



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY



ЦВЕТМЕТ

Техногенное минералообразование в хранилищах отходов горно-металлургических производств. Геологические, экологические и технологические следствия

Лобастов Б. М. R&D Центр НН ИЦМ СФУ

Красноярск, 2025





измельчённые
продукты
переработки

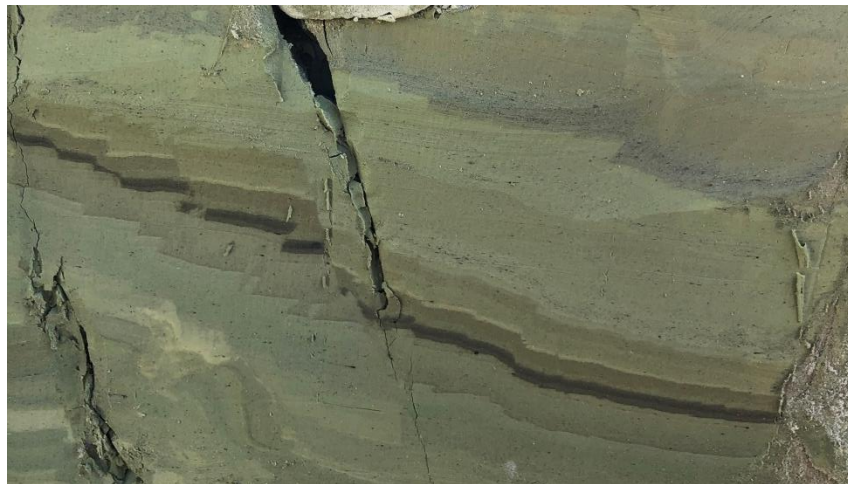


вода, кислород
и иные факторы
окружающей среды

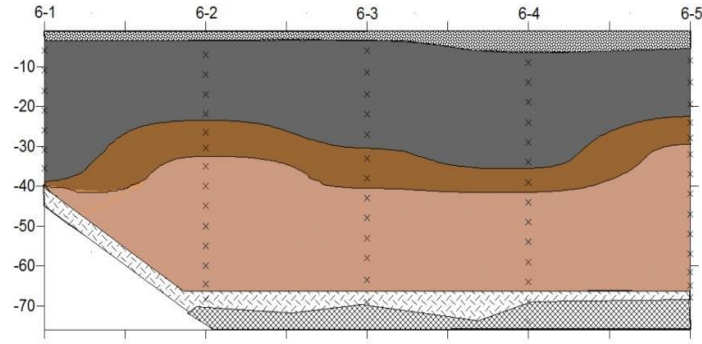


реагенты,
поступающие
с производства

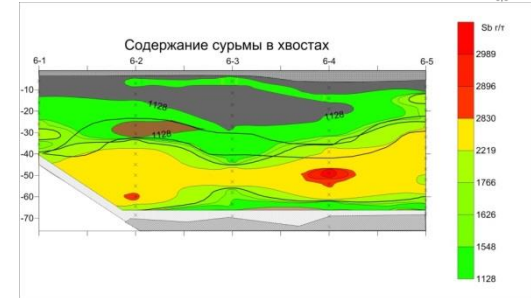
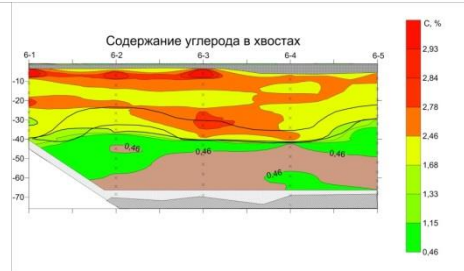
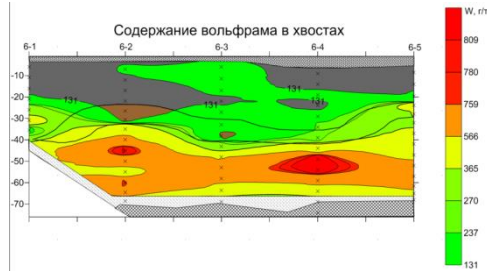
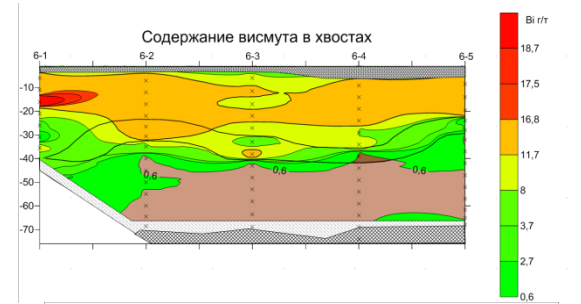
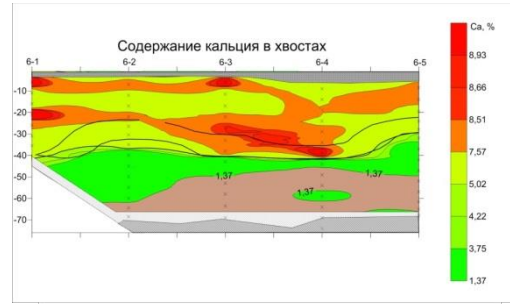
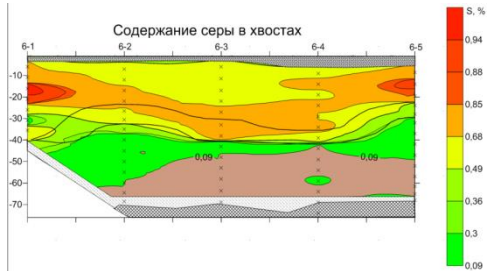
- Хвосты
обогажительных
фабрик
- Продукты
нейтрализации
сточных вод
металлургических
производств



Геологический разрез



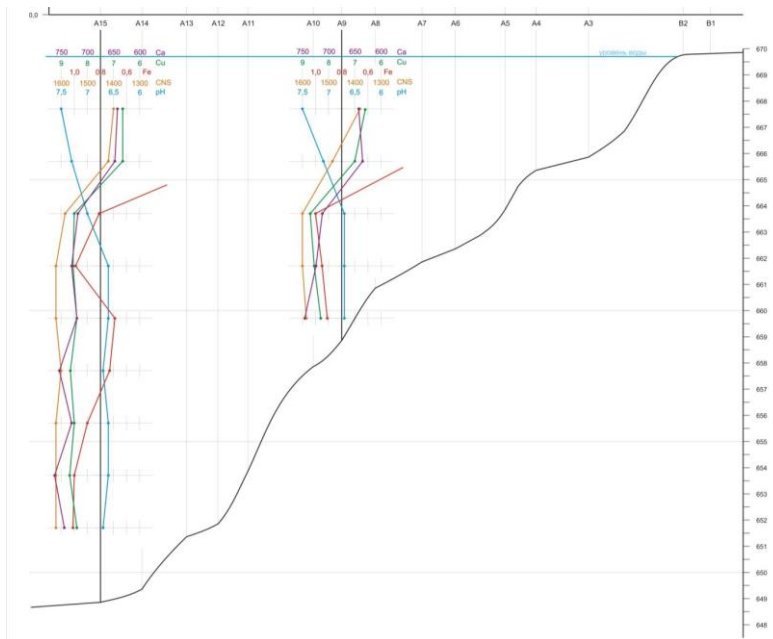
- Насыпные дресвяно-щебнисто-глибовые отложения из сланцев, карбонатных метасоматитов и др.
- Хвосты первичных сульфидных руд
- Хвосты смешанных (сульфидных и окисленных) руд
- Хвосты окисленных руд
- Кора выветривания по сланцам
- Сланцы кварц-слюдистые

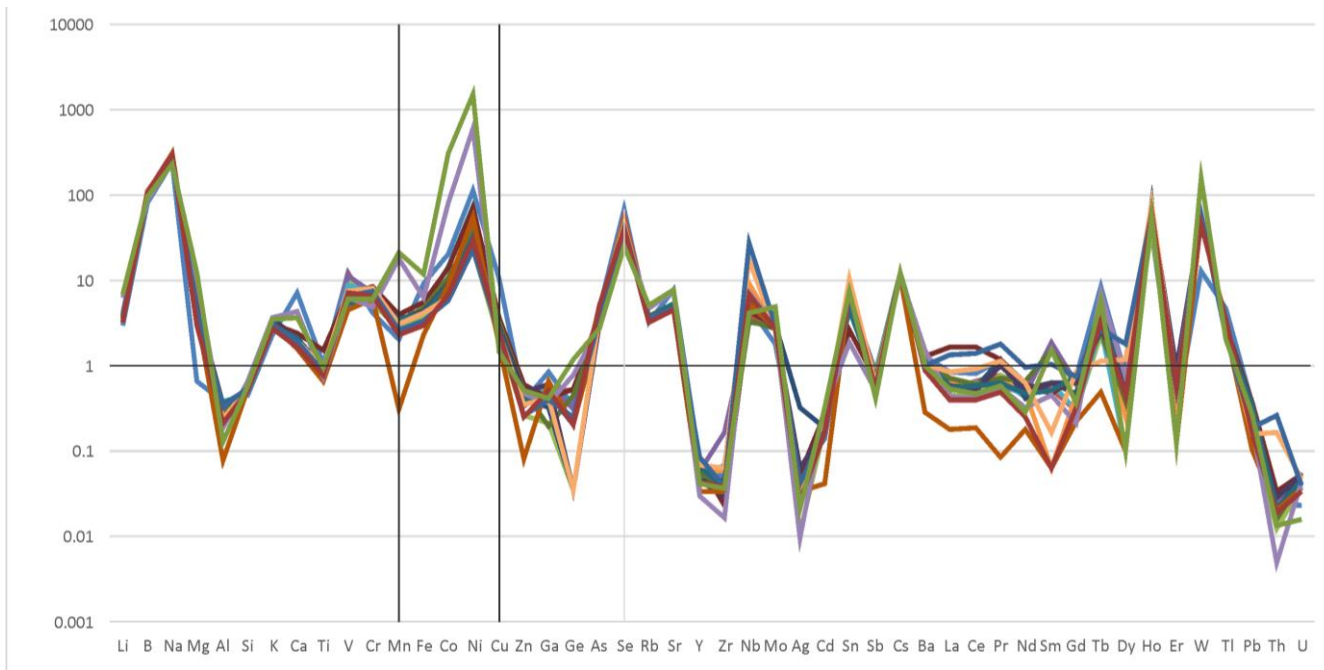






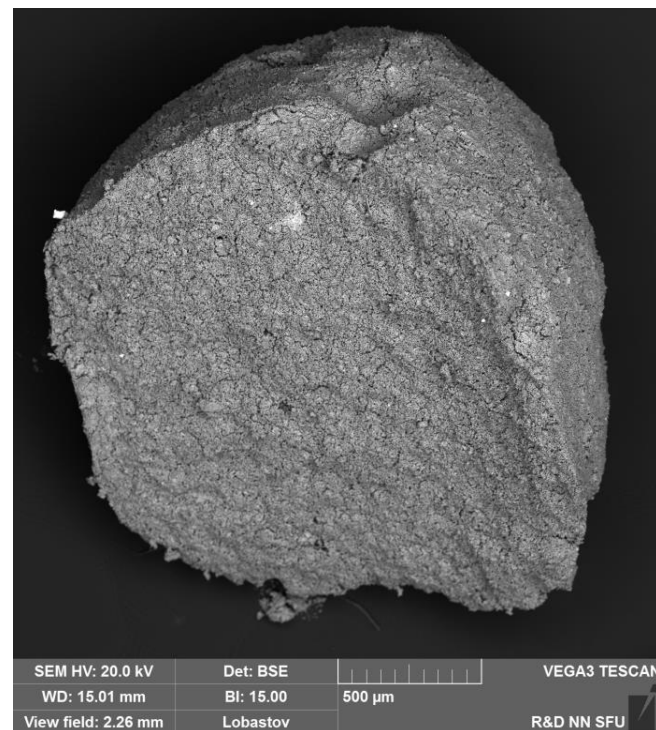
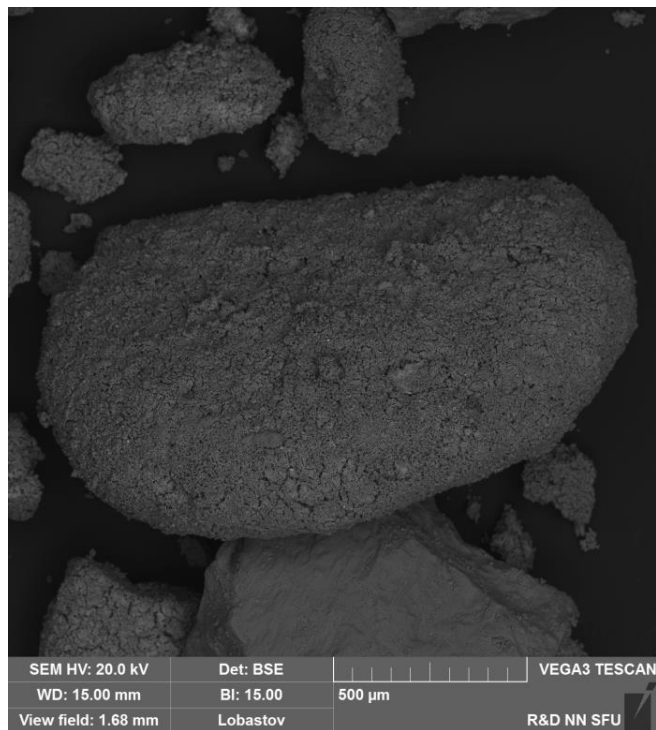
Изучение состава вод на исследуемом объекте:





Нормированные на кларки содержания элементов
в водах хранилища продуктов нейтрализации

Изучение проб в нативном виде при помощи электронной микроскопии:



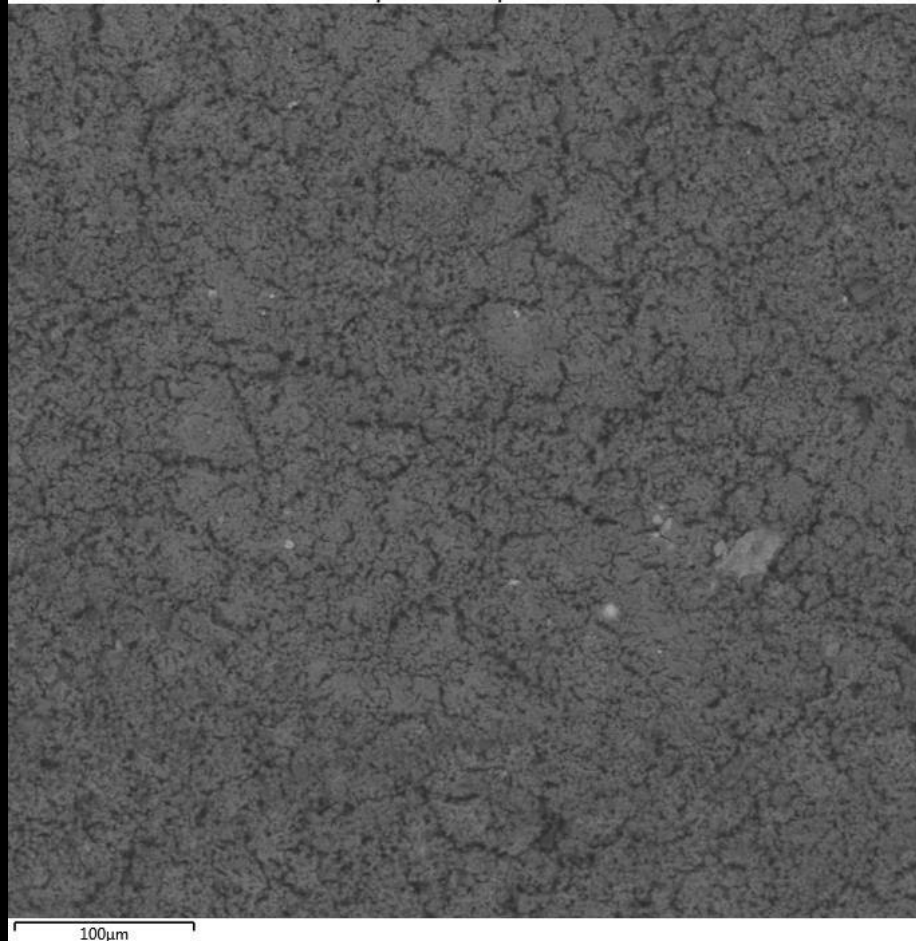


- Нарушается геометрия эксперимента
- Пористые образцы «газят» в вакууме
- Частицы пробы под электронным пучком могут заряжаться

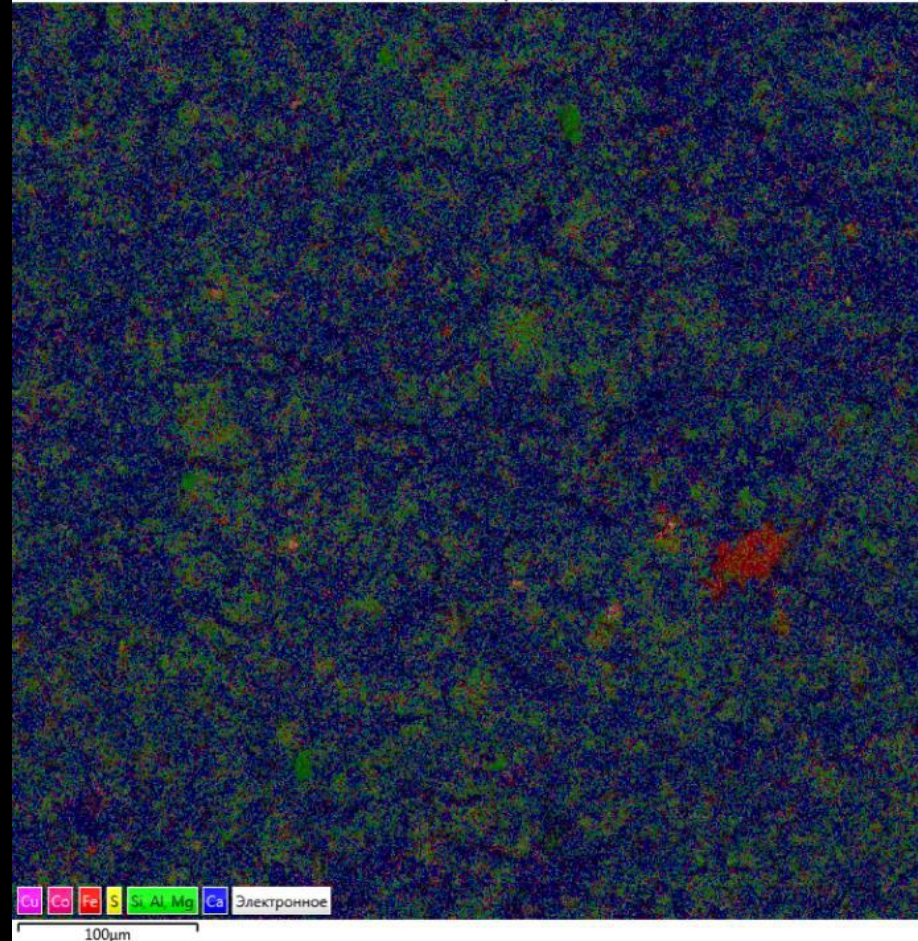


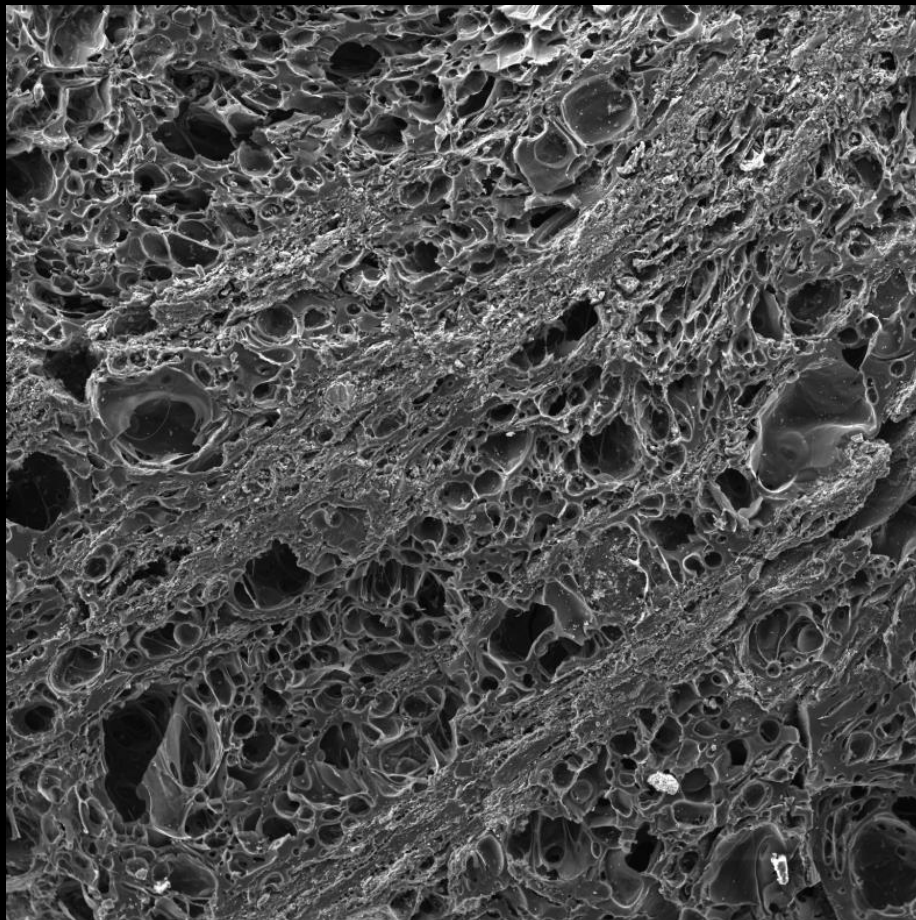
- Сохраняется форма мельчайших и очень хрупких частиц, удаётся проследить взаимоотношения между разными частицами

Электронное изображение 90



Многослойная карта ЭДС 1





SEM HV: 20.0 kV

Det: SE

WD: 15.00 mm

BI: 15.00

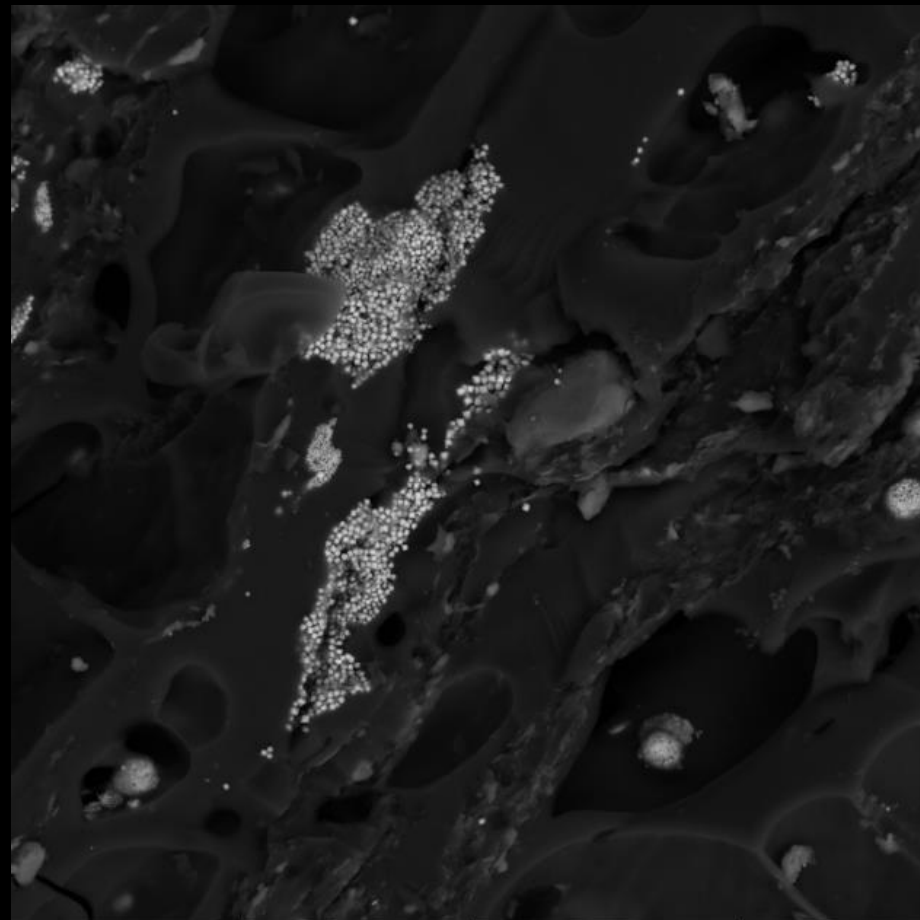
500 μ m

View field: 1.90 mm

Lobastov

VEGA3 TESCAN

R&D NN SFU



SEM HV: 20.0 kV

Det: BSE

WD: 15.06 mm

BI: 12.00

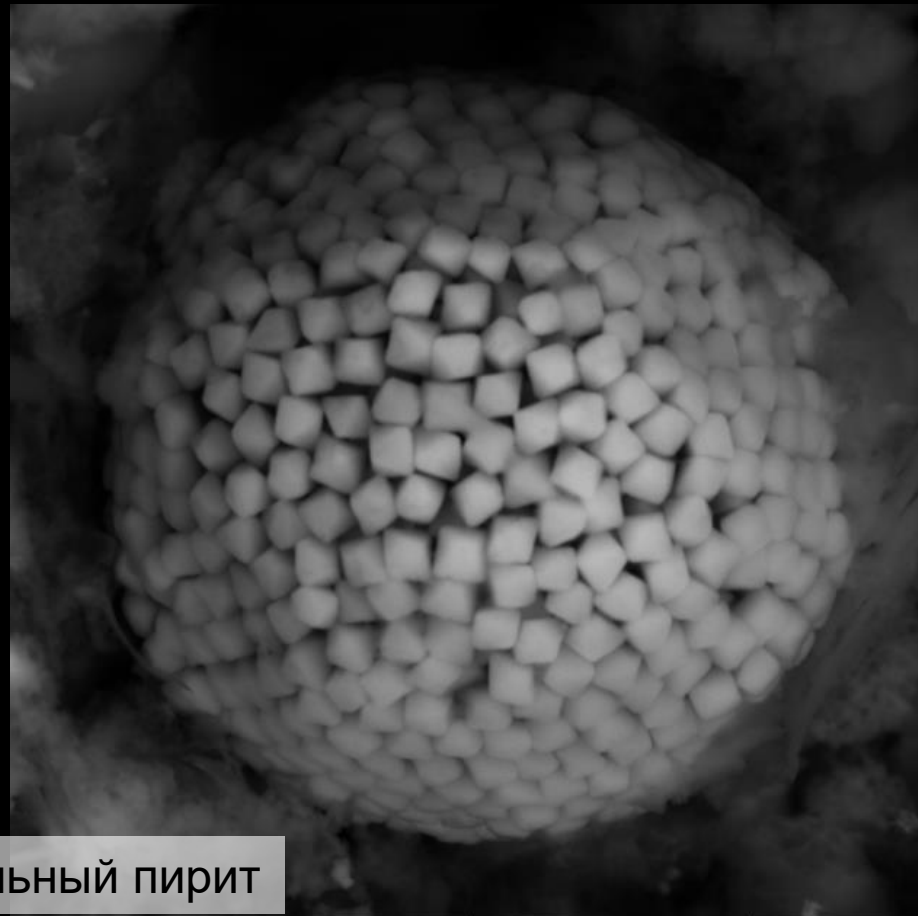
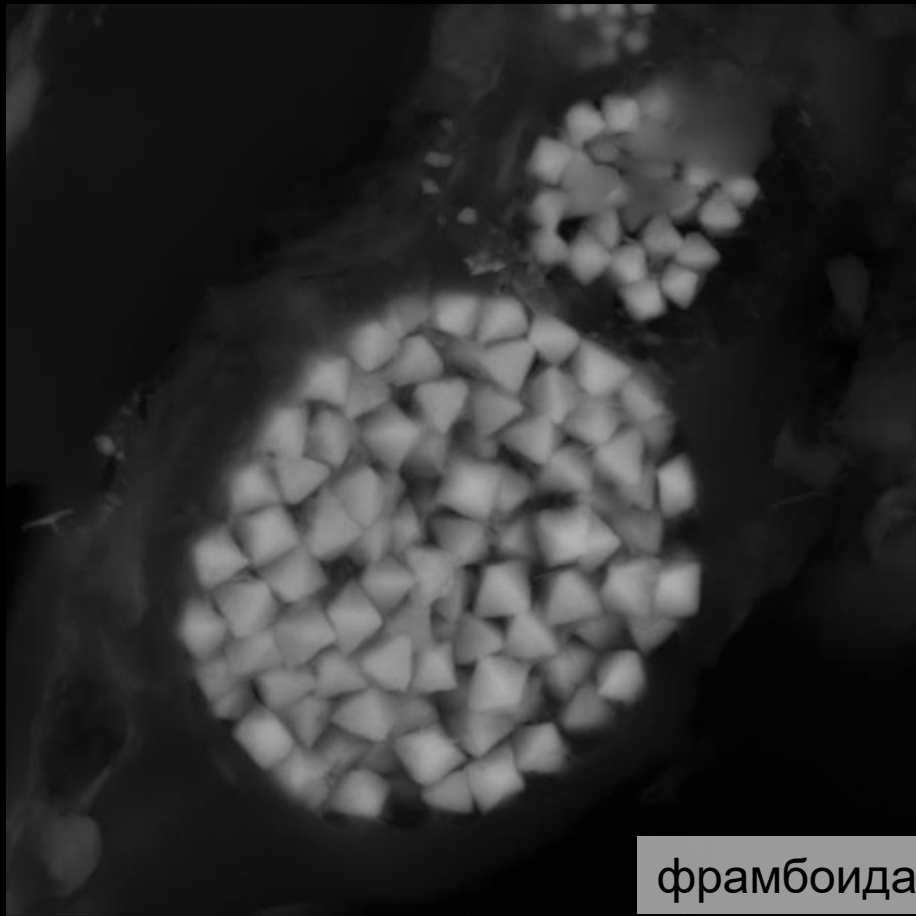
50 μ m

View field: 171 μ m

Lobastov

VEGA3 TESCAN

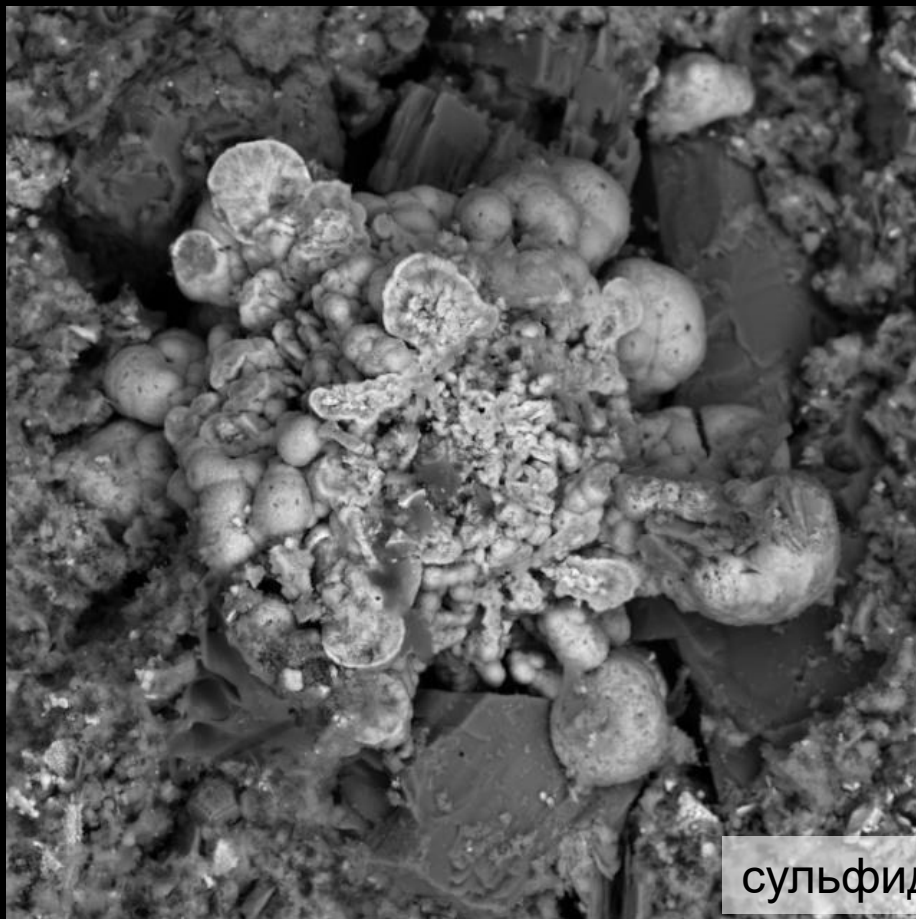
R&D NN SFU



фрамбоидальный пирит

SEM HV: 20.0 kV	Det: BSE	 5 µm	VEGA3 TESCAN
WD: 8.98 mm	BI: 8.00		 R&D NN SFU
View field: 20.6 µm	Lobastov		

SEM HV: 20.0 kV	Det: BSE	 5 µm	VEGA3 TESCAN
WD: 9.02 mm	BI: 8.00		 R&D NN SFU
View field: 16.3 µm	Lobastov		



сульфиды Cu-Fe

SEM HV: 20.0 kV

Det: BSE

WD: 10.03 mm

BI: 11.00

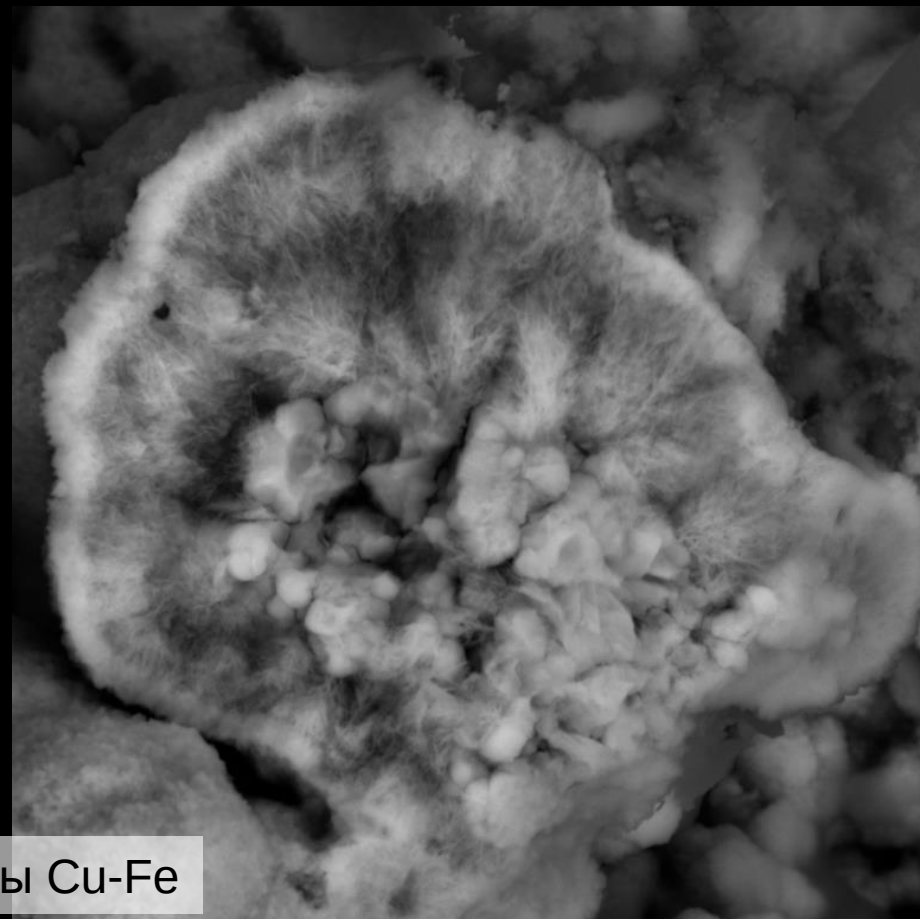
50 μm

View field: 178 μm

Lobastov

VEGA3 TESCAN

R&D NN SFU



SEM HV: 20.0 kV

Det: BSE

WD: 8.01 mm

BI: 9.00

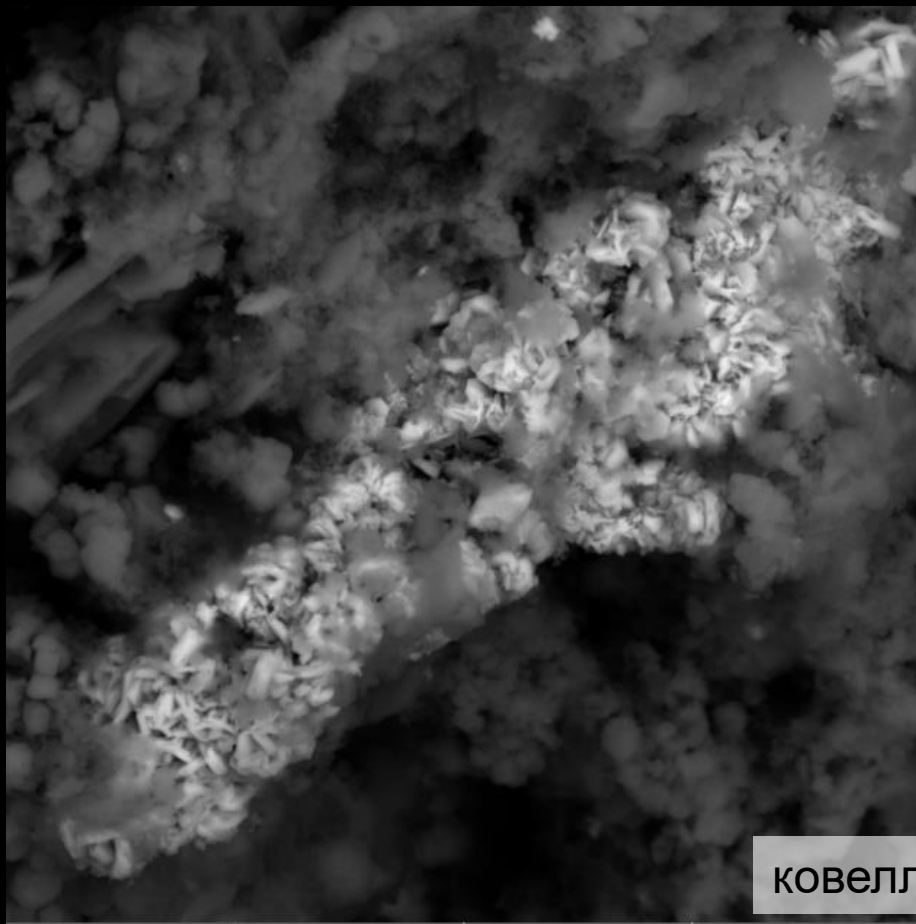
5 μm

View field: 23.8 μm

Lobastov

VEGA3 TESCAN

R&D NN SFU



ковеллин CuS

SEM HV: 20.0 kV

Det: BSE



VEGA3 TESCAN

WD: 10.01 mm

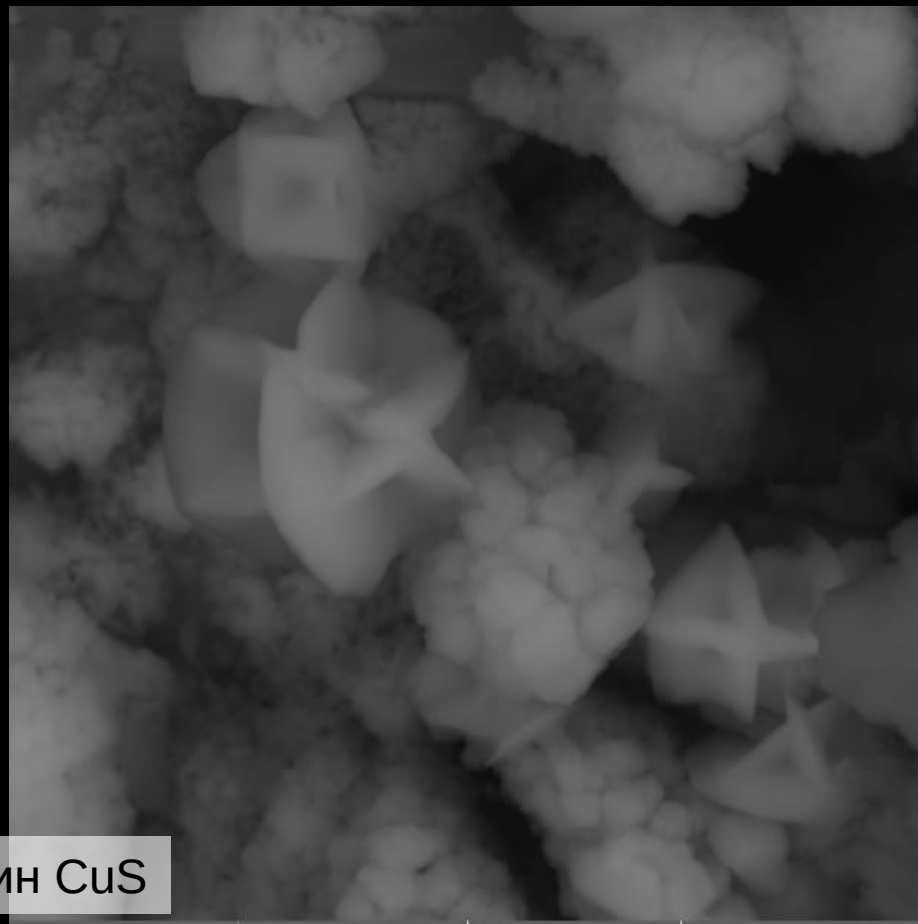
BI: 10.00

10 μm

View field: 40.1 μm

Lobastov

R&D NN SFU



SEM HV: 20.0 kV

Det: BSE + SE



VEGA3 TESCAN

WD: 7.99 mm

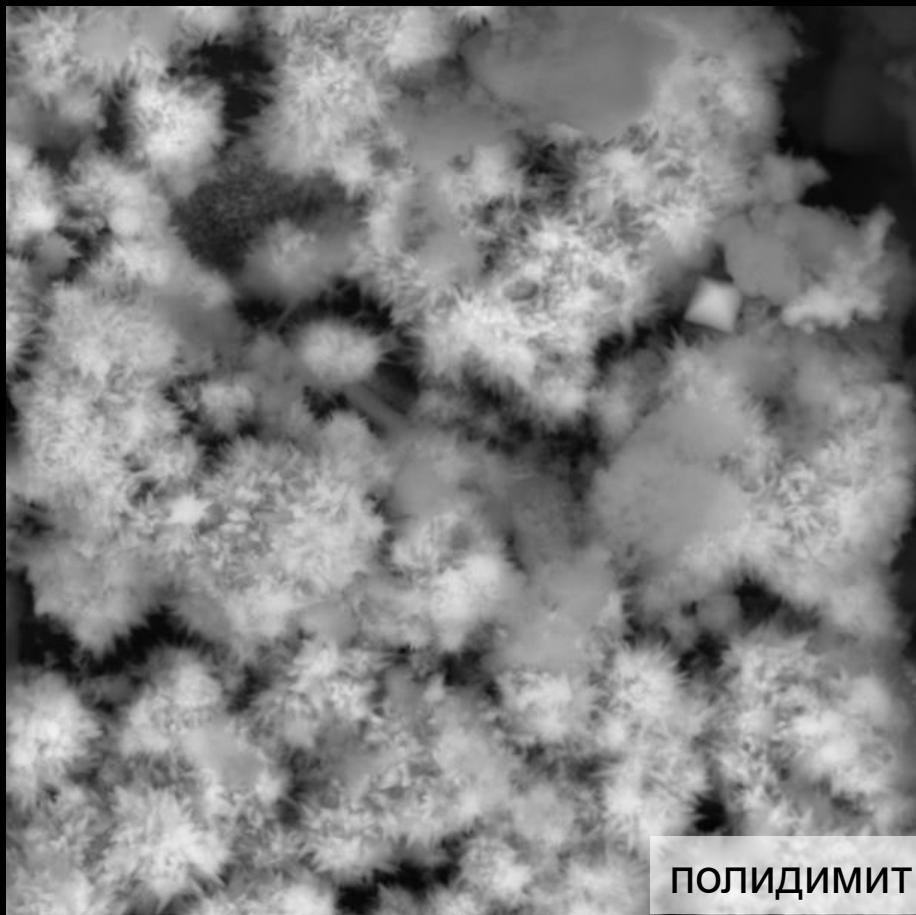
BI: 7.00

2 μm

View field: 8.58 μm

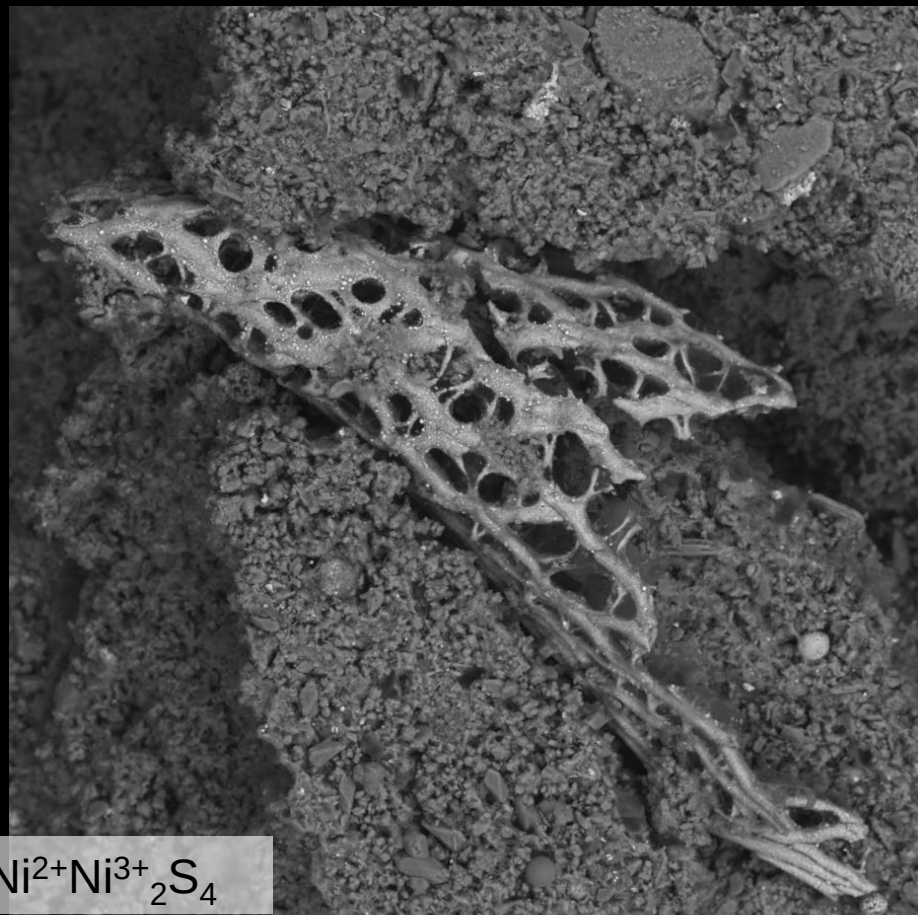
Lobastov

R&D NN SFU



полидимит $\text{Ni}^{2+}\text{Ni}^{3+}_2\text{S}_4$

SEM HV: 20.0 kV	Det: BSE	 5 μm	VEGA3 TESCAN
WD: 9.11 mm	BI: 8.00		
View field: 21.4 μm	Lobastov		R&D NN SFU

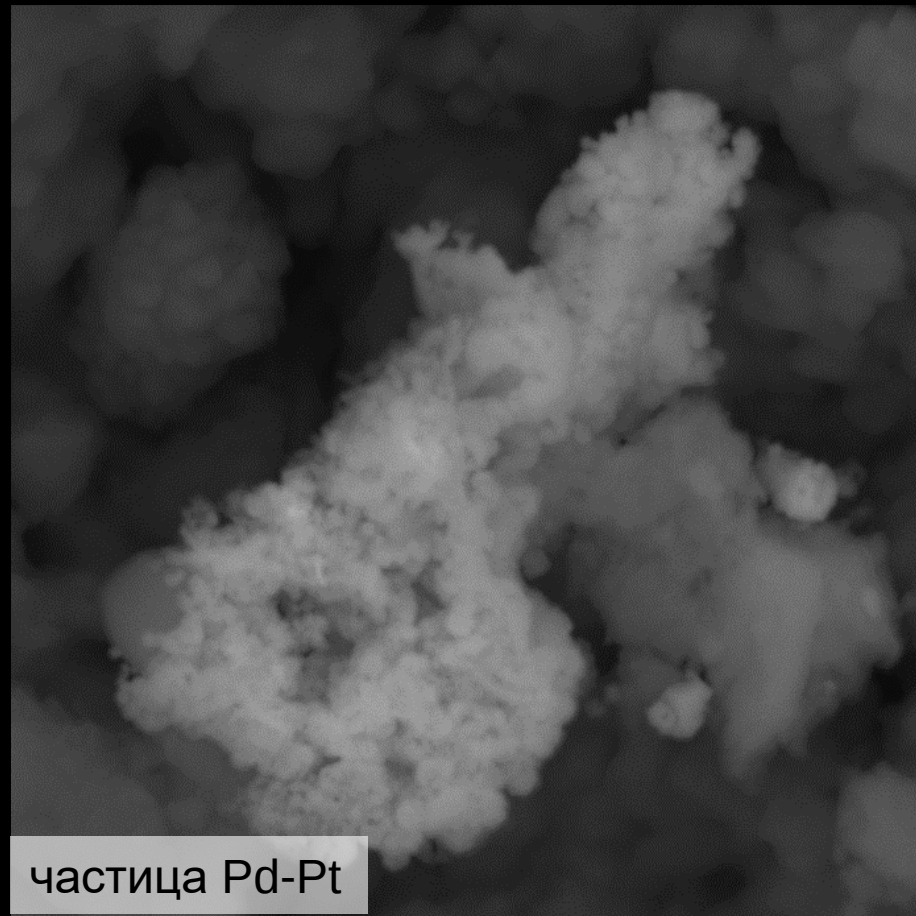


SEM HV: 20.0 kV	Det: BSE	 100 μm	VEGA3 TESCAN
WD: 9.95 mm	BI: 10.00		
View field: 371 μm	Lobastov		R&D NN SFU



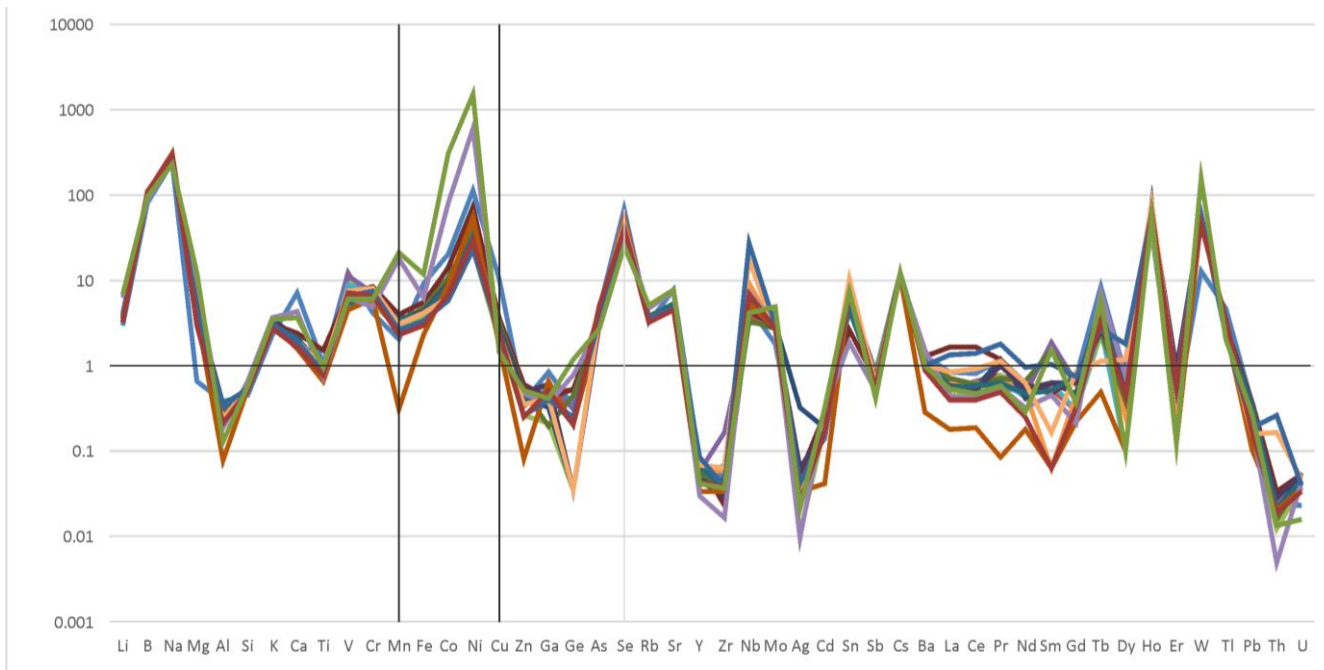
самородная медь

SEM HV: 20.0 kV	Det: BSE	 5 μm	VEGA3 TESCAN
WD: 10.00 mm	BI: 8.00		
View field: 27.9 μm	Lobastov		R&D NN SFU 

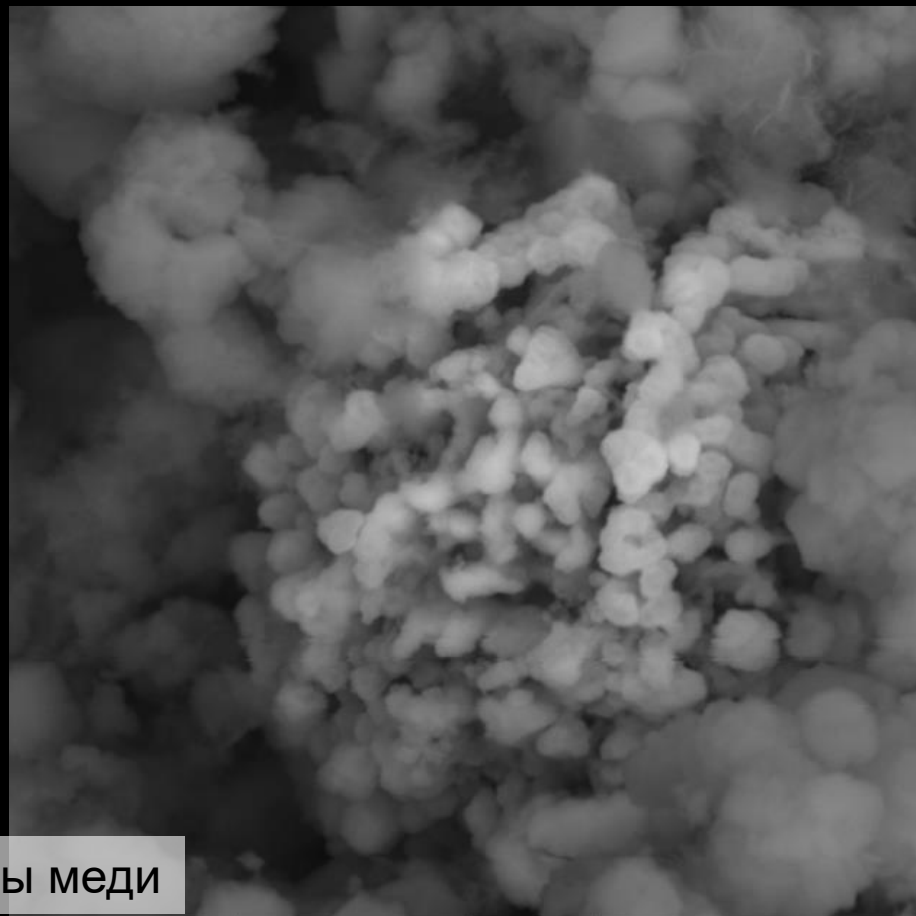
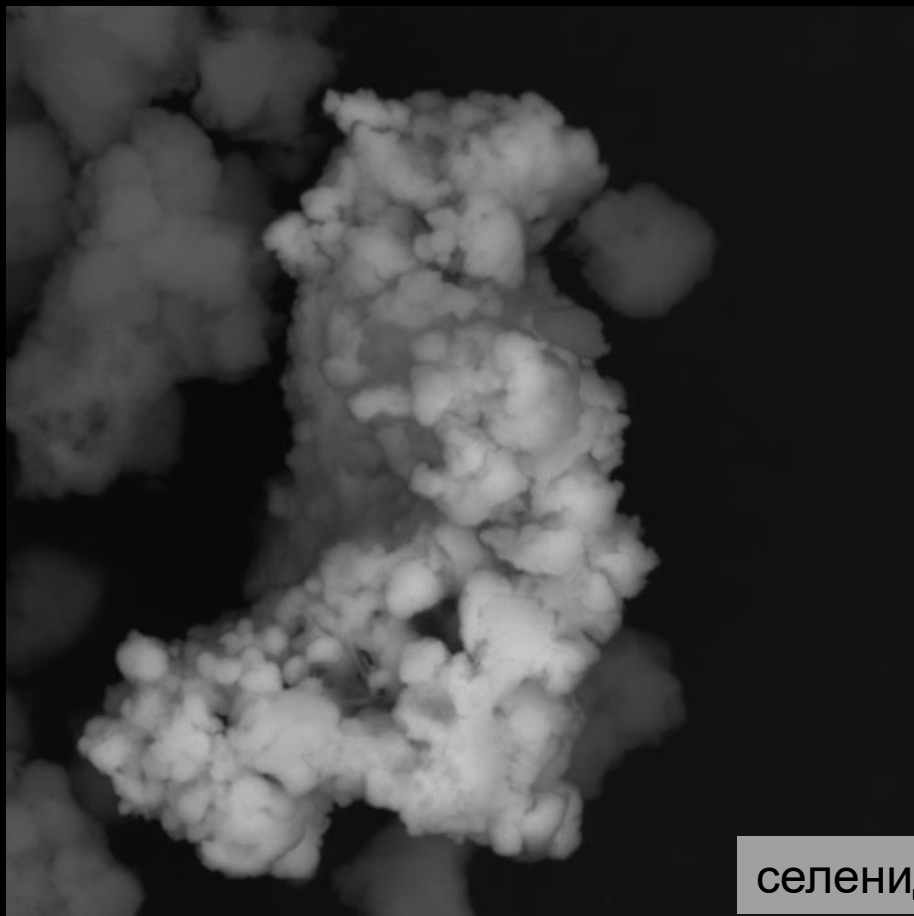


частица Pd-Pt

SEM HV: 20.0 kV	Det: BSE + SE	 2 μm	VEGA3 TESCAN
WD: 10.96 mm	BI: 8.00		
View field: 11.7 μm	Lobastov		R&D NN SFU 



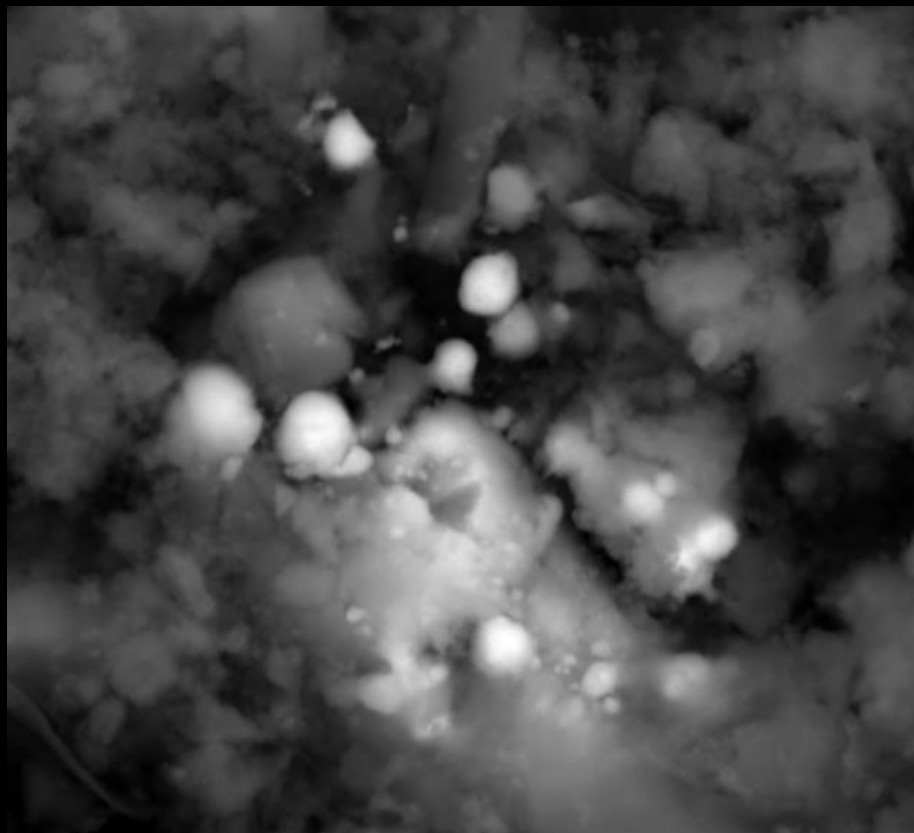
Нормированные на кларки содержания элементов
в водах хранилища продуктов нейтрализации



селениды меди

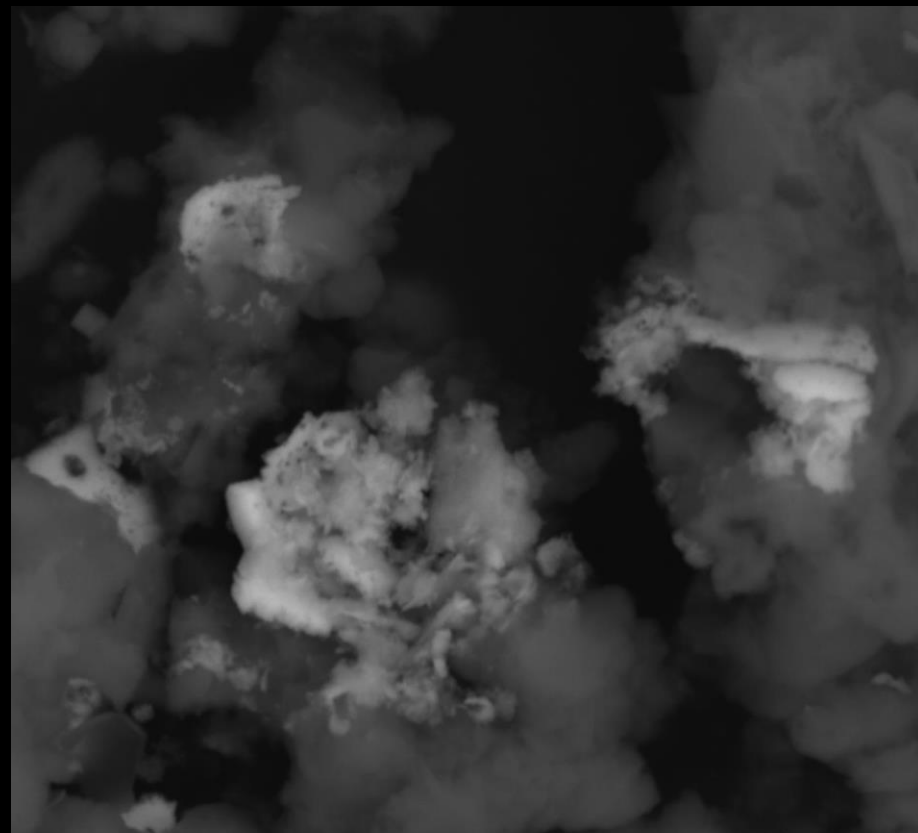
SEM HV: 20.0 kV	Det: BSE		VEGA3 TESCAN
WD: 9.97 mm	BI: 8.00	2 μm	R&D NN SFU 
View field: 13.5 μm	Lobastov		

SEM HV: 20.0 kV	Det: BSE		VEGA3 TESCAN
WD: 10.01 mm	BI: 9.00	2 μm	R&D NN SFU 
View field: 13.7 μm	Lobastov		



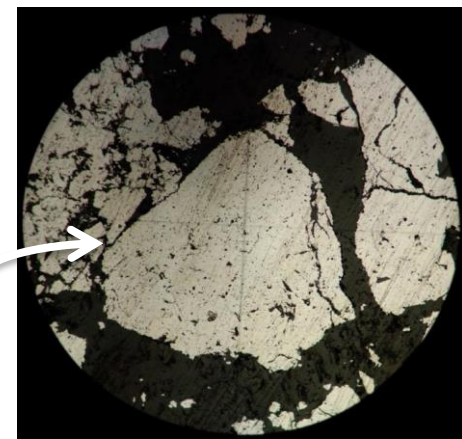
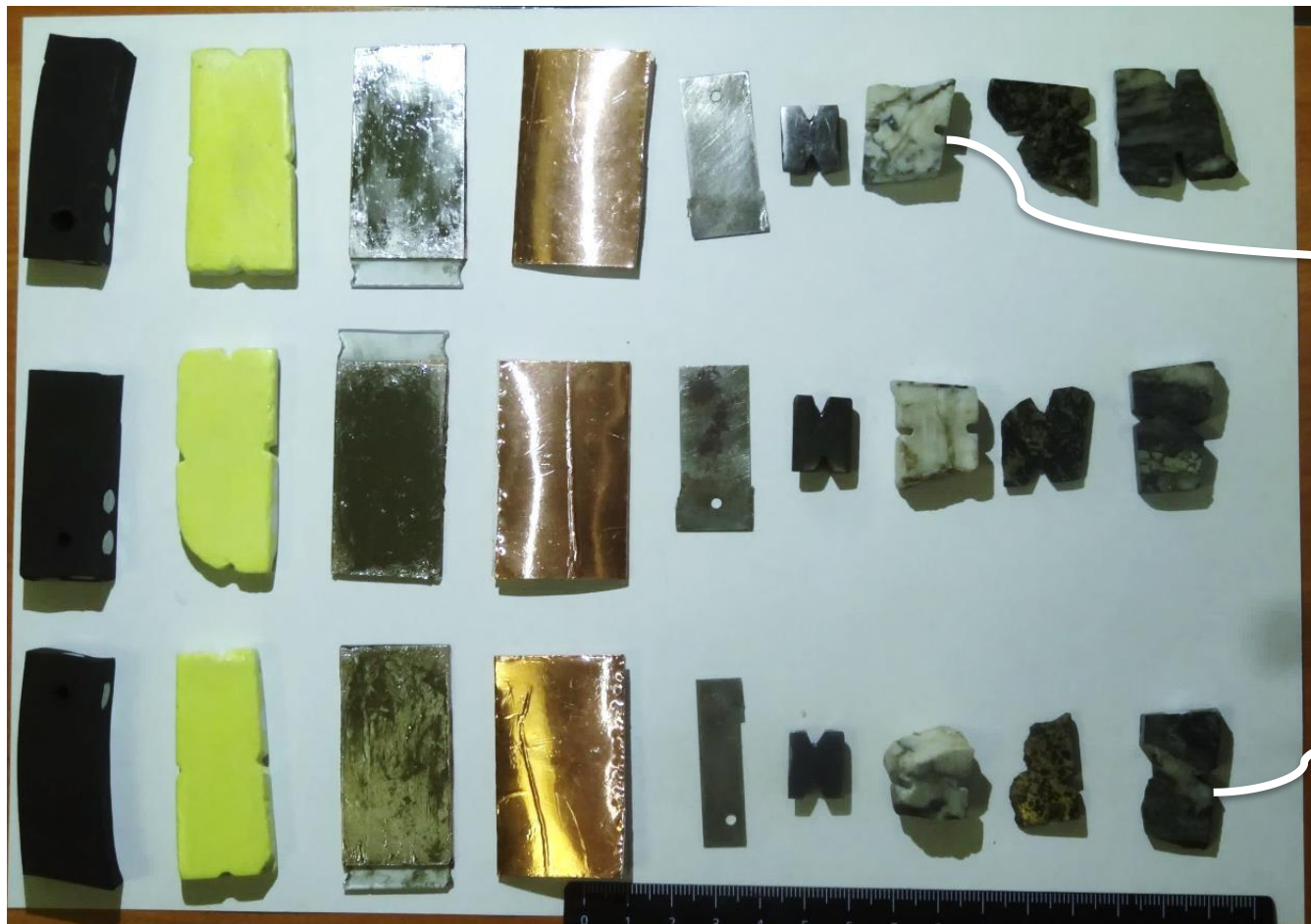
селениды никеля

SEM HV: 20.0 kV	Det: BSE		VEGA3 TESCAN
WD: 8.02 mm	BI: 9.00	2 μm	
View field: 11.6 μm	Lobastov		R&D NN SFU



селениды серебра

SEM HV: 20.0 kV	Det: BSE		VEGA3 TESCAN
WD: 10.05 mm	BI: 9.00	5 μm	
View field: 16.5 μm	Lobastov		R&D NN SFU



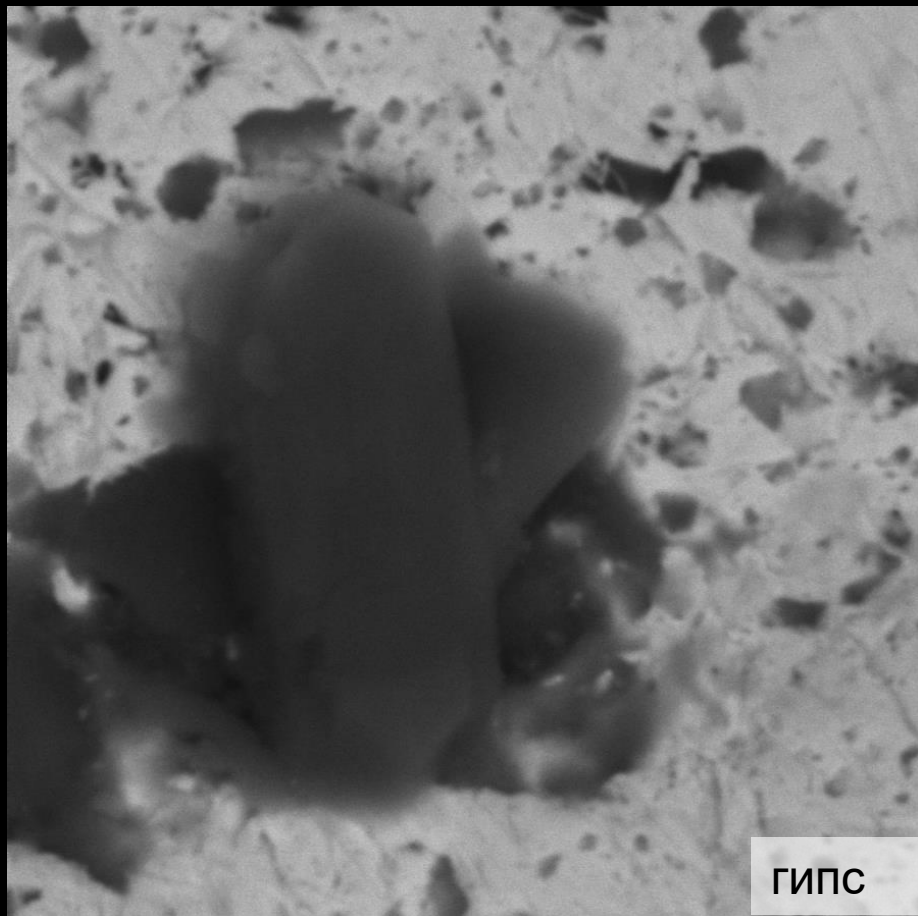




Медь



Железо



гипс

SEM HV: 20.0 kV

Det: BSE

WD: 15.00 mm

Date(m/d/y): 06/09/17

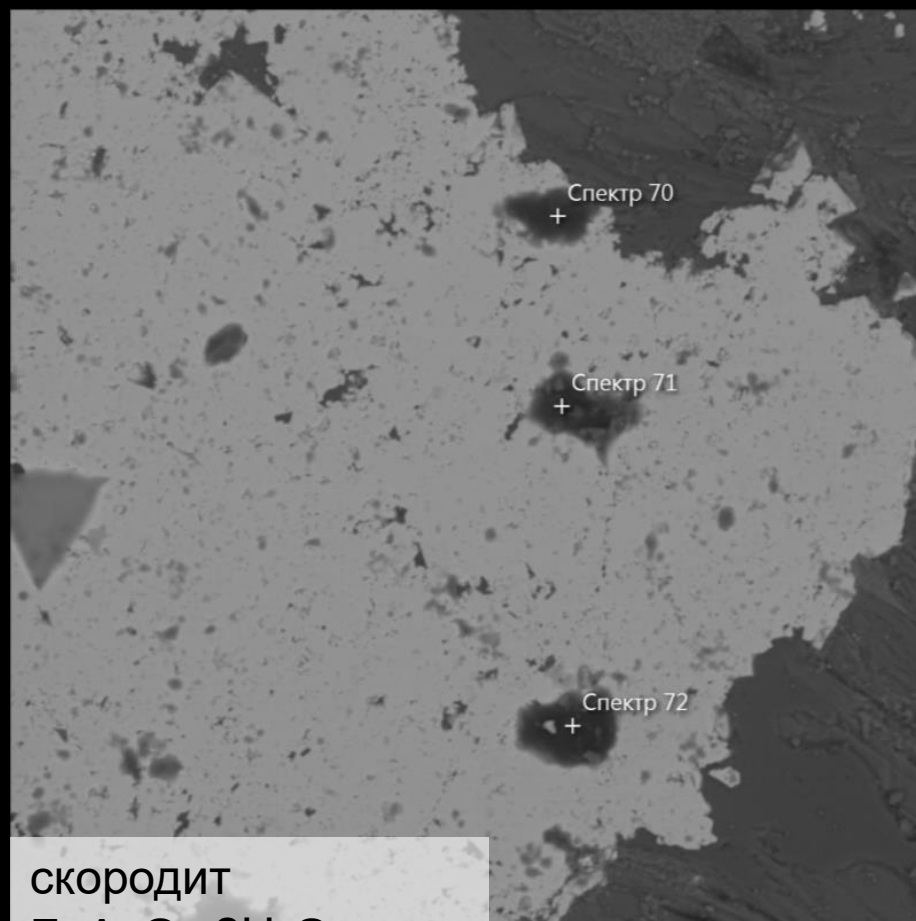
5 μ m

SEM MAG: 14.4 kx

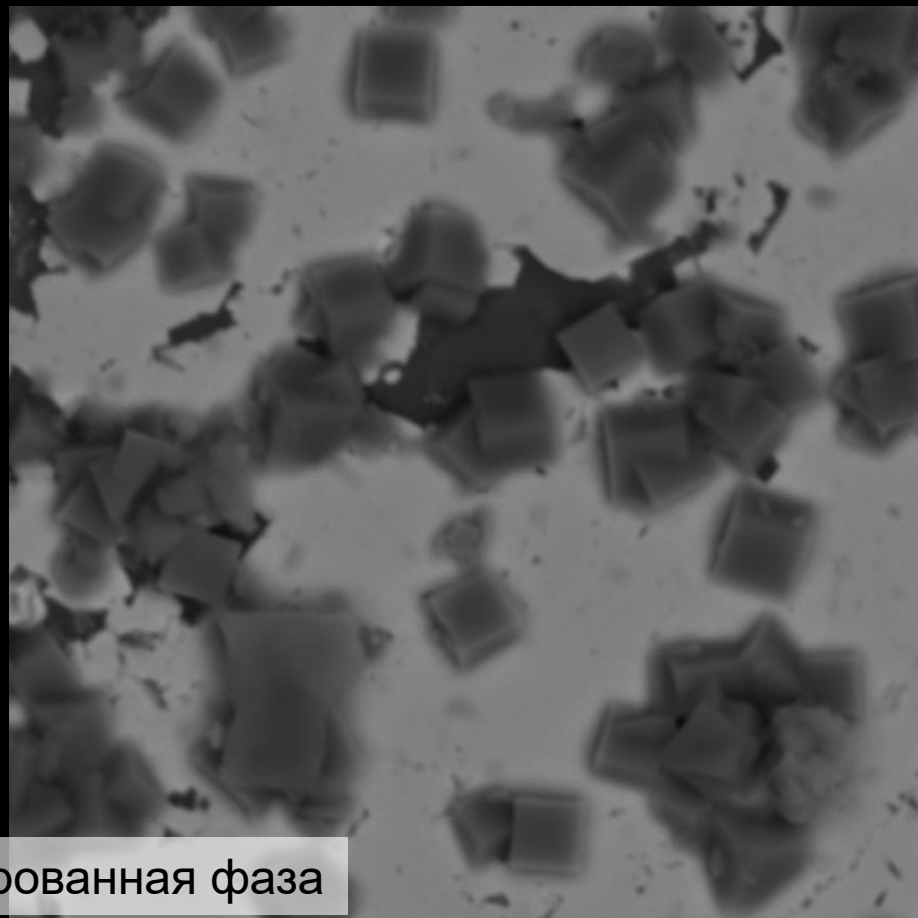
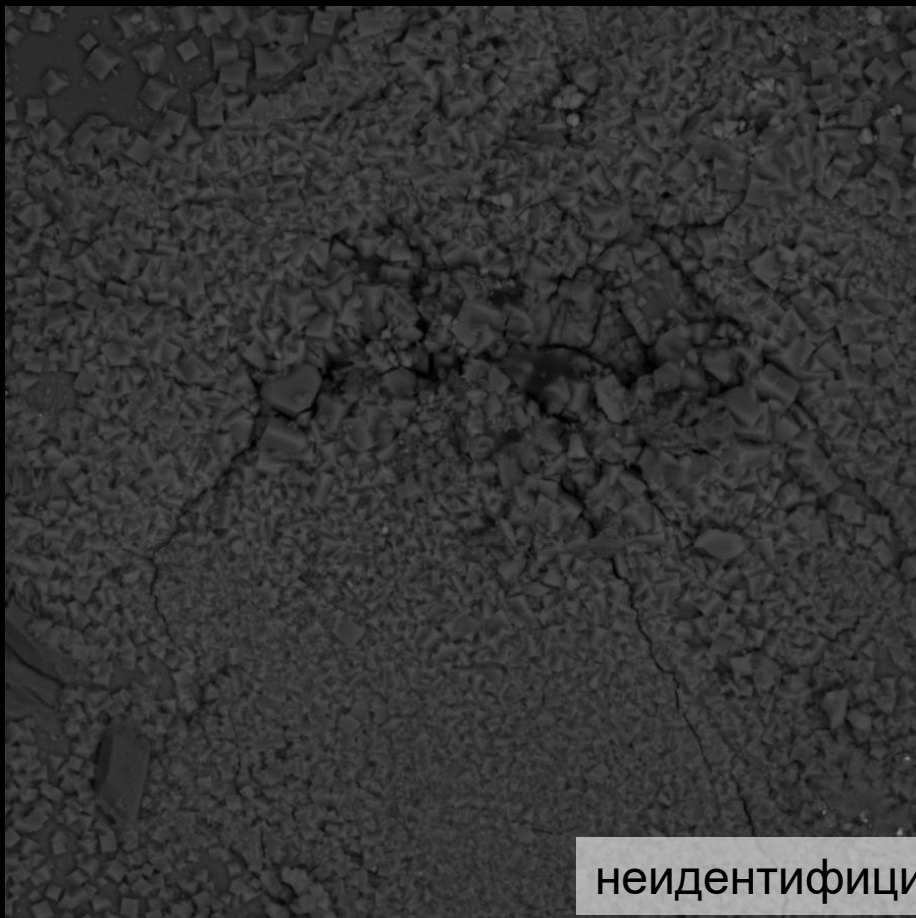
Silyanov

Performance in nanospace

VEGA3 TESCAN



скородит
 $\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$



неидентифицированная фаза

SEM HV: 20.0 kV	Det: BSE		VEGA3 TESCAN
WD: 15.00 mm	Date(m/d/y): 06/09/17	50 μ m	
SEM MAG: 1.04 kx	Silyanov	Performance in nanospace	

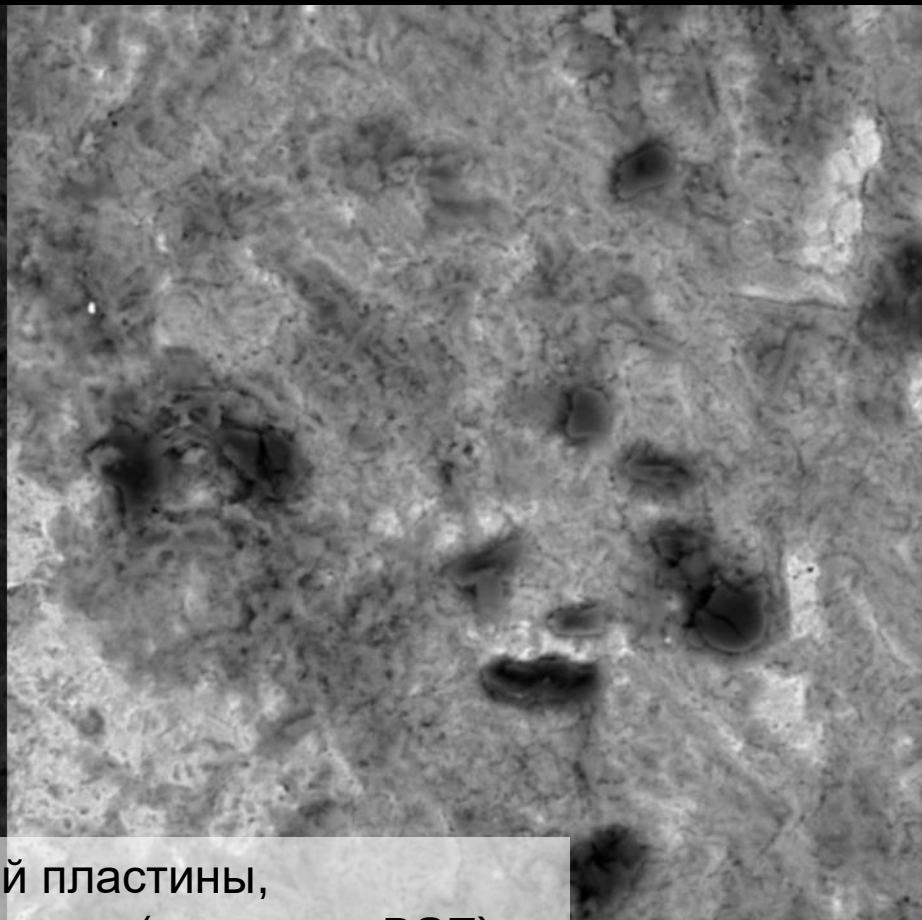
SEM HV: 20.0 kV	Det: BSE		VEGA3 TESCAN
WD: 15.00 mm	Date(m/d/y): 06/09/17	20 μ m	
SEM MAG: 3.81 kx	Silyanov	Performance in nanospace	



SEM HV: 20.0 kV

WD: 15.00 mm

SEM MAG: 2.32 kx



VEGA3 TESCAN

Performance in nanospace

Поверхность медной пластины,
покрытая оксидами меди (светлое в BSE),
на них — кристаллы гипса (тёмное в BSE)

Date(m/d/y): 06/12/17

Silyanov

50 um

Выводы

- В хранилищах отходов горно-металлургических производств идут активные процессы минералообразования, хранящиеся в хранилищах продукты активно взаимодействуют друг с другом, с остаточными реагентами, с атмосферой и окружающей средой

Выводы

- Электронная микроскопия позволяет ответить на ряд вопросов, которые остаются после исследований валовыми методами, главным образом – обнаружить формы нахождения редких (в составе продукта) элементов

The image shows a vast, flat, and cracked landscape, likely a dry lake bed or a coastal plain. The ground is a mix of dark grey and brownish-yellow, with numerous deep, irregular cracks running across it. In the background, there is a large industrial facility with several buildings and smokestacks, some of which are emitting smoke. The facility is situated on a slight rise, and there are green trees and vegetation around it. The sky is overcast and grey. The text "Благодарю за внимание!" is overlaid in the center of the image.

Благодарю за внимание!