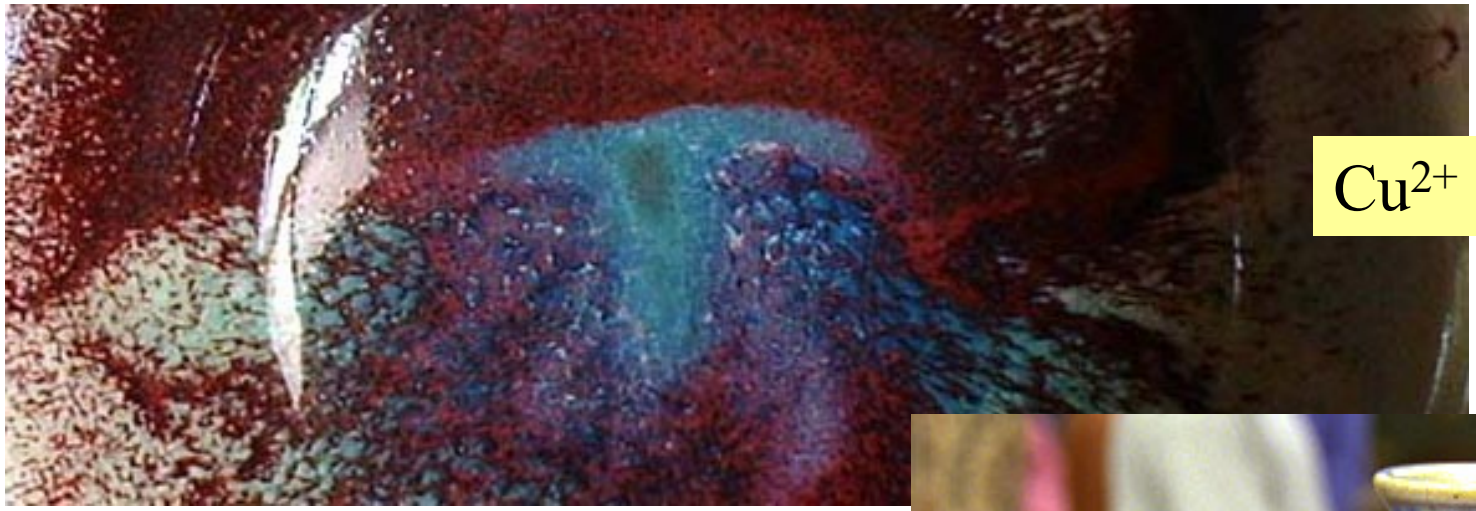
+ 0,6% Cu

$$\left.\begin{matrix} 0{,}5\ K_2O \\ 0{,}5\ CaO \end{matrix}\right\} \begin{matrix} 0{,}1\ Al_2O_3 \\ 1{,}0\ B_2O_3 \end{matrix}\ 2{,}5\ SiO_2$$





Цзюньяо
X – XIII вв

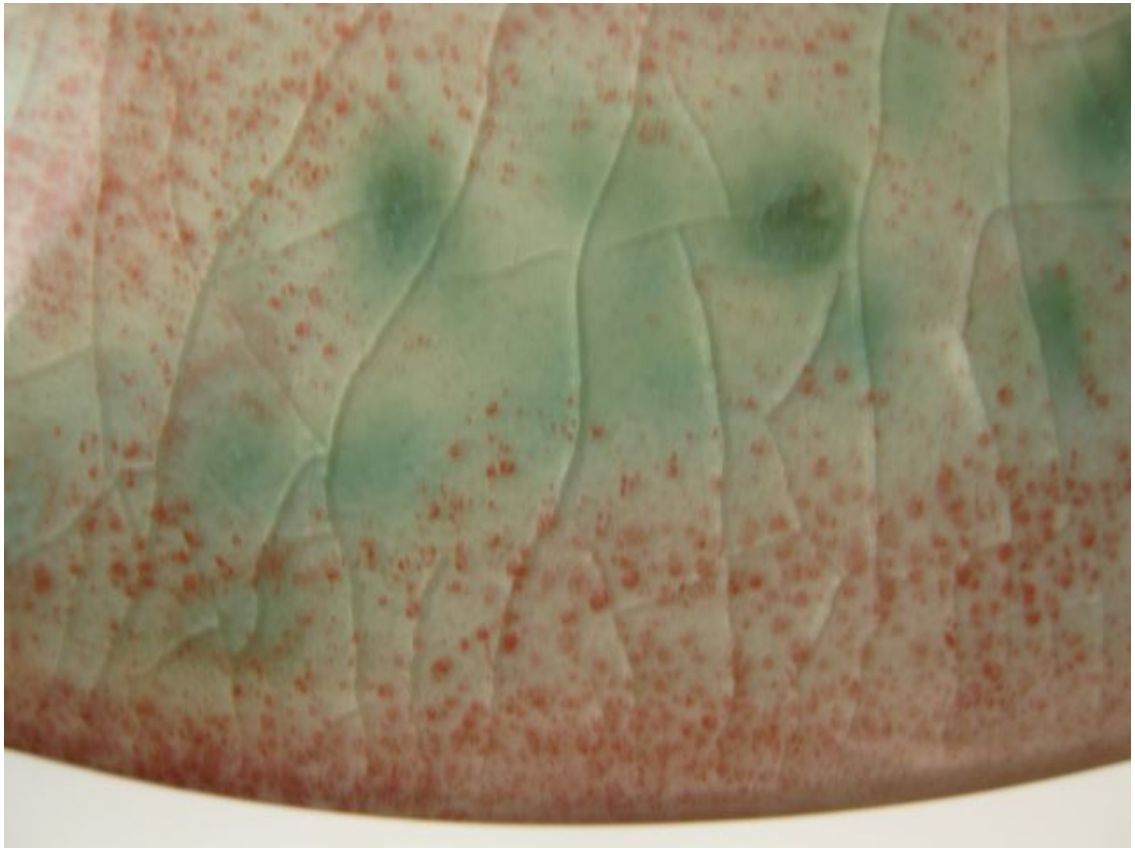


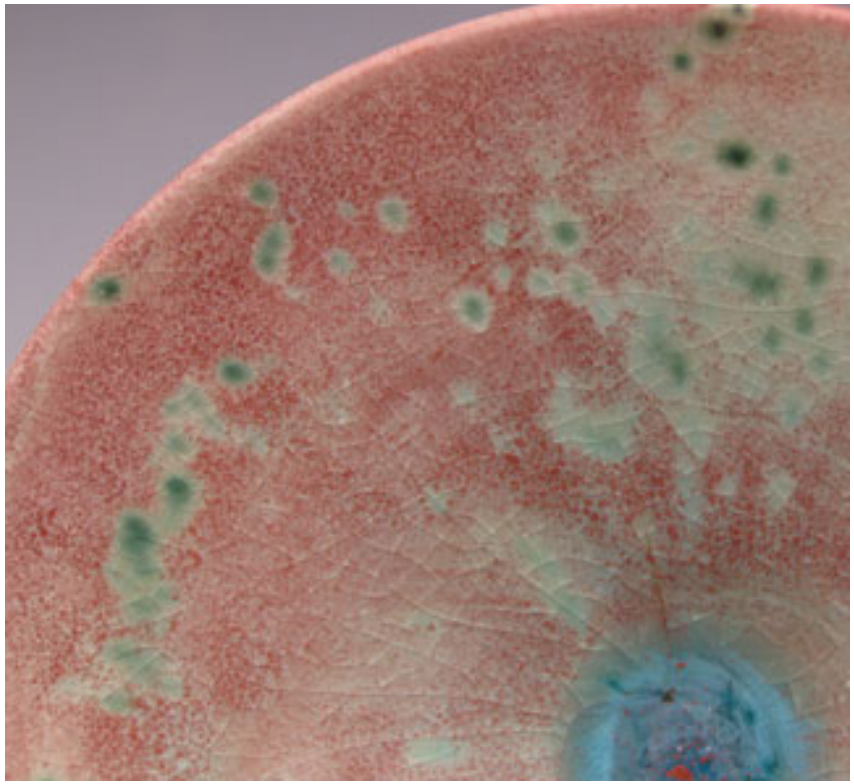
$Cu^{2+} \rightarrow Cu^{+} \rightarrow Cu^{0}$

Пламенеющие глазури (flambe)

Sang De Boeuf , late XVIII

Цветущий персик

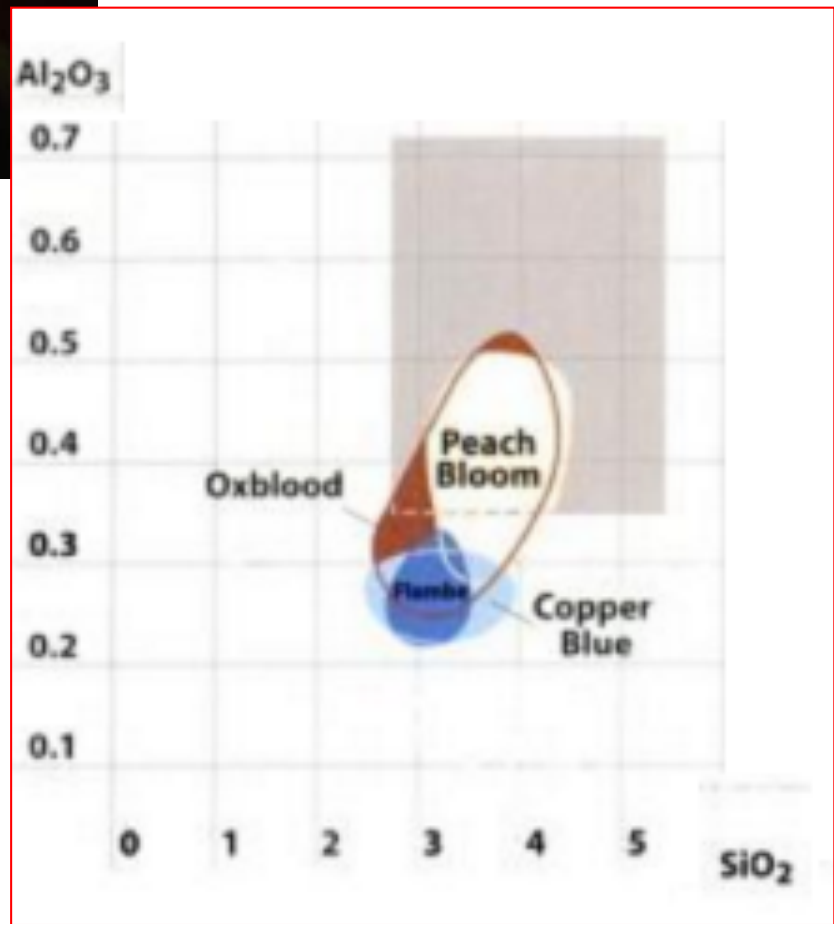




Воссоздание китайских медных глазурей

Bernard Moore
(1850 – 1935)

Staffordshire , England



Люстр

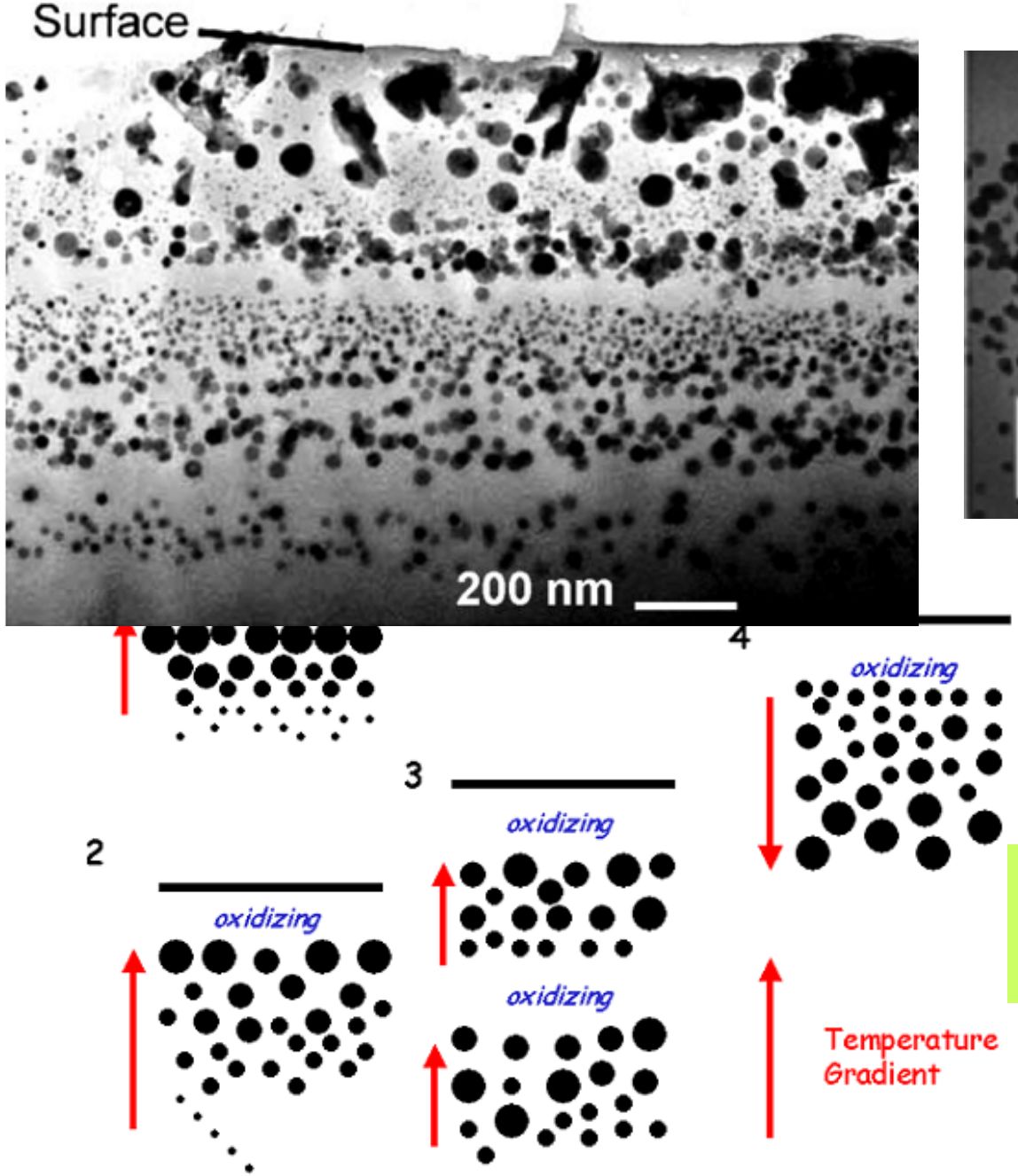
люстр (соли Cu, Ag + глина + орг вещ; обжиг 600 град

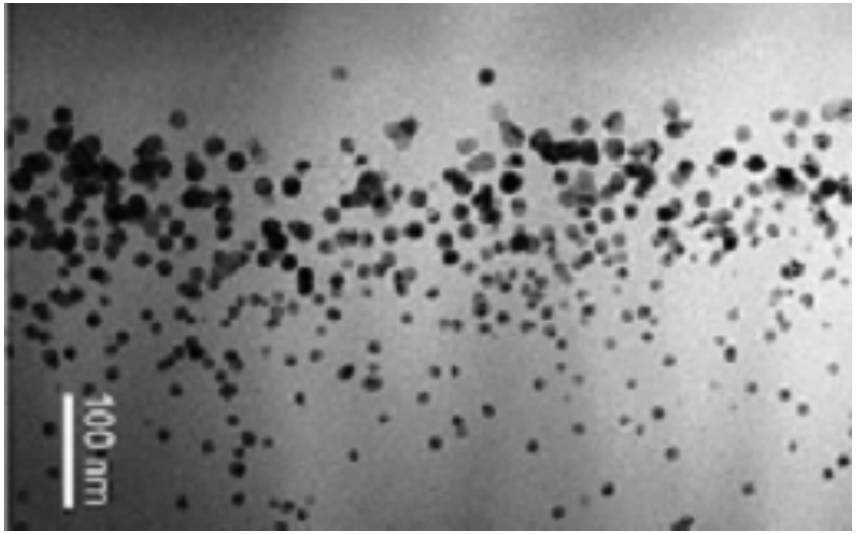
глазурь (стекловидная, глушеная SnO_2, обжиг 600 - 900 град)

керамика (глина, обжиг 1100 град)

1) Нанесение пасты
2) Обжиг

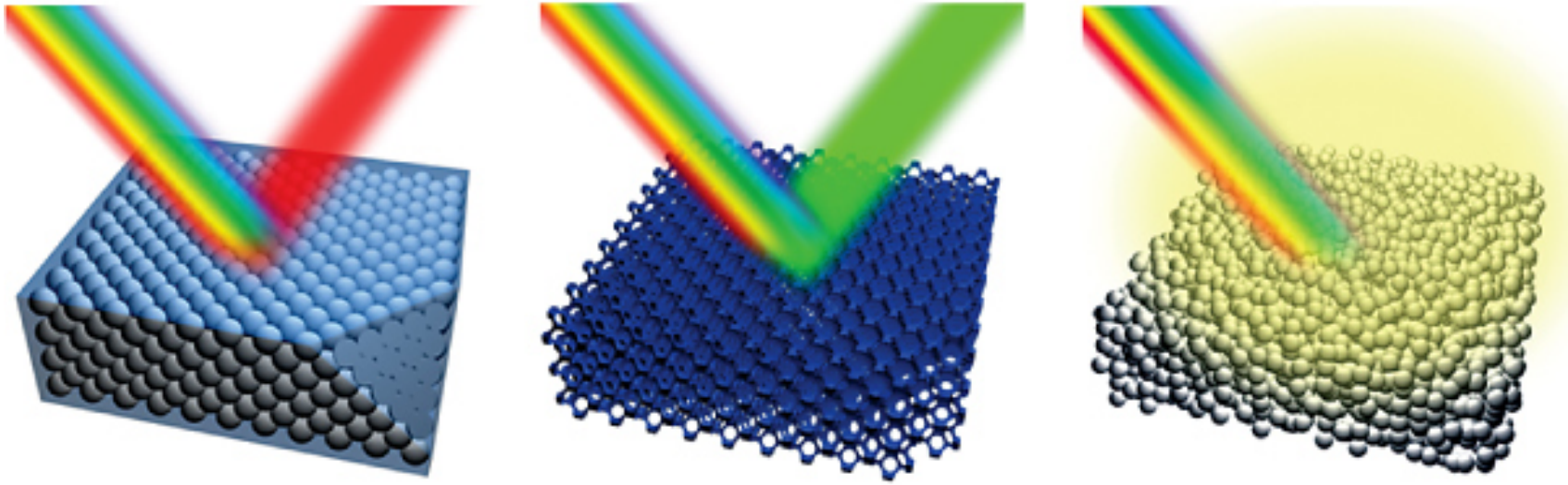
1) Ионный обмен
2) Восстановление
3) Нуклеация
4) Рост кристаллов

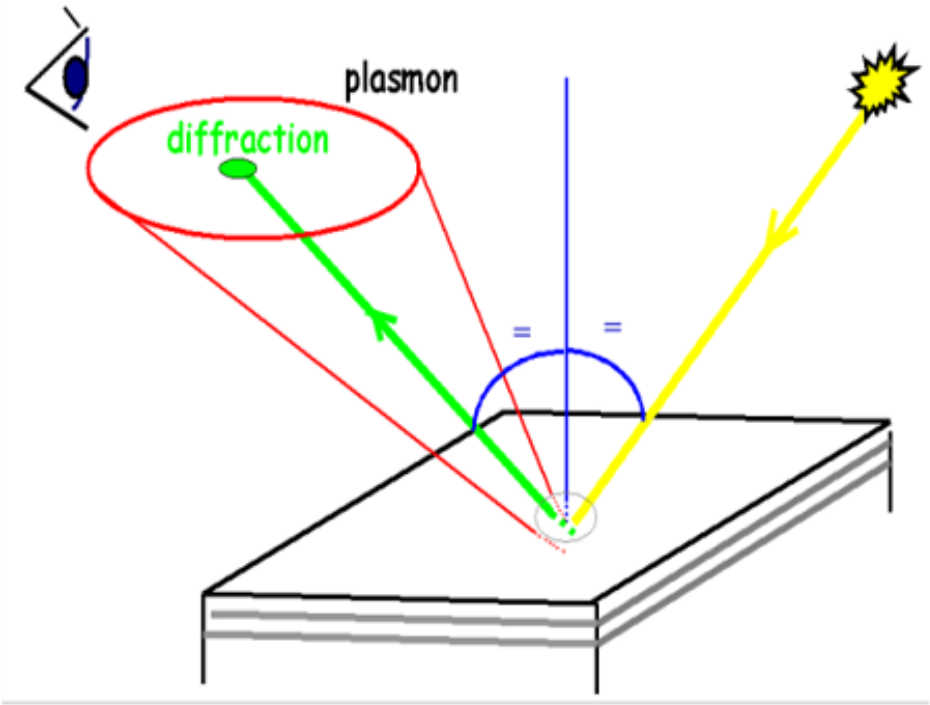




Структурирование не в объеме, а в тонком слое

Schematic of the different types of the lustre microstructure associating zones with or without metal nanoprecipitates and with different orientation of the size gradient. Thick solid line: glass surface.





опалы