

# Фазовые равновесия с участием фаялитных шлаков в процессах кислородно-факельной плавки

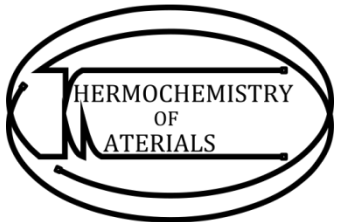


МОСКОВСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА



Студент 405 группы Попов К. К.

Преподаватель Осин С. Б.



Научный руководитель Стародуб К. Ф.

# Задача

Моделирование фазового состава образцов шлака  
медеплавильного завода

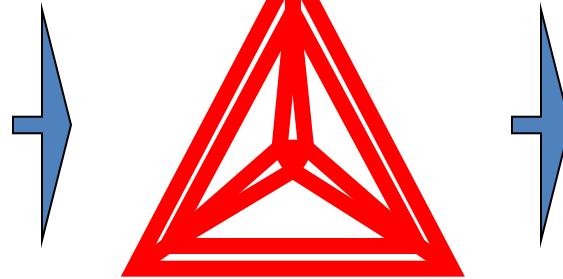


## План работы

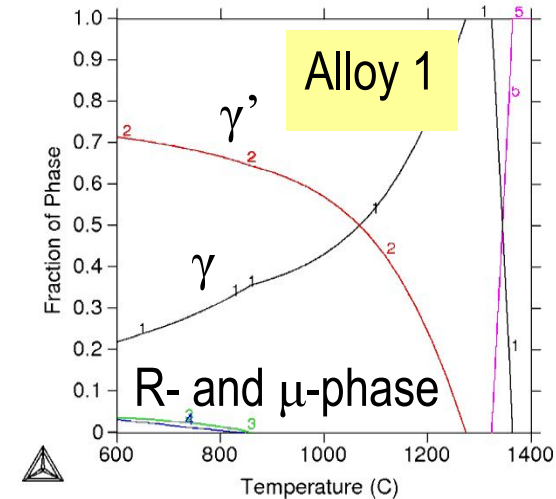
Первичная подготовка -> Световая микроскопия -> Электронная сканирующая микроскопия (ЭСМ) -> Термодинамические расчеты -> Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК)

## Method

Термодинамические базы данных



## Thermo-Calc MTDATA



Определение свободной энергии Гиббса для каждой из фаз

$$G_m^\phi(T, P, x_i^\phi)$$

Минимизация общей свободной энергии Гиббса при заданных условиях

$$G = \sum_{\phi} N^{\phi} G_m^{\phi}(T, P, x_i^{\phi})$$

$$\frac{\partial G}{\partial x_i^{\phi}} = 0$$

Результат

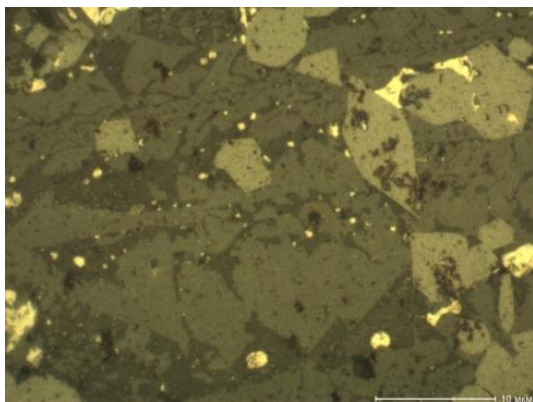
# Экспериментальные данные

Световая микроскопия



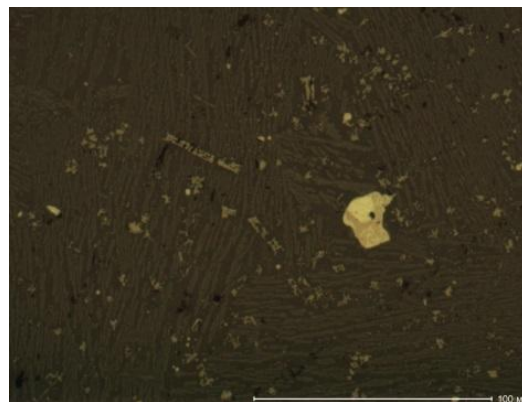
Световой микроскоп Olympus GX71F-5

Образец №1



100x

Образец №2



40x

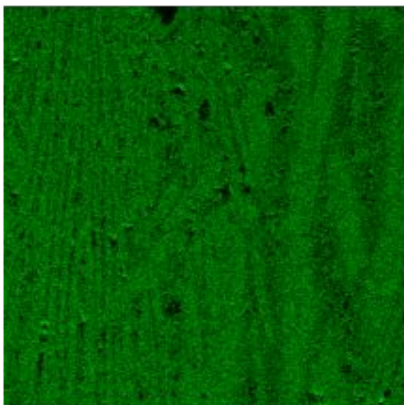
# Сканирующая электронная МИКРОСКОПИЯ



Электронный сканирующий микроскоп  
**TESCAN VEGA LMH** с катодом LaB6 и  
системой рентгеновского  
энергодисперсионного микроанализа **Oxford  
Instruments Advanced AZtecEnergy**

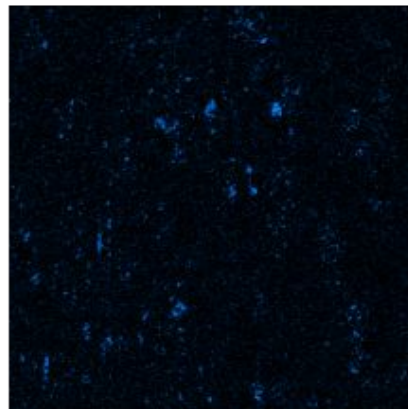
Образец №1

O K $\alpha$ 1



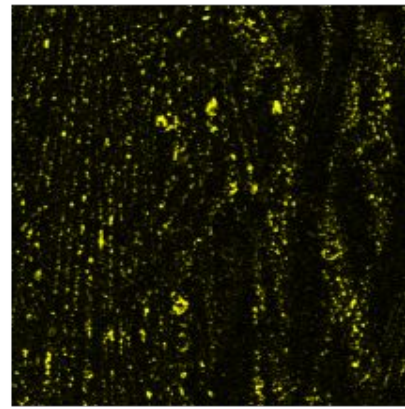
500 $\mu$ m

Cu K $\alpha$ 1



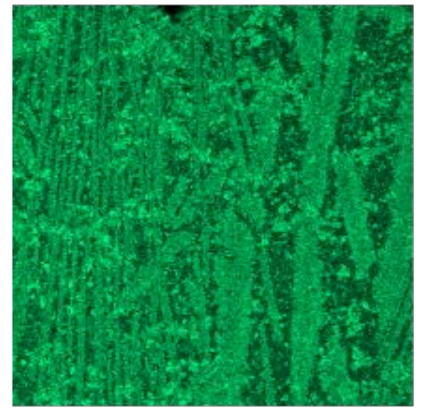
500 $\mu$ m

S K $\alpha$ 1



500 $\mu$ m

Fe K $\alpha$ 1

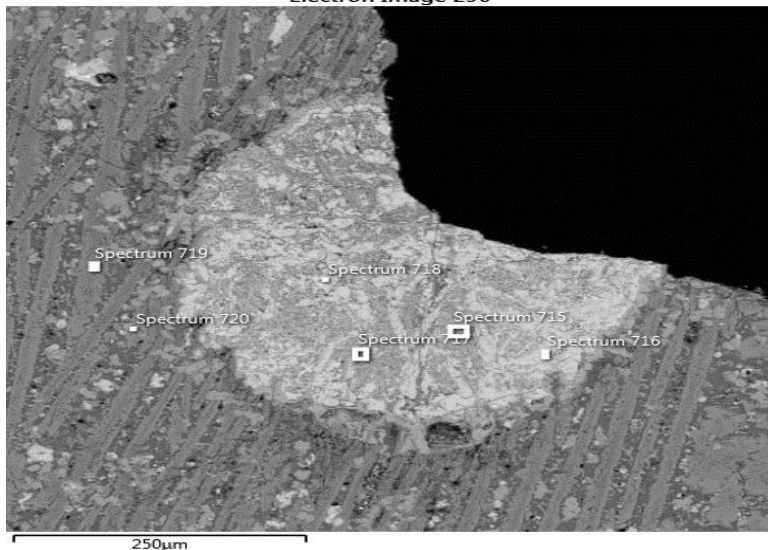


500 $\mu$ m

5

# Сводная таблица состава %ат.

Electron Image 290



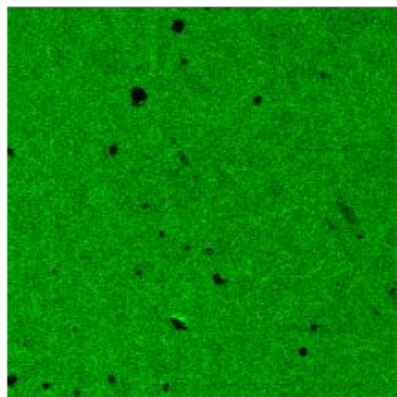
Спектр	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Mo	Общее
Спектр р 715	46.05			1.33	17		0.21			22.97		11.2		0.88	100
Спектр р 716					51					24.67	0.33	23.6			100
Спектр р 717	48.53			1.29	16					22.42		12			100
Спектр р 718					52					24.93	0.31	23.2			100
Спектр р 719	50.86	2.47	3.17	22.5	1.3	1.04	0.89		0.24	17.05		0.15	0.4		100
Спектр р 720	51.94	1.02	6.62	1.64			0.11	0.76		37.37			0.6		100



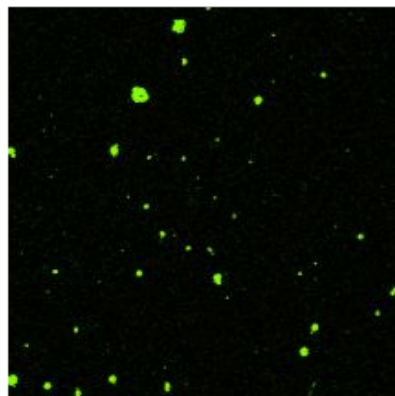
# Сканирующая электронная микроскопия

Образец №2

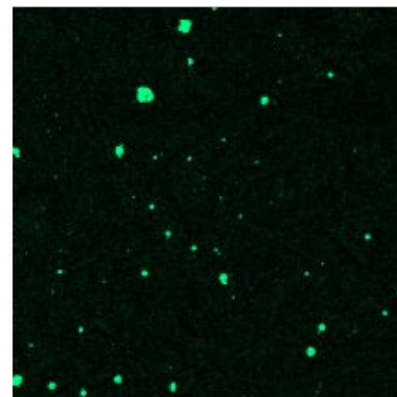
O K $\alpha$ 1



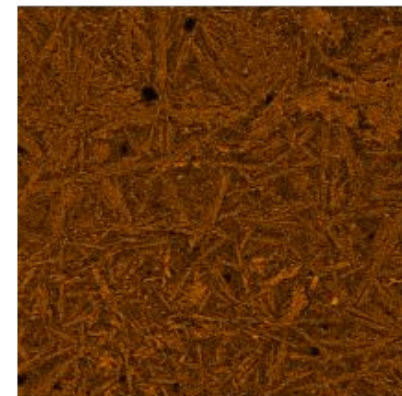
Cu K $\alpha$ 1



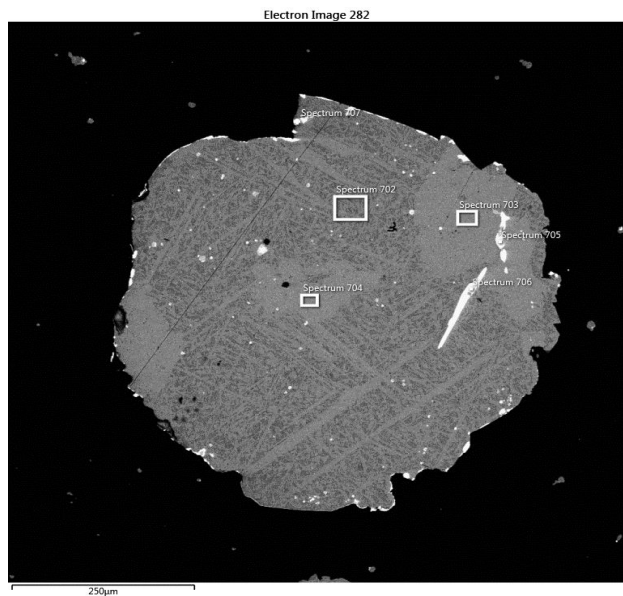
S K $\alpha$ 1



Fe K $\alpha$ 1



# Сводная таблица состава %ат.



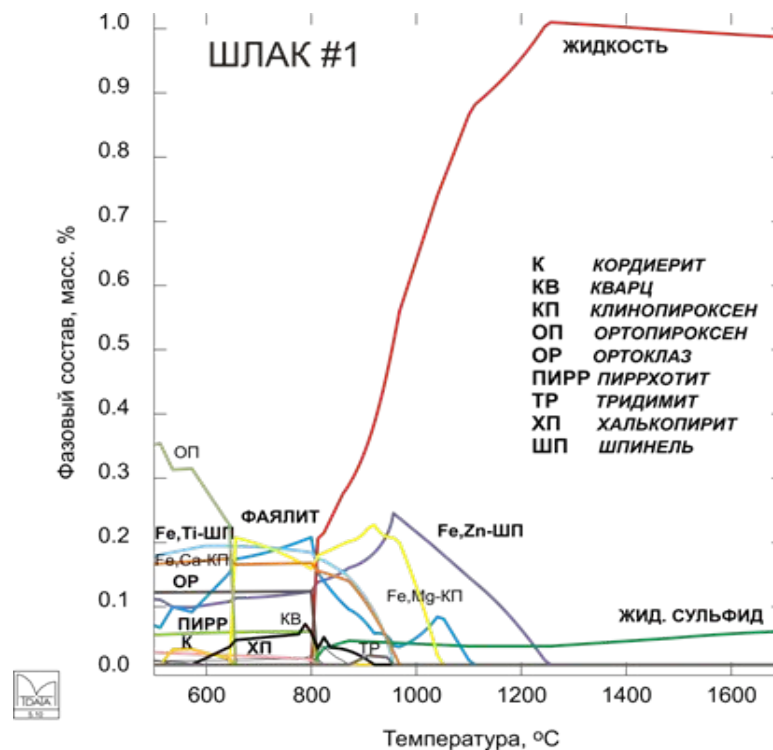
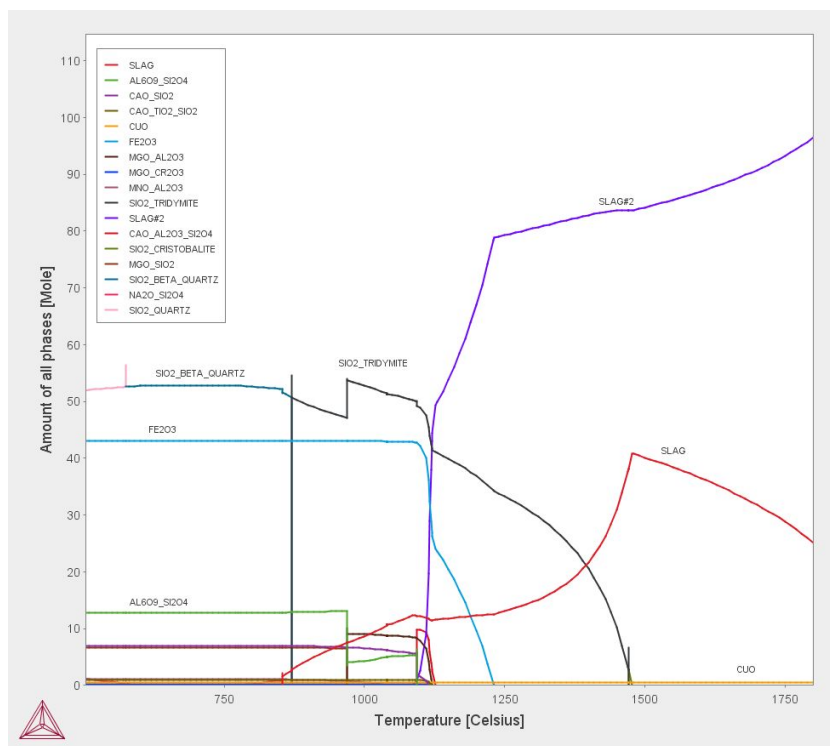
Спектр	O	S	Fe	Cu	Pb	Общее
Спектр 702		36.7	4.41	58.84		100
Спектр 703		34.9	0.25	64.89		100
Спектр 704		35		64.98		100
Спектр 705	8.03	42.5		7	42	100
Спектр 706	9.2	42.1		6.73	42	100
Спектр 707	14.41	38.6	1.17	8.73	37	100



# Термодинамические расчёты

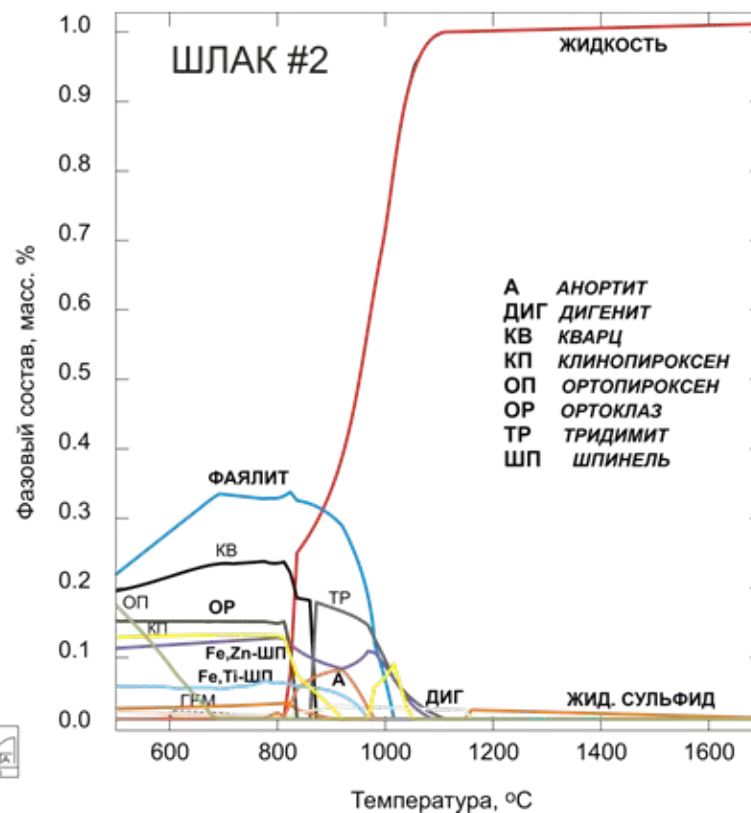
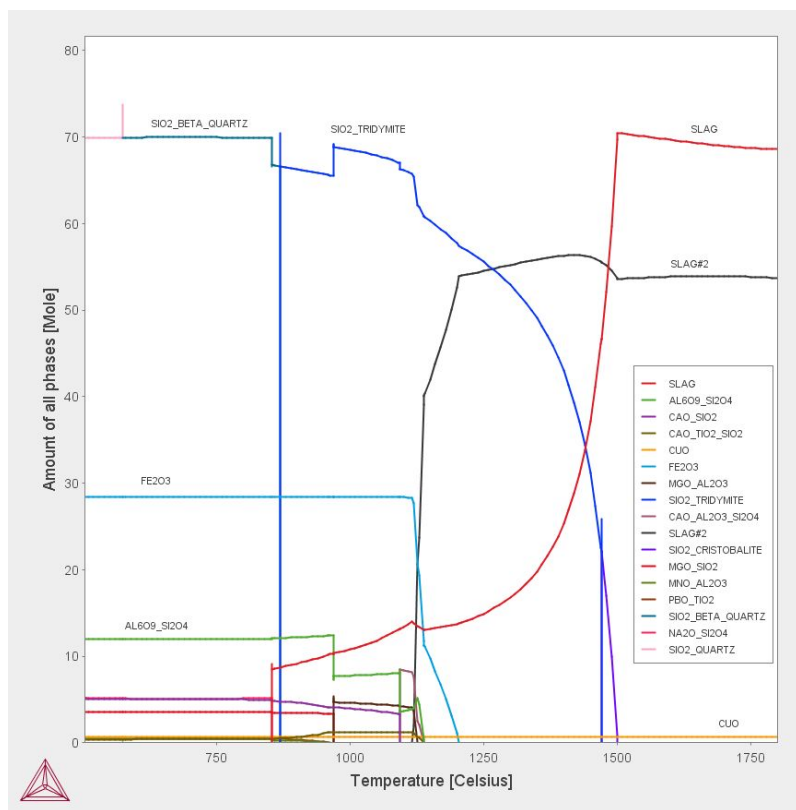
Используем для расчетов составы образцов, полученные в СЭМе

Образец №1



# Термодинамические расчёты

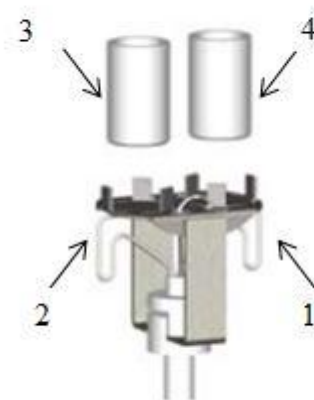
## Образец №2



# Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК)



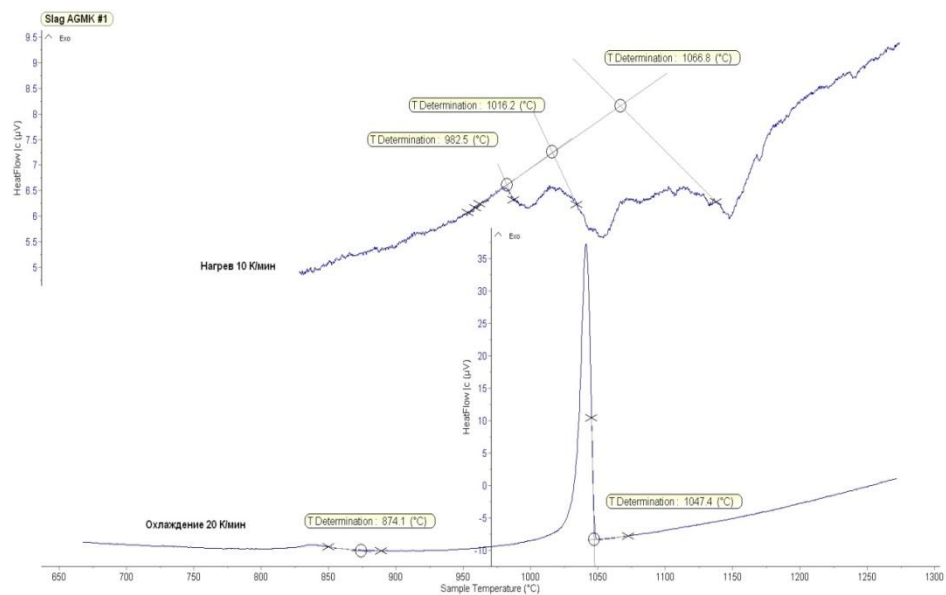
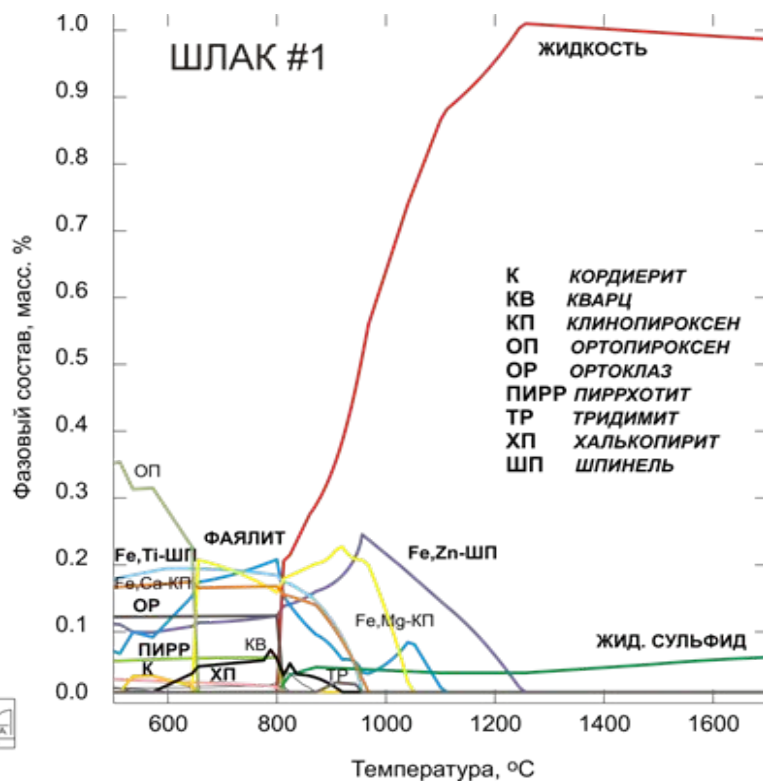
**Калориметр DSC Labsys evo (до 1600 °С) с дополнительным 3D детектором типа (Tian-Calvet) для измерения  $C_p$**



**Схема измерительной ячейки**

1. Термопара для измерения температуры печи.
2. Дифференциальная термопара для измерения разницы температур
3. Пустая ячейка
4. Ячейка с образцом

# Сравнение результатов ДСК и МТДАТА



# Выводы

1. Исследования методом световой микроскопии показали, что все образцы содержат сульфидные фазы в виде округлых включений. Анализ шлаков методом СЭМ показал, что медь входит в состав исследуемых образцов в виде сульфидных соединений. Термодинамические расчеты подтверждают образование сульфидных фаз из расплава при кристаллизации шлаков.
2. Основными составляющими исследуемых образцов являются фаялит и оксиды железа, что также подтверждается термодинамическими расчетами.
3. Для моделирования шлаков больше подходит MTDATA, которая даёт небольшую погрешность, связанную с различием атмосфер в моделировании и в калориметрии. Проверка результатов моделирования была выполнена с помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии. Показано наличие расхождений в 10-30 °С в температурах фазовых переходов, полученный методами моделирования и ДСК.

Спасибо за внимание!