

***Компьютерная рентгеновская  
микротомография: возможности  
и перспективы использования***

***Ю.В.Плоткина (ИГГД РАН)***

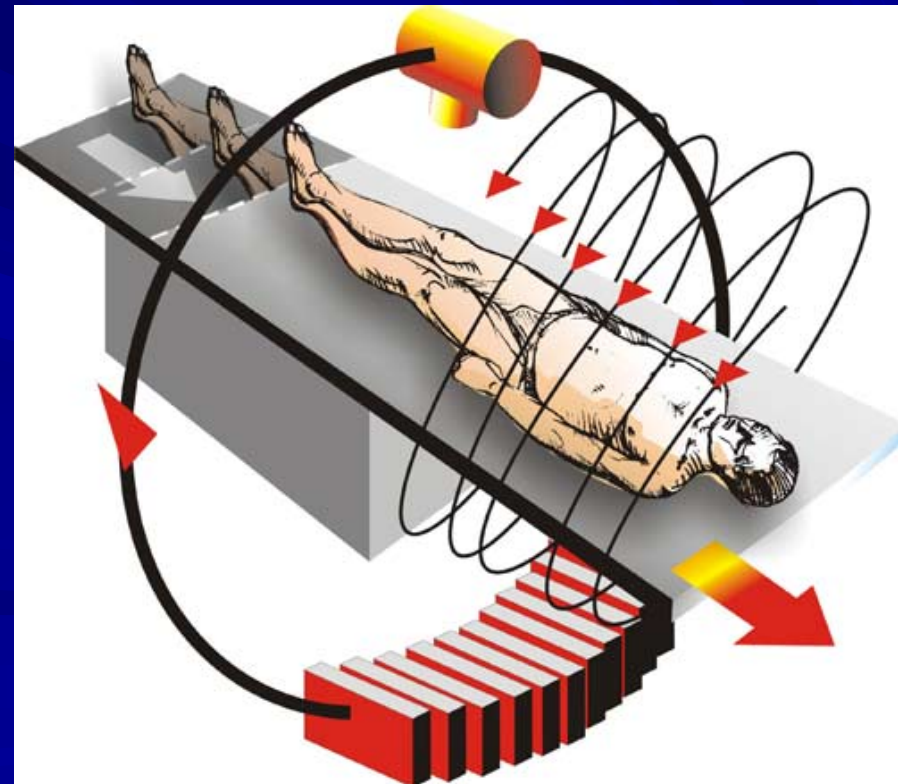
# История КТ

Начало активного применения компьютерной томографии связано с изобретениями американского физика Алана Кормака и английского инженера-физика Годри Хаунсфилда из компании EMI Ltd. Первый решил задачу томографического восстановления - получения поперечных плотностных рентгеновских срезов из набора теневых рентгеновских проекций. Хаунсфилд сконструировал первый компьютерный рентгеновский томограф, клинические испытания которого прошли в 1972 г.

В 1979 году Кормак и Хаунсфилд "за разработку компьютерной томографии" были удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине

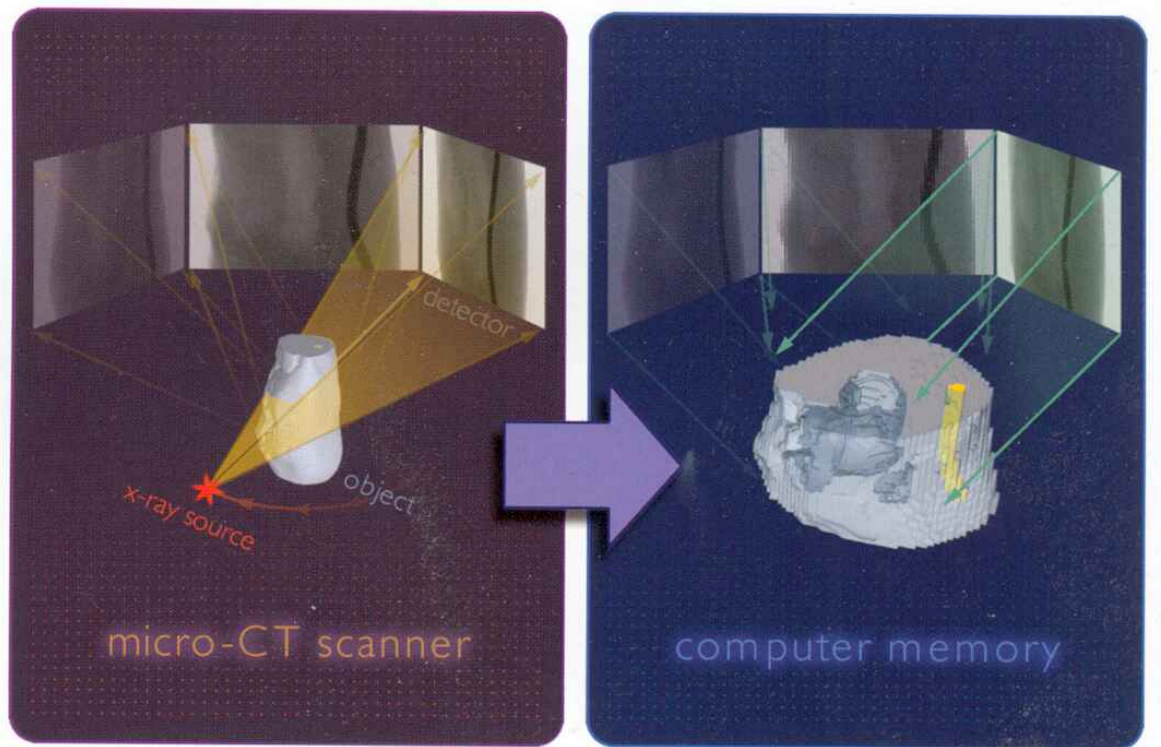


Медицинского рентгеновский томограф



Принцип работы медицинского рентгеновского томографа

# Как работает микротомография?



*SkyScan-1174  
compact micro-CT*



*SkyScan-1172 high-resolution micro-CT*  
Пространственное разрешение: ~ 2 мкм  
X-ray source: 20-100 kV, 0-250 µA, spot size < 5 мкм  
X-ray detector: 1024x1024 12-bit digital cooled CCD

# High Resolution X-ray CT Facility

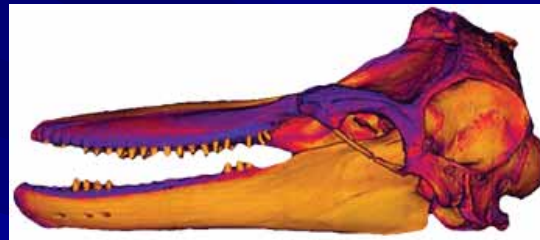
An NSF-supported Multi-User Facility  
The University of Texas at Austin, Department of Geological Sciences



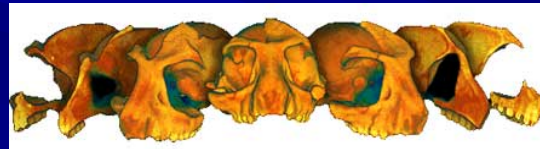
**CT scanner CAT with  
ULTRA-HIGH-RESOLUTION  
SUBSYSTEM and  
HIGH-ENERGY SUBSYSTEM**



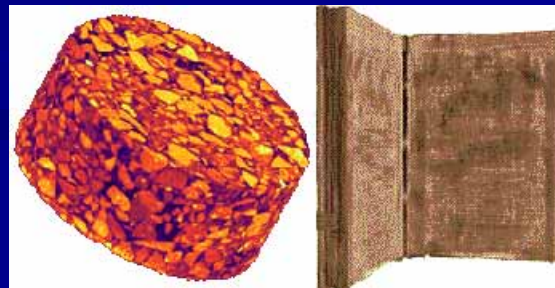
**Garnet-kyanite schist,  
pseudocolored  
3D reconstructions**



**Variation in bone density  
in the skull of the  
Bottlenose Dolphin,  
*Tursiops***



**The skull (primate) of  
*Roonneyla viejaensis*  
(North America)**



**An asphalt sample and  
Psalterium, printed in  
Mexico in 1584.**

# Справочно-учебный материал



## INTERACTIVE LEARNING

[the human skeleton](#)

[the chimpanzee skeleton](#)

[the gorilla skeleton](#)

[the orangutan skeleton](#)

[the baboon skeleton](#)

[the common marmoset skeleton](#)

[the squirrel monkey skeleton](#)

[the tarsier skeleton](#)

[the ruffed lemur skeleton](#)

[the mouse lemur skeleton](#)

[the lesser bushbaby skeleton](#)

[the slow loris skeleton](#)

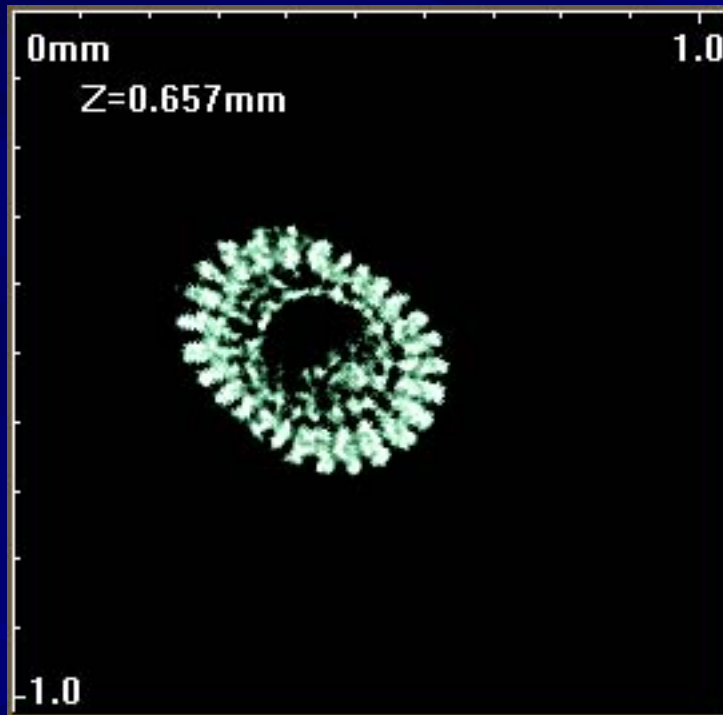
[comparative anatomy](#)

[glossary](#)



# Микрофоссилии

*Spine of echinoid:*

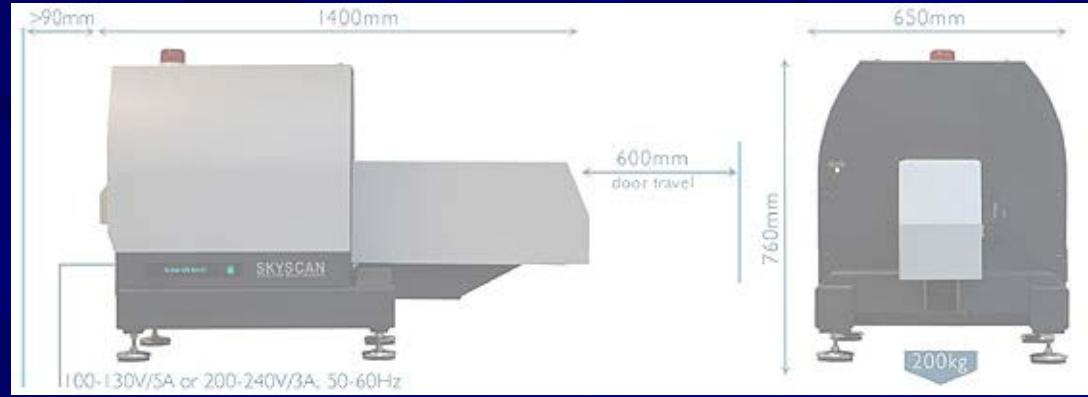
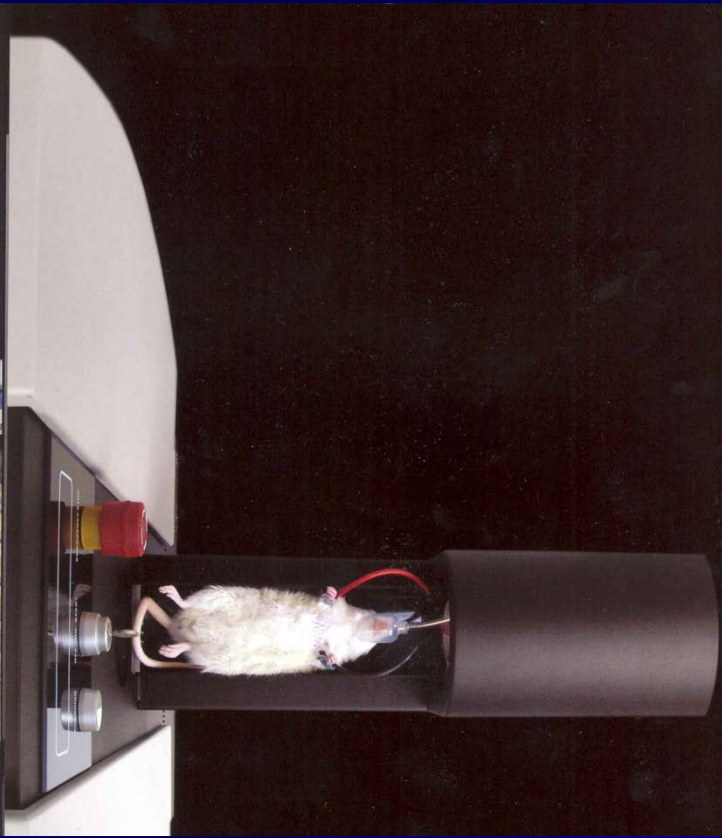


*One of reconstructed cross sections*

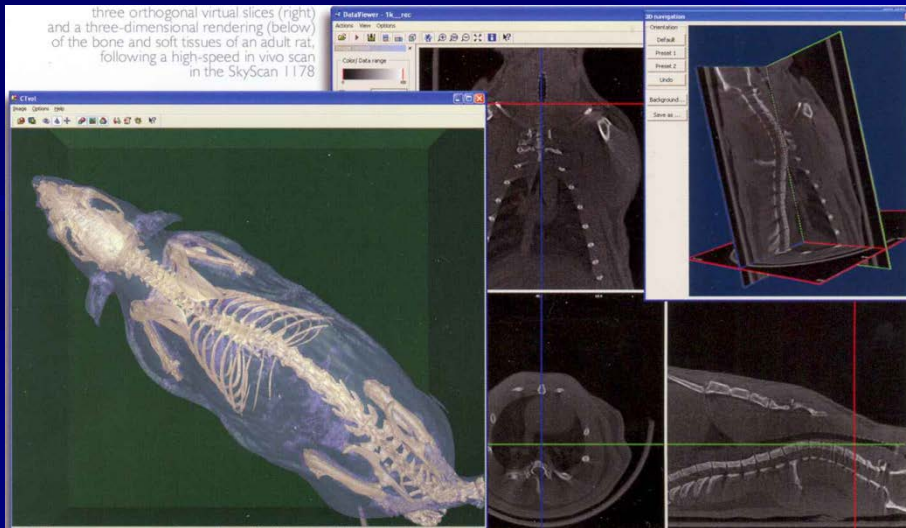


*3D visualization with virtual cut in the corner*

# Skyscan-1076, 1178 in-vivo micro-CT



three orthogonal virtual slices (right) and a three-dimensional rendering (below) of the bone and soft tissues of an adult rat, following a high-speed in vivo scan in the SkyScan 1178



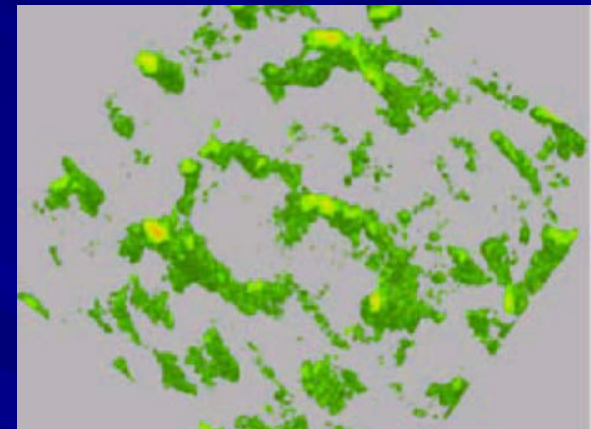
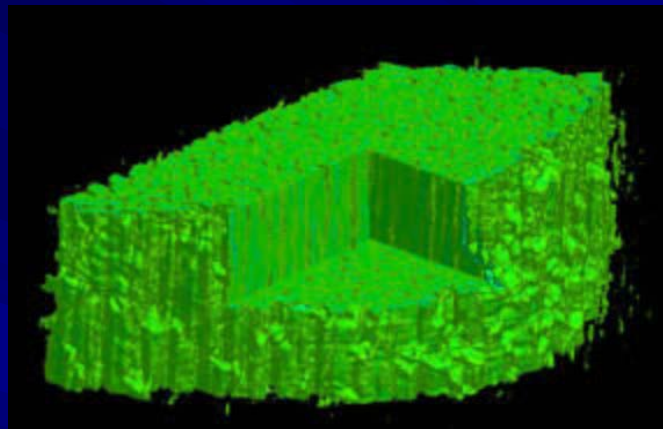
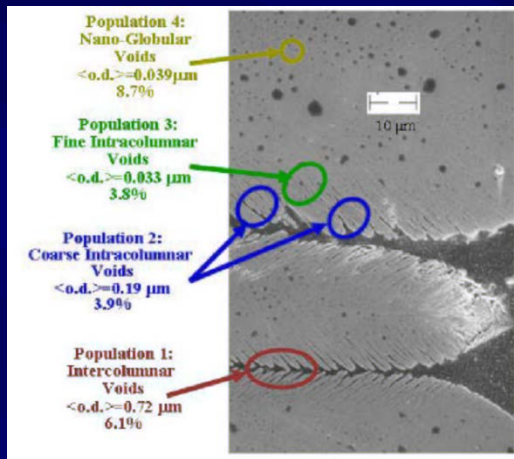
## SkyScan-2011 x-ray nano-CT

*X-ray source: open (pumped) type 20-80 kV, LaB6 filament, Au or W target*  
*X-ray detector: intensified 1280x1024 pixels, 12bit CCD with FireWire output*  
*Position accuracy: < 100nm for rotation during scanning, < 200 nm overall stability*  
*Spatial resolution: < 150nm pixel size (isotropic)*





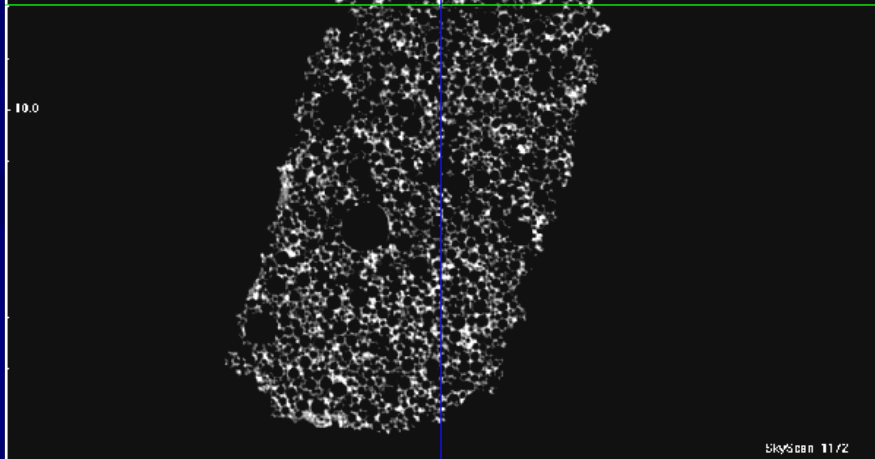
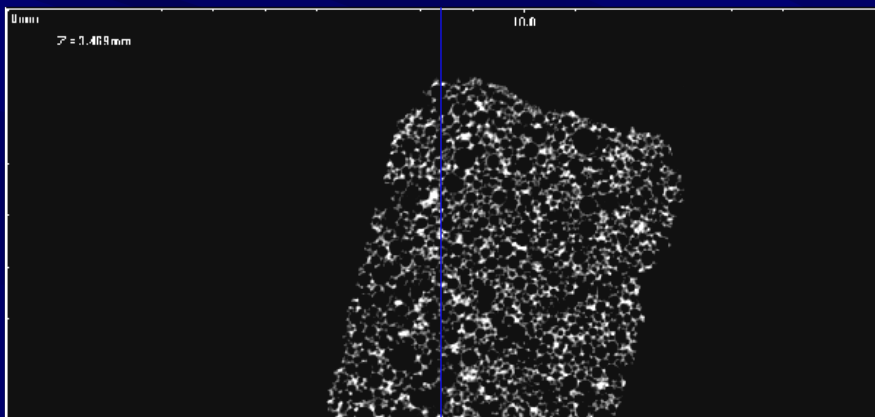
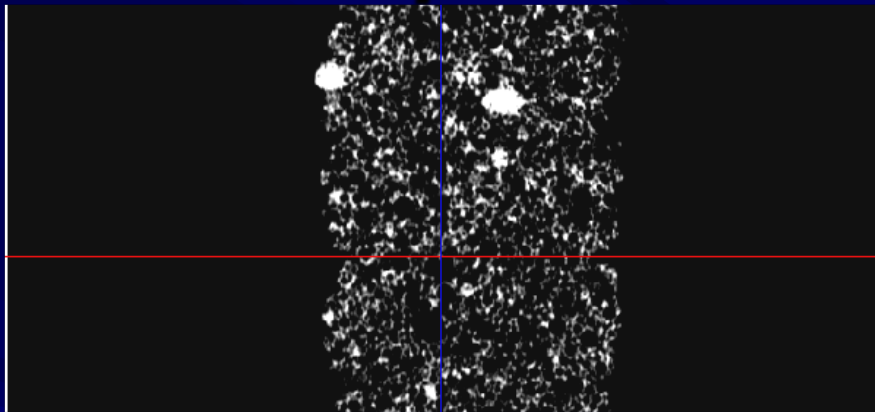
# Контроль качества напыления



*Tomography images of EBPVD TBC deposit.  
Left – side view on the deposit with cut out.  
Right – top view on voids between columns.*

*By Jan Ilavsky, X-ray Operations and Research (XOR)  
Argonne National Lab, USA.*

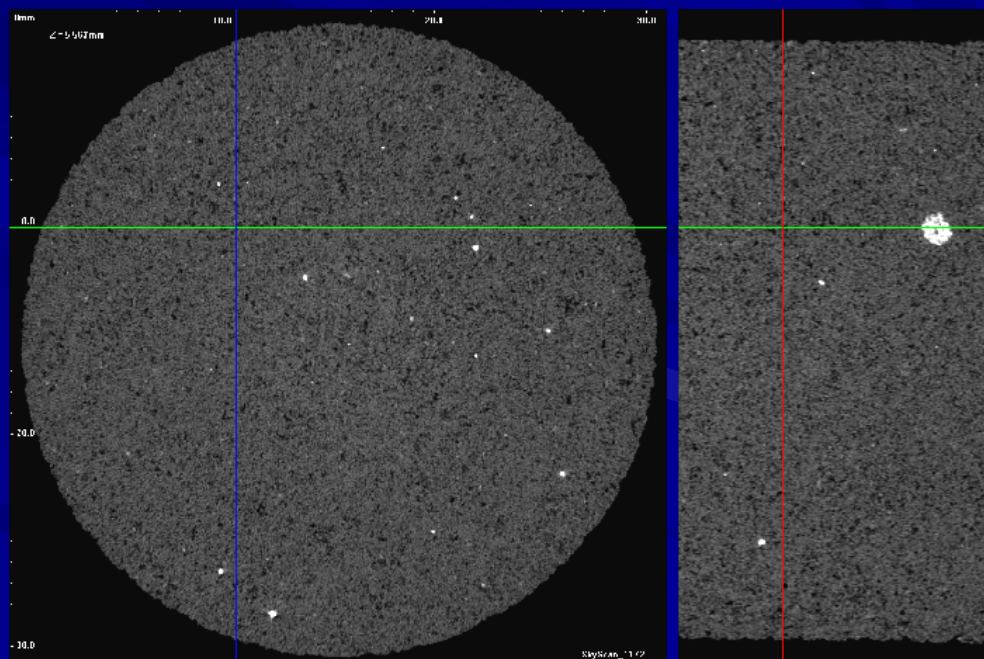
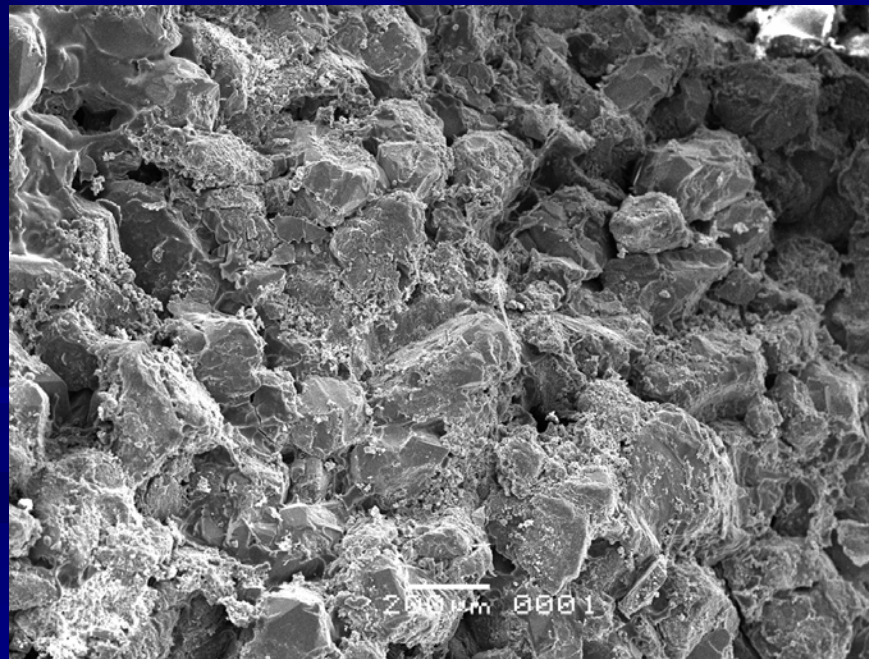
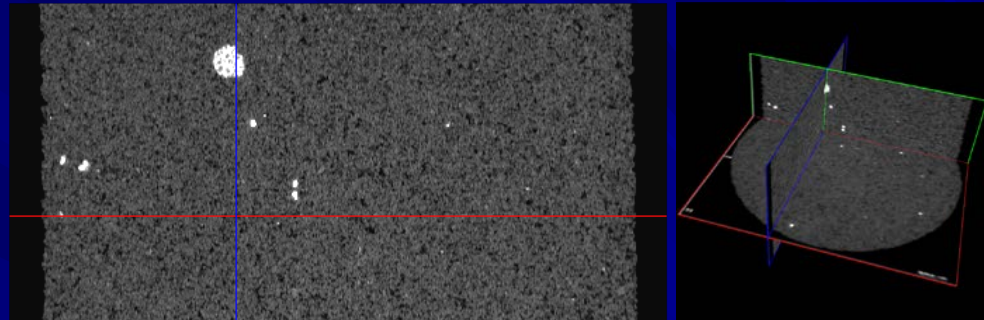
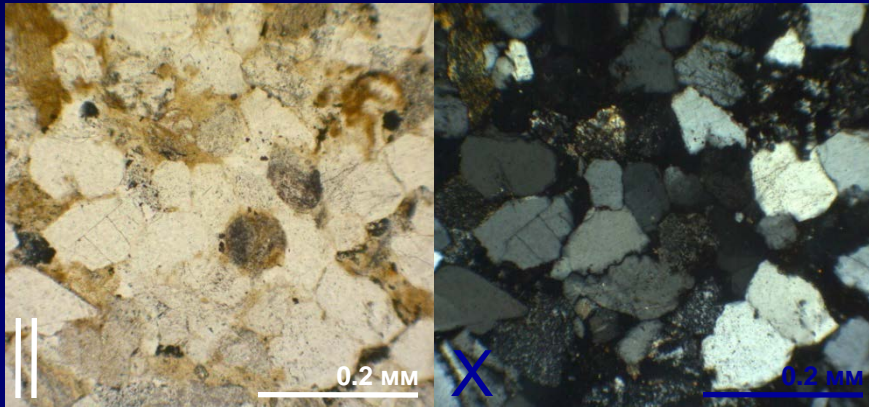
# Строительные материалы



# Терригенные породы

Песчаник полимиктовый среднезернистый массивный, Западная Сибирь

Пористость ~ 20%



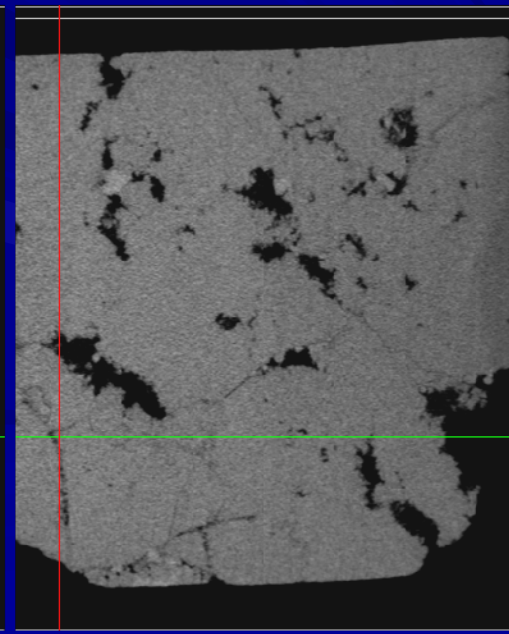
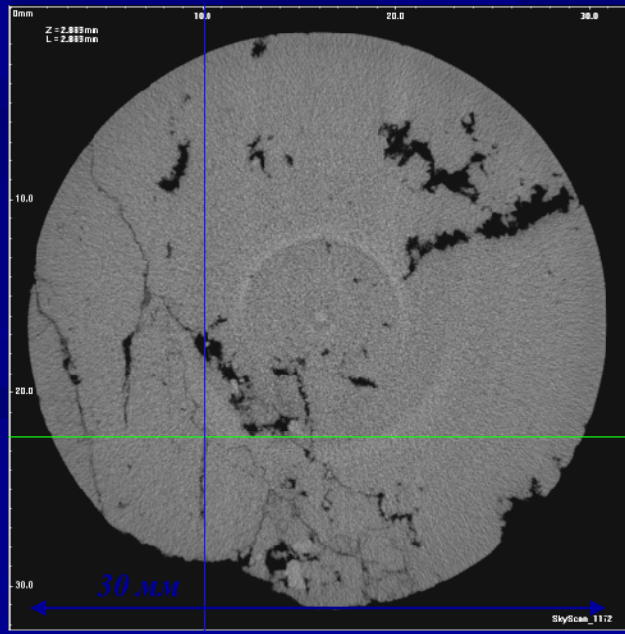
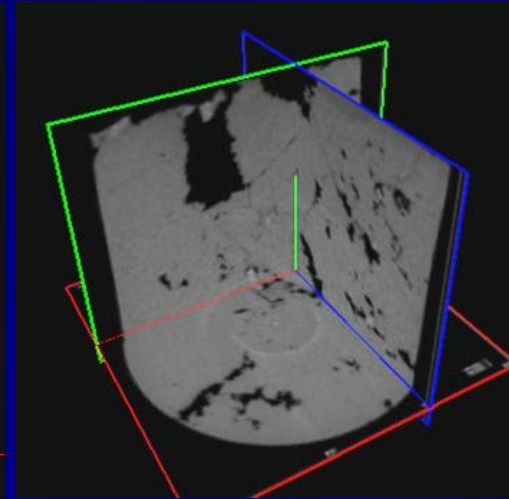
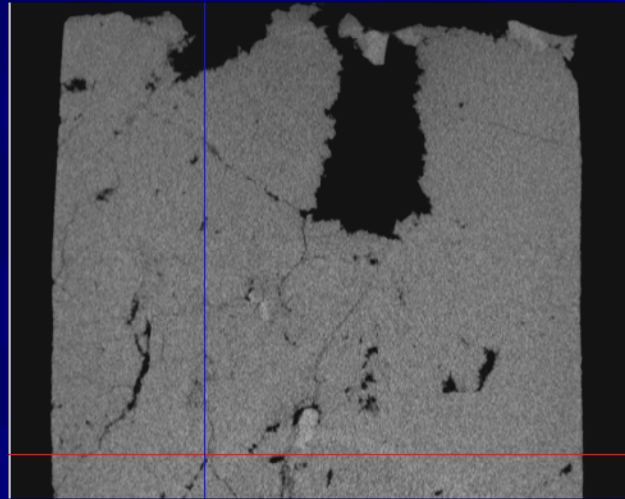
Фотография образца под РЭМ. Увеличение  $\times 60$

30 мм

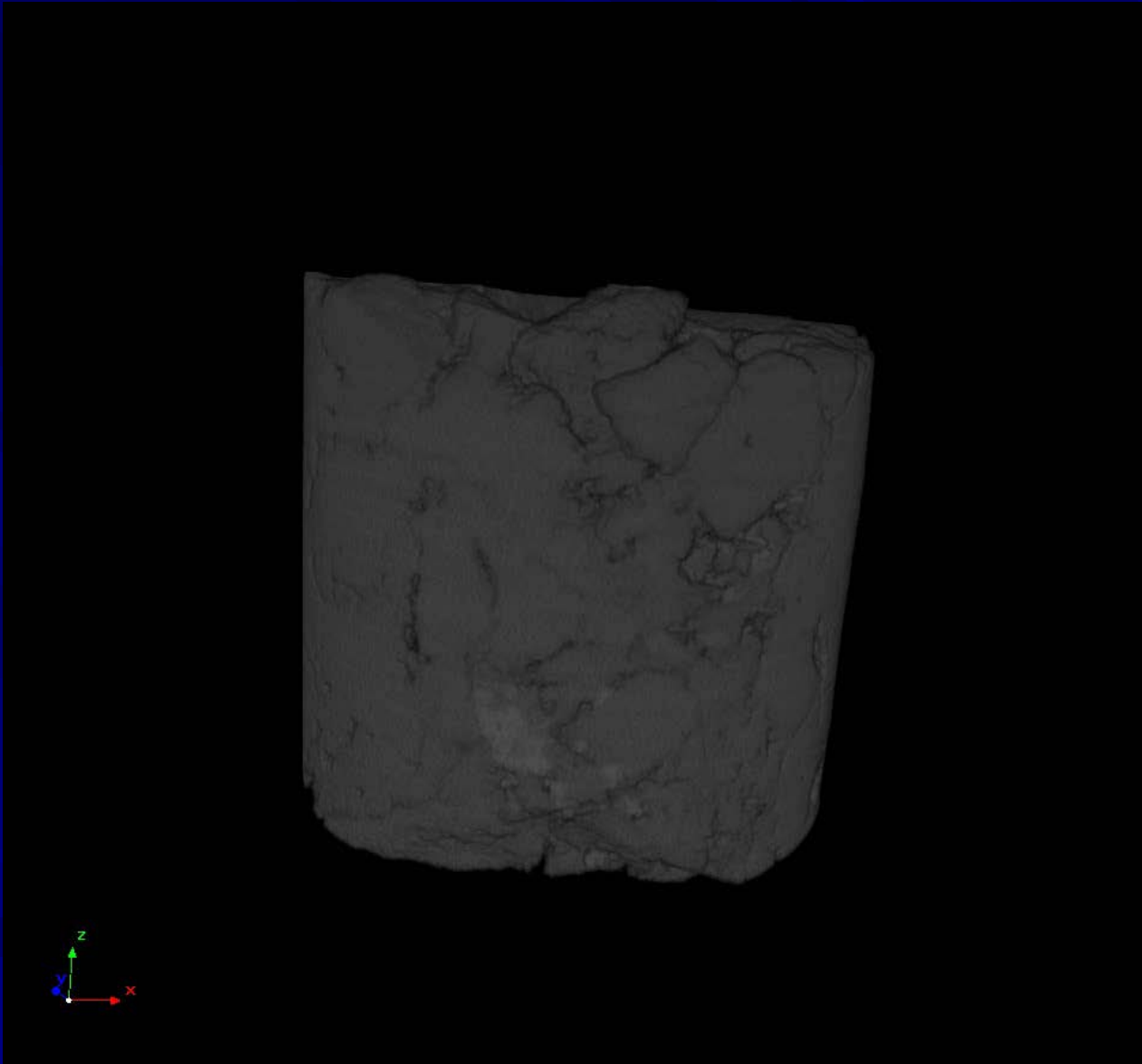
# Карбонатные породы

Известняк доломитовый водорослевый, Восточная Сибирь

Пористость ~ 10%



# Карбонатные породы



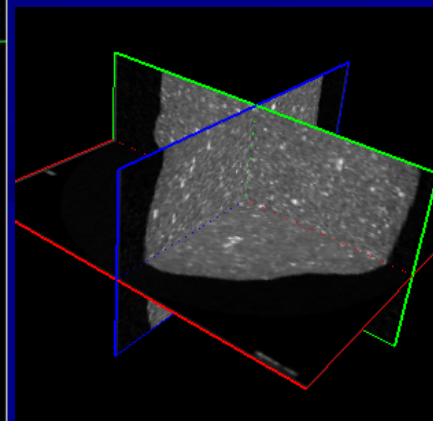
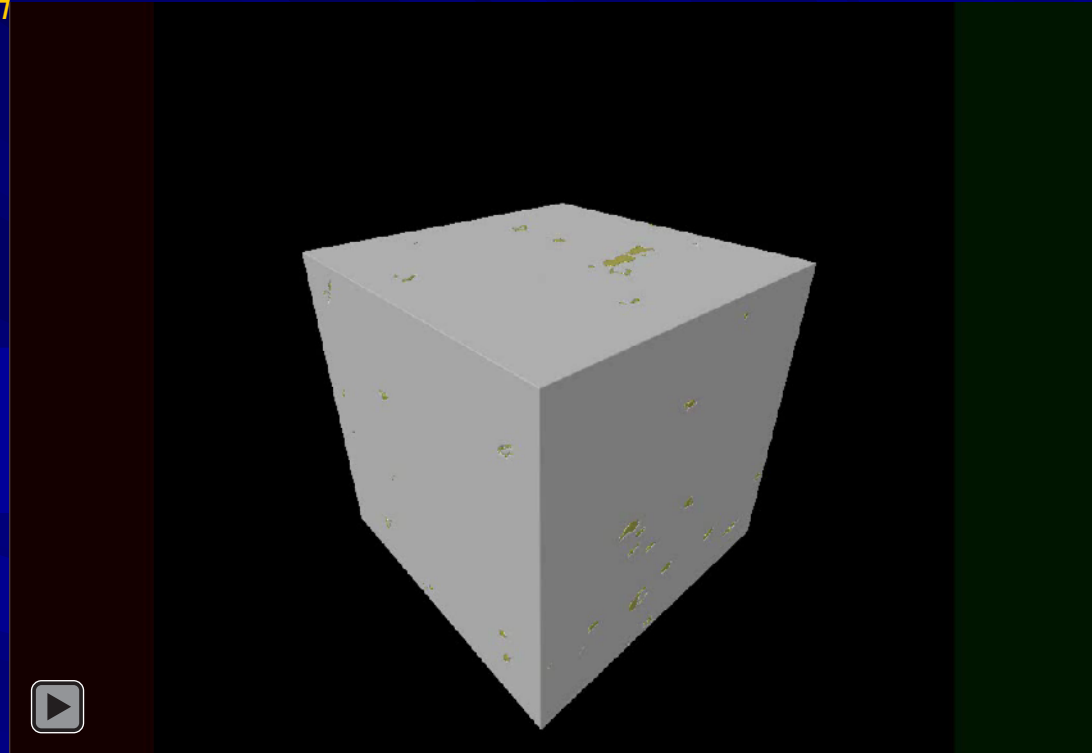
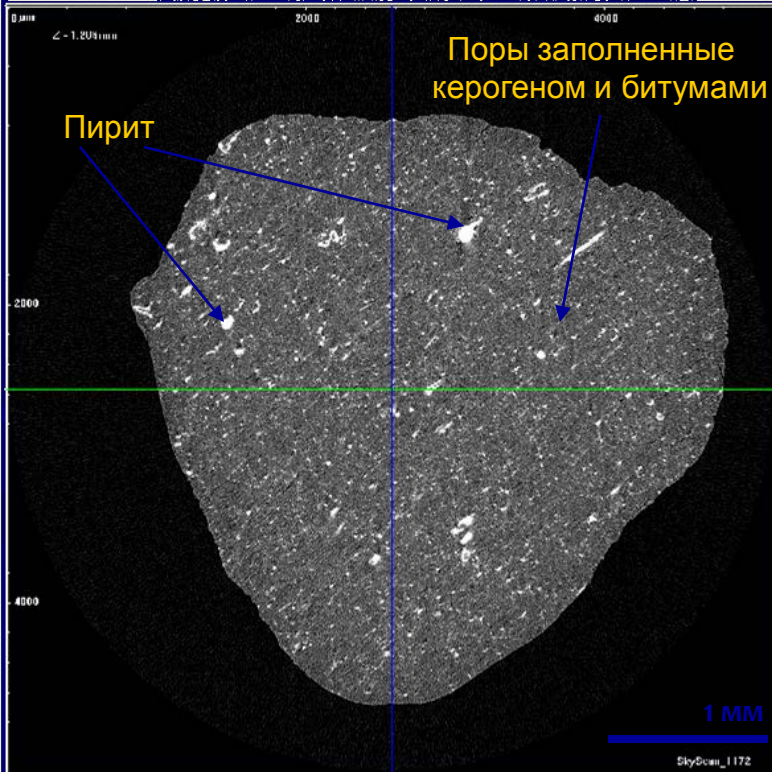
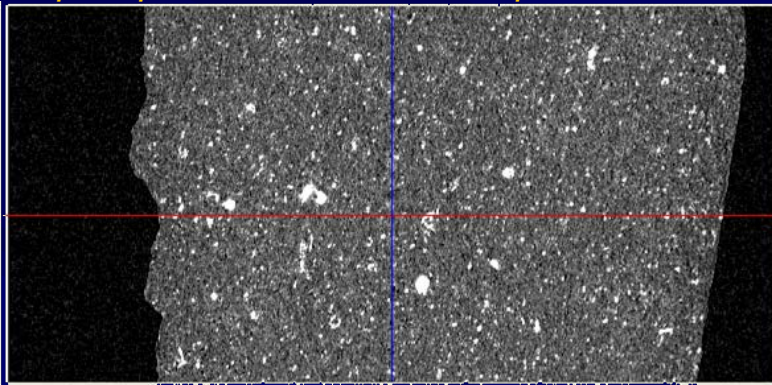
Пустотное пространство породы выполнено изометричными кавернами размером до 6мм, соединенными тонкими трещинами

# Глинисто-кремнистые породы

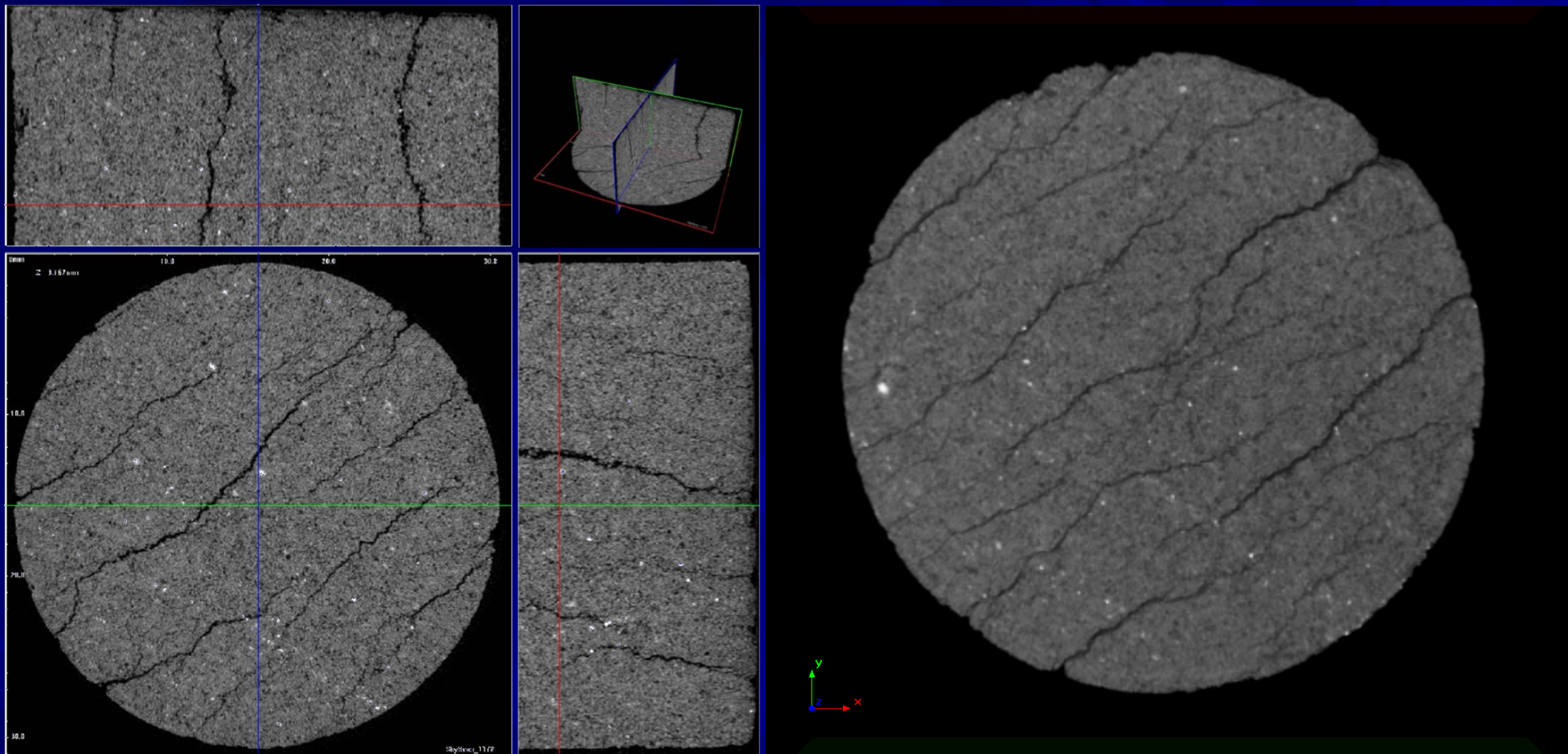
Глинисто-кремнистая порода

Баженовская свита

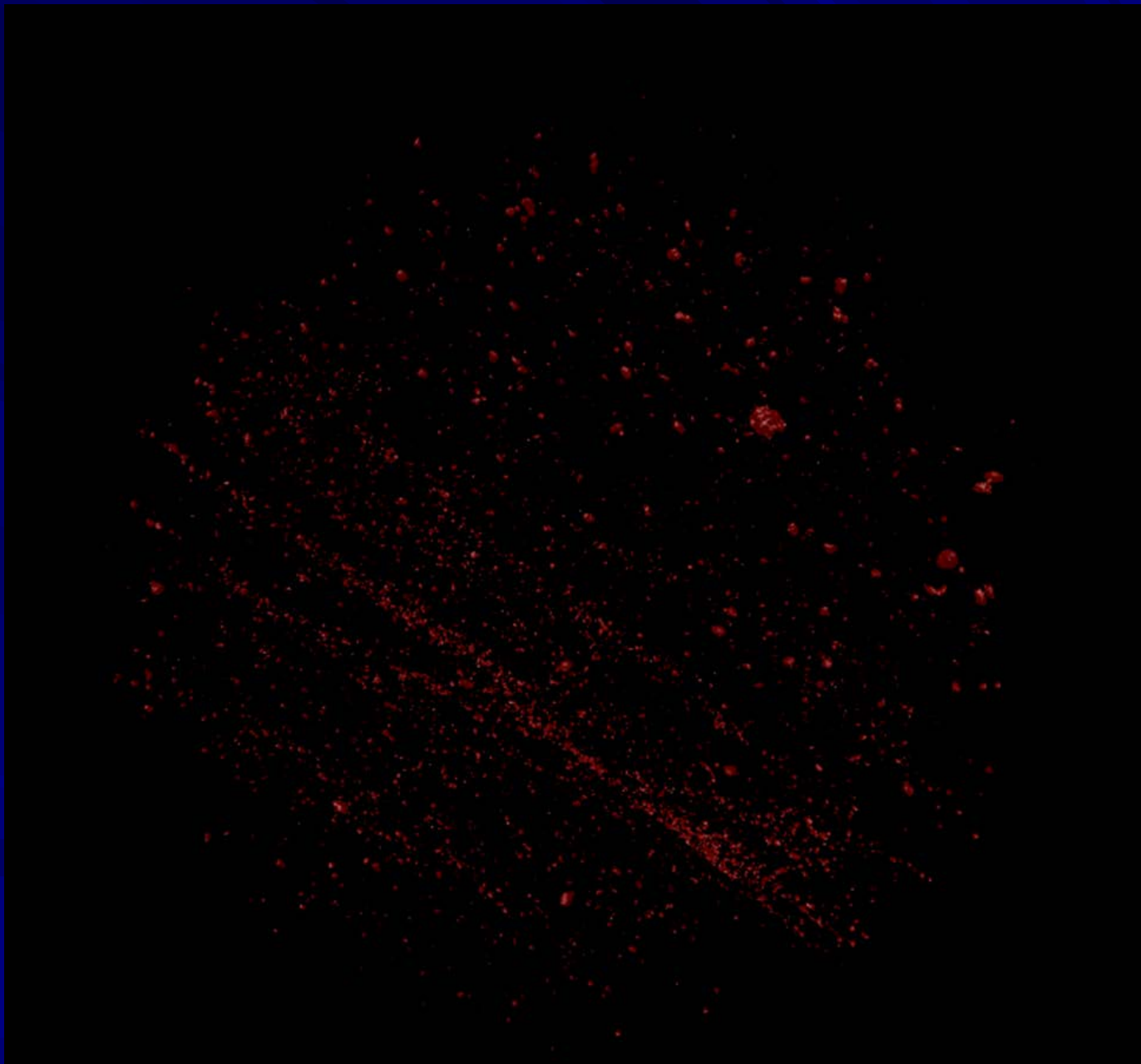
Пирит развит по останкам раковин и спикул



# Битуминозные песчаники



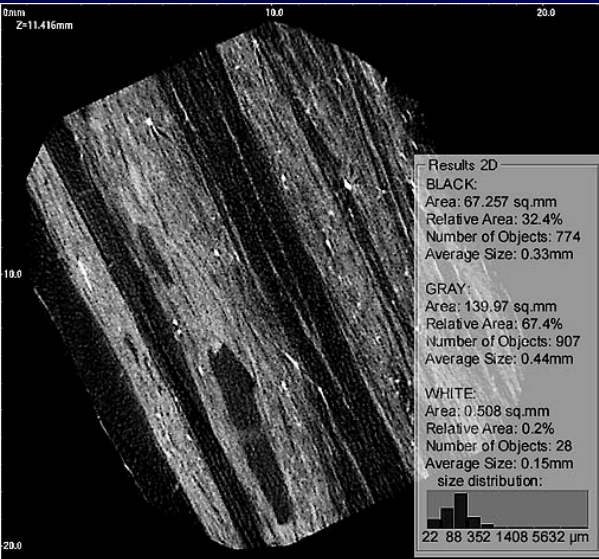
# *Битуминозные песчаники*



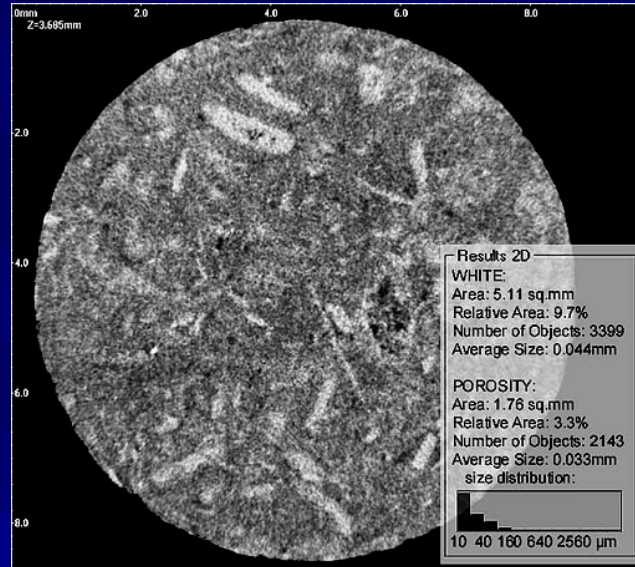


# Исследование пород

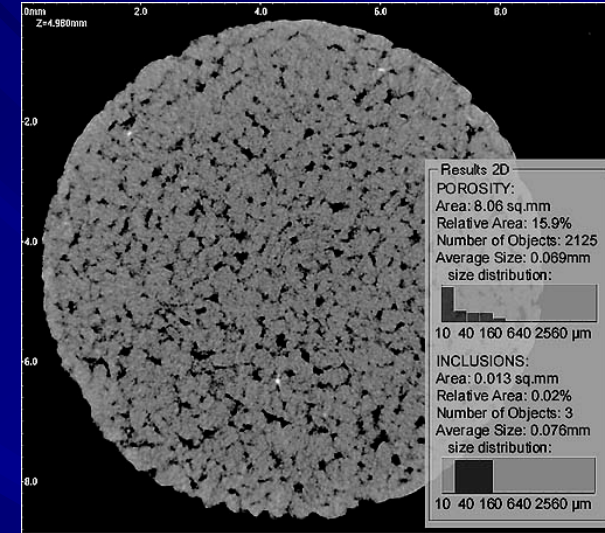
**Coal:**



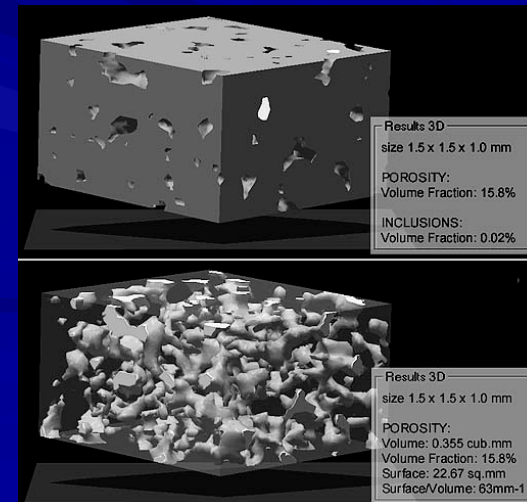
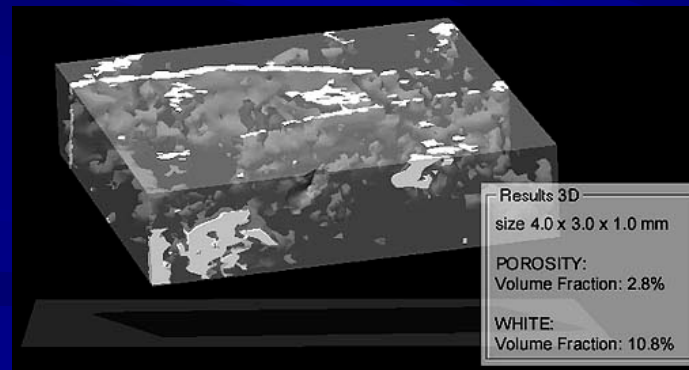
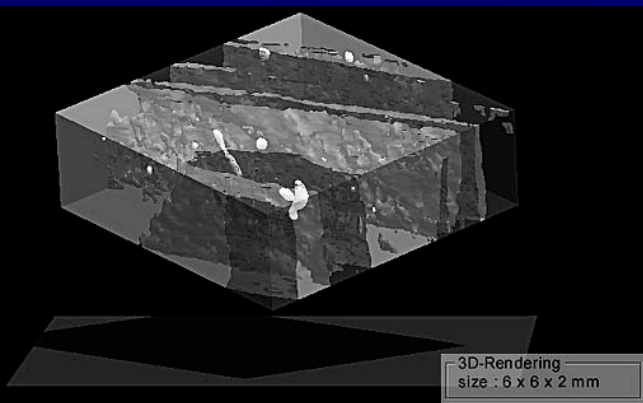
**Carbonate:**



**Sandstone:**



**Reconstructed cross section with results of morphological analysis**

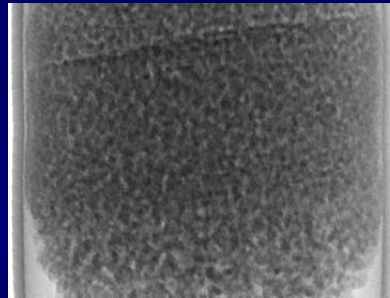


**3 rendering of the internal microstructure**

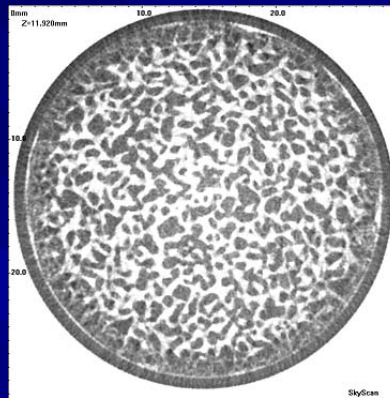
# Исследования при низких температурах



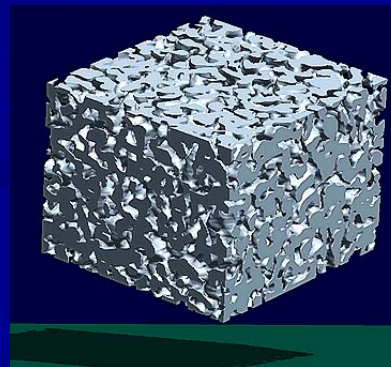
**Scanner permanently  
operates at -25C temperature**



**Ice:  
X-ray transmission  
image**

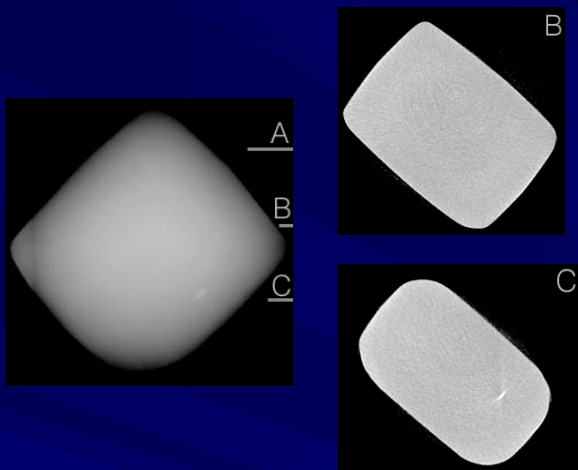


**One of the reconstructed  
cross section**

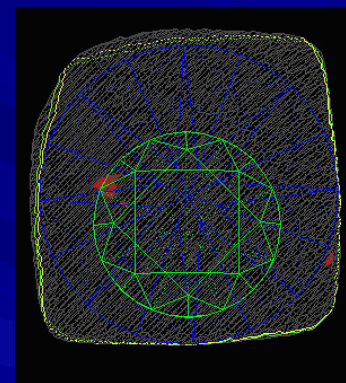
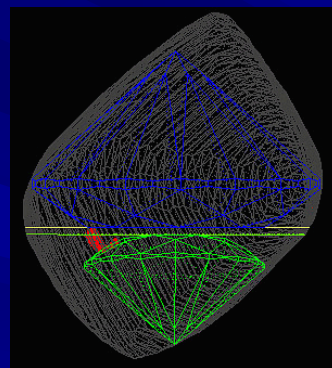
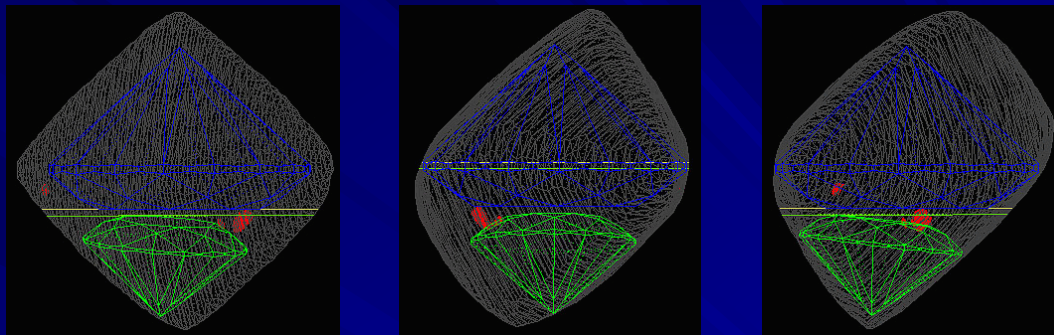


**3D rendering of the ice  
Internal microstructure**

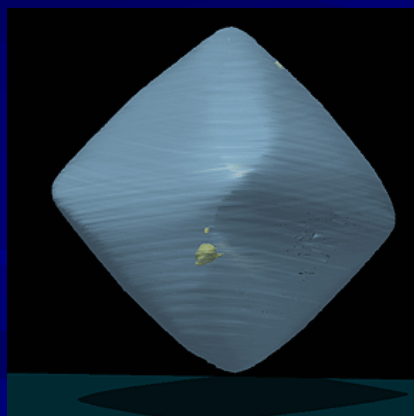
# Качество и огранка алмазов



**X-ray transmission image (left) and several reconstructed cross sections (right). Internal inclusion can be seen in cross section "C":**



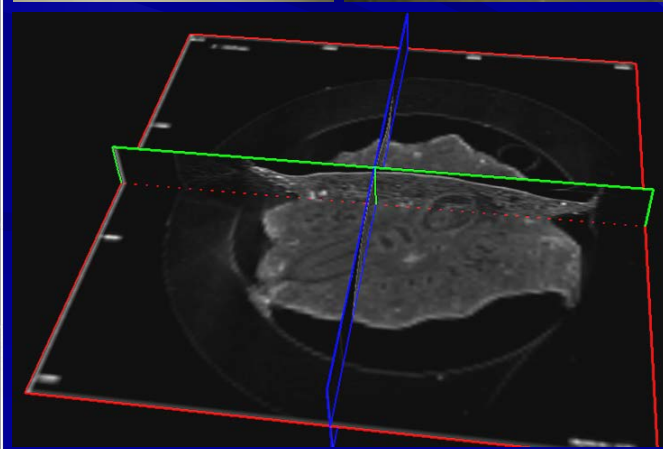
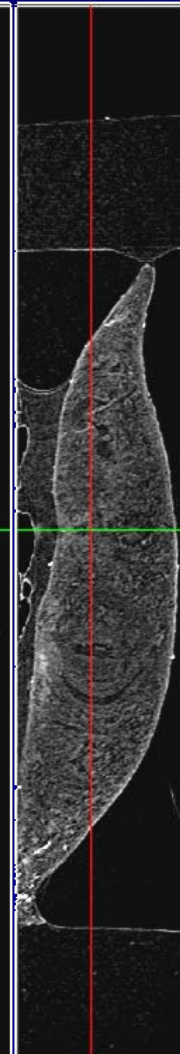
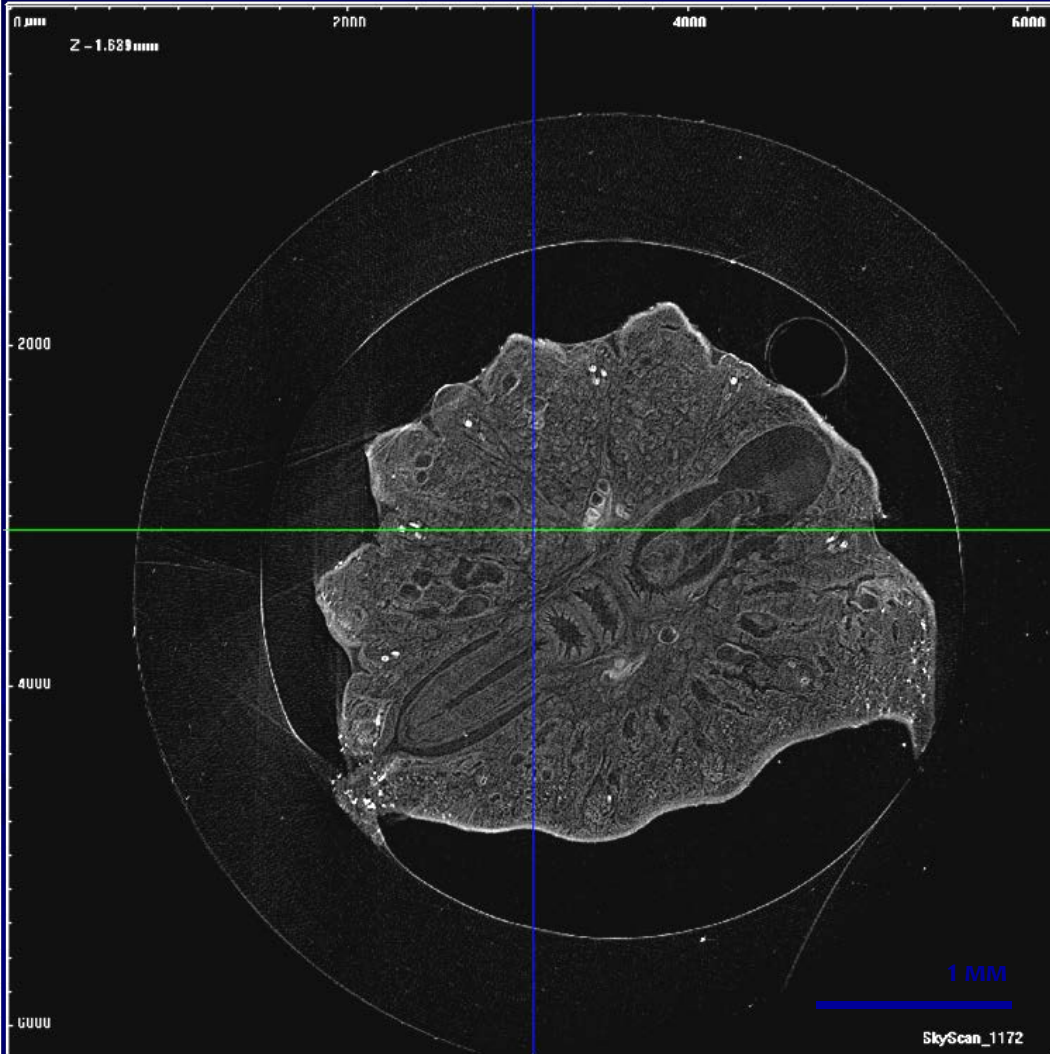
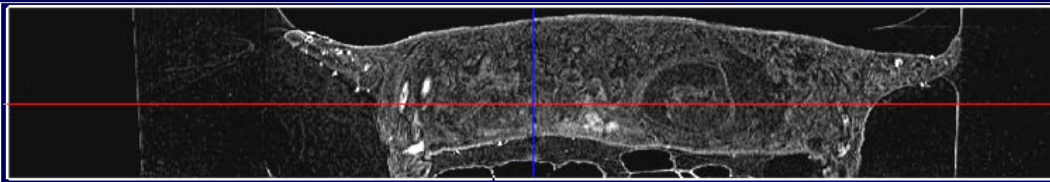
**Checking the shape of the rough stone in the position of max. size of the biggest brilliant and final round brilliant polished according to "blue" model**



**3D-model of the diamond shape based on the set of reconstructed cross sections with location of internal inclusions**

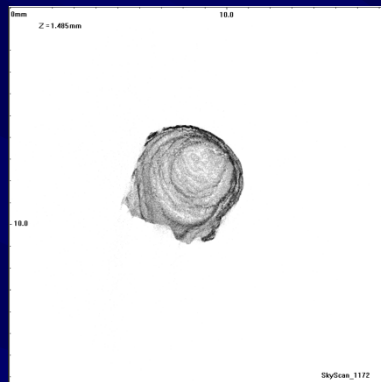
# Биологические исследования

## Полухета *Annelida Myzostomida*

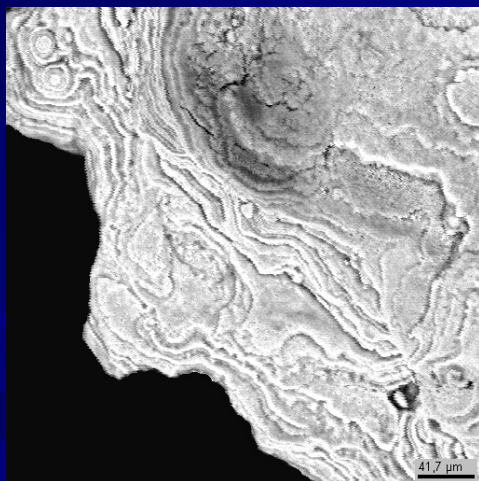


# Камни в организме человека

## Слюнный

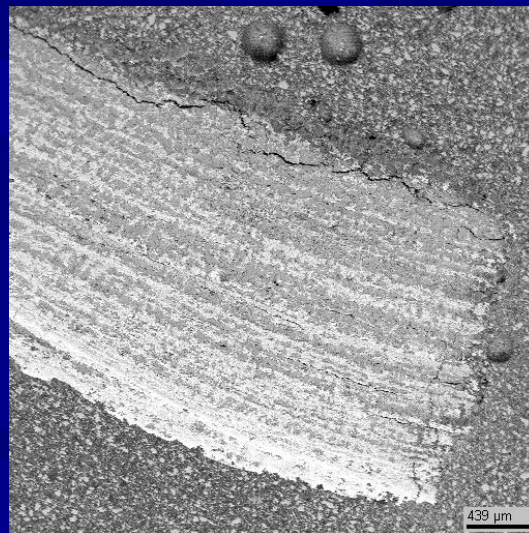


- Размер – 1-2.5 см
- Вес – 5.3 г

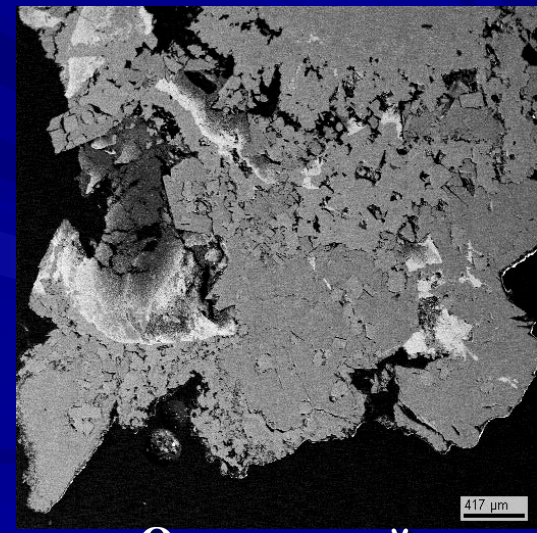


Оолитовая текстура с множеством микросферолитов (8-30 μm)

## Мочевые

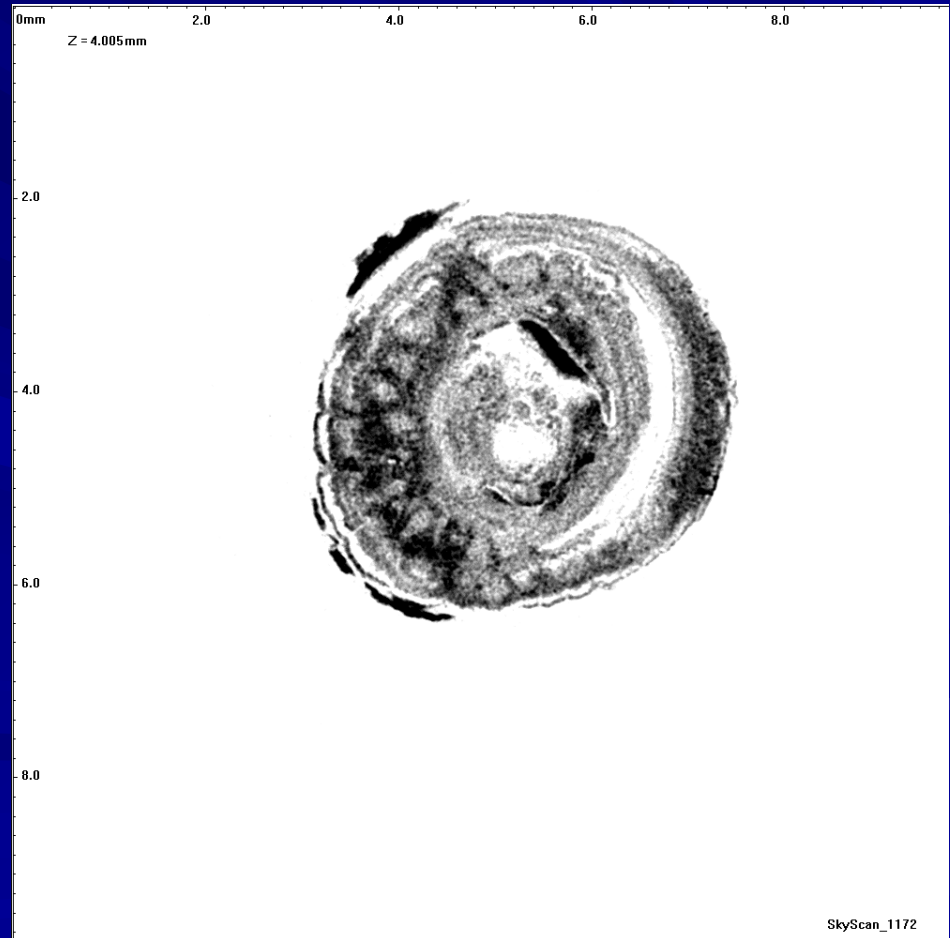
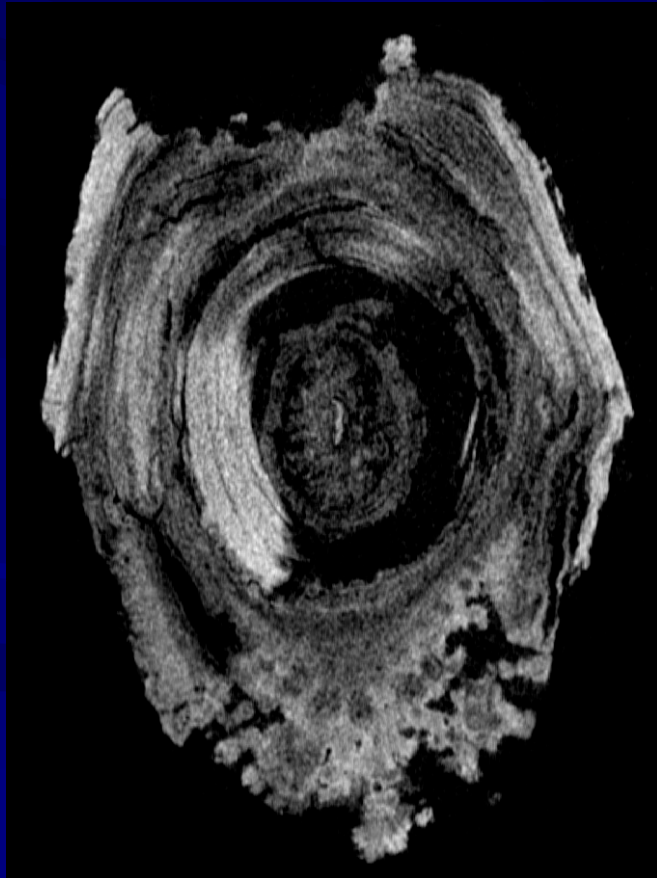
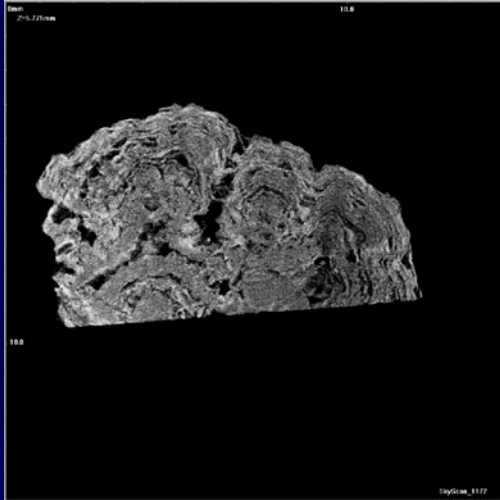


Чередование слоев апатита и струвита

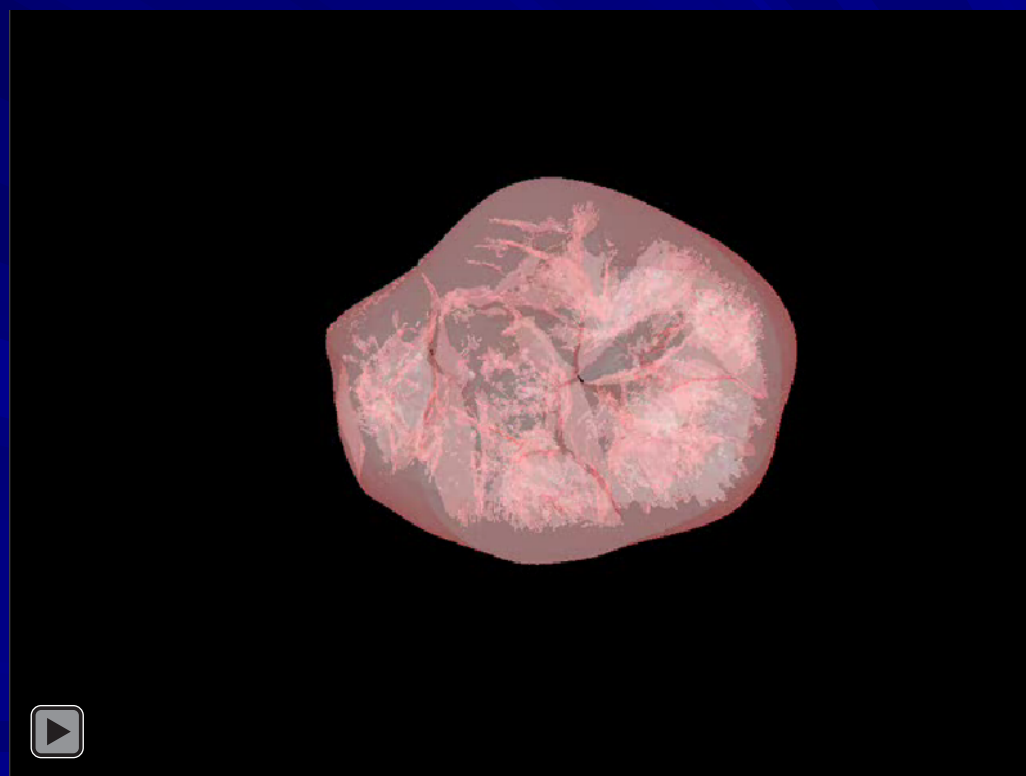
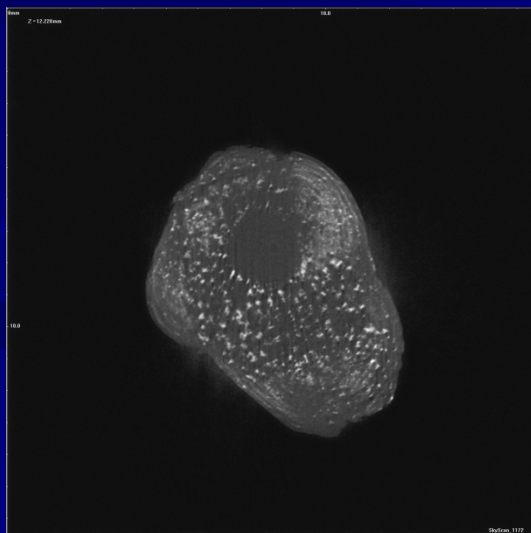
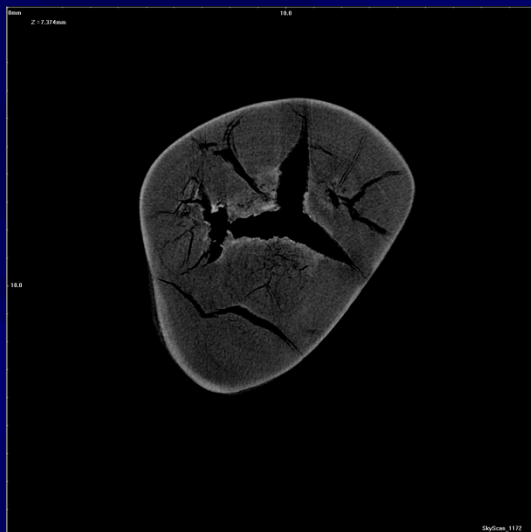


Оксалатный камень с зернами апатита

# Почечные камни

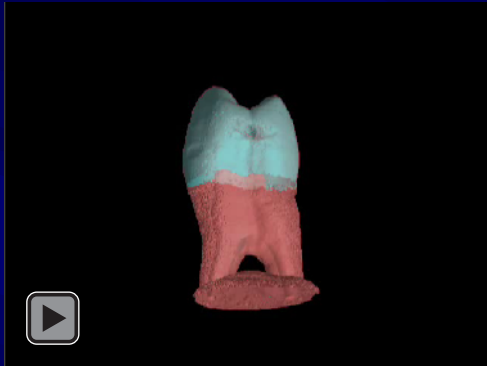


# Желчные камни

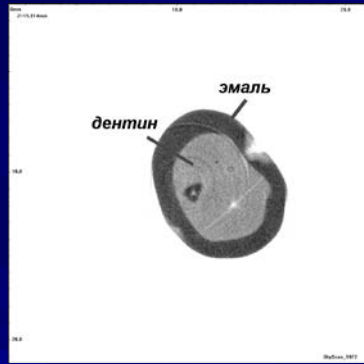


# Скрытые плотностные аномалии в твердых тканях зубов по данным компьютерной рентгеновской микротомографии

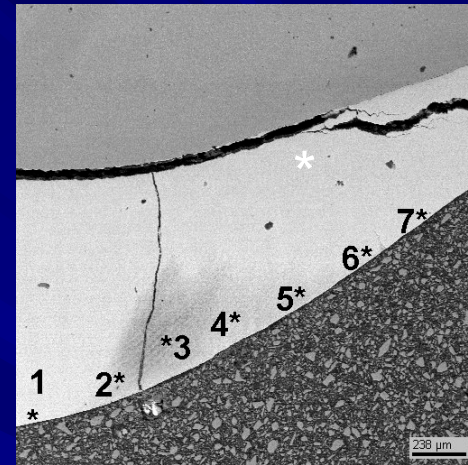
3D модель зуба  
15 лет, СПб



Сечение в плоскости  
перпендикулярной оси зуба



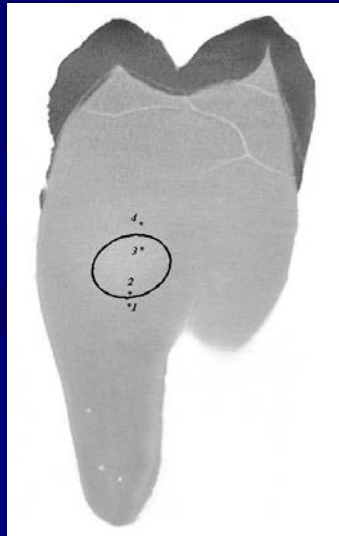
Структура эмали по данным МРА



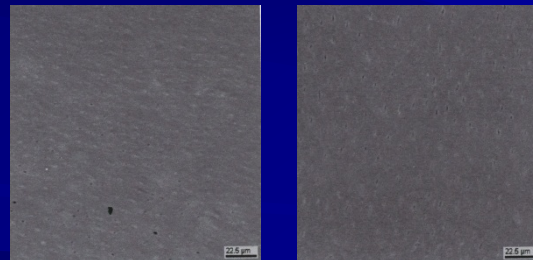
Ca/P

- 1 – 1.58
- 2 – 1.58
- 3 – 1.56
- 4 – 1.54
- 5 – 1.59
- 6 – 1.59
- 7 – 1.58

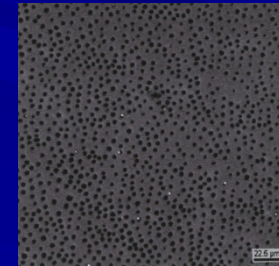
Сечение параллельное оси зуба  
14 лет, СПб



Структура дентина по данным SEM



Вне пятна (т.1 и т.4)



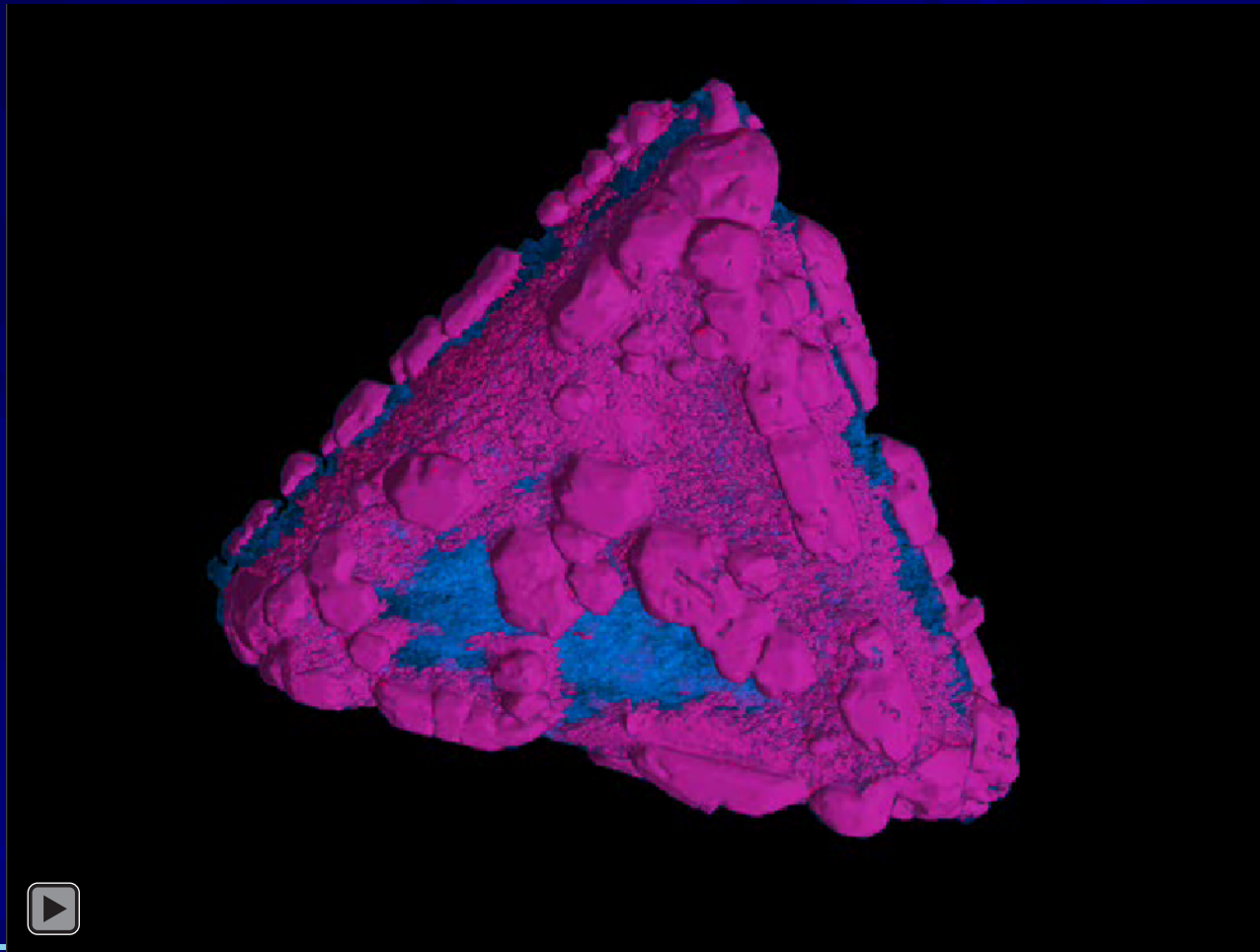
Внутри пятна  
(т.3)

Соотношение Ca/P в точках 1-4

- 1 – 1.61
- 2 – 1.62
- 3 – 1.66
- 4 – 1.62



**Распределение плотности в избыточно-объемной псевдоморфозе  $(Pb, Ba)(NO_3)_2$  по кристаллу  $Ba(NO_3)_2$  (автоэпитаксиальные наросты, 3D мСТ-изображение)**

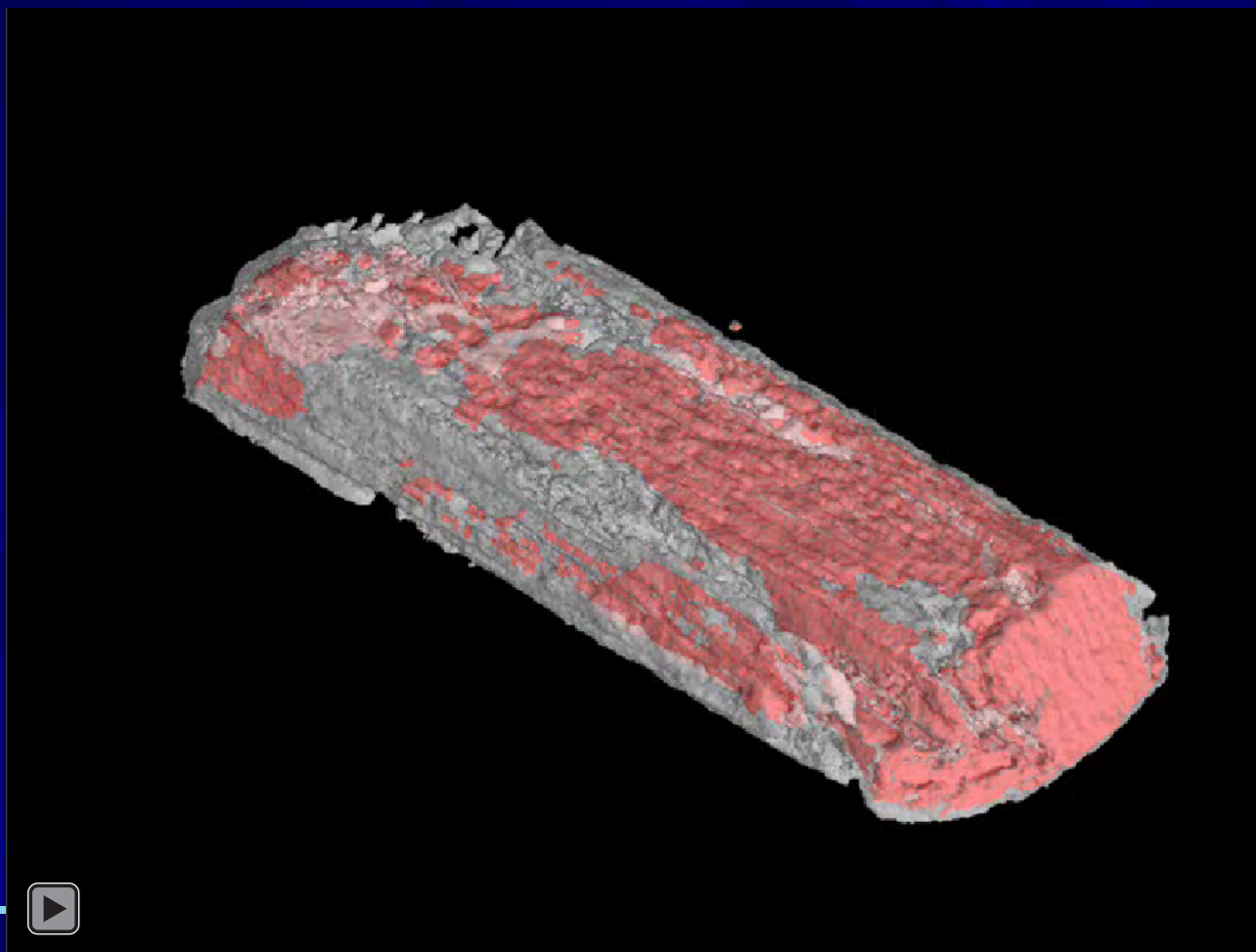


$V = 13.957 \text{ mm}^3$   
 $S = 135.503 \text{ mm}^2$



$V = 5.875 \text{ mm}^3$   
 $S = 185.488 \text{ mm}^2$

**Распределение плотности в псевдоморфозе  $(Mg,Ni)SO_4 \cdot 7H_2O$  по кристаллу  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  (двойное замещение – губчатый кристалл с автоэпитаксиальными наростами, 3D мСТ-изображение)**



1 мм

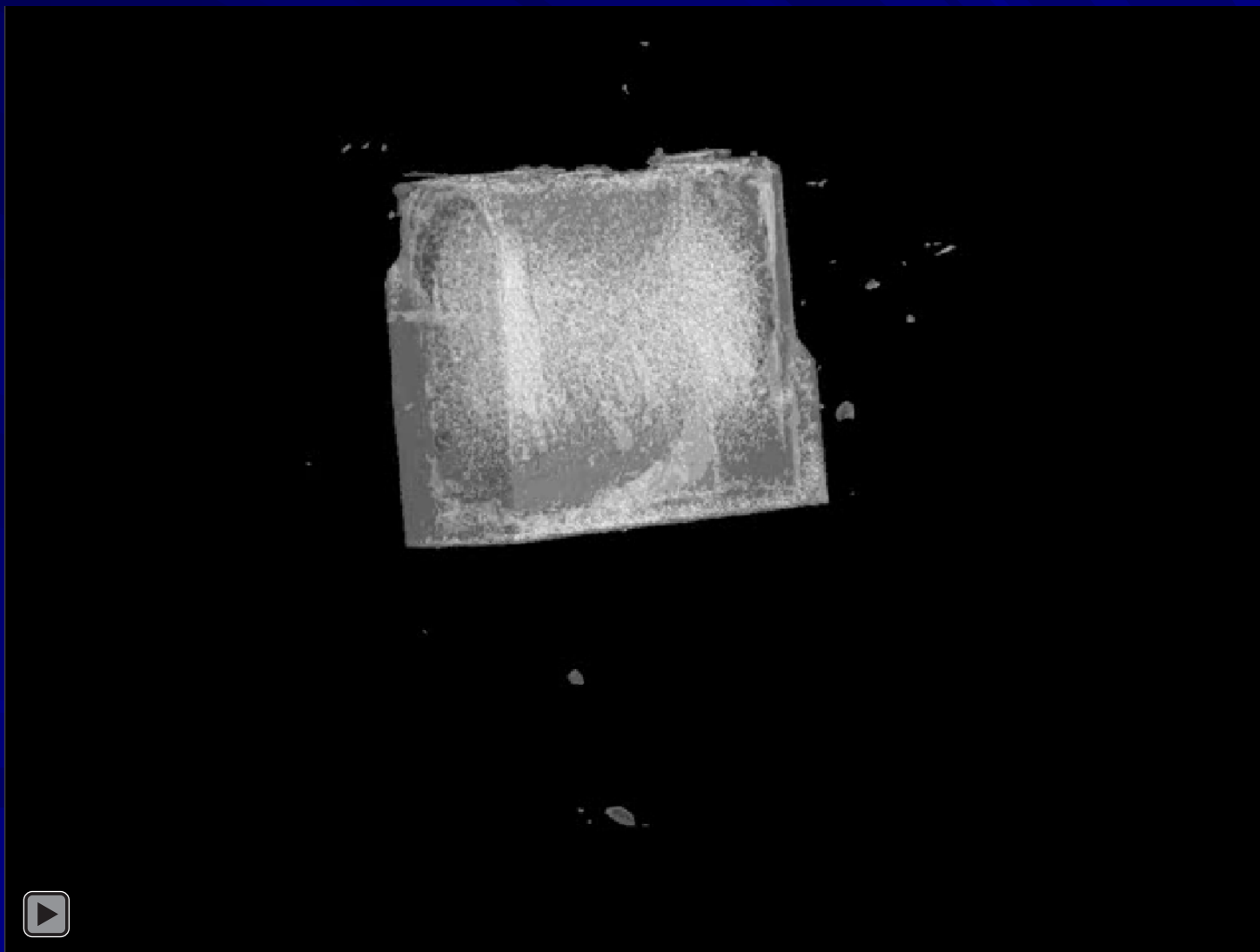


$V = 49.162 \text{ mm}^3$   
 $S = 275.021 \text{ mm}^2$

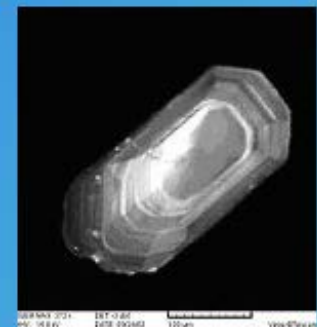
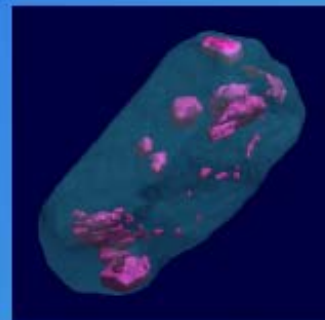
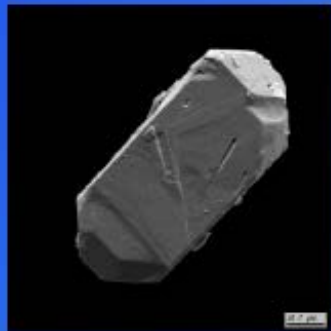


$V = 6.975 \text{ mm}^3$   
 $S = 146.445 \text{ mm}^2$

*Обрастание кристалла  $\text{NaClO}_3$  фазой  $\text{Na}(\text{Br}, \text{Cl})\text{O}_3$*



*Циркон из гранитов Киринского массива, Байкал*



## Objects

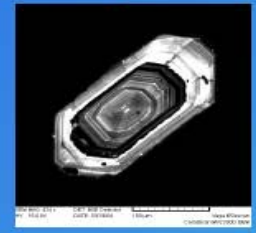
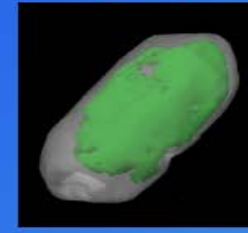
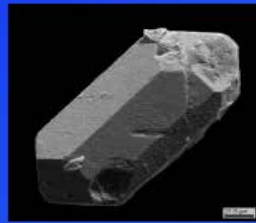
## SEM

## Optic

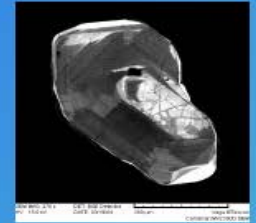
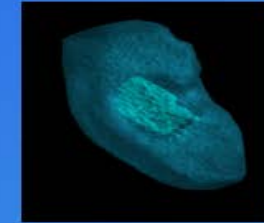
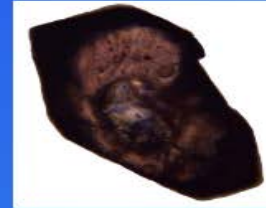
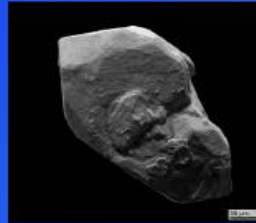
## mCT

## CL

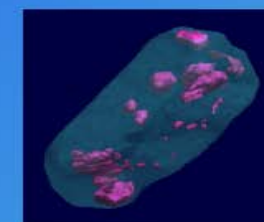
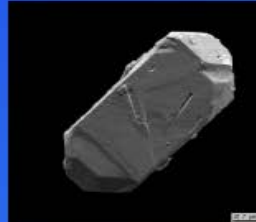
**1270** - zircon from granite.  
Mongolia.



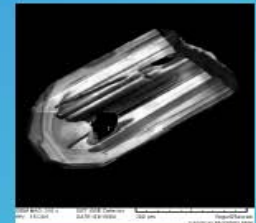
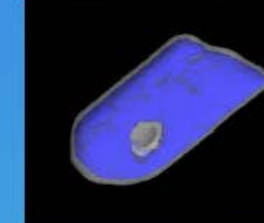
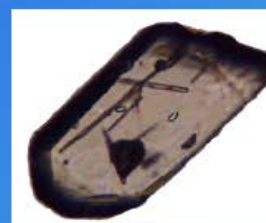
**5813** - zircon from pegmatite.  
S.-W. margin of the Siberia craton,  
Lake Baikal.  
2557 ± 28 Ma



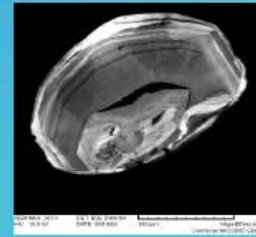
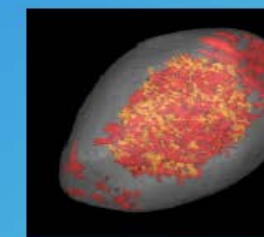
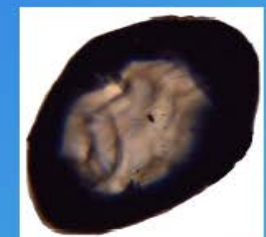
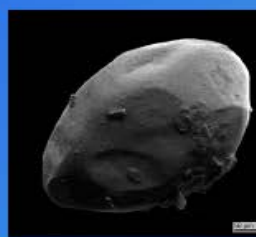
**KPH007** - zircon from alkaline  
granite. Kirin massif, Baikal region.  
173 ± 2 Ma



**A134** - zircon from granite.  
Dzhugdzhuro-Stanovoy mobile belt,  
Siberia craton.  
~ 135 Ma



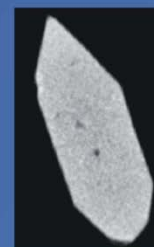
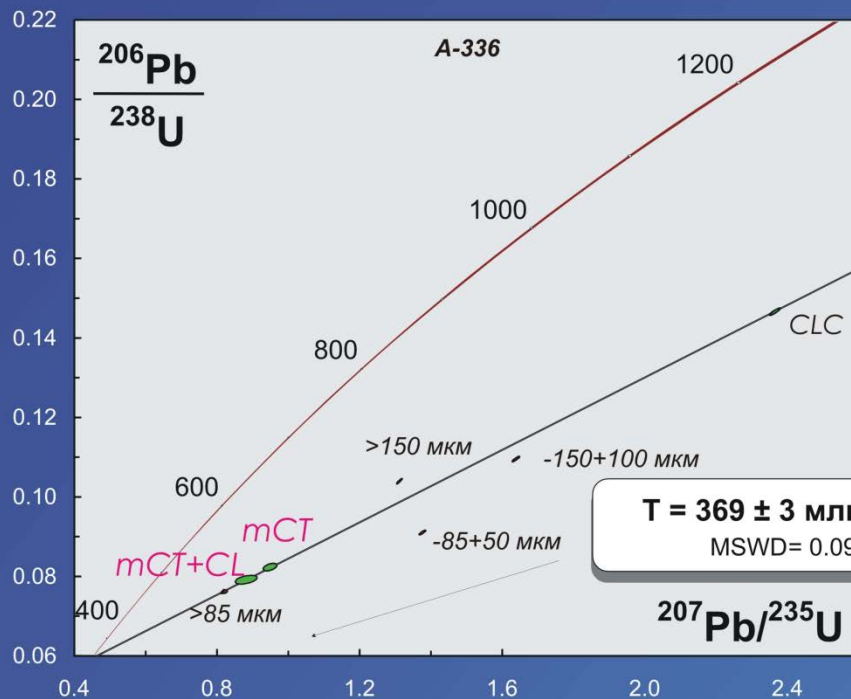
**Vish** - zircon from alkaline sienite.  
Vishnevogorsk, Ural mountains.





# Примеры использования микротомографии в геохронологии

**A336** - циркон из биотитового гранита, позднестановой комплекс Джугджуро-Становой складчатой области (ДССО)



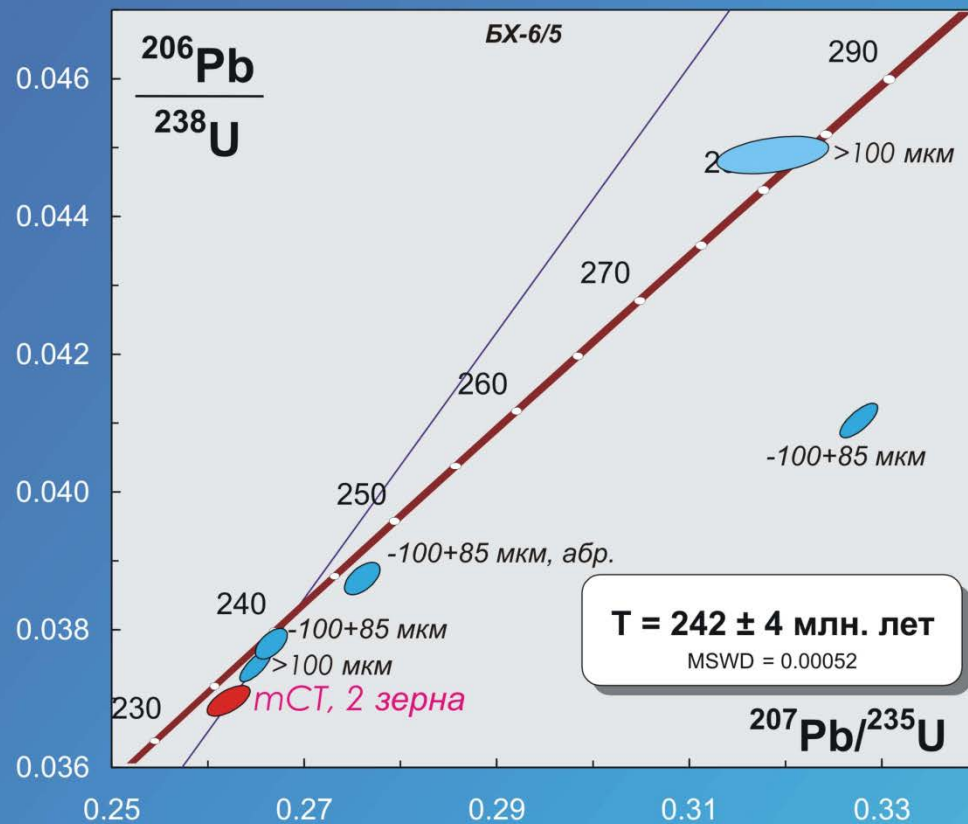
И L4



**БХ 6/5 - циркон из биотитового гранодиорита, обрамление Баян-Хонгорской офиолитовой зоны, Хангайский террейн**



IL4





# Тажеранит и кальциртит

**Цвет** оранжевый, светло-коричневый

**Плотность** 4,9.

**Сингония** кубическая.

**Форма кристаллов** округлые или коротко-столбчатые изометричные кристаллы

**Цвет** темно-бурый до почти черного,

желтовато-бурый, желтовато-зеленый, темно-зеленый.

**Плотность** 4,97-5,09.

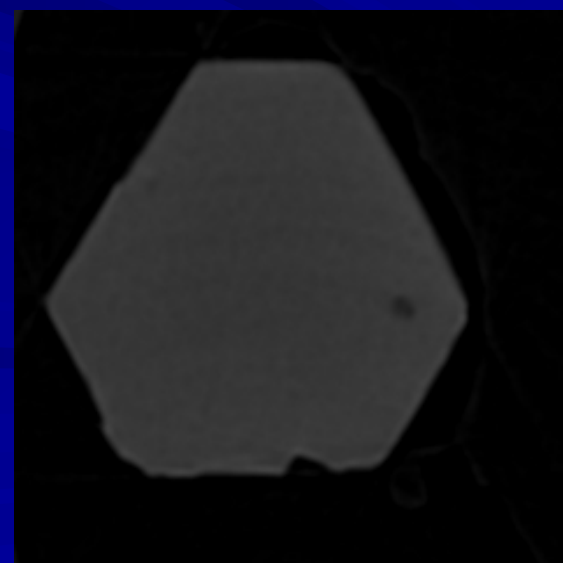
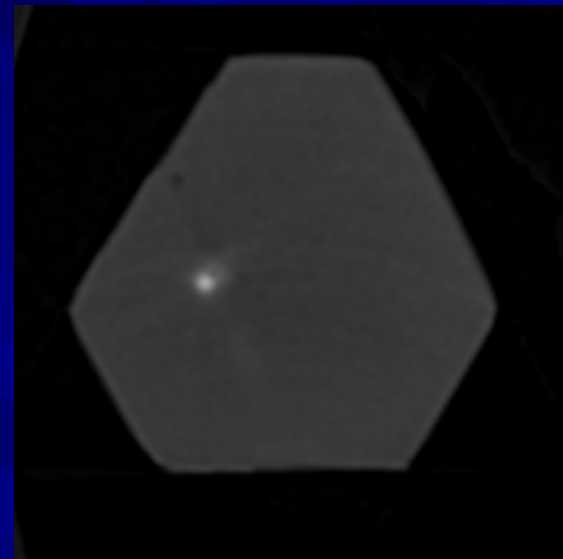
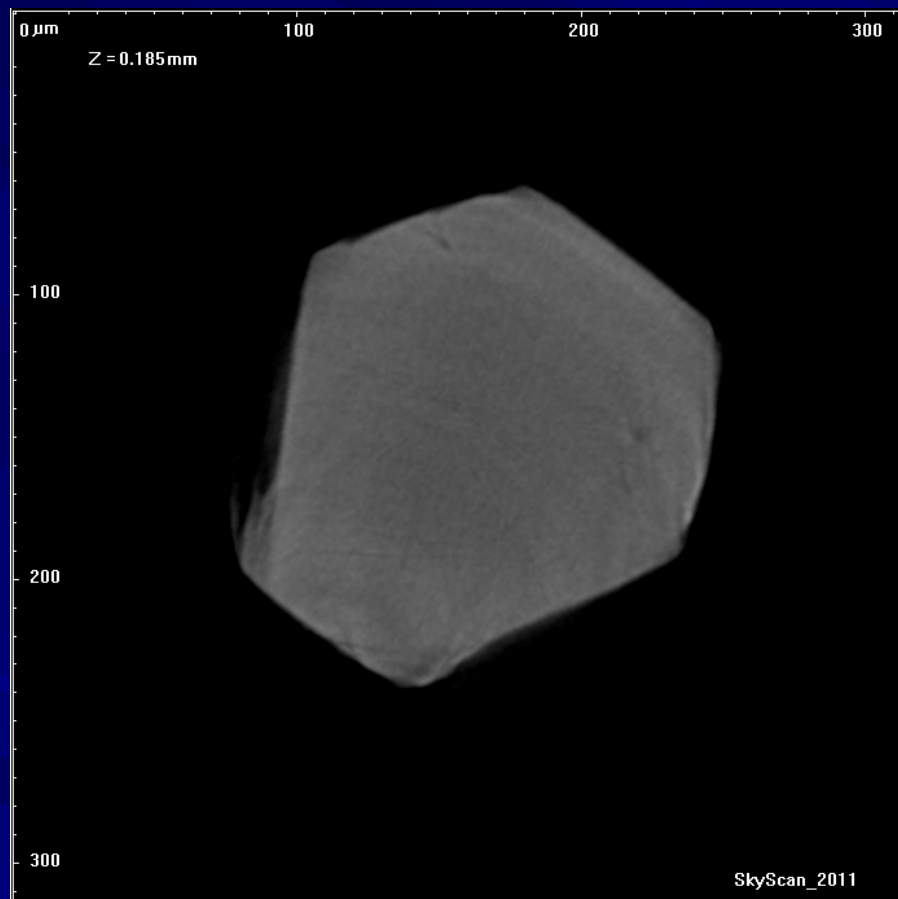
**Сингония** тетрагональная.

**Форма кристаллов** дипирамидальная. короткопризматическая, дипирамидально-призматическая.

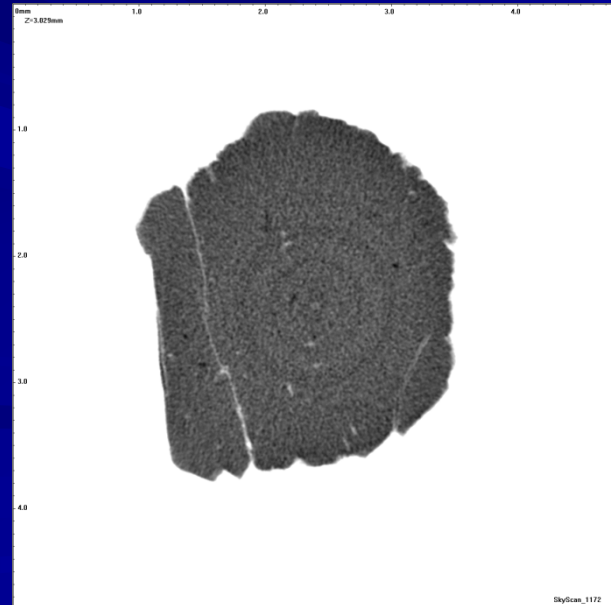
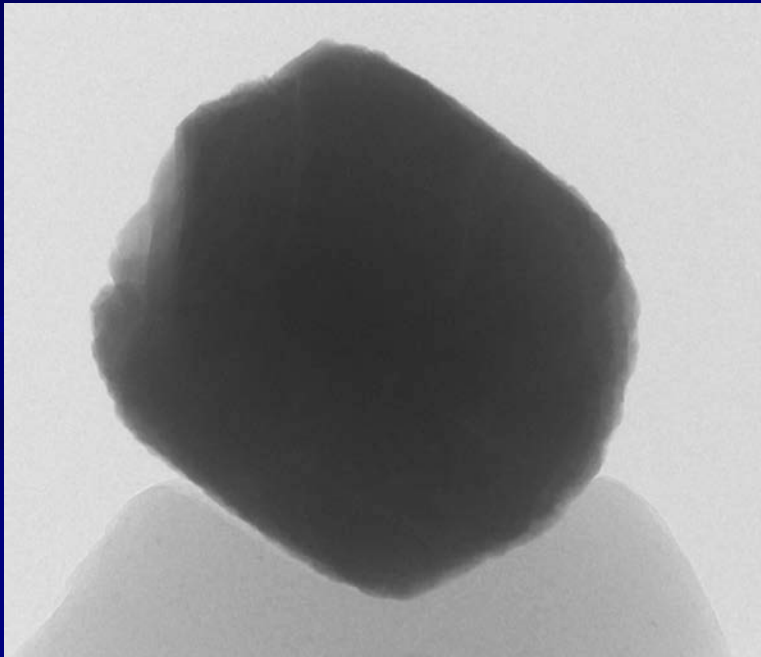
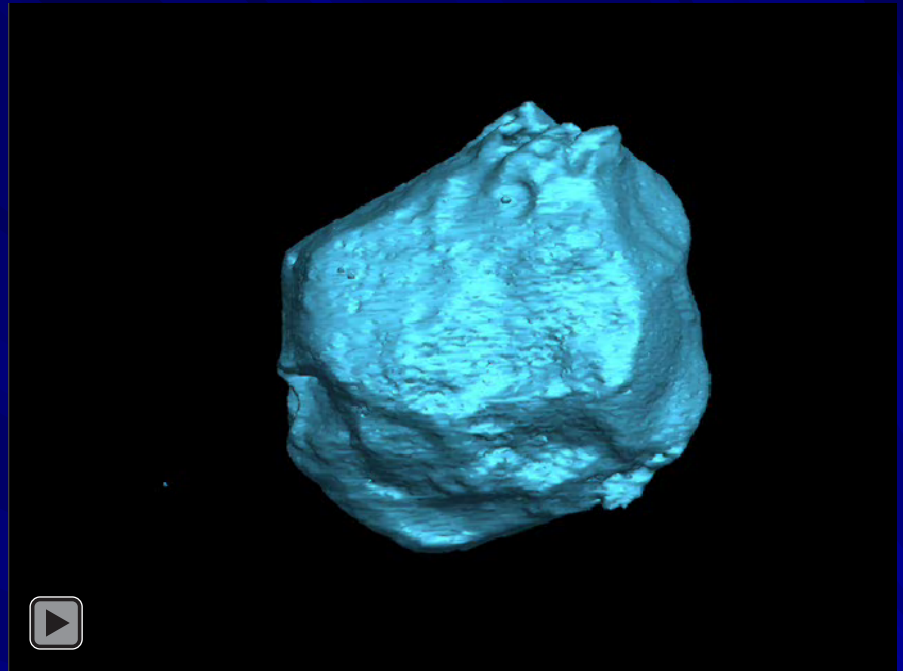
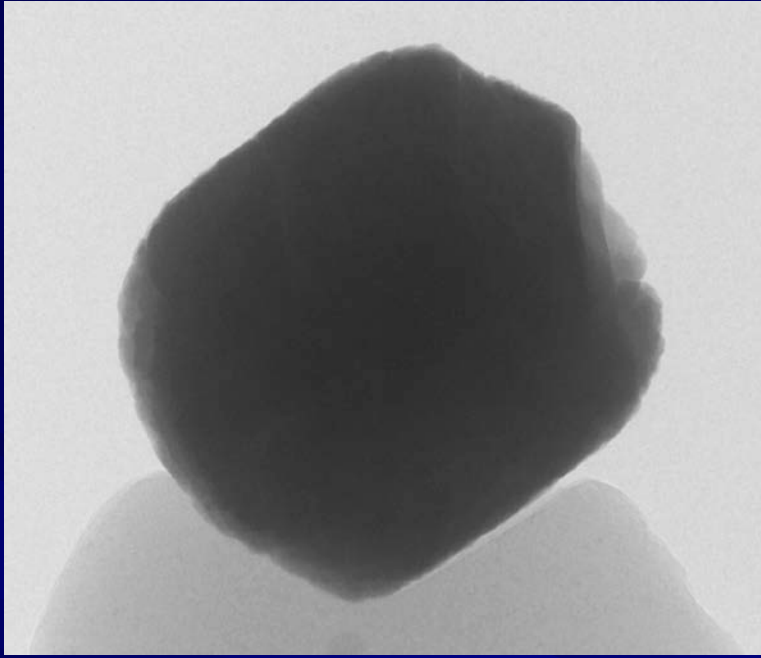
**Агрегаты** кристаллы и их сростки, округлые зерна.



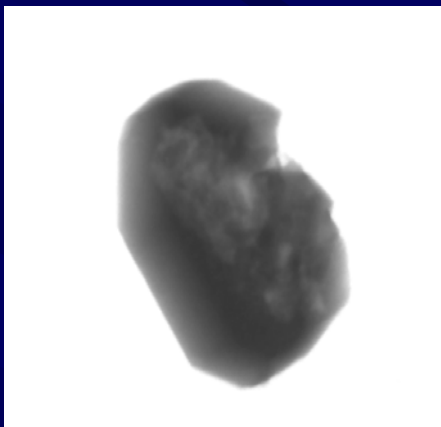
# Кристаллы апатита для датирования U-Th-He методом



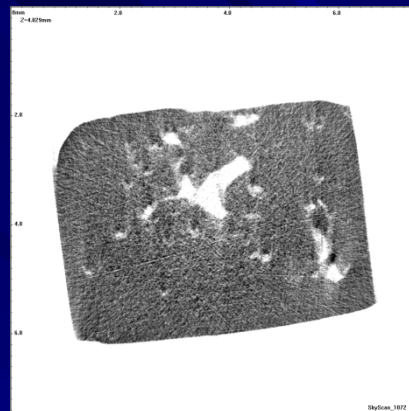
# Гранаты (Монголия)



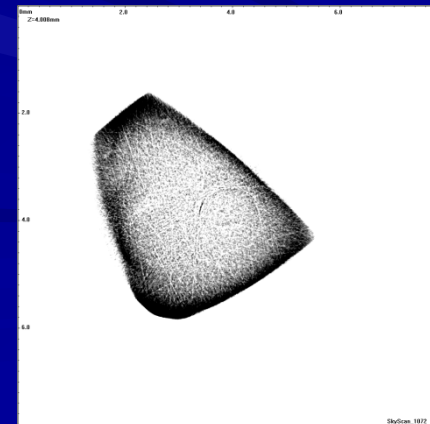
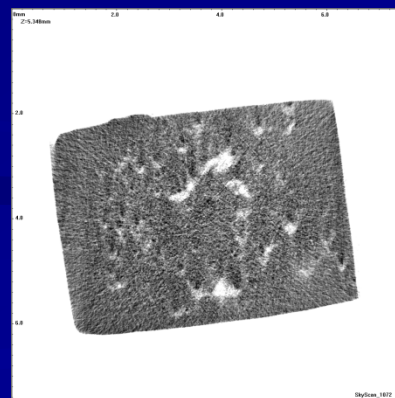
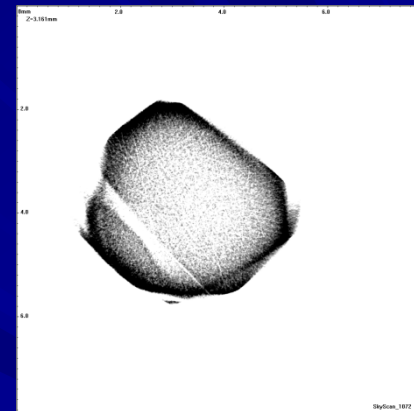
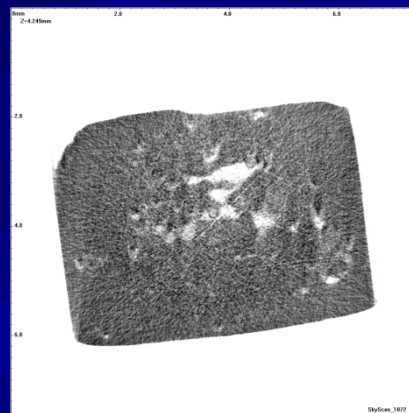
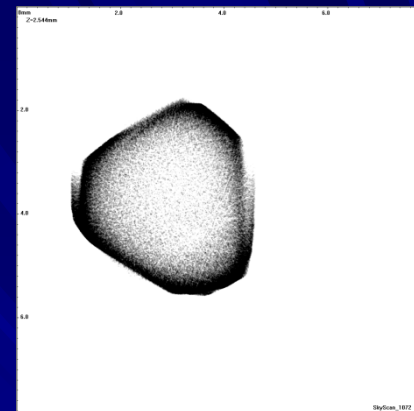
**Mon**  
**Ce[PO<sub>4</sub>]**



**FeS**



**PbS**



# ***μКТ – что дальше?***

## **СЕГОДНЯ**

## **ЗАВТРА**

## **ПОСЛЕЗАВТРА**

- **сопровождение «классических» методик**
- **визуализация свойств**
- **контроль качества образцов**
- **неинвазивное изучение уникальных образцов**
- **палеонтологические работы без извлечение объекта из образца**
  
- **изучение особенностей взаимоотношений разных компонент**
- **типизация объектов и создание атласов для разных материалов**
- **создание технического регламента для μКТ в производстве**
  
- **компьютерное моделирование процессов по μКТ данным**
- **экспериментальное изучение природных процессов**
- **изучение техногенного воздействия на образцы**



**Спасибо за внимание!**