



«Челябинский суперболид»

д.ф.-м.н. Таскаев Сергей Валерьевич

ФГБОУ ВПО «Челябинский государственный университет»

**А.Е. Дудоров, Д. Д. Бадюков, Н. Н. Горькавый, О. В. Еретнова,
С. Н. Замоздра, А. Е. Майер, В.В.Ховайло, В. А. Тюменцев,
С. А. Хайбрахманов**

**27 ноября
НИТУ МИСиС**

«Рождественские чтения»



РОССИЯ 24

ПРЯМОЙ ЭФИР

12:55, VESTI.RU - Бобслей. КМ. 9 этап. М. Двойки. 1 попытка

12:12 USD/CNY

6,2327

Катастрофические падения

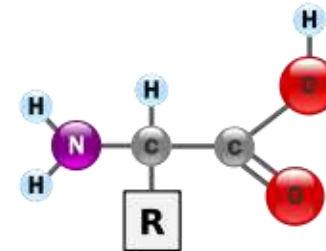
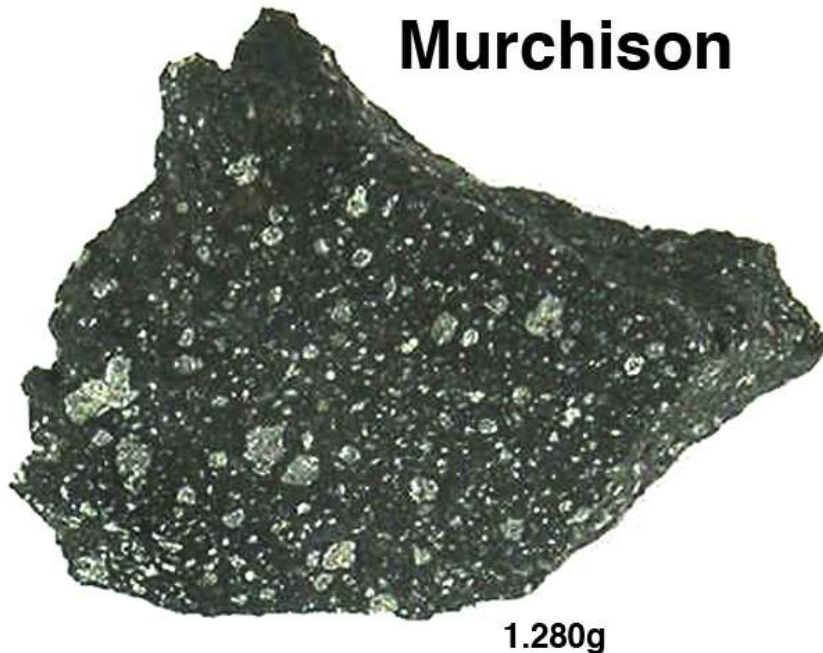
- ~65 мл. лет назад. Кратер Чуксулуб:
d~180 км, h~17-20 км цунами~50-100 м 100 тератонн
(2 млн раз больше чем Кузькина Мать)
- ~12800 лет назад Квебек (Канада)
– ледниковый период (микрошарики)
- ~ 50 000 лет назад, Аризонский кратер
d~1.2 км, h~200 м, r~25 м (~300000 т)
- ~250 млн. лет назад. Земля Уилкса:
d~500 км

Ежесуточно выпадает
от 100 до 1000 т метеоритов.

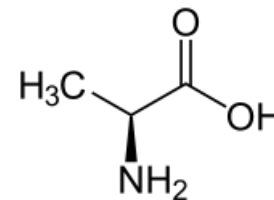


Новые материалы в метеоритах

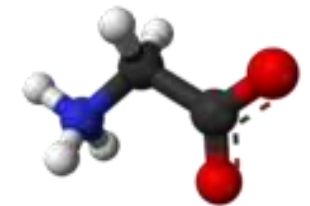
- Новые фазы углерода (Navero). Сверхтвердые алмазы (алмаз – метастабильное состояние углерода).
- FeNi – tetrataenite. L10 химически упорядоченный FeNi.
- Цианобактерии и низшие грибы (?), аминокислоты (Murchison).



АМИНОКИСЛОТЫ



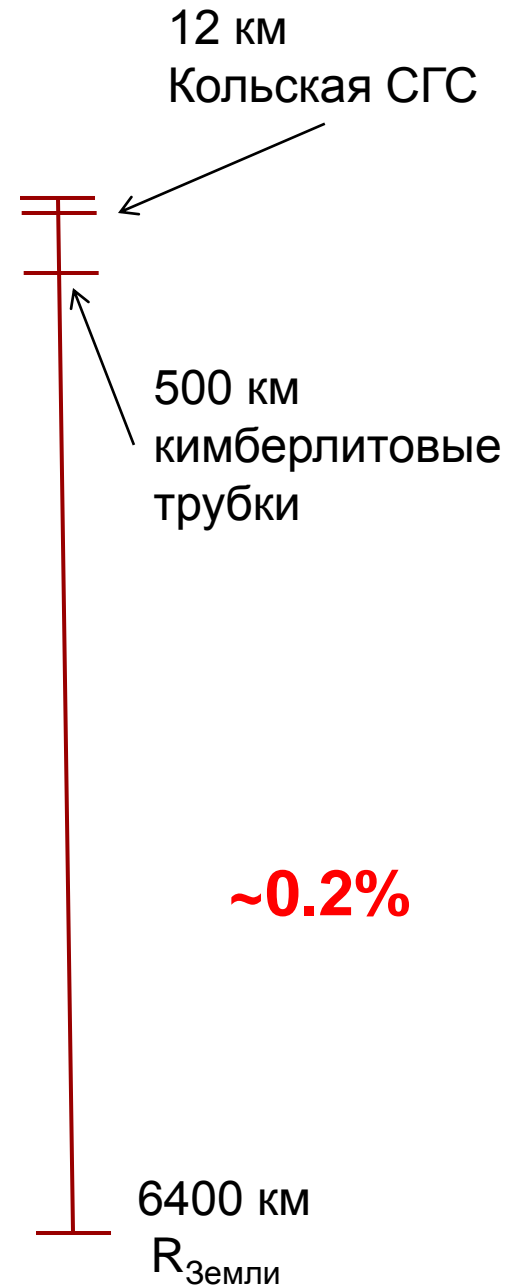
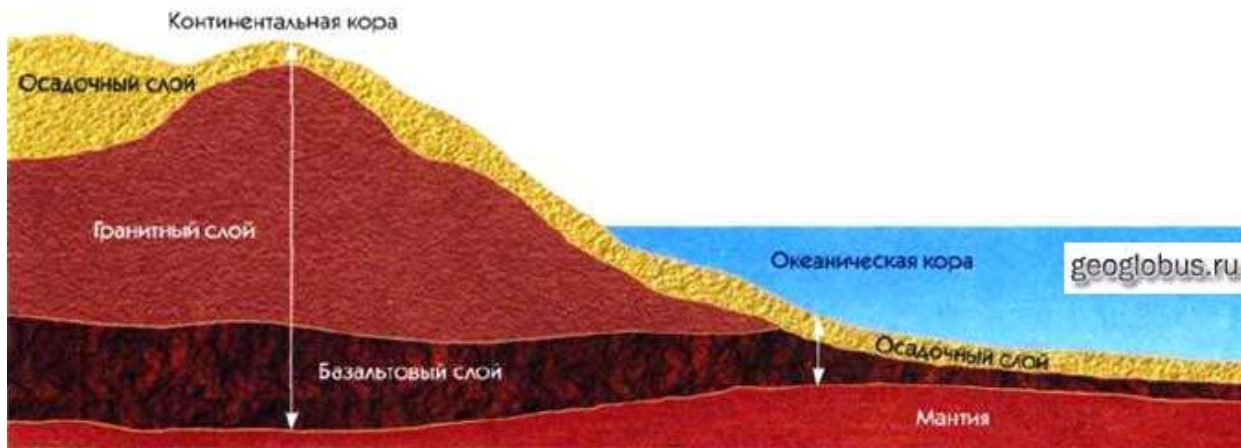
аланин



глицин

Условия синтеза

- $P \sim 200000 \text{ atm}$
- $T \sim 2000-3000 \text{ C}$
- $H \sim ?$
- Облучение
- Долгие изотермические периоды



Что мы знаем о Челябинске?

55°09'44" с. ш. 61°24'11" в. д.



Живут САМЫЕ суровые мужики

Что мы знаем о Челябинской области?



Карабаш – САМЫЙ грязный город планеты (Юнеско)

Что мы знаем о Челябинской области?



Карачай – САМОЕ опасное озеро планеты (~120 млн. кюри)

Что мы знаем о Челябинской области?



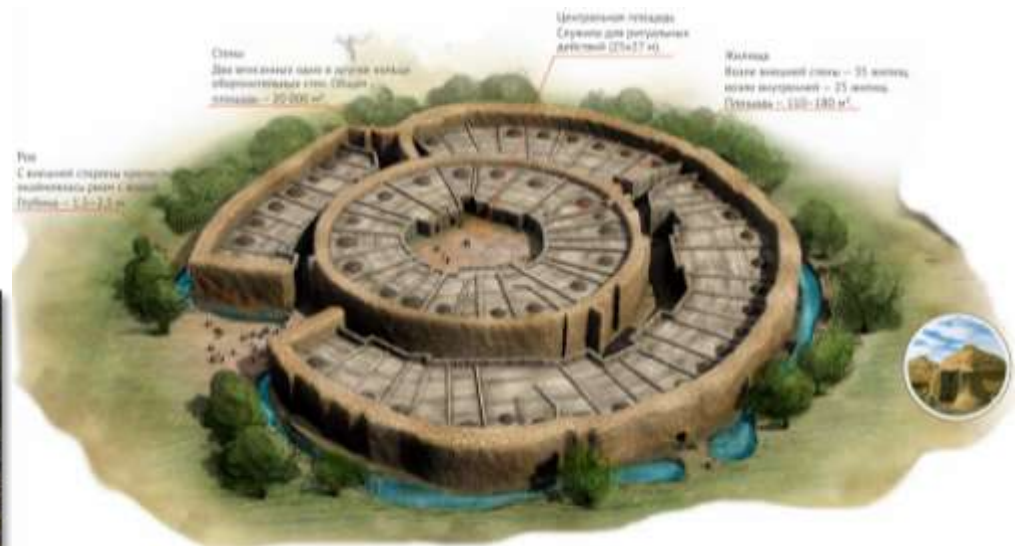
**Уникальная (читай САМАЯ богатая) в мировом масштабе
кладовая минералов**

Что мы знаем о Челябинской области?



Рекордное количество озер >3600, чистота некоторых сопоставима с Байкалом

САМЫЕ древние артефакты 60 века до н.э.



САМЫЙ большой метеорит после Тунгусского



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



2013/02/15 09:26:23









Вид с г.Каменск-Уральский

- Вход в атмосферу $h \sim 97$ км над Костанайской областью, РК
- Расстояние по земле от этой зоны до места падения фрагмента в озеро Чебаркуль **280 км**
- Начало первой вспышки: $h \sim 45$ км



Метеороид

19 км/с, 18°

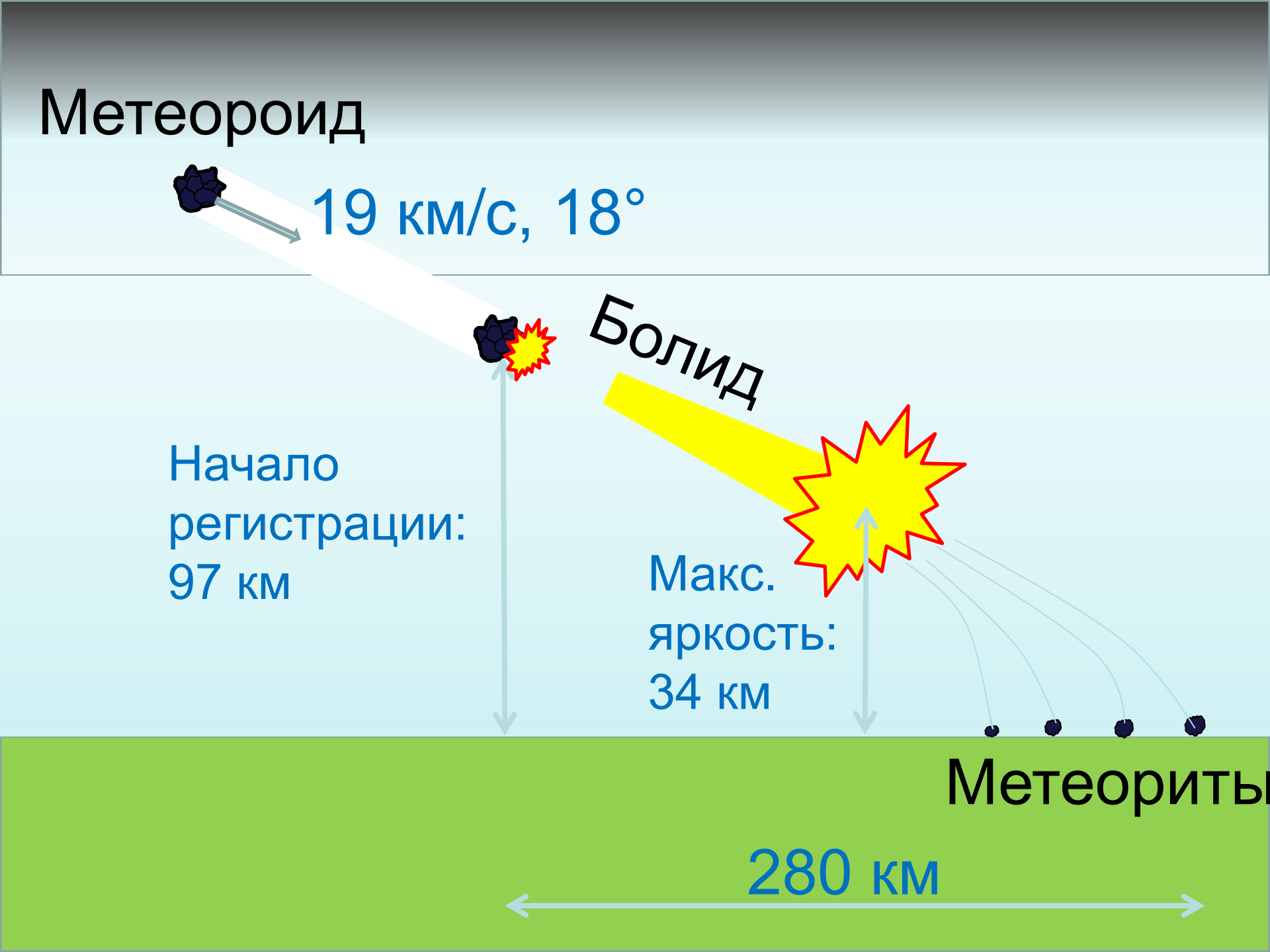
Начало
регистрации:
97 км

Болид

Макс.
яркость:
34 км

Метеориты

280 км

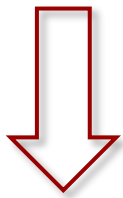


Раздвоение и
кручение
следа –
конвекция



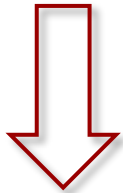
Характеристики метеороида

Рассчитали энергию,
скорость



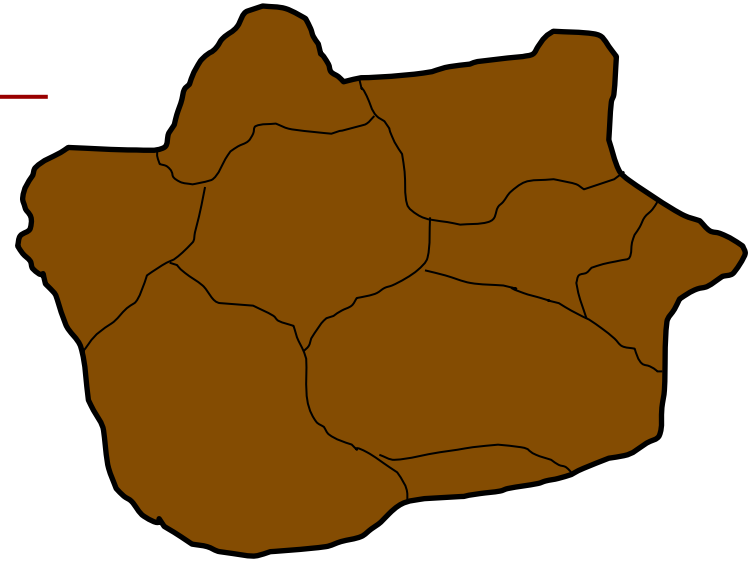
$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

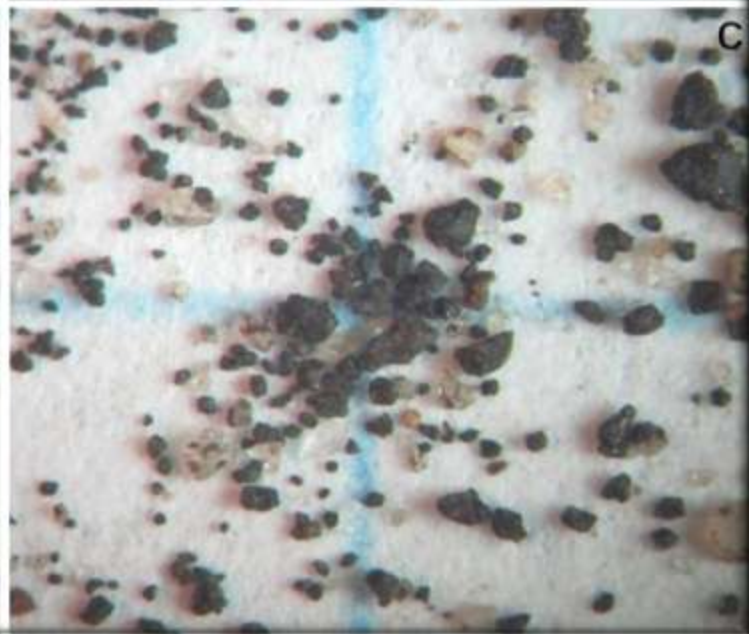
Нашли массу: ~ **12000 т**



$$\rho = 3.4 \text{ т/м}^3$$

Нашли размер: ~ **18 м**





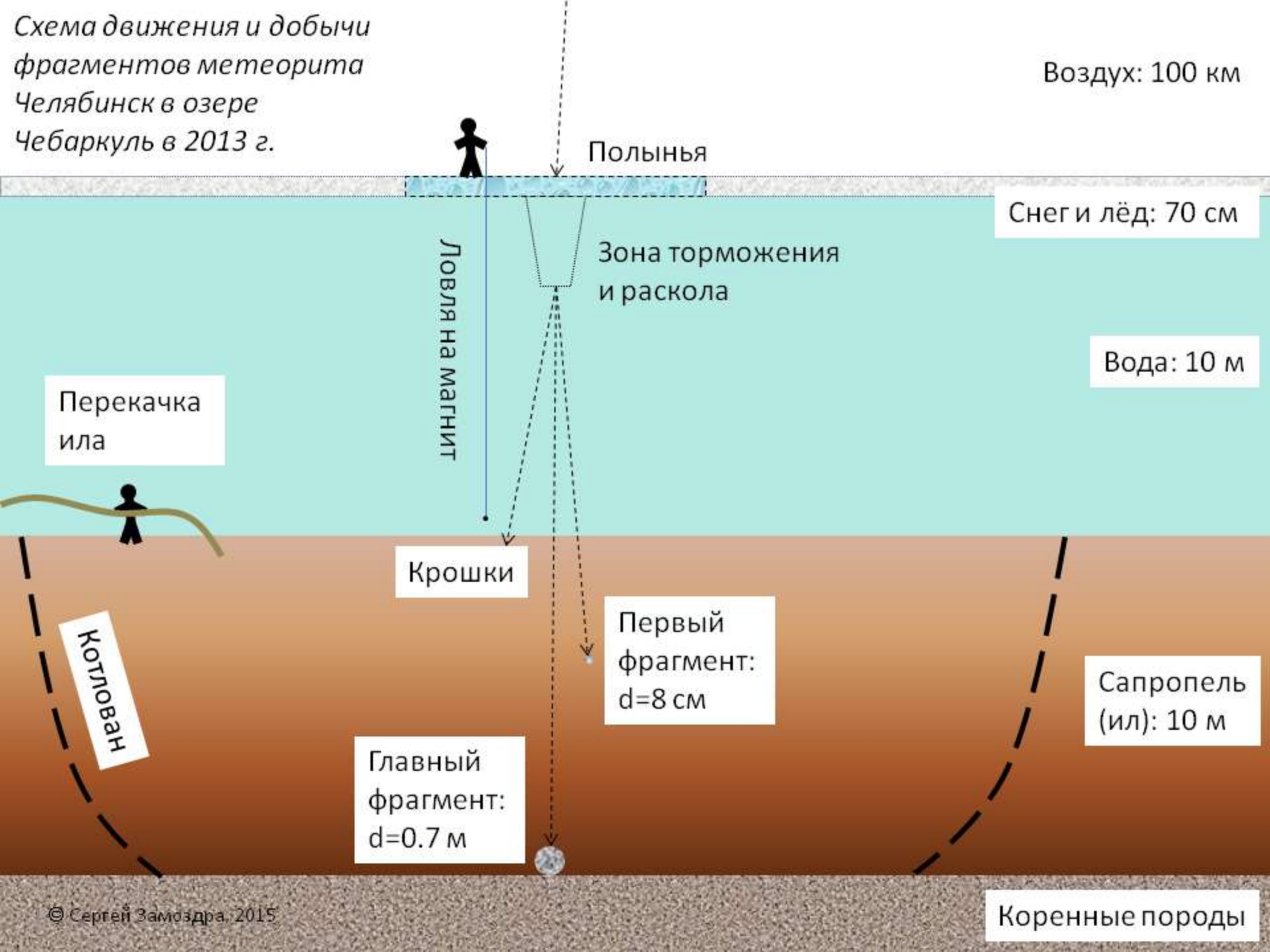
Карта падений метеоритов



- Эллипс рассеяния: $\sim 8 \times 80$ км
- Три популяции метеоритов
 - A. Восточнее Еманжелинки, мм размеры
 - B. Депутатский, см размеры
 - C. Западнее Депутатского, дм размеры



Схема движения и добычи
фрагментов метеорита
Челябинск в озере
Чебаркуль в 2013 г.



Воздух: 100 км

Снег и лёд: 70 см

Вода: 10 м

Перекачка
ила

Крошки

Первый
фрагмент:
d=8 см

Главный
фрагмент:
d=0.7 м

Сапропель
(ил): 10 м

Коренные породы

Особые фрагменты

Главный: ≈ 503 кг

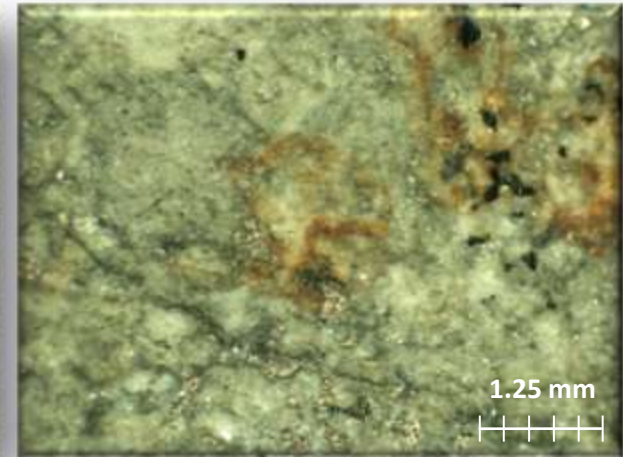
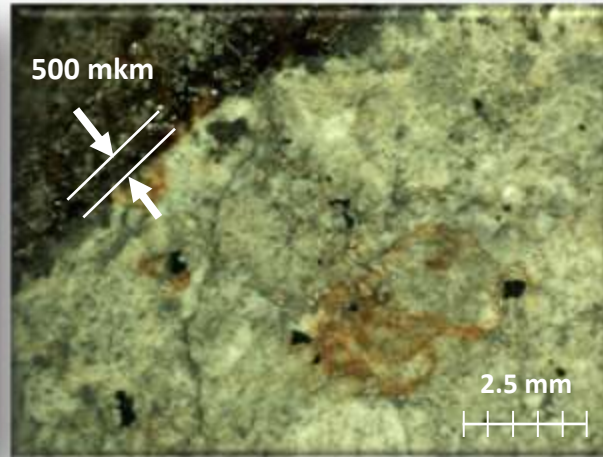
В десятке крупнейших
каменных
метеоритов.
Первый в 21 веке!



Регмаглипты – вмятины и трещины от «сверлящего» действия излучения и давления



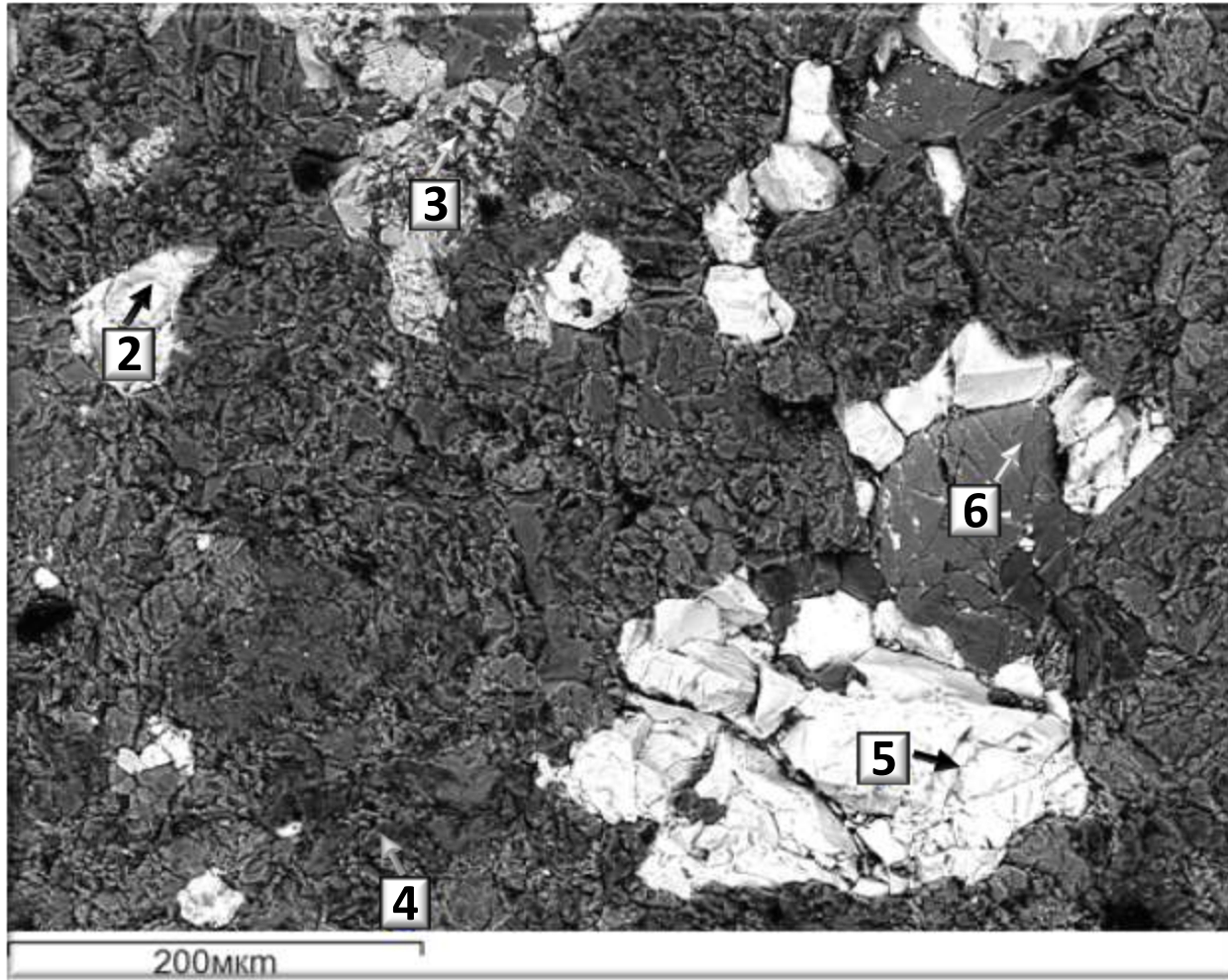
Оптическая микроскопия



- Хондры плохо фрагментированы
- Петрологический тип - 5

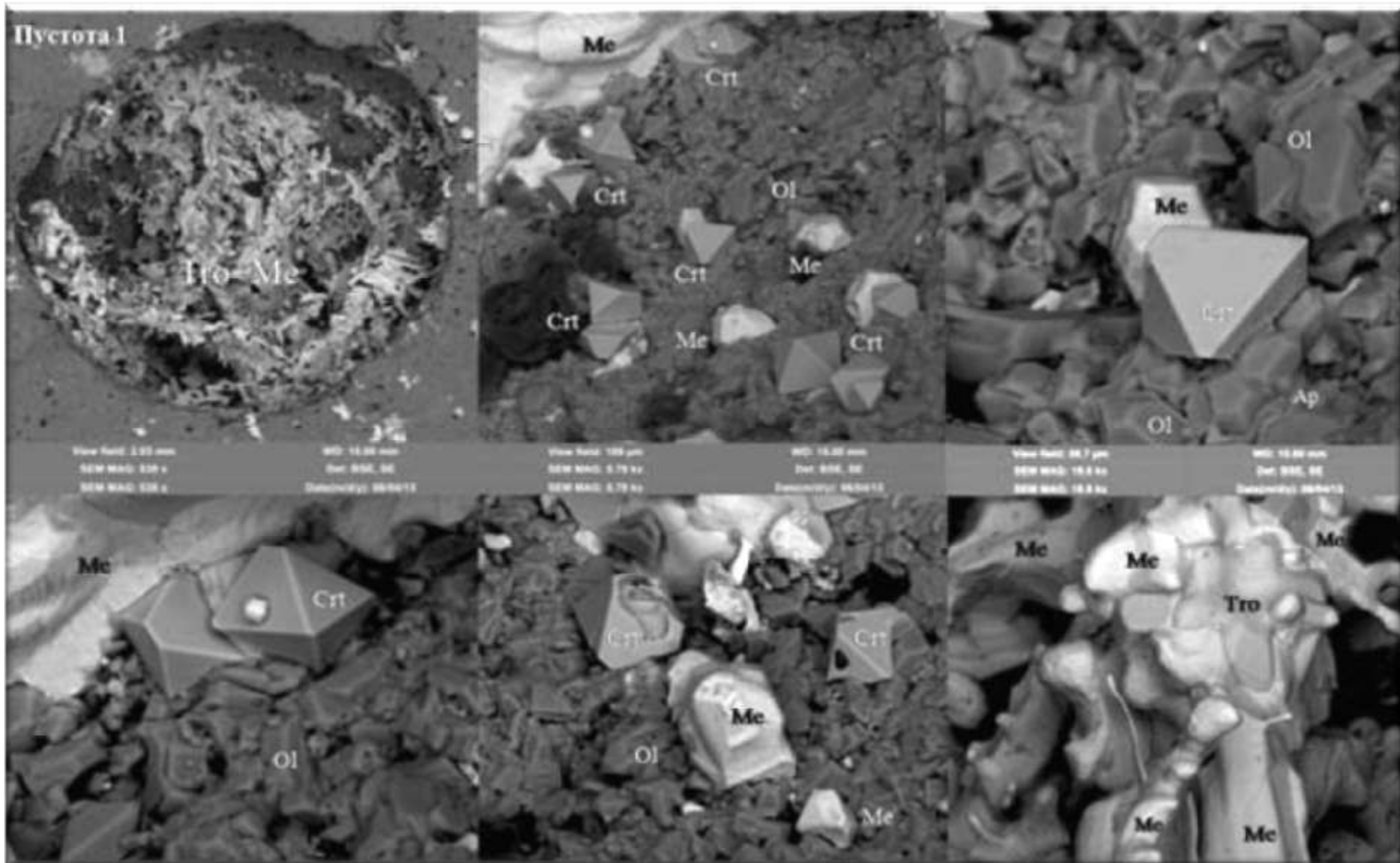


Электронная микроскопия

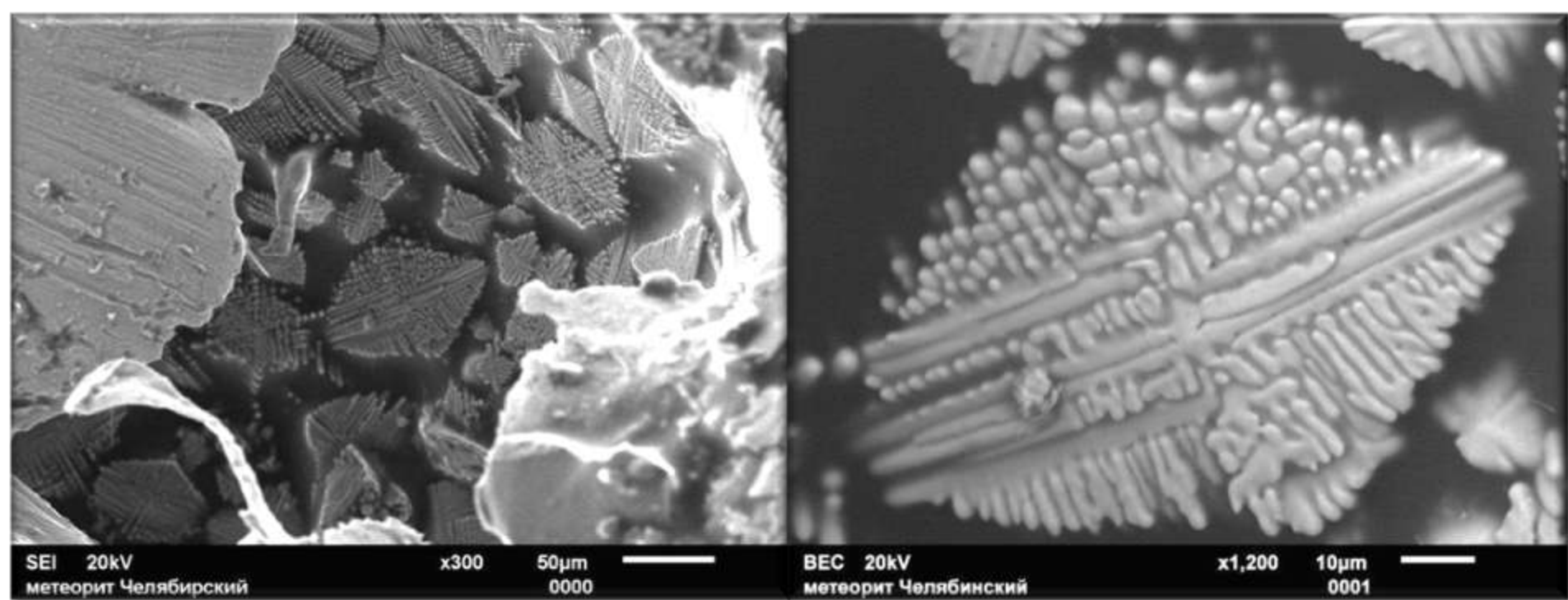


- Fe-S (2, 5)
- Ca–Na pyroxene (Na,Ca,Mg)(Mg,Fe,Al)Si₂O₆ (4)
- Olivine (6)
- Magnechromite (Mg,Fe)Cr₂O₄ with Ca-Na pyroxene (Na,Ca,Mg)(Mg,Fe,Al)Si₂O₆ (3)

Фрагменты с кристаллами в полостях



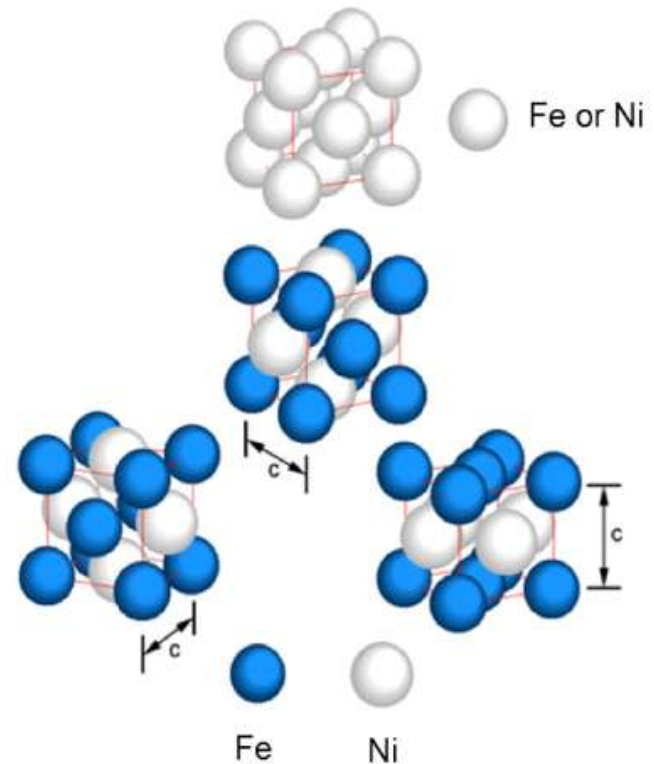
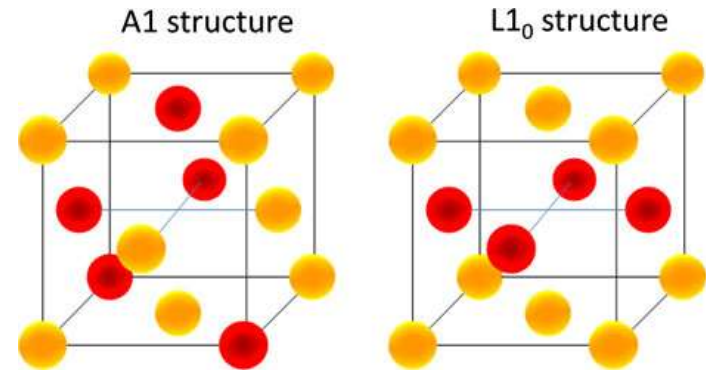
Силикаты внутри чистого железа



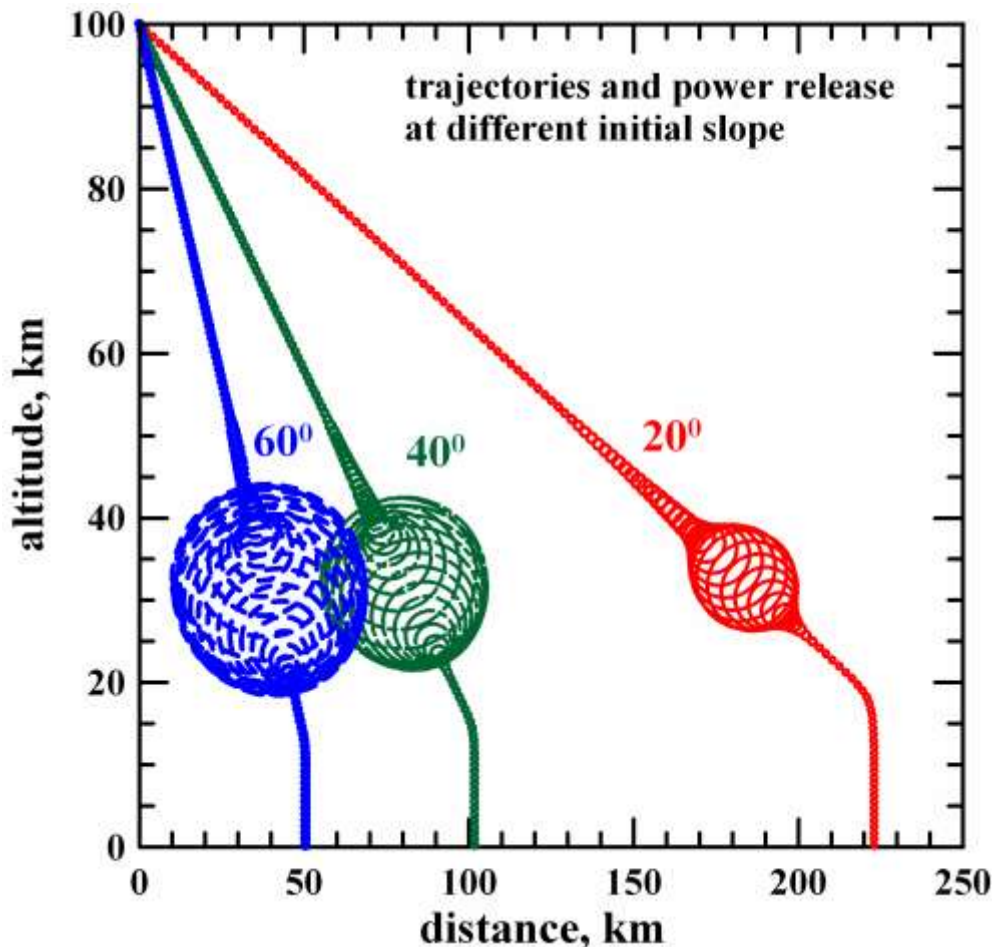
- Ulvospinel Fe_2TiO_4 (dark dendrites, 1)
- Wustite FeO (light dendrites, 2)
- Fayalite Fe_2SiO_3 (parent phase, 3)

Tetrataenite. REFPM.

$L1_0$ – FeNi



Расчет падения аналогичных метеороидов под другими начальными углами

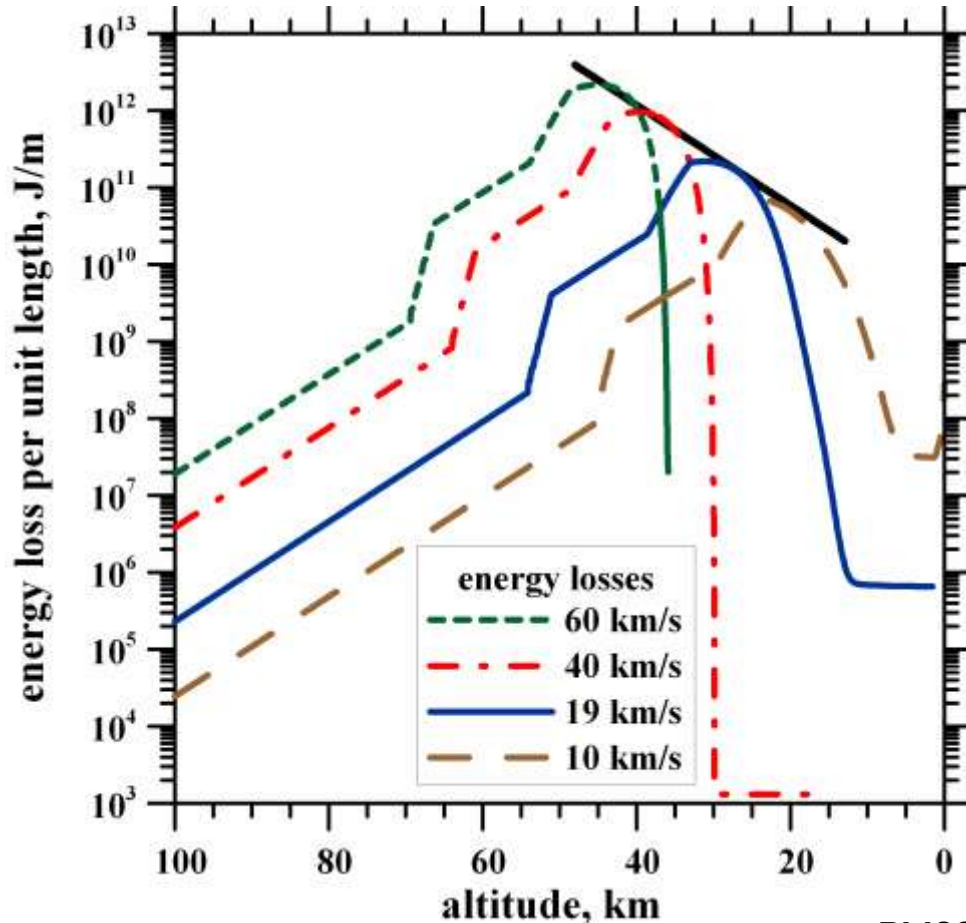


- Начальный угол практически не влияет на высоту первого разрушения и полную массу упавших фрагментов
- Полная выделенная энергия одинакова во всех случаях, максимальная мощность энерговыделения растет с 860 ТВт до 3750 ТВт при увеличении начального угла с 10° до 80°
- Высота максимального энерговыделения уменьшается с 34 км при 10° до 31 км при 80° , при этом нижняя граница зоны интенсивного энерговыделения убывает с 25 км до 20 км

Атмосфера Земли эффективно защищает нас от объектов, подобных Челябинскому метеороиду вне зависимости от начального угла вхождения в атмосферу. Большая часть кинетической энергии метеороида рассеивается на высотах более 20 км

Расчет падения с различной начальной скоростью

начальный угол равен 60°



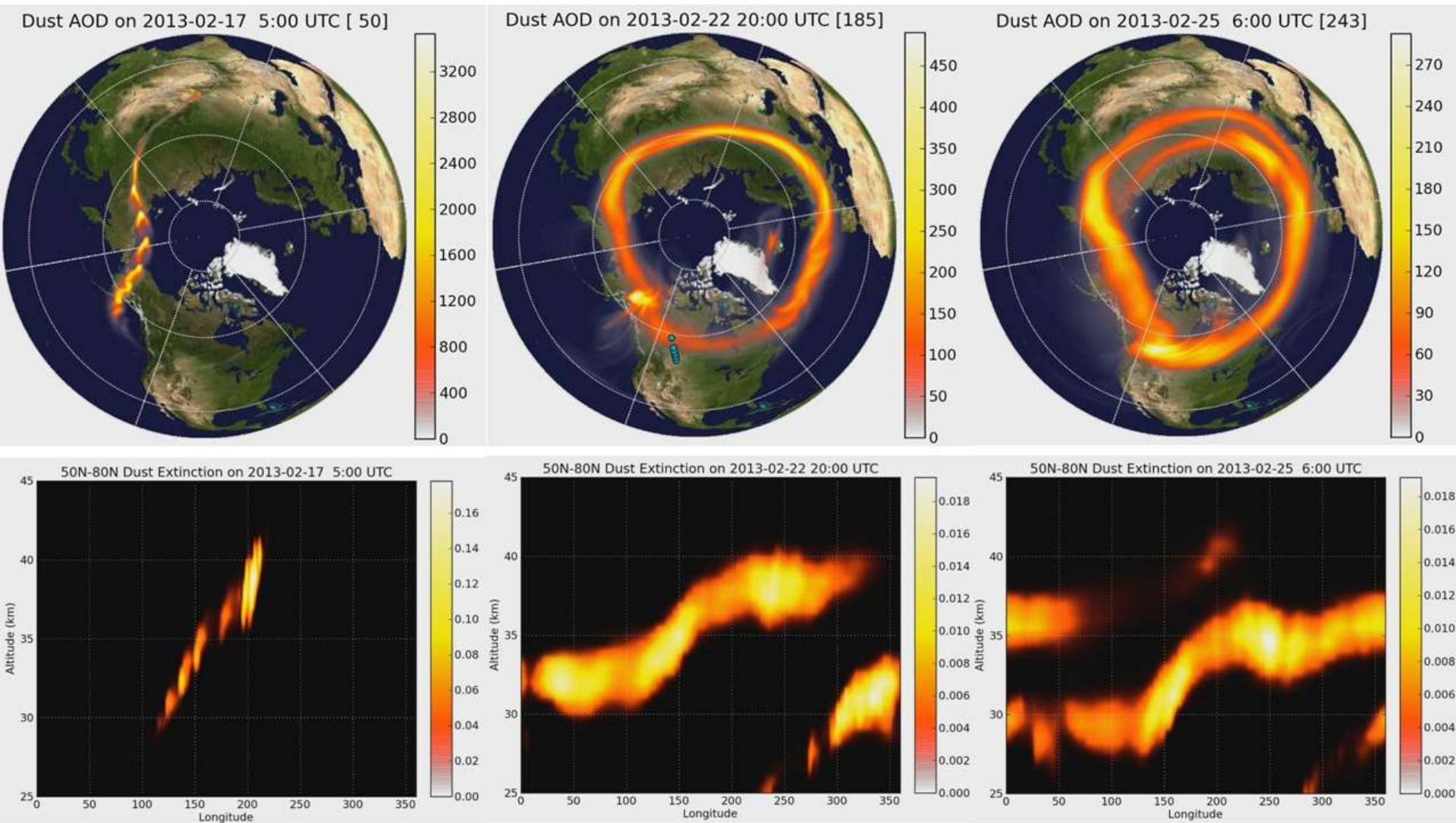
- Полная выделенная энергия близка к начальной кинетической энергии метеороида и растет как квадрат его скорости, но при больших начальных скоростях основное энергосвыделение происходит на больших высотах
- При начальной скорости более 40 км/с метеороид полностью испаряется в атмосфере, падение фрагментов на поверхность не должно наблюдаться (за исключением пыли)

Атмосфера Земли способна защитить нас от более быстрых метеороидов с внутренней структурой, подобной Челябинскому метеороиду

высота максимального энергосвыделения

$$z_{\max} \approx \ln\left(\left(\frac{dE}{dl}\right)_{\max} / 10^9 \text{ J/m}\right) \cdot 6.7 \text{ км}$$

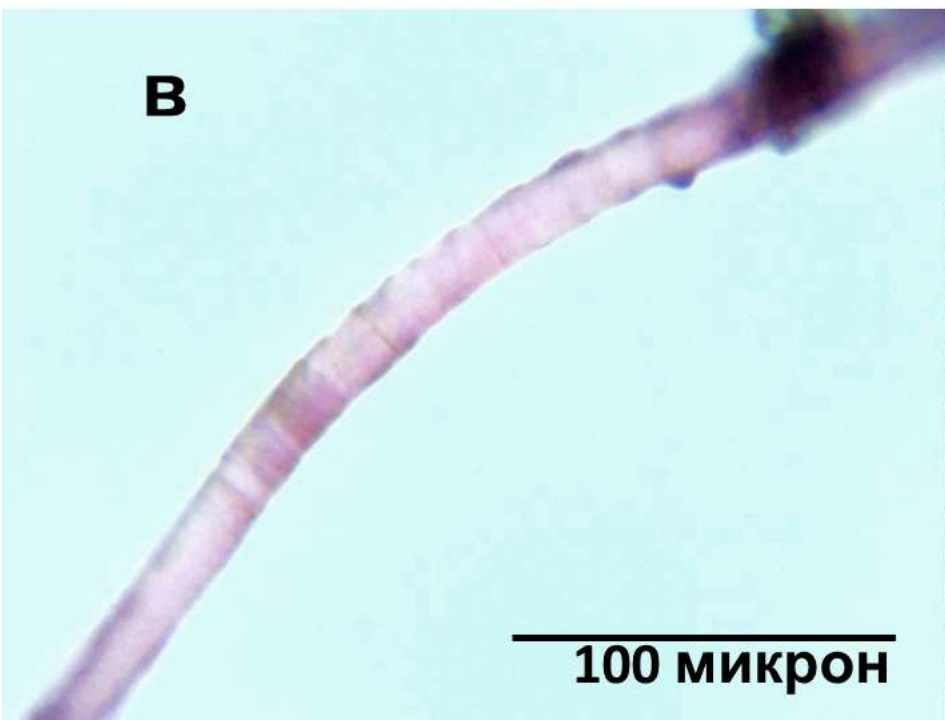
Компьютерный расчет ветрового распространения болидного облака пыли от 15 февраля до 2 марта 2013 (из статьи в JRL, 2013)



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

400 микрон





Частота падения метеоритов

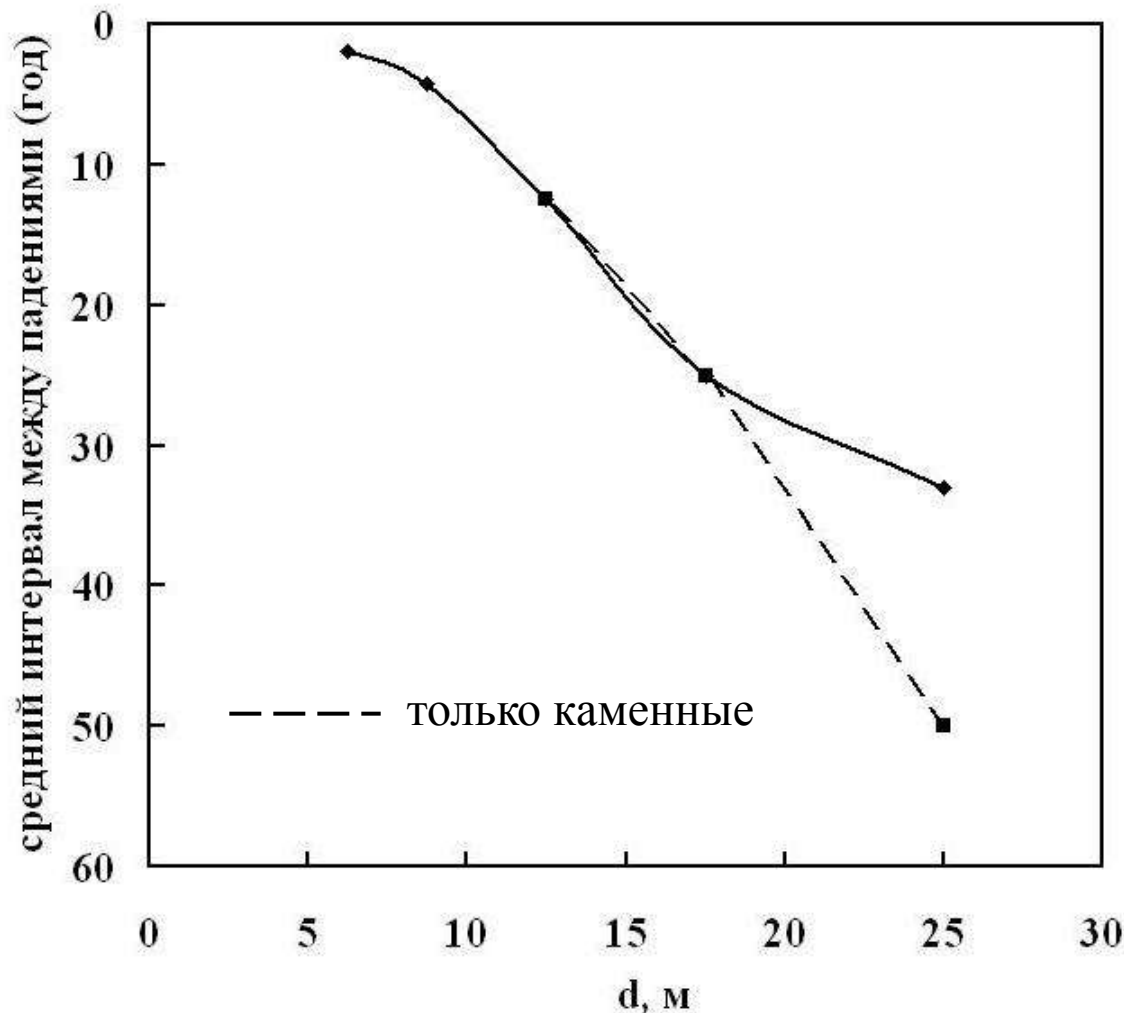
Распределение метеоритов по типам

Тип метеоритов	Число падений	%	% из Hughes, D.W. //Meteorities. 1981. Vol. 16. PP. 269 – 281.
каменные	594	93.3	92.5
железные	34	5.3	5.7
железокаменные	5	0.8	1.3
аномальные	4	0.6	0.5

<http://www.nhm.ac.uk/researchcuration/research/projects/metcat/search>

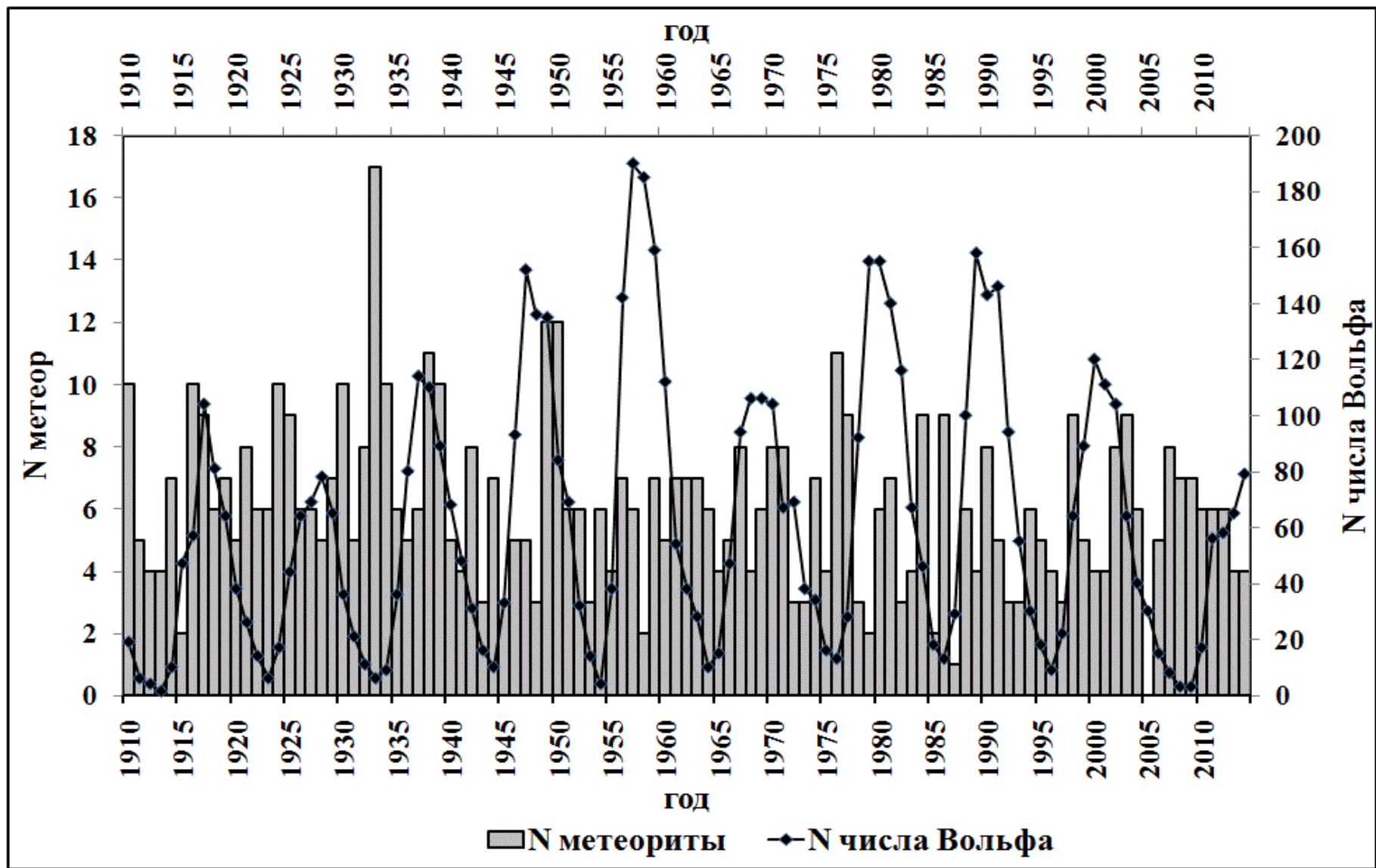
<http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>

Частота падения метеоритов

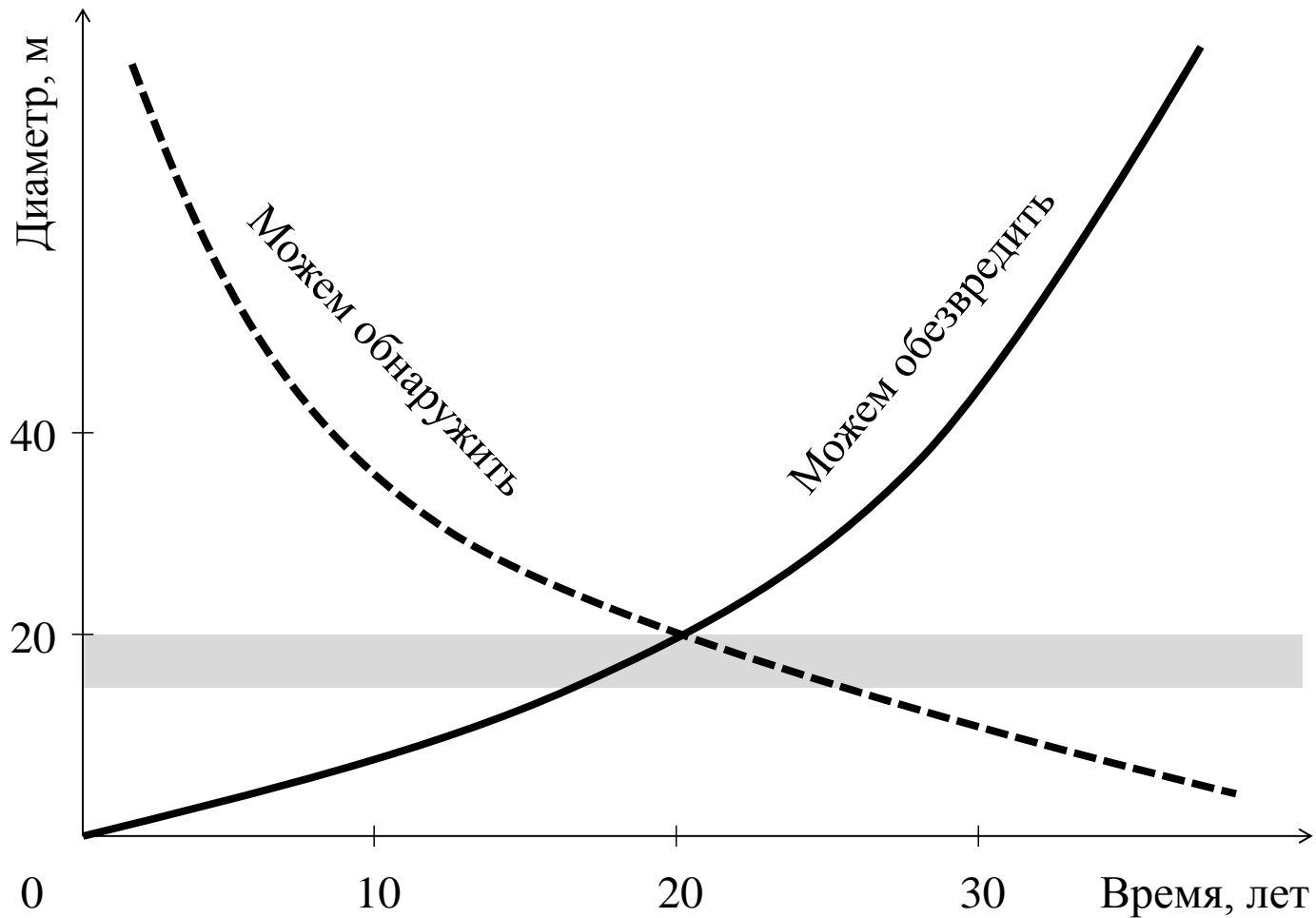


- Метеориты, подобные челябинскому падают в среднем раз в 30÷40 лет
- В [1] для метеоритов d=20 м частота падения оценивается раз в 40 лет, в [2] — раз в 60 лет.

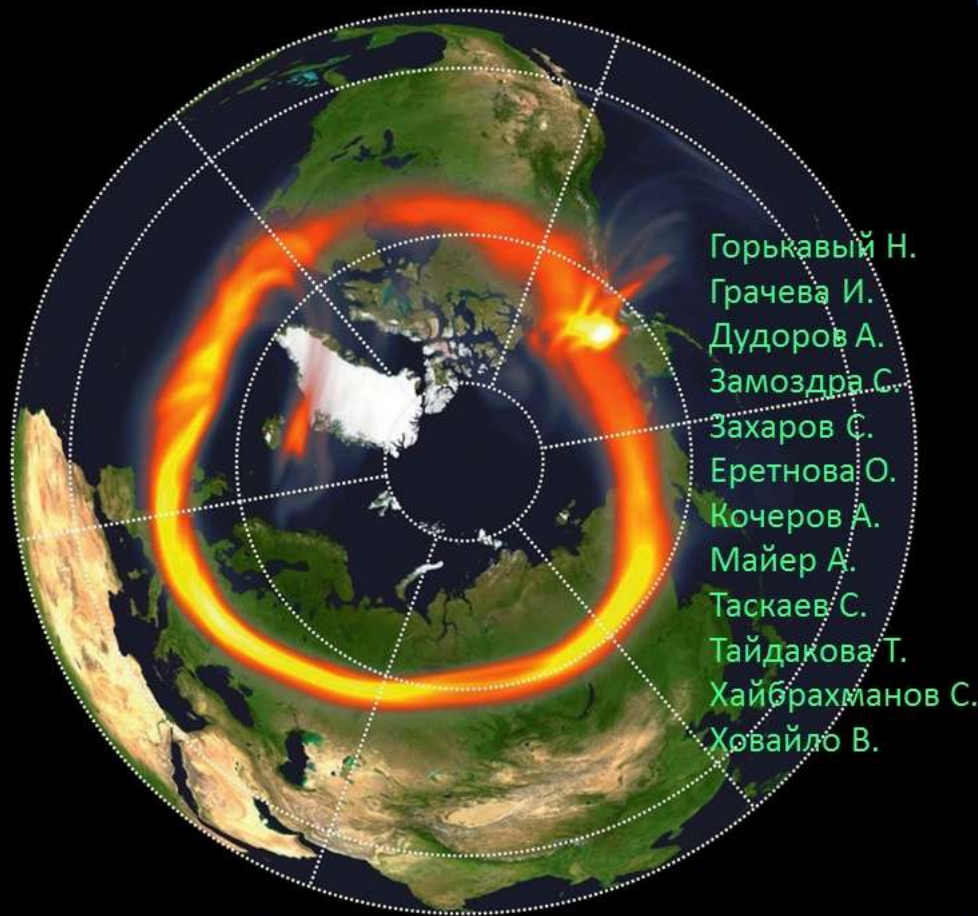
Распределение числа падений по годам и солнечная активность



Проблема метеороидной, астероидной и кометной опасности



ЧЕЛЯБИНСКИЙ СУПЕРБОЛИД



Горькавый Н.
Грачева И.
Дудоров А.
Замоздра С.
Захаров С.
Еретнова О.
Кочеров А.
Майер А.
Таскаев С.
Тайдакова Т.
Хайбрахманов С.
Ховайло В.

Под редакцией
Н.Горькавого и А.Дудорова

Всестороннее исследования болида, метеоритов и болидной пыли, опубликованы в книге «Челябинский суперболид», опубликованной в издательстве Челябинского государственного университета.

- В книге 16 частей
- 12 авторов (5 докторов и 6 кандидатов наук)
- >500 тысяч знаков (13 авторских листов или ~ 300 страниц текста)
- + 80 страниц цветных иллюстраций



Спасибо за внимание