Морфологические особенности углеродных микрочастиц пыли метеорита «Челябинск»

Таскаев Сергей Валерьевич

Декан физического факультета Челябинского государственного университета

САМЫЙ большой метеорит после Тунгусского

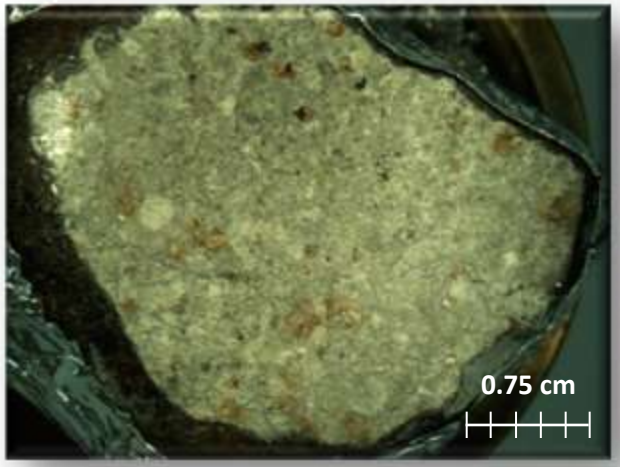
Масса самого крупного фрагмента ~503 кг
Мощность взрыва ~ 500 кт (ТНТ)

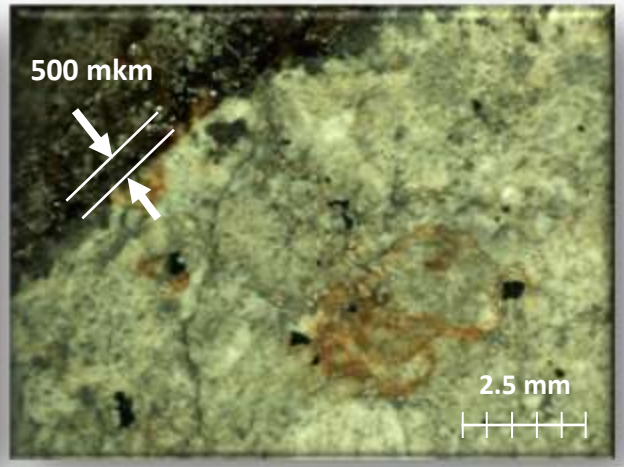
Особые фрагменты

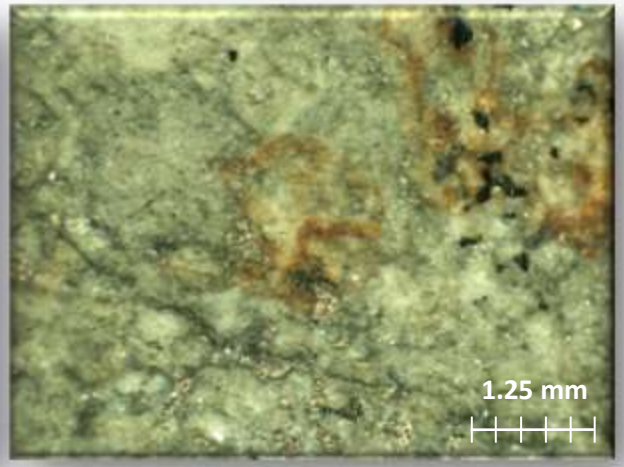
Главный: ≈ 503 кг

В десятке крупнейших каменных метеоритов. Первый в 21 веке!

Оптическая микроскопия







- Хондры плохо фрагментированы
- Петрологический тип - 5

Газопылевой хвост

- Полная масса

$$M = \int_{M_{min}}^{M_{max}} f(m)dm$$

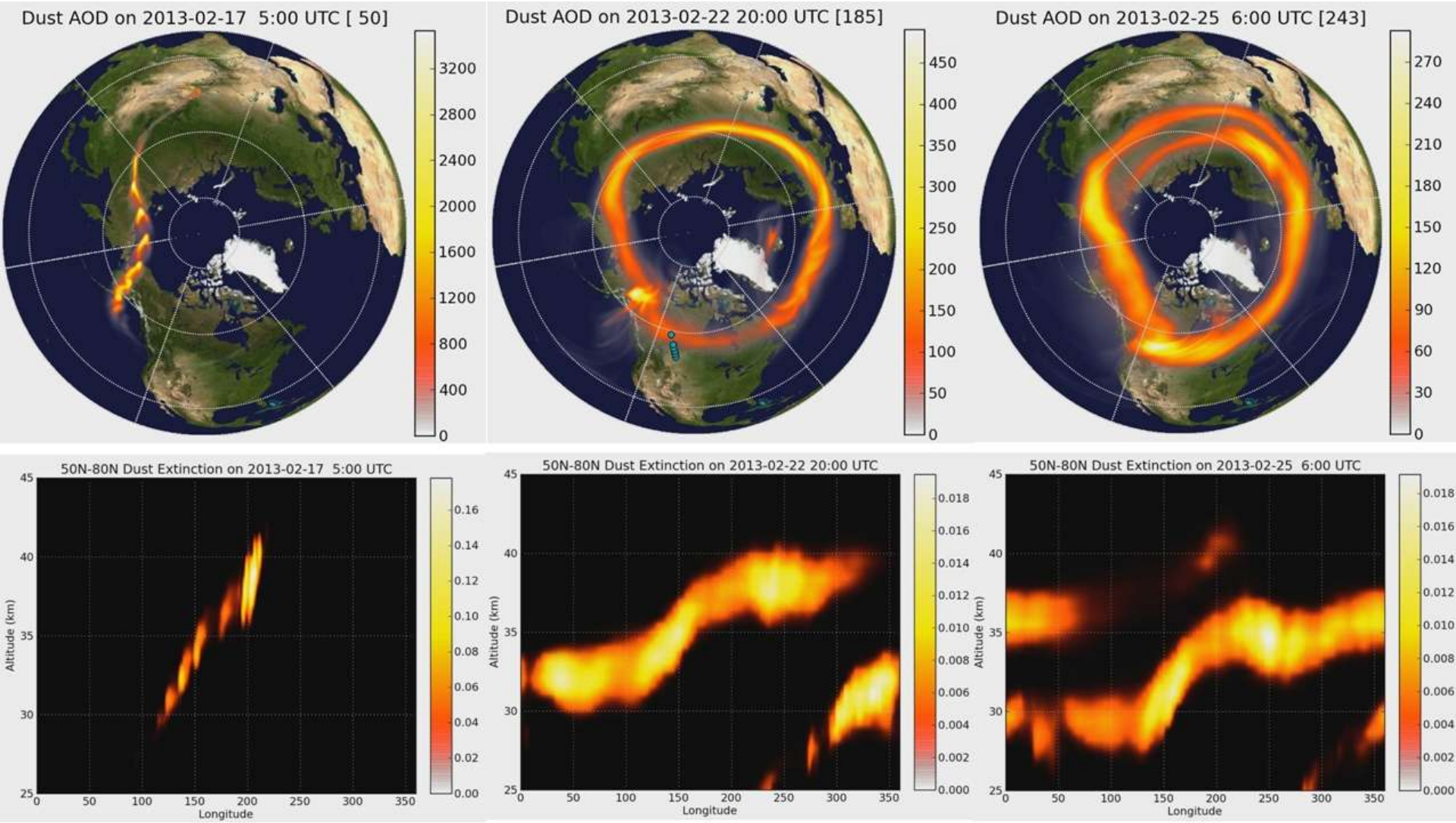
- Для найденных метеоритов

$$M_{min} = 0.04 \text{ г}, M_{min} = 3400 \text{ г}$$

$$\Rightarrow M = 141 \text{ т}$$

- Эта величина составляет 1 % от начальной массы метеороида (~12000 т, Popova et al. 2013)

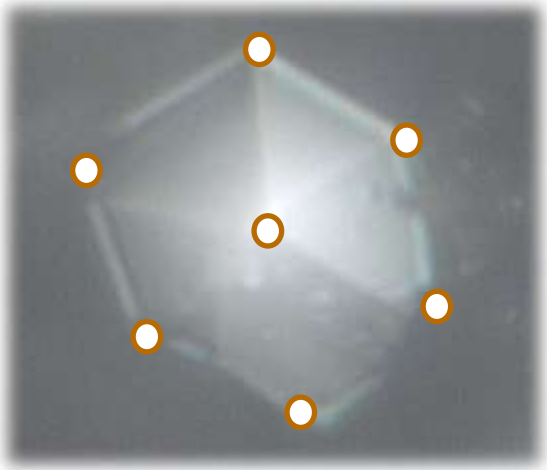
Компьютерный расчет ветрового распространения болидного облака пыли от 15 февраля до 2 марта 2013 (из статьи в JRL, 2013)

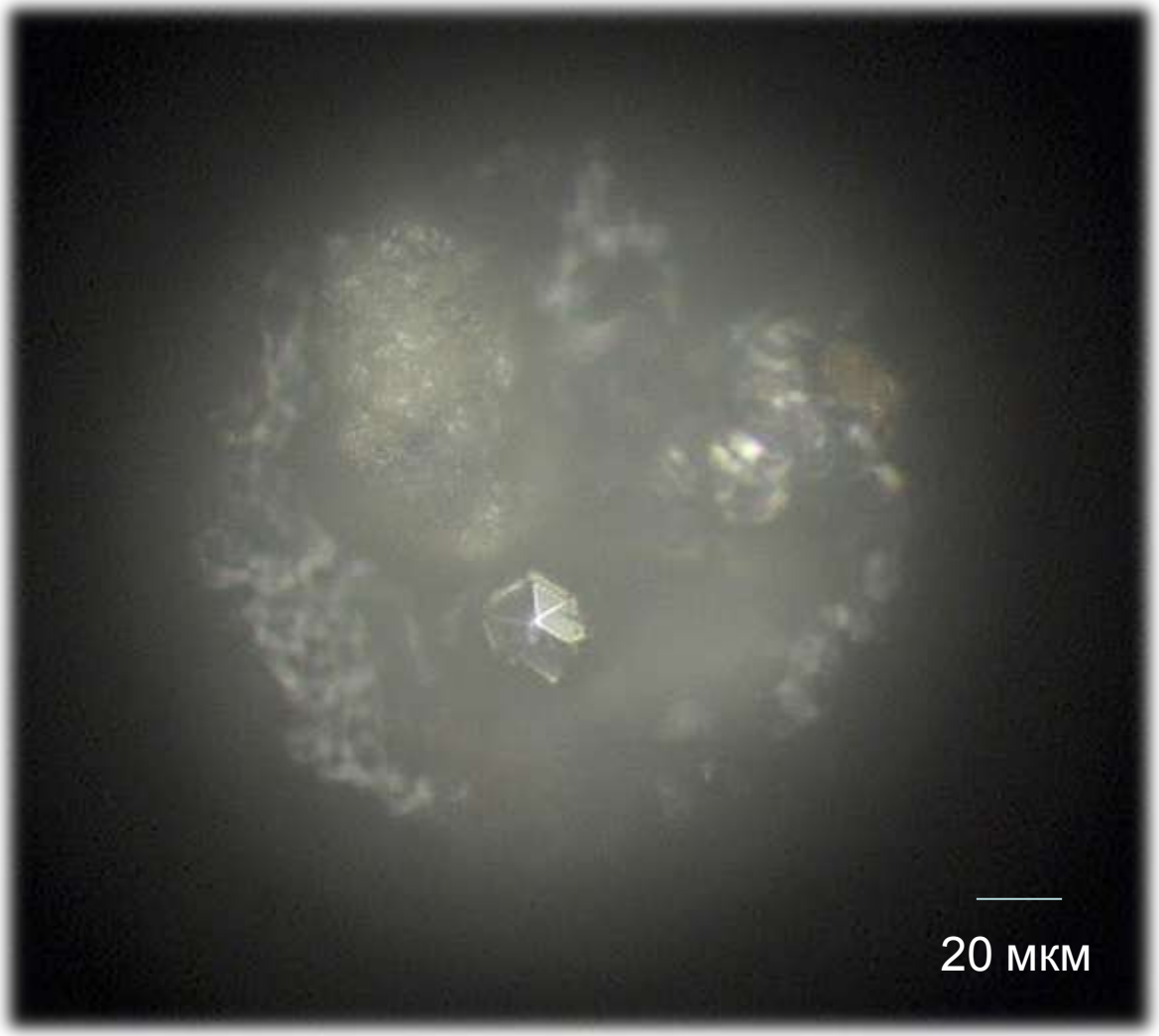


Вид на облако сбоку. Высокие и быстро двигающиеся части облака догоняют низкие и медленно летящие части облака - и образуют 2-х уровневое кольцо

Сбор образцов пыли (2013-2018 гг)

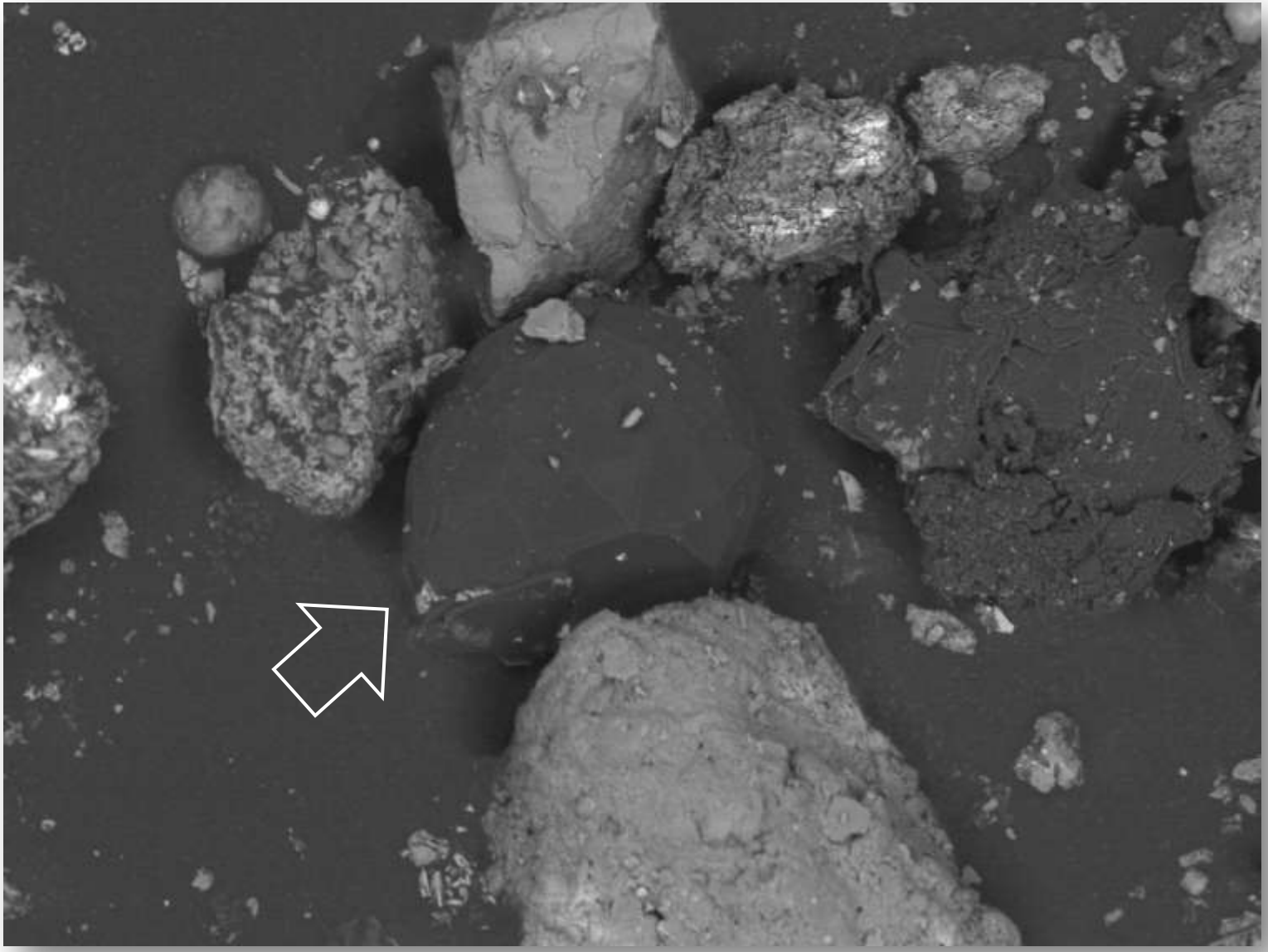
Гексагональный кристалл (оптика)



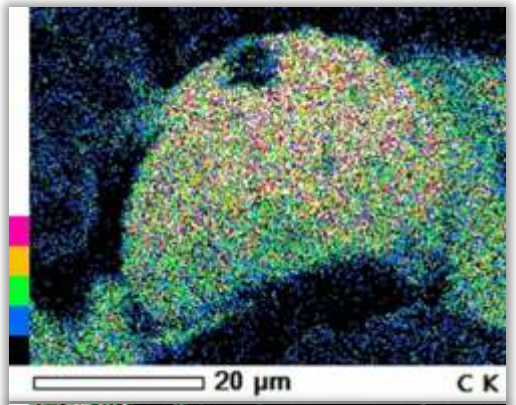


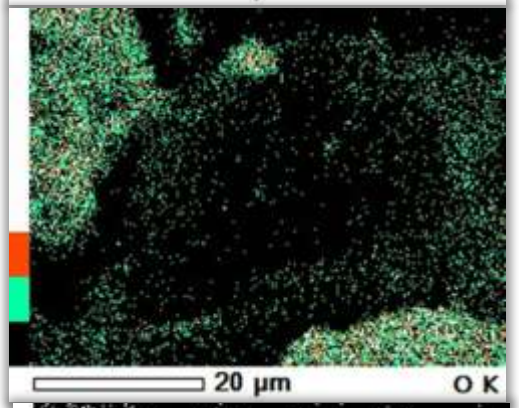
Кристаллический углерод (РЭМ)

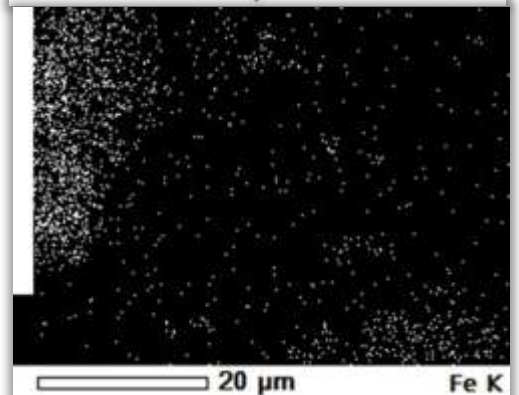
«Кристаллический» углерод (РЭМ)

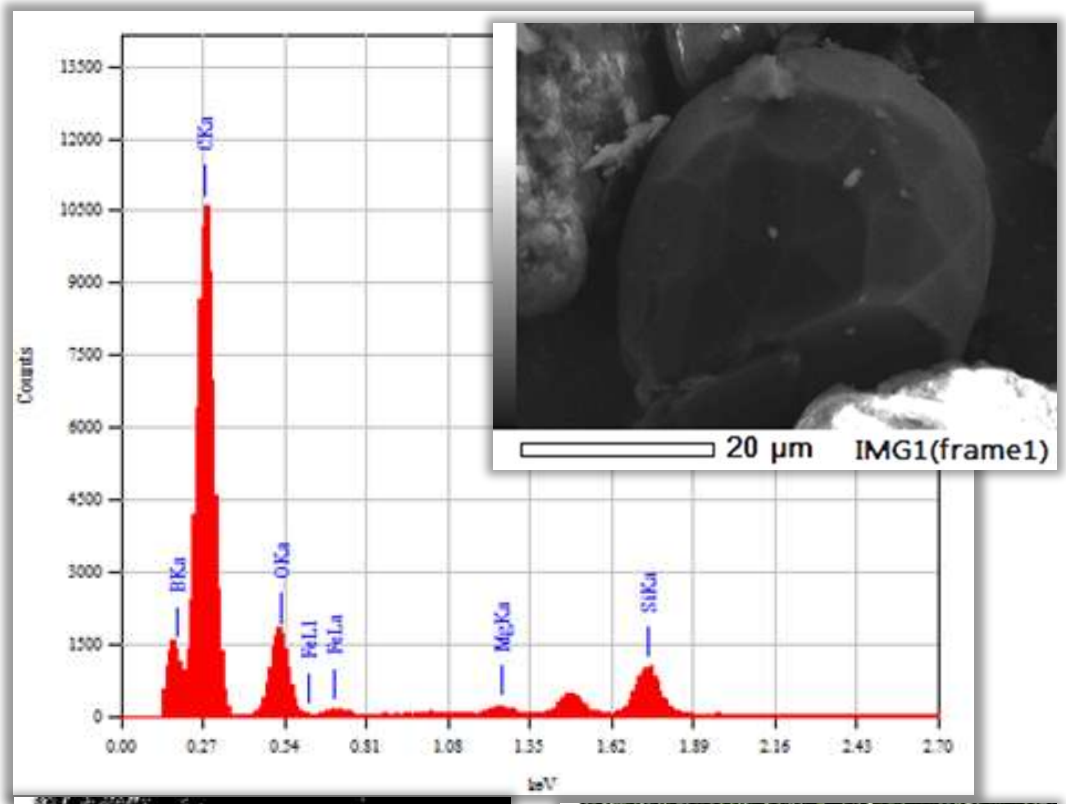


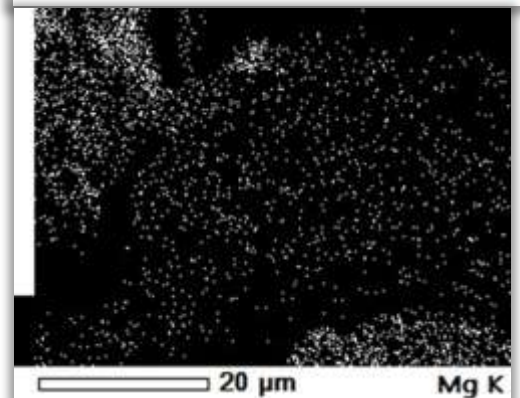
Элементный состав углеродной частицы

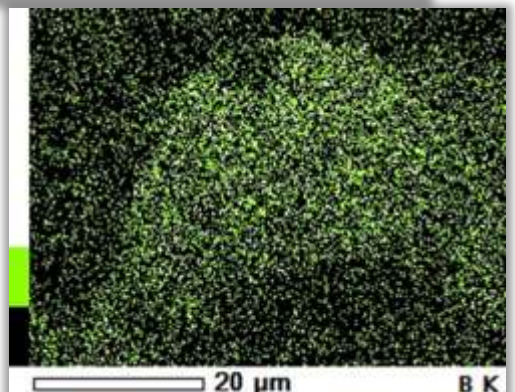




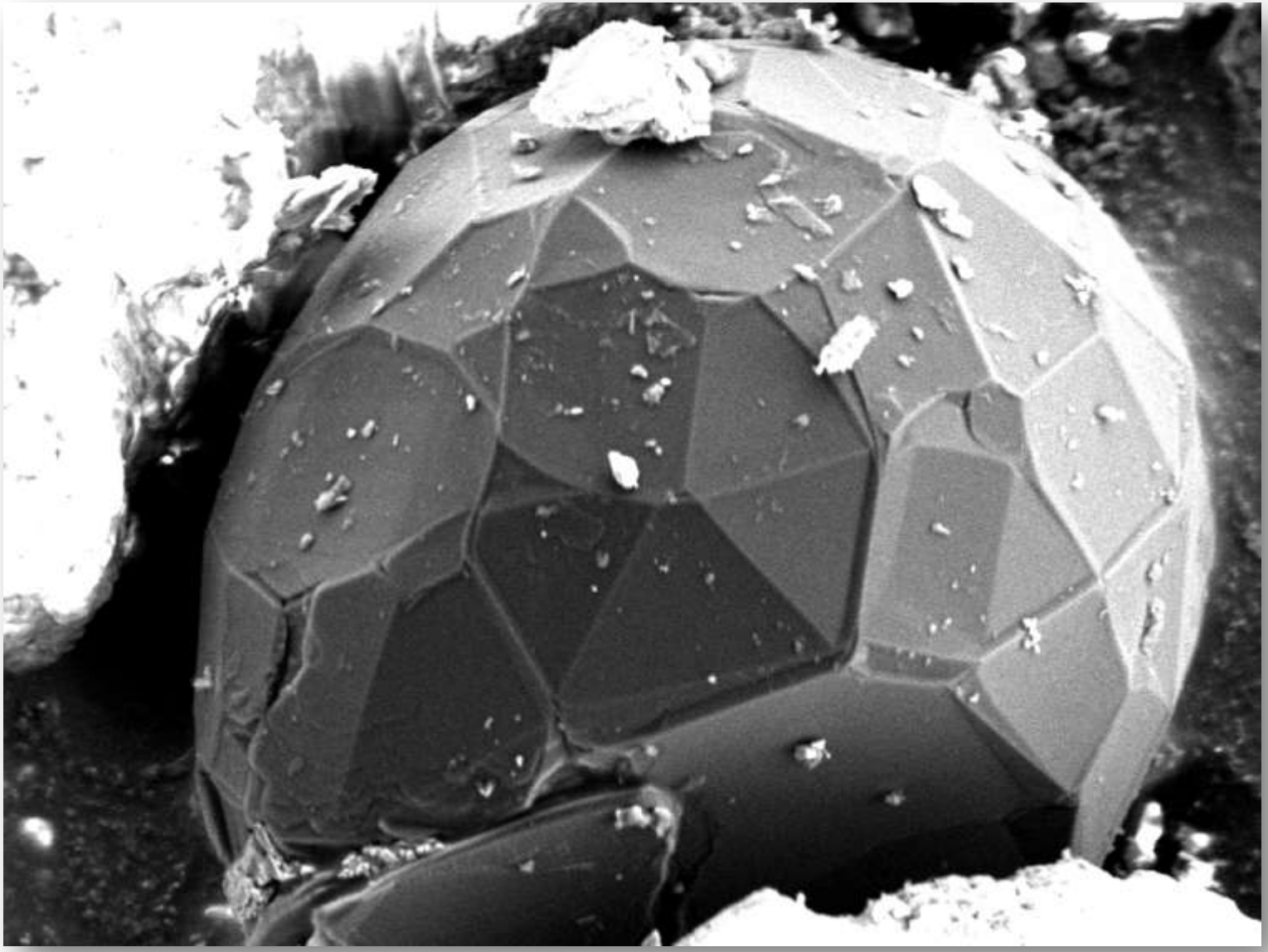




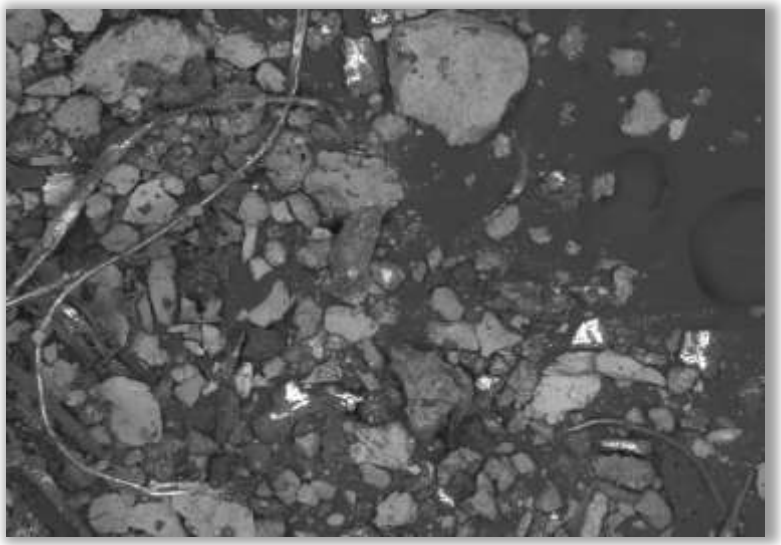


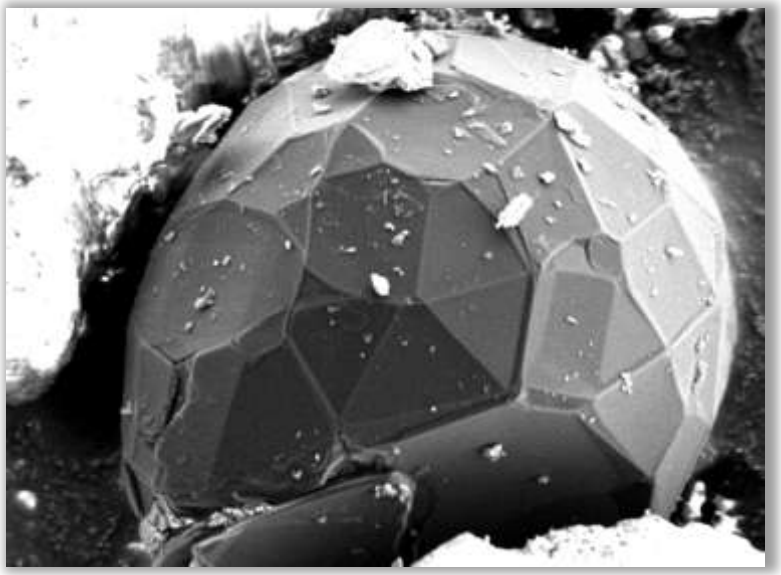


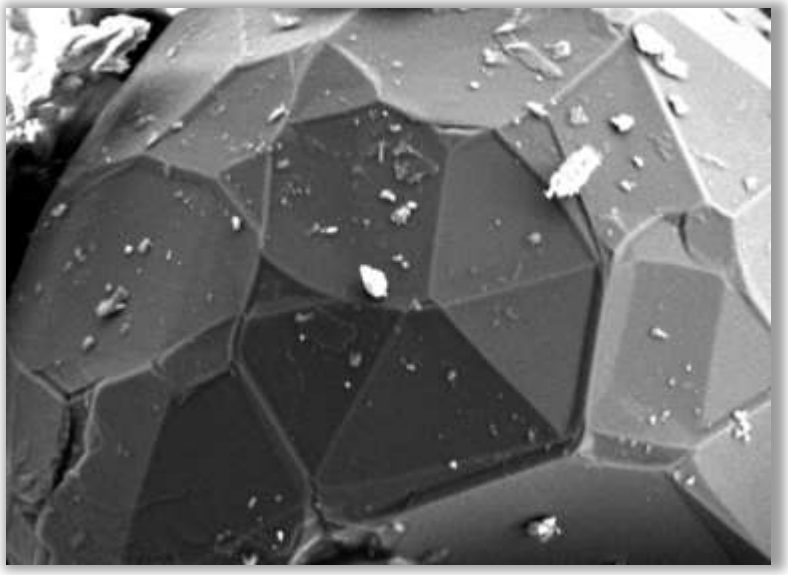
«Кристаллический» углерод (РЭМ)



Фрагменты углеродных структур в пыли Челябинского метеорита

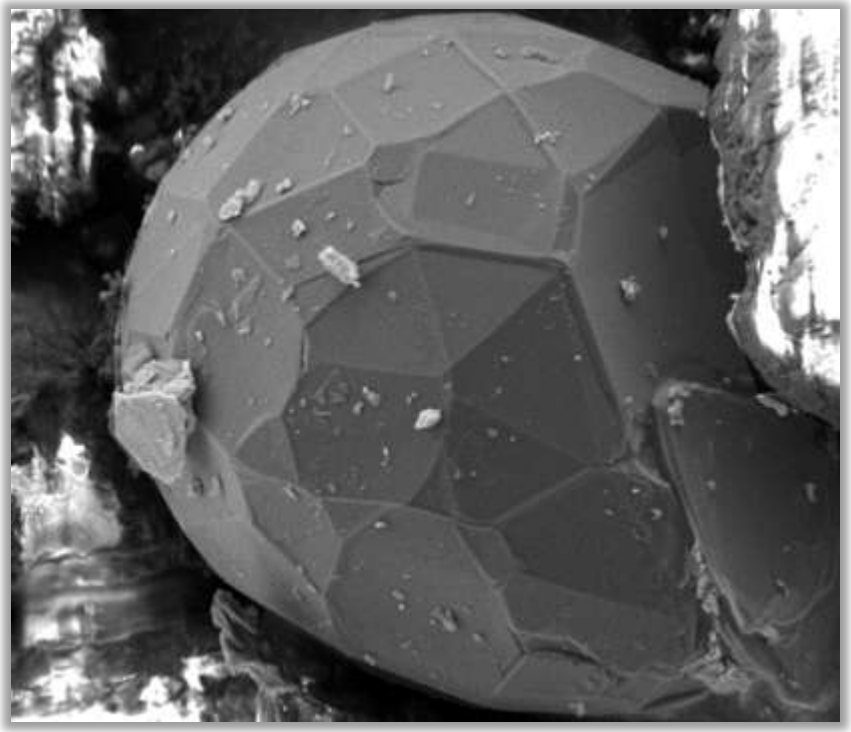






Фрагменты углеродных структур в пыли Челябинского метеорита

оптическая микроскопия



растровая микроскопия

- Лонсдейлит (гексагональный алмаз)
- молекулярный кристалл (например, фуллерит)
- кристаллизация на основе углеродной наноструктуры

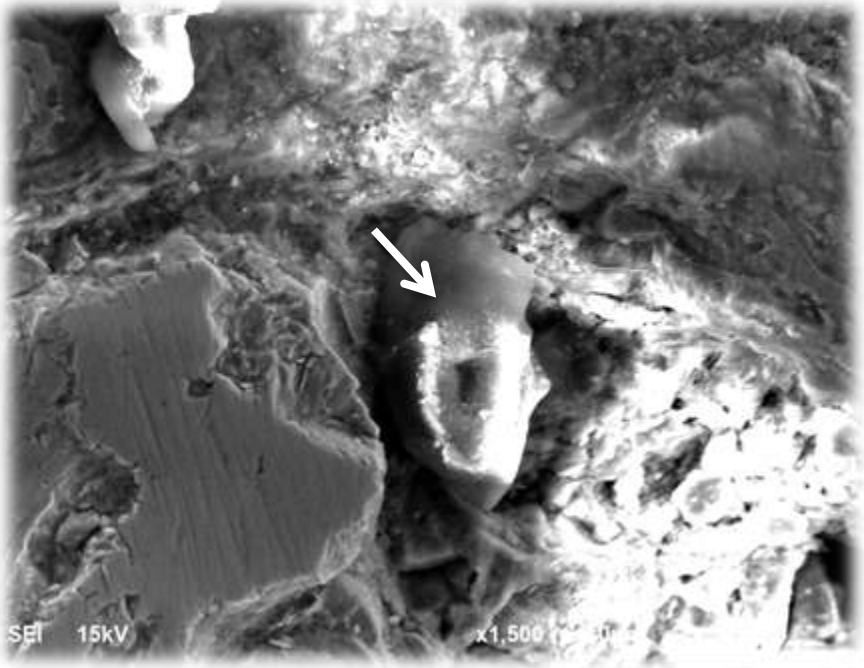
Fe-Ni
50000 лет назад
300 тыс. т
8000 NB (Хиросима)

Направленный взрыв ВВ

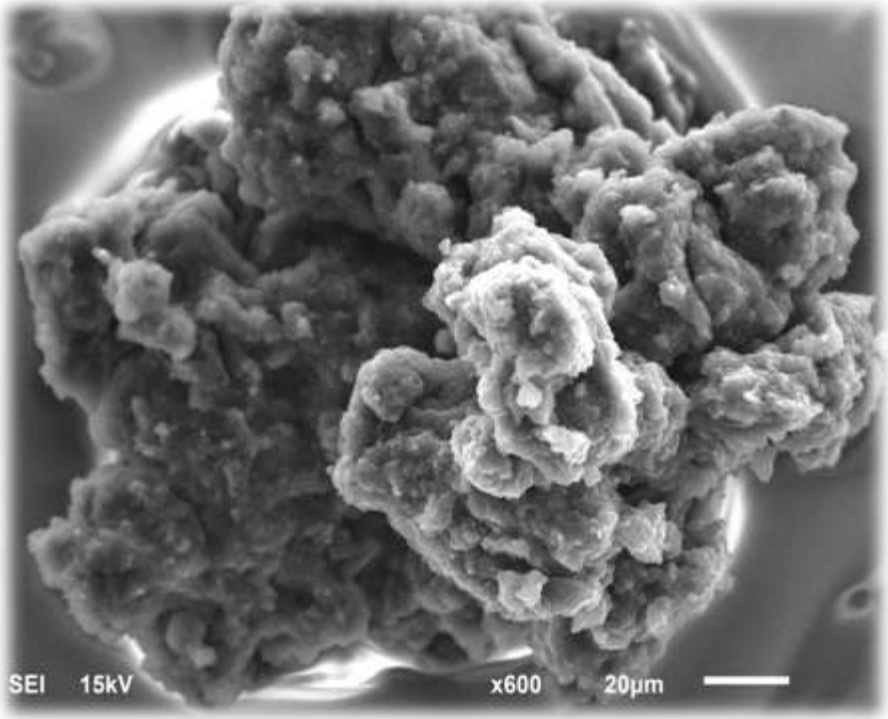
Кристаллический углерод (РЭМ)

- Алмаз

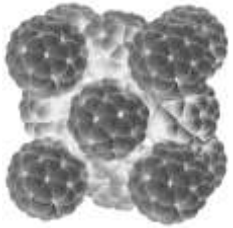
- Лонсдейлит
  (гексагональный алмаз)



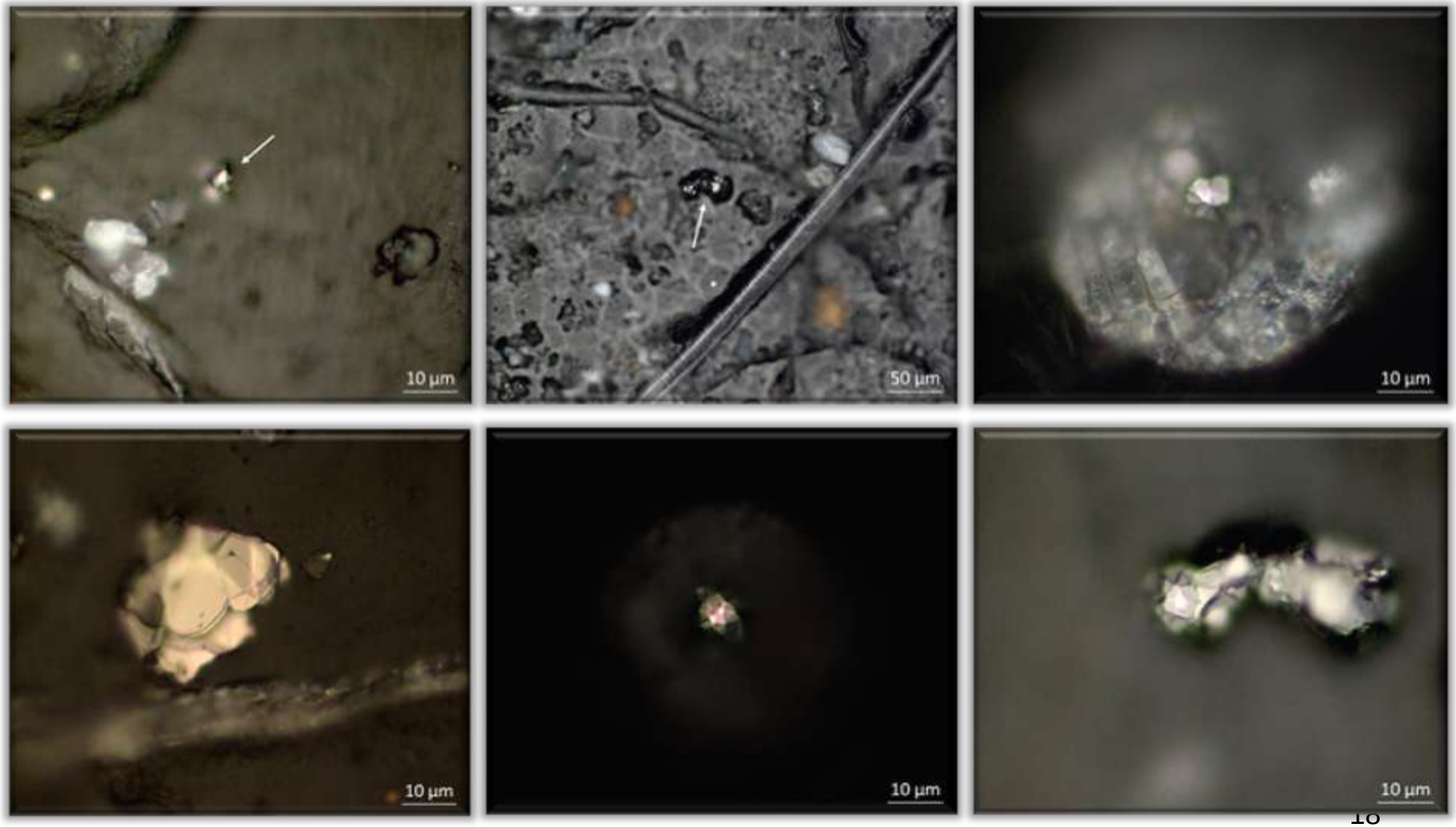
- Детонационный алмаз



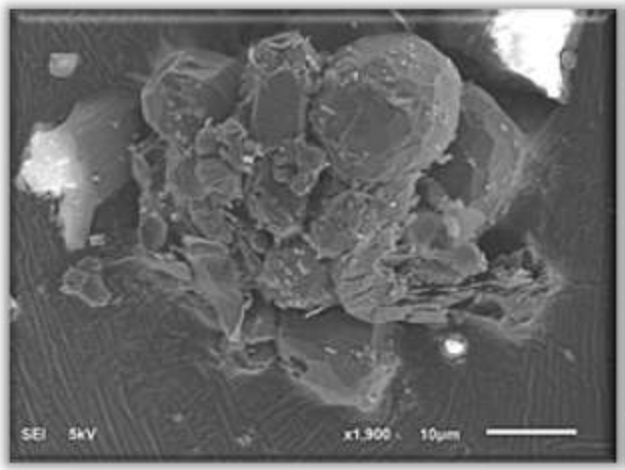
- Фуллерит
  (молекулярный кристалл)

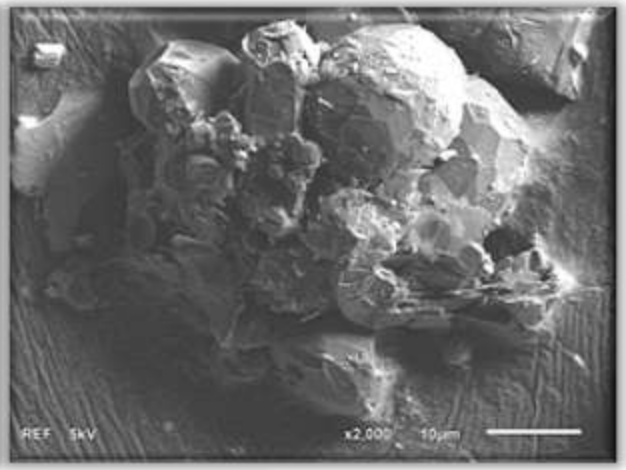


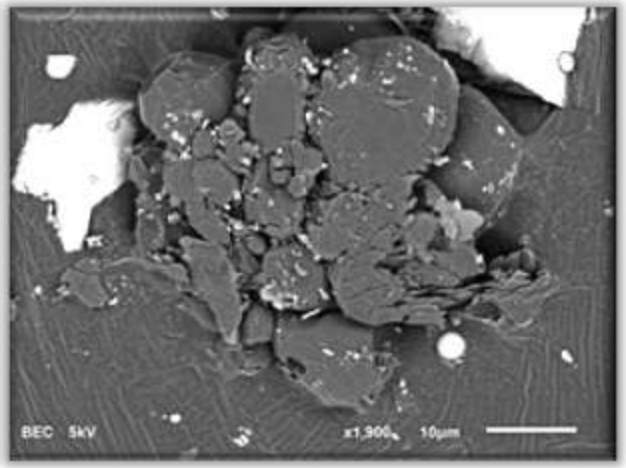
Фрагменты углеродных структур в пыли Челябинского метеорита

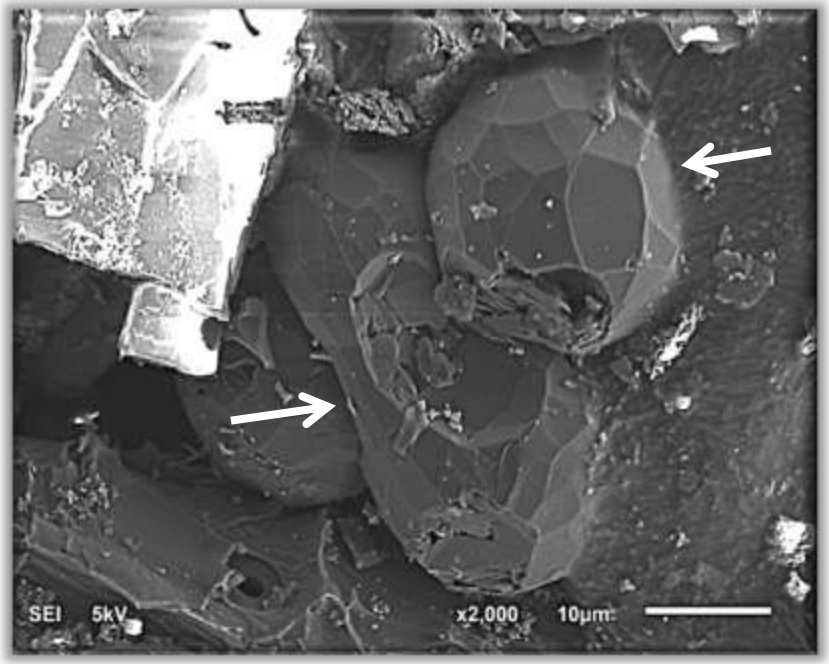


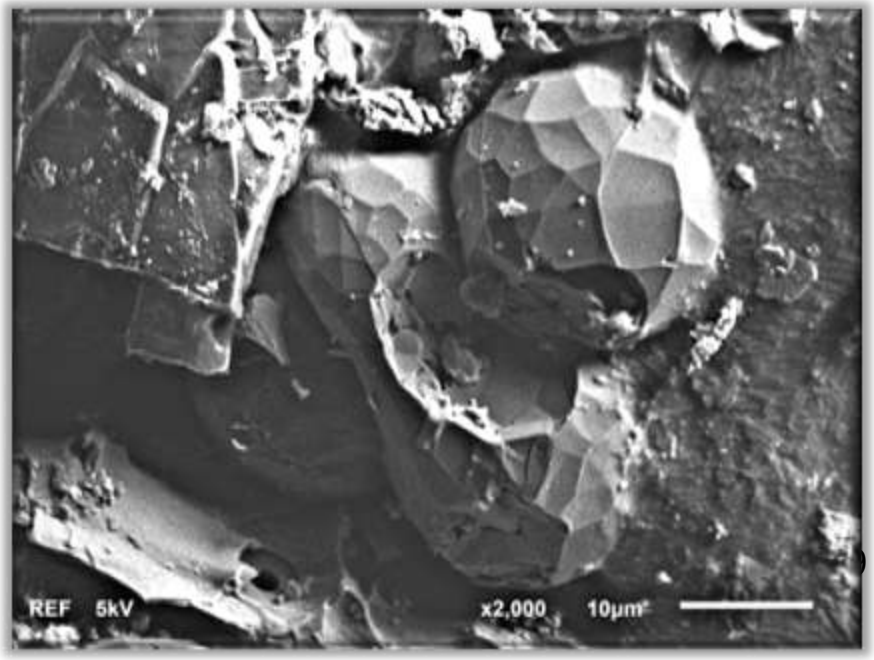
Углеродные частицы



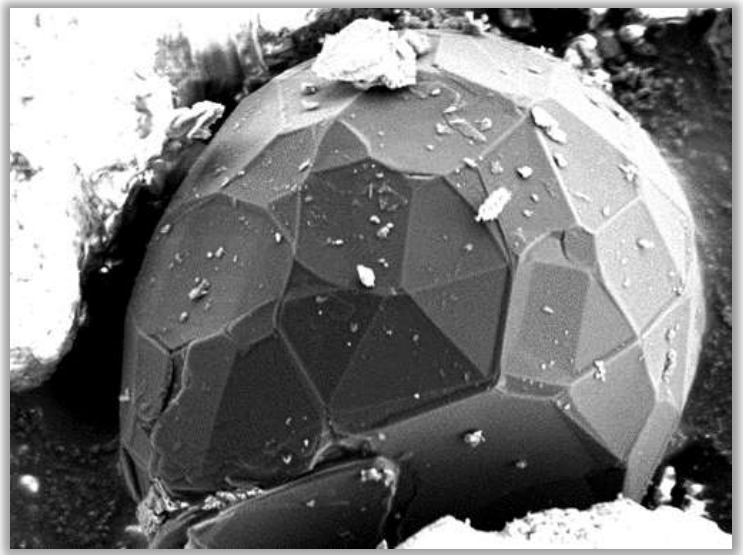


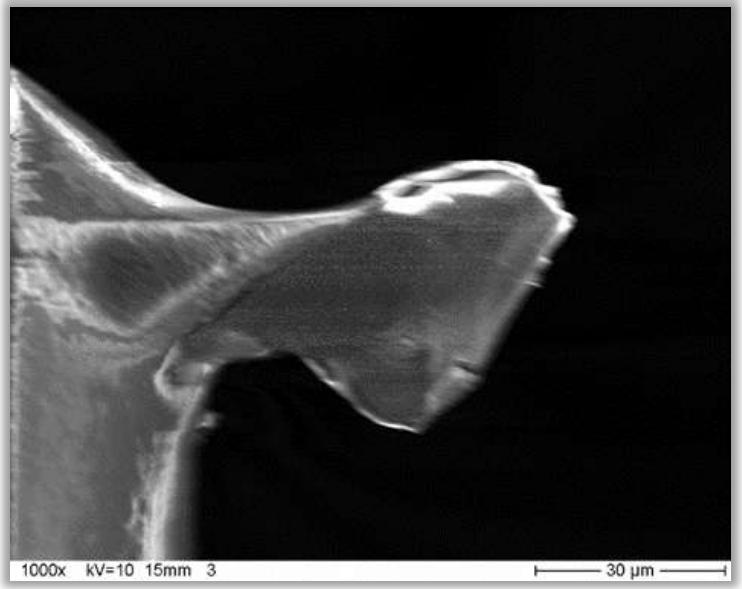


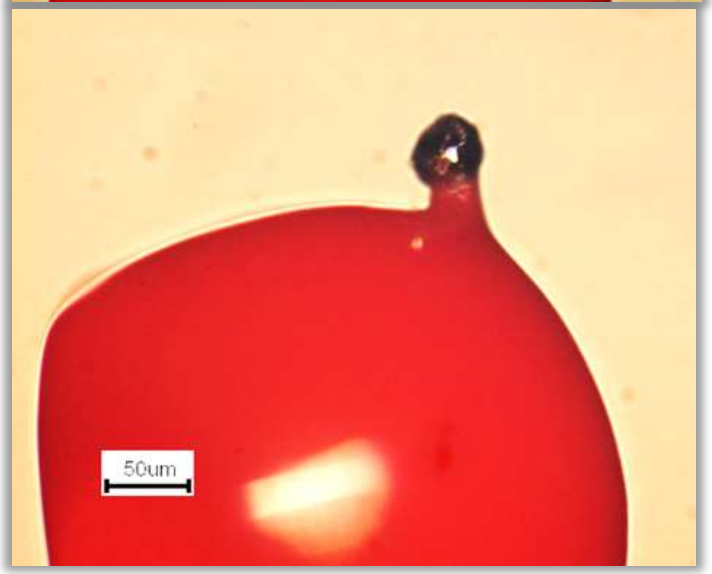




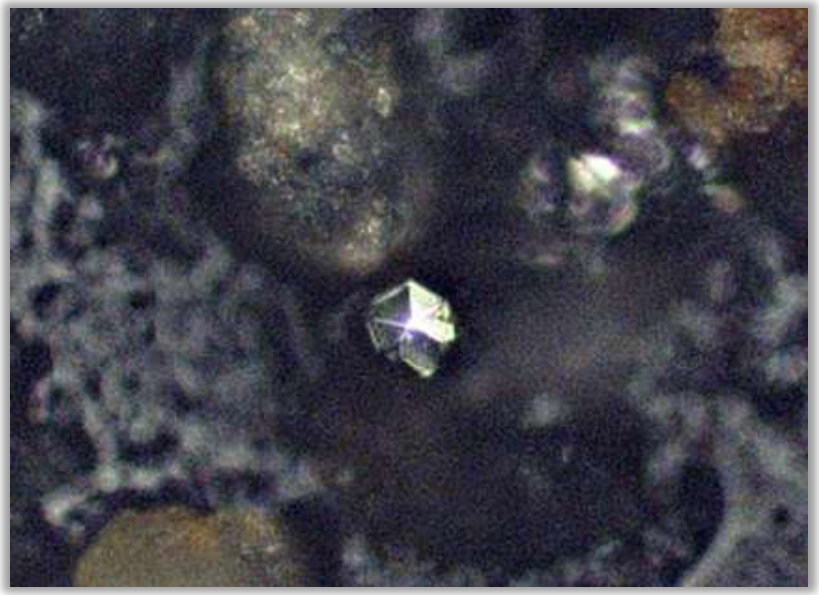
Микродифракция углеродной частицы №1

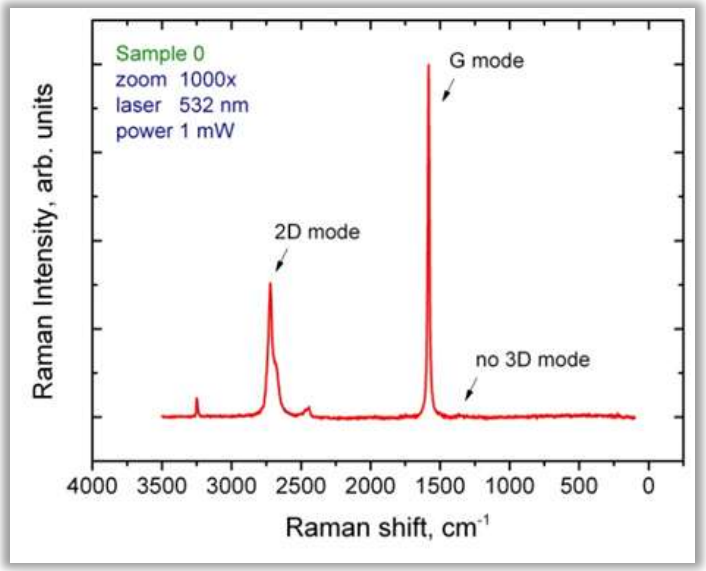


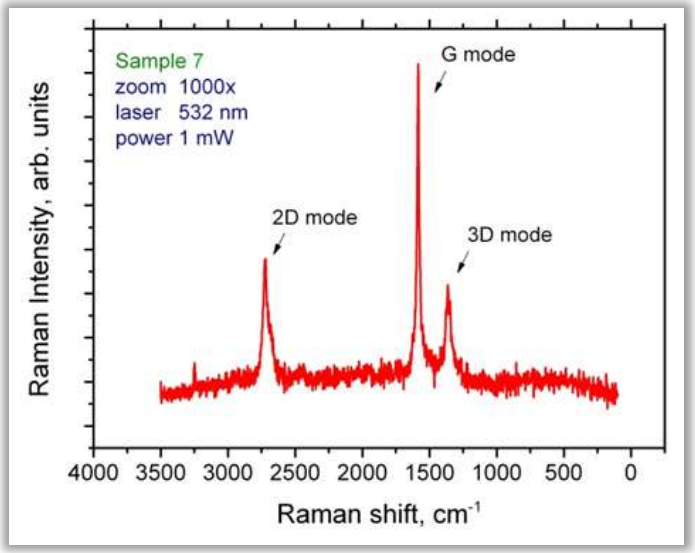




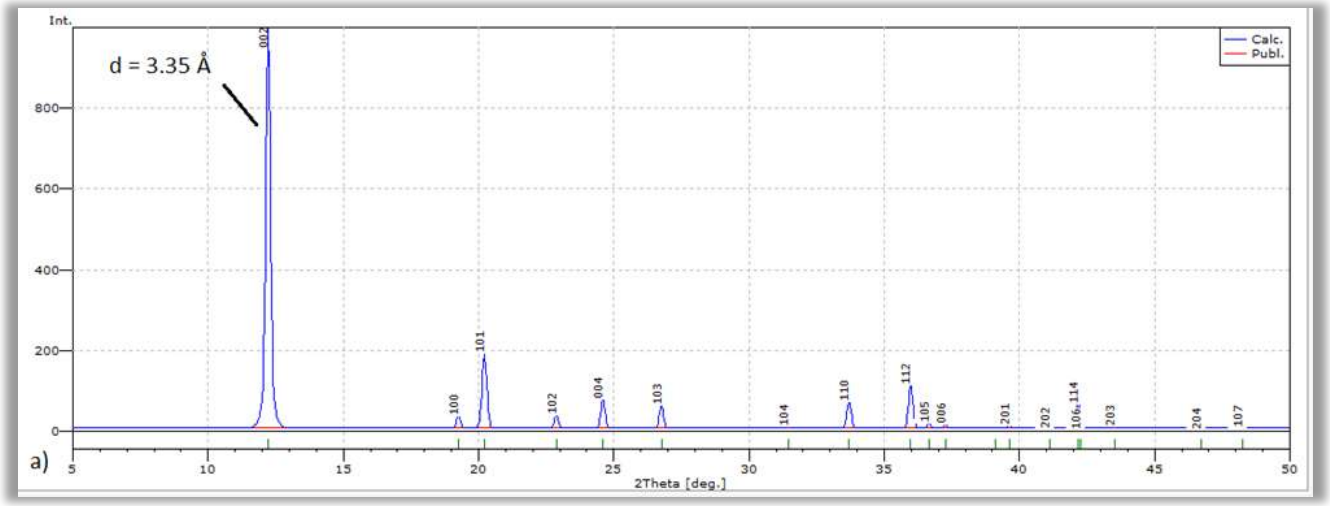
Раман-спектроскопия частиц

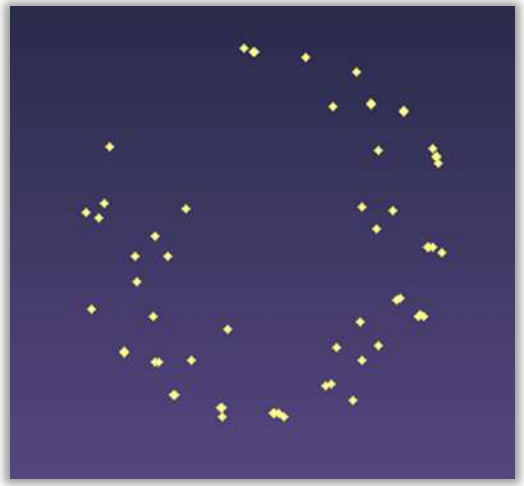


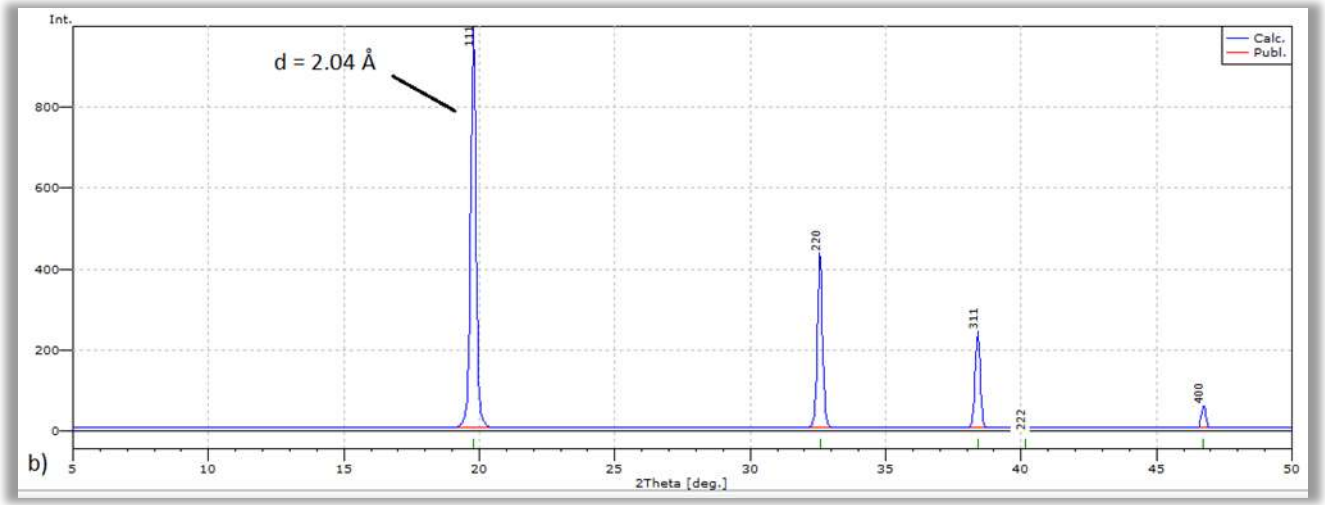




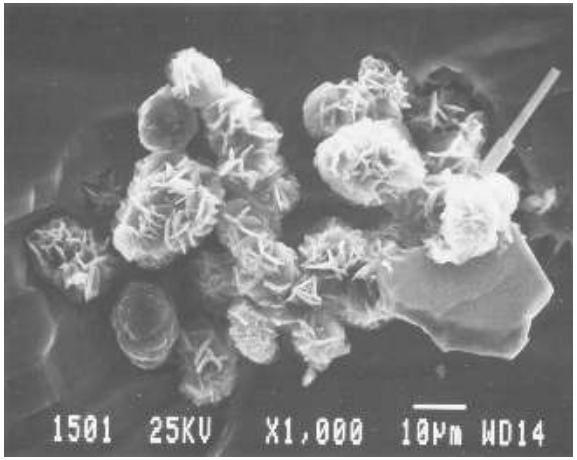
Микродифракция углеродной частицы №1

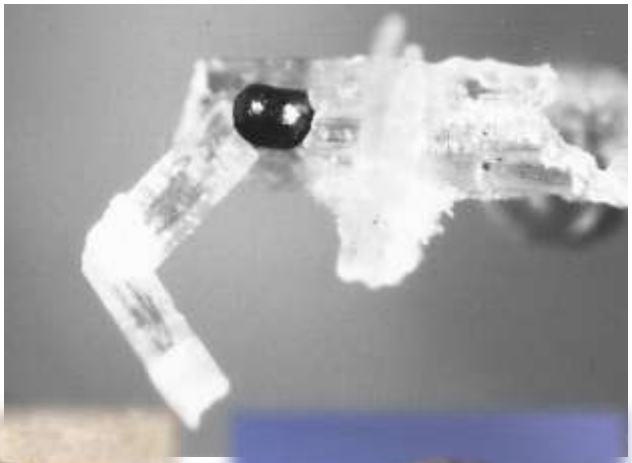






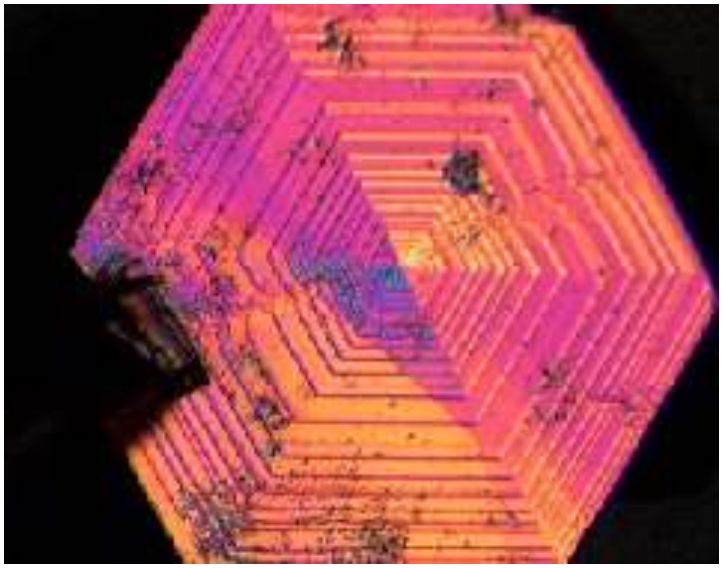
Природный сферический графит(~1 мм..см)

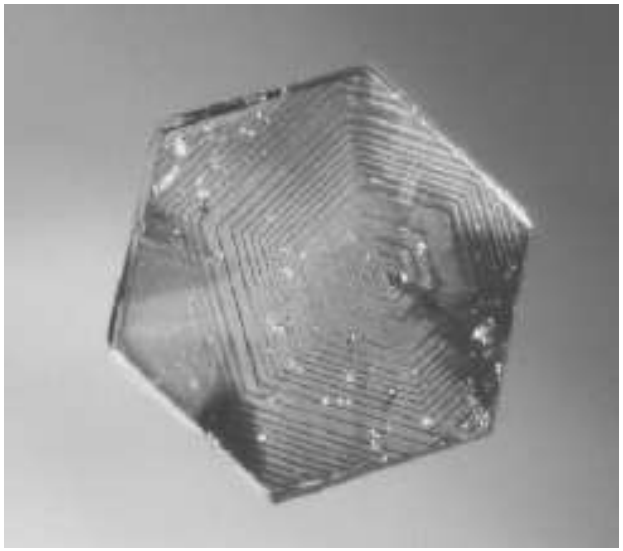


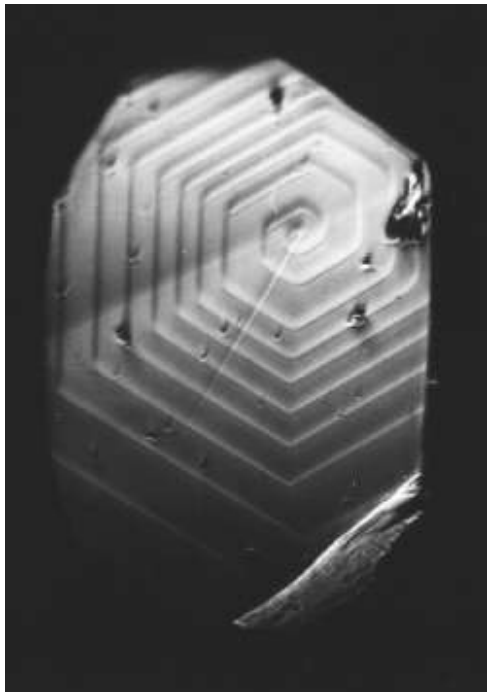


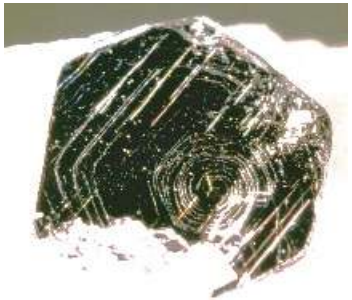
http://pages.mtu.edu/~jaszczak/sphergraph.html

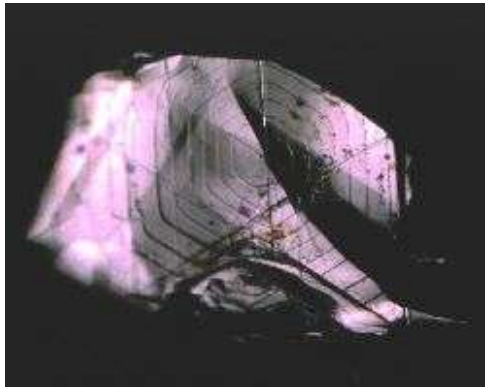
Природные графитовые спирали (~1 мм)





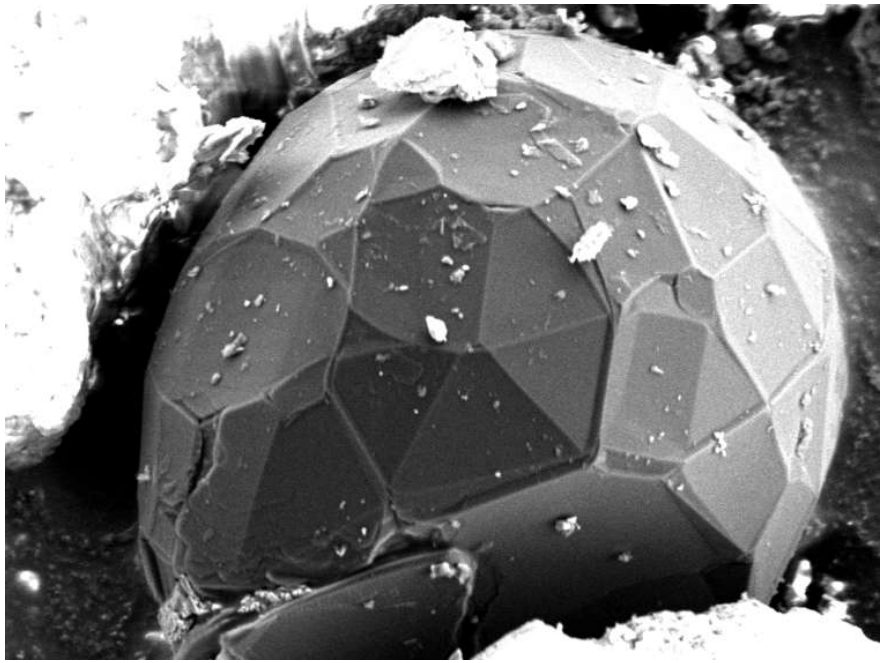


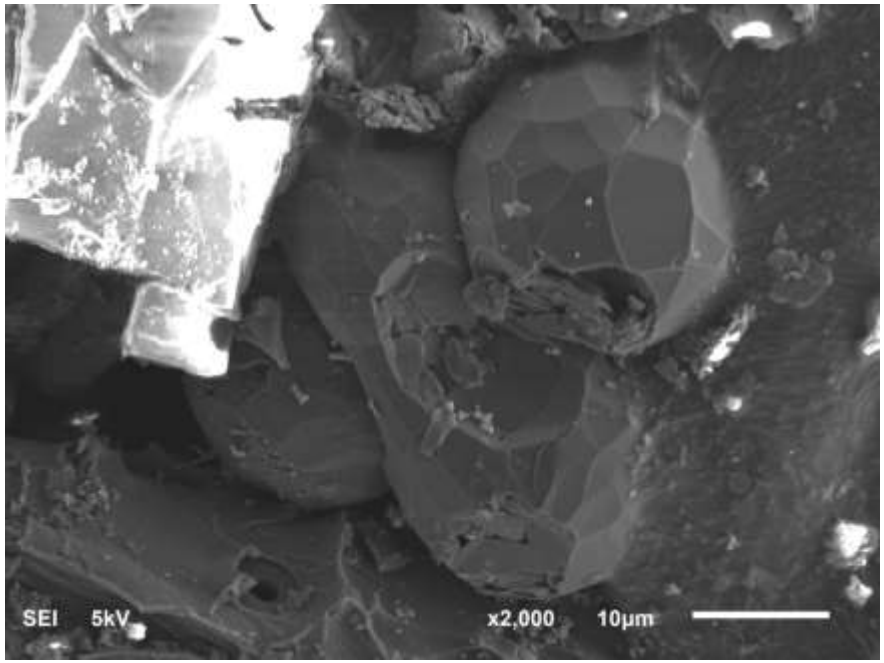


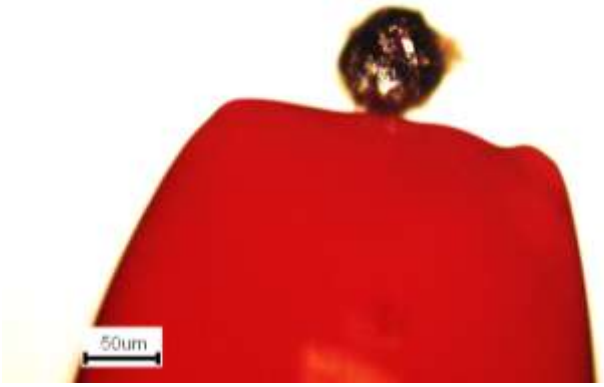


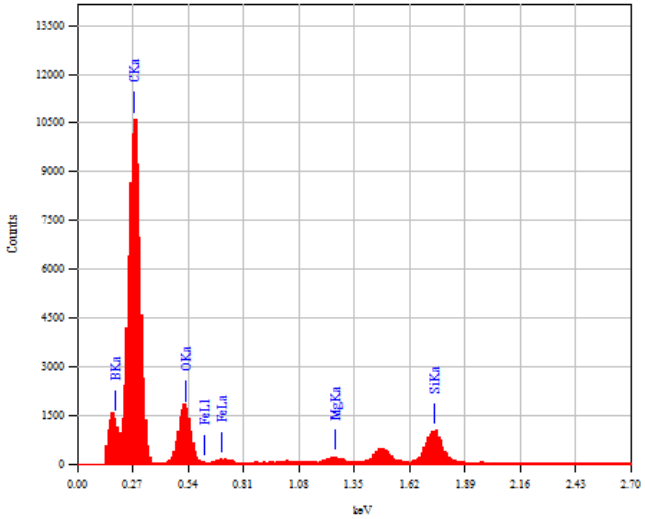
http://pages.mtu.edu/~jaszczak/sphergraph.html

Возможный механизм образования

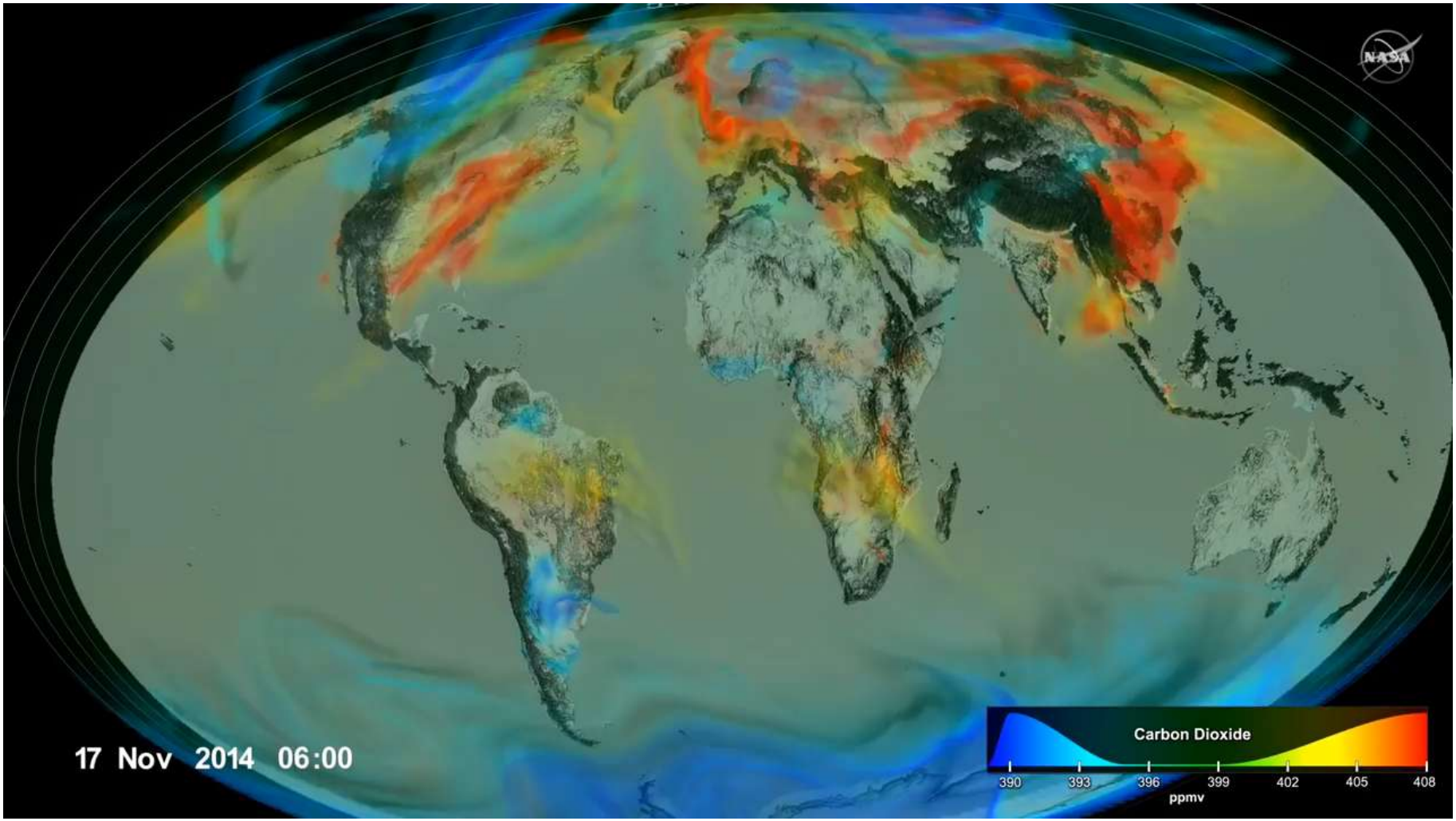




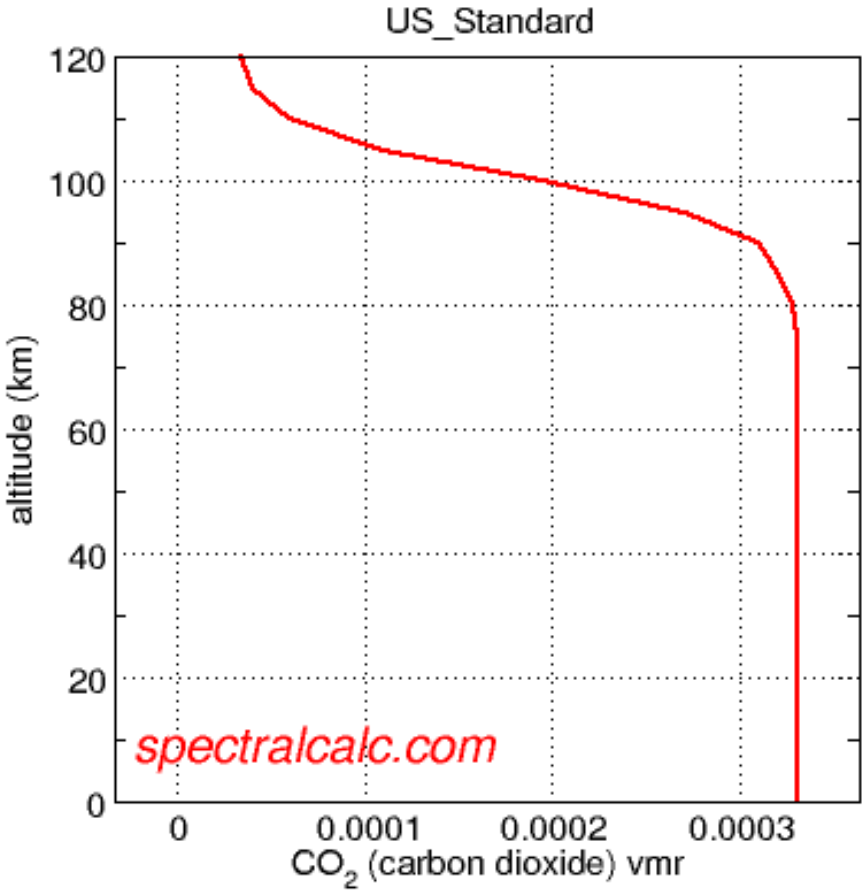




Распределение CO_2



Термическая диссоциация CO_2



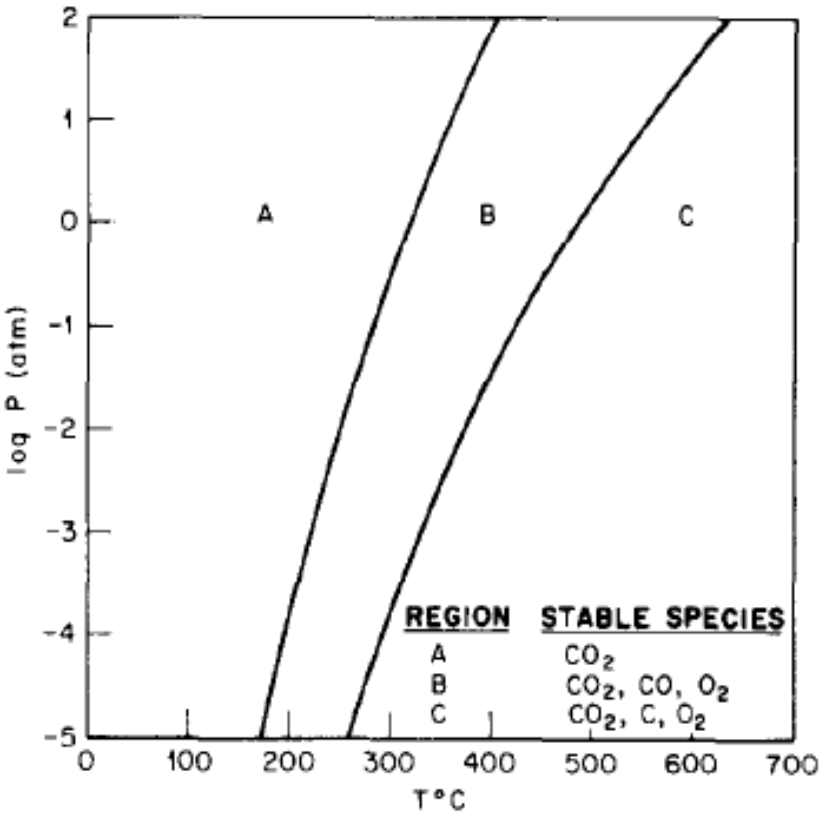
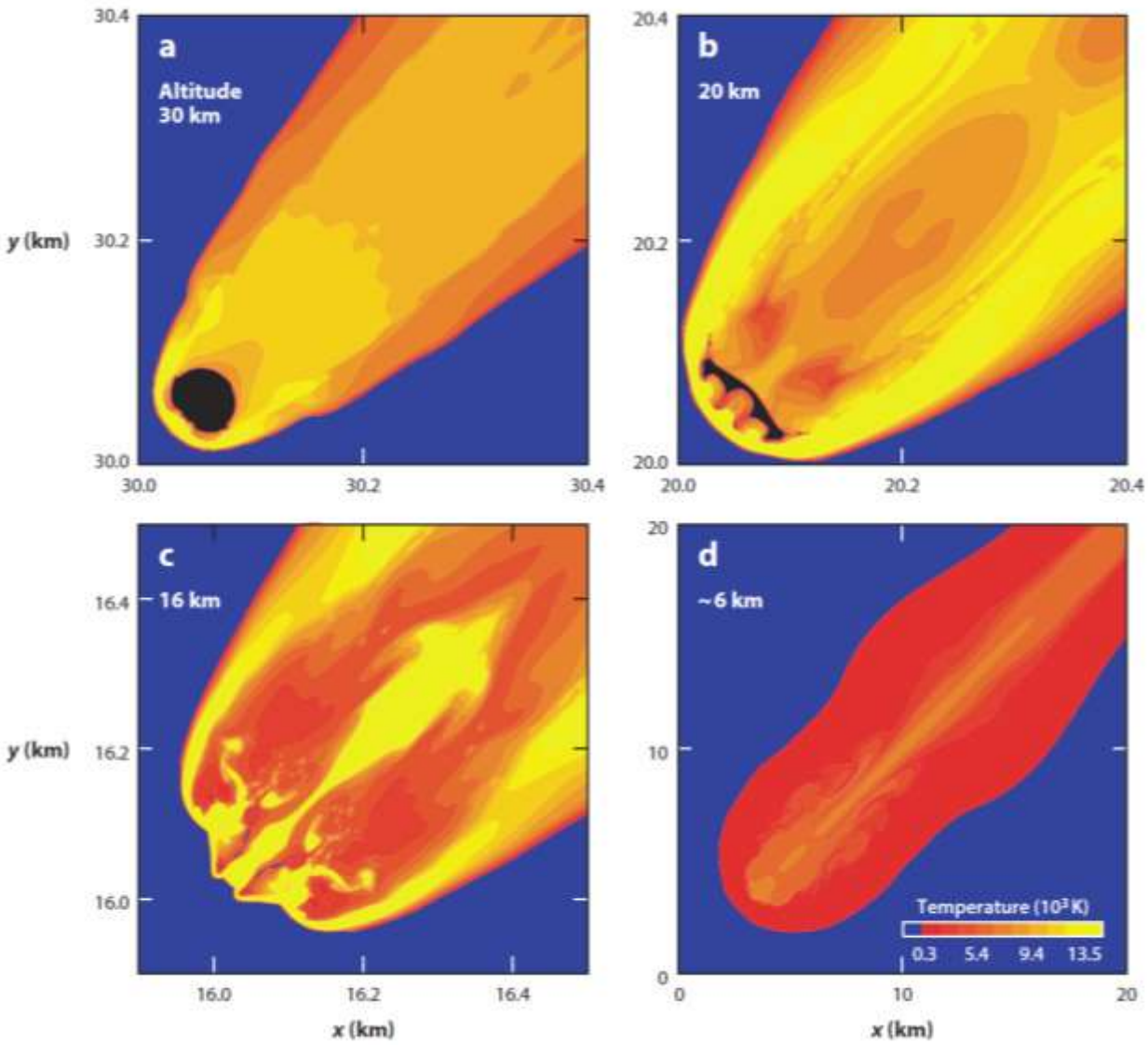


Fig. 1. Calculated phase boundary curves for the dissociation of CO_2.

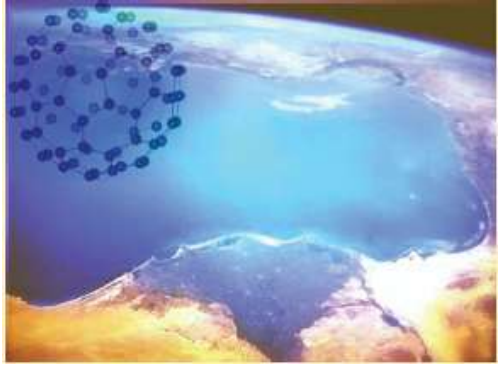
Концентрация CO_2 в воздухе ~ 380-400 ppm (почти константа до 80 км)

Распределение температуры

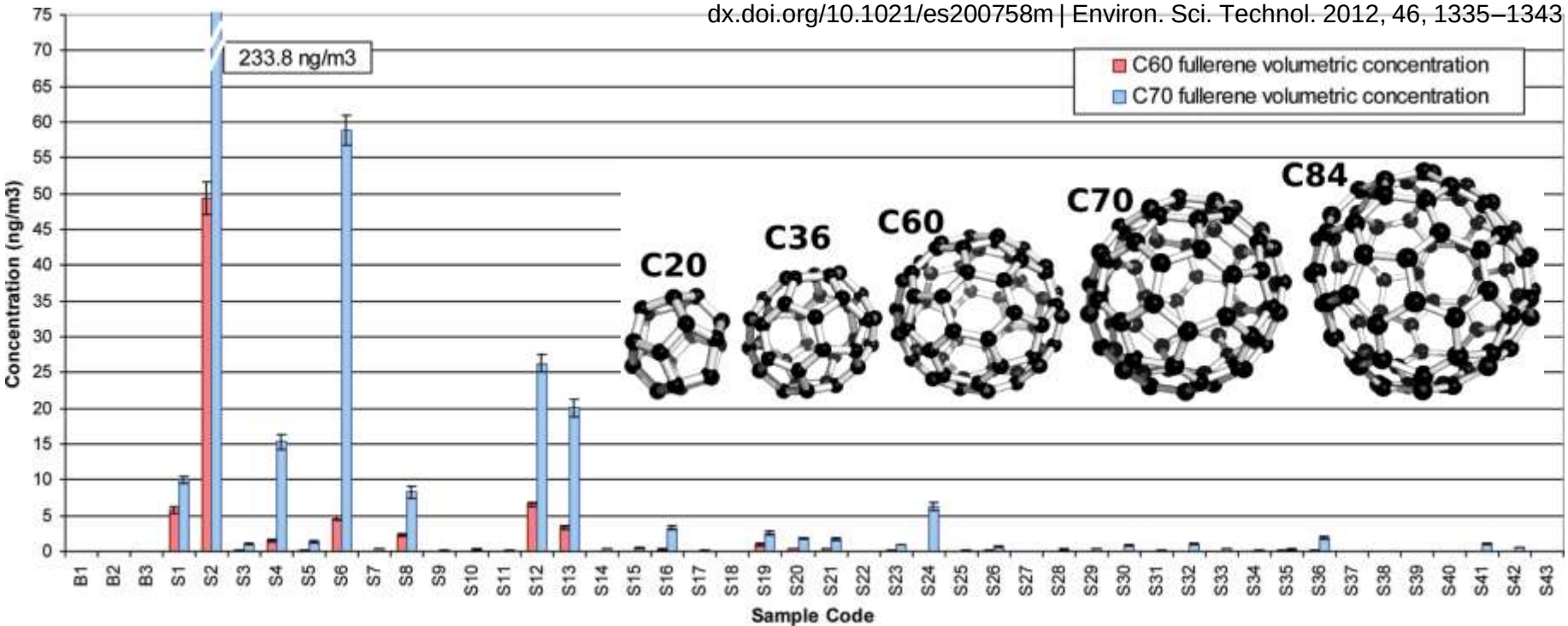


Artemieva et. al, Ann. Rev. Earth Planet. Sci. 44 (2016) 37-56

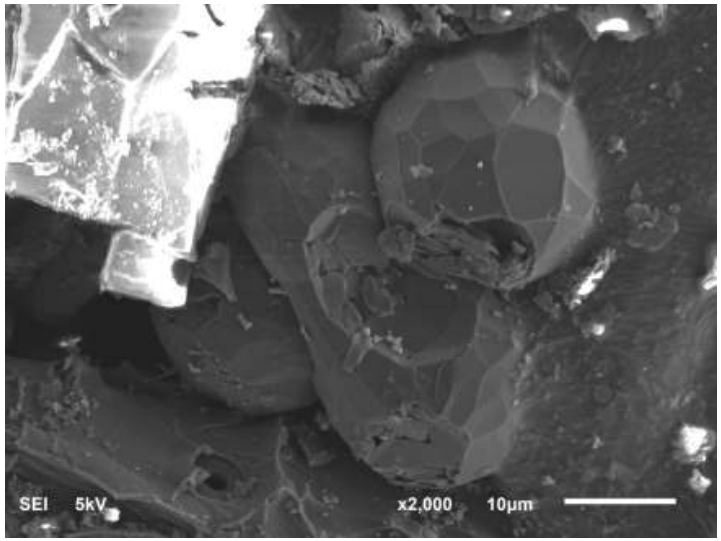
Возможные центры кристаллизации

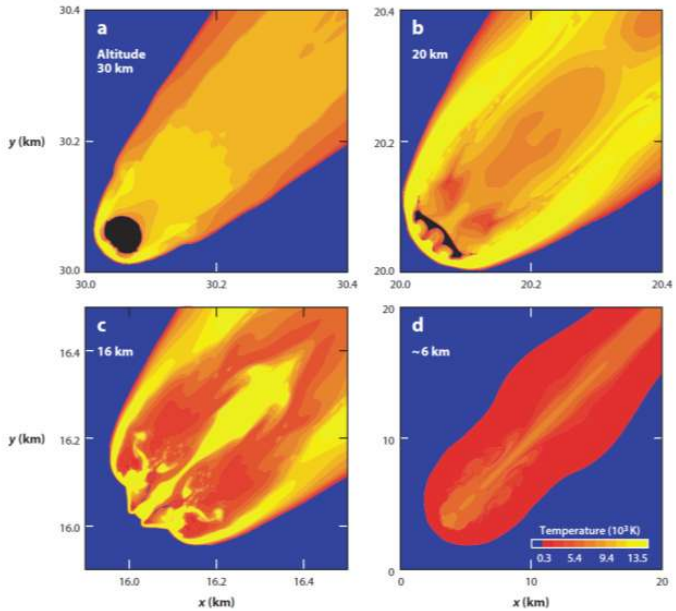


The analysis of the samples was carried out using a new method based on liquid chromatography coupled to mass spectrometry (LCMS) presenting sensitivities between 5.4 and 20.9 pg/m^3.
A total number of 43 samples covering the different basins of Mediterranean Sea were analyzed. Fullerenes were detected in all analyzed samples and quantifiable concentrations were found in 28 of the analyzed samples. The median of **C_{60}** and **C_{70}** fullerenes aerosol phase concentrations were **0.06 ng/m^3** and **0.48 ng/m^3** respectively for the Mediterranean Sea atmosphere. **C_{70} fullerene was the most frequently detected** compound and also it was found in the higher concentrations for most samples, reaching 233.8 ng/m^3.



Наблюдаемая концентрация частиц





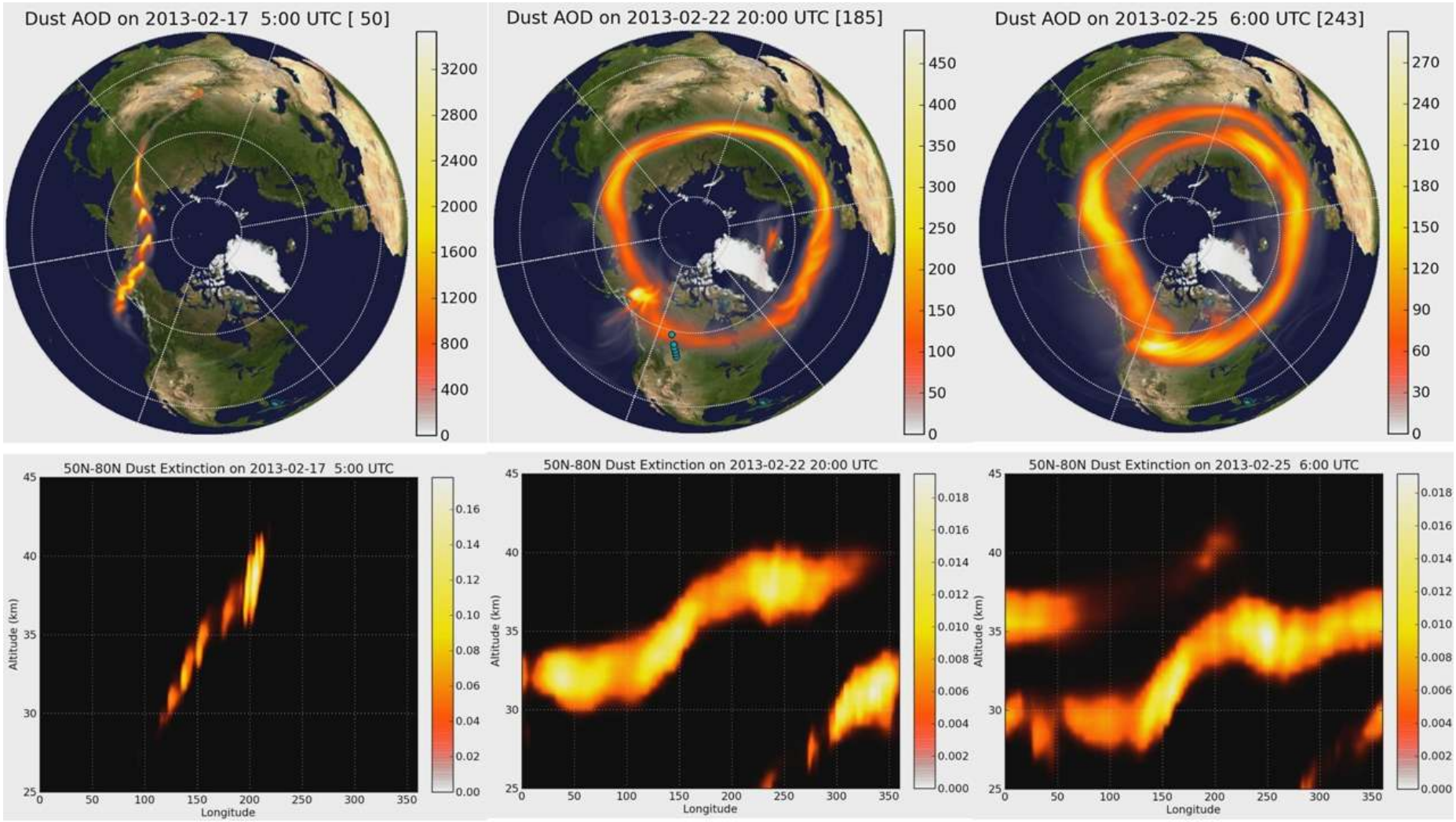
$M_{CO_2} = \iiint \rho_{CO_2}(x,y,z)dxdydz$ - масса CO_2 внутри области диссоциации с температурами выше 3000С. В присутствии катализаторов температура диссоциации понижается до 500С.

$V \approx 3.3 \cdot 10^8$ м^3
$M_{CO_2} \approx 9000$ кг
$M_{N_2} \approx 1.5 \cdot 10^8$ кг
$M_C \approx 2000$ кг
$M_{частицы} \approx 10^{-10}$ кг

Могло образоваться порядка $2 \cdot 10^{13}$ частиц
Центров кристаллизации ~ $10^{6..10}$ м^3

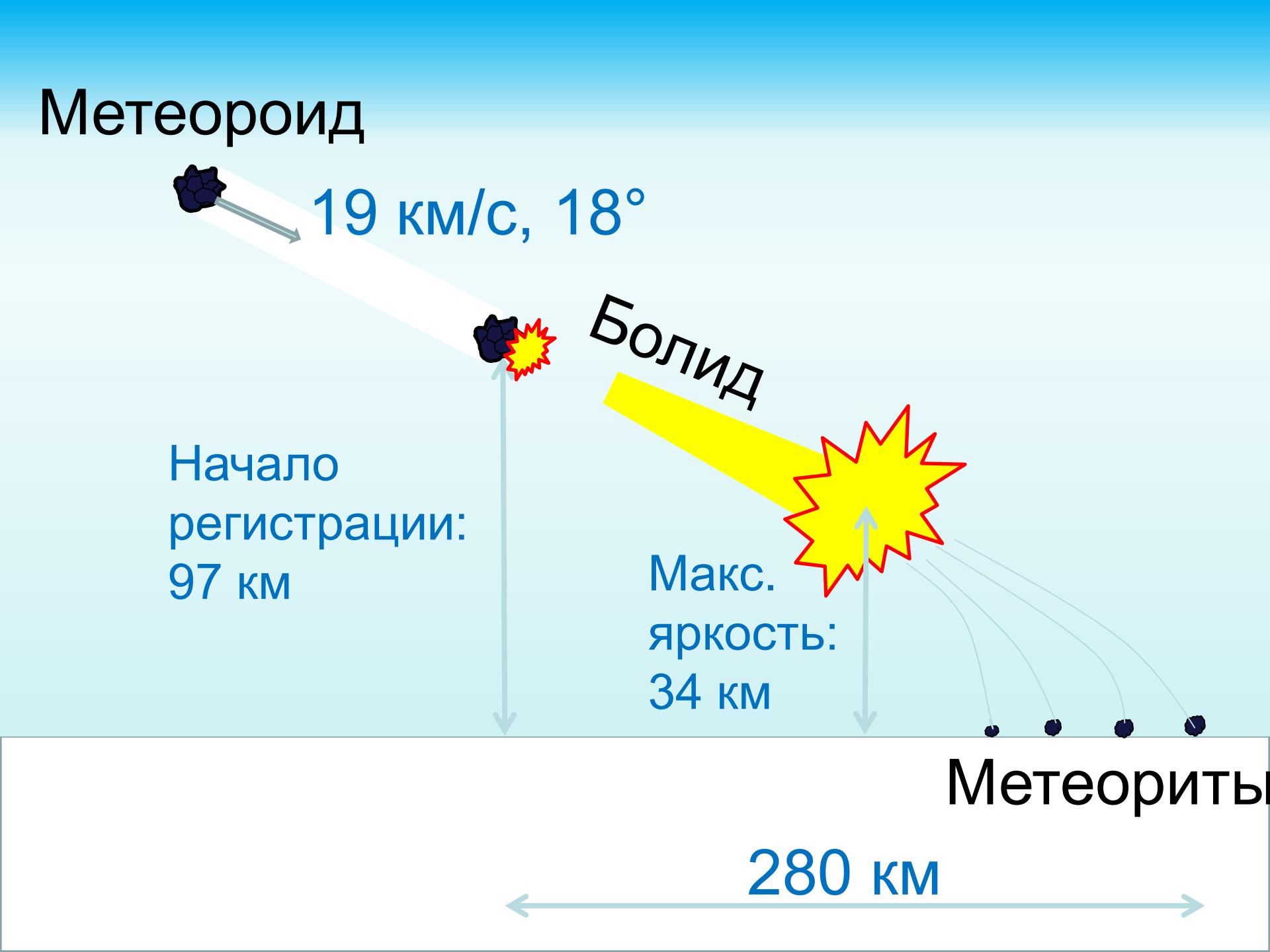
Наблюдаемая концентрация частиц ~10 ед./м^2

Компьютерный расчет ветрового распространения болидного облака пыли от 15 февраля до 2 марта 2013 (из статьи в JRL, 2013)

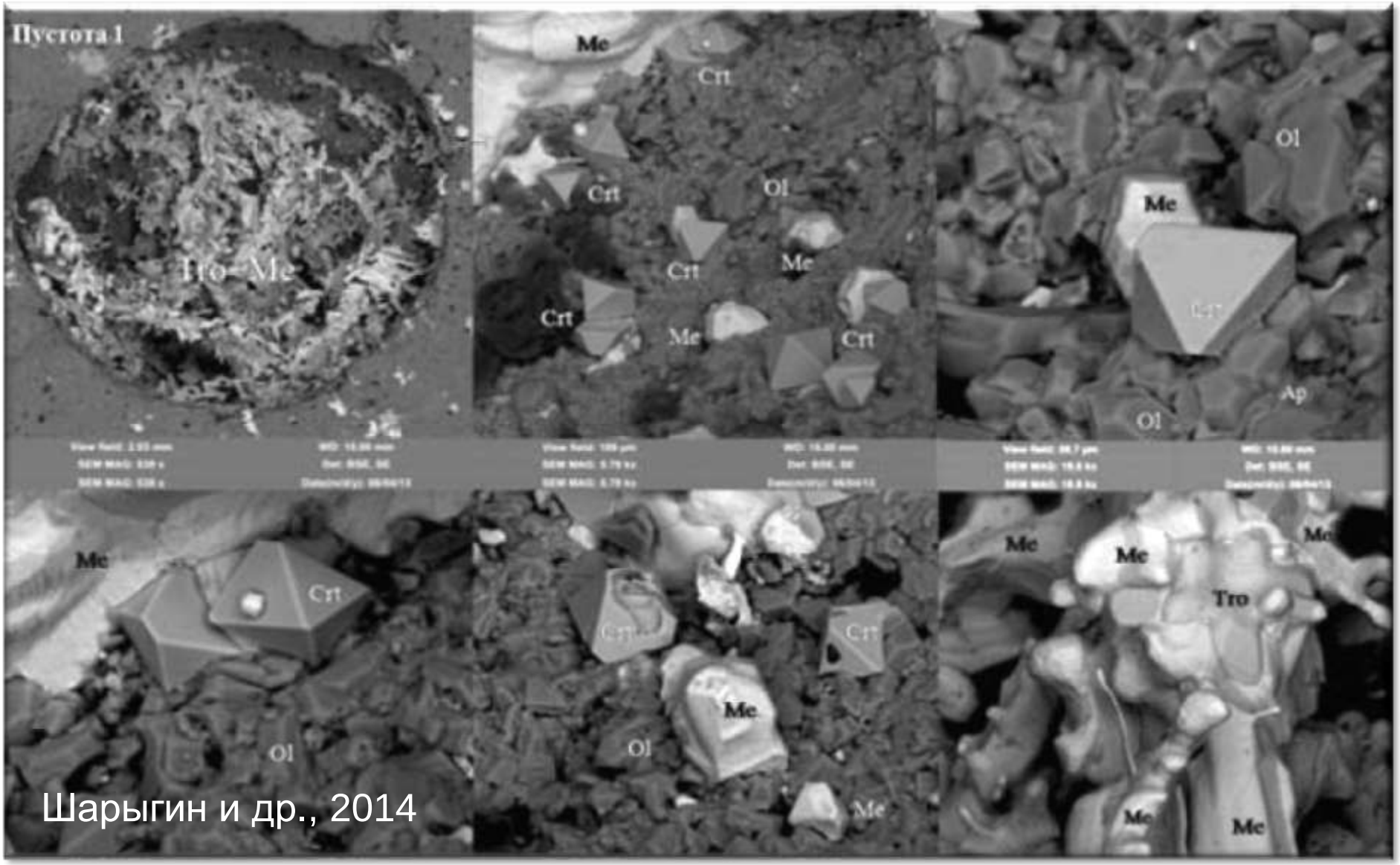


Вид на облако сбоку. Высокие и быстро двигающиеся части облака догоняют низкие и медленно летящие части облака - и образуют 2-х уровневое кольцо

Спасибо за внимание


Метеороид
19 км/с, 18°
Болид
Начало регистрации: 97 км
Макс. яркость: 34 км
Метеориты
280 км

Фрагменты с кристаллами в полостях



Шарыгин и др., 2014