

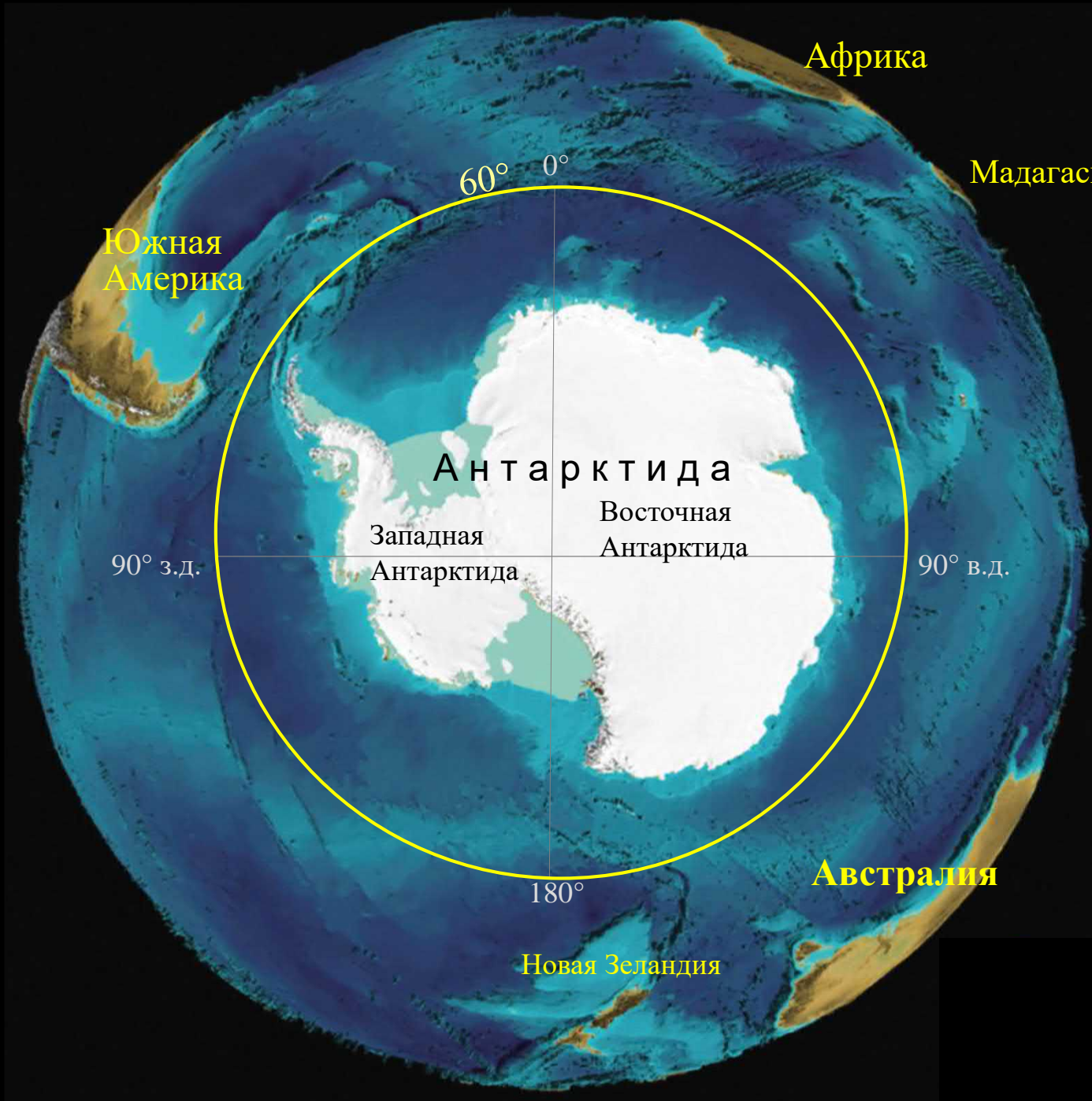


# Подледниковое озеро Восток в Антарктиде: Последнее географическое открытие

**Лейченков Г.Л.**

Институт наук о Земле, СПбГУ  
ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга

29 мая 2017 г.  
Ученый Совет СПбГУ



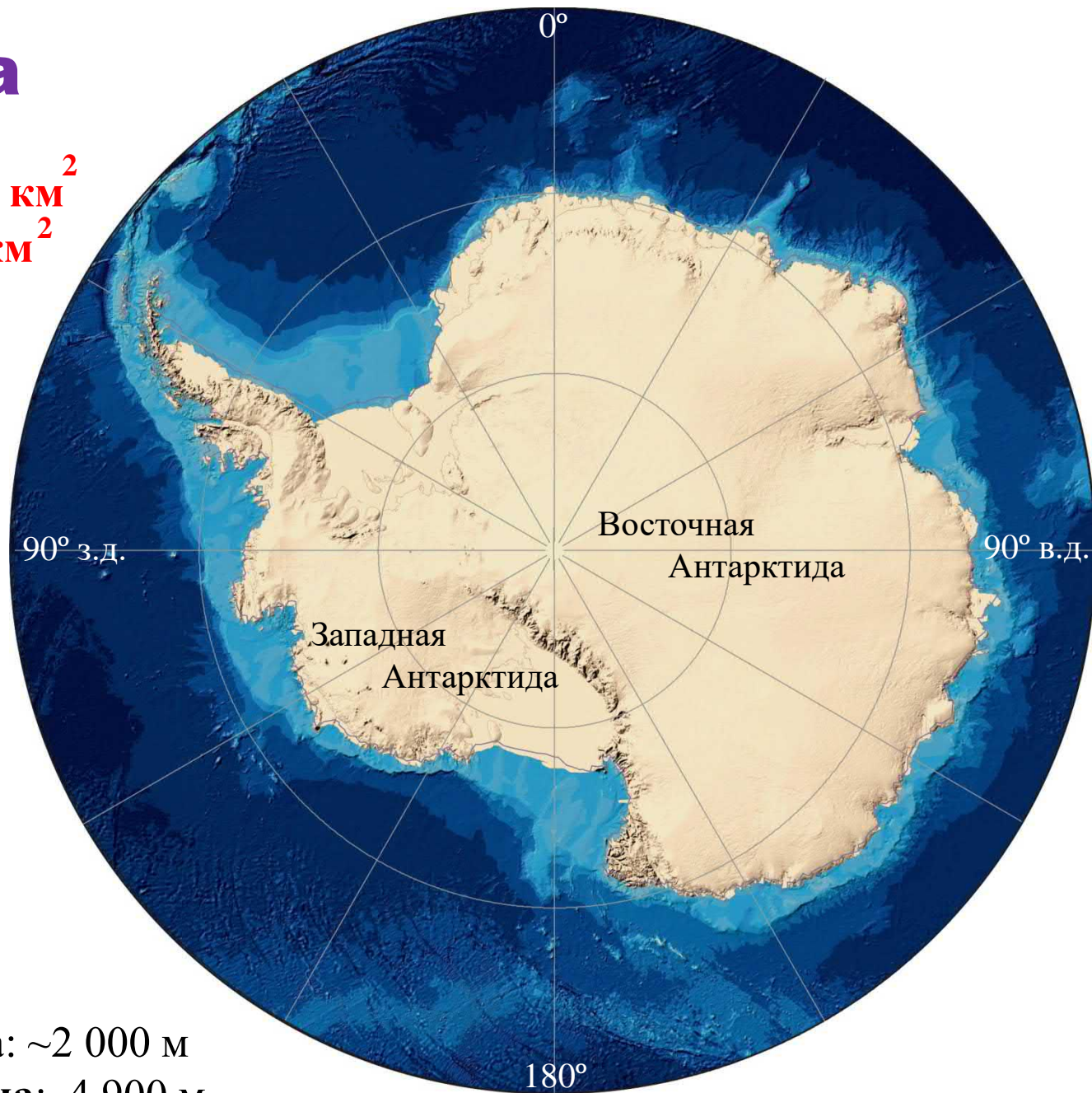


# Антарктика

Антарктида: 13,9 млн. км<sup>2</sup>

Антарктика: 35 млн. км<sup>2</sup>

Обнажено - 0,3%



Средняя толщина льда: ~2 000 м

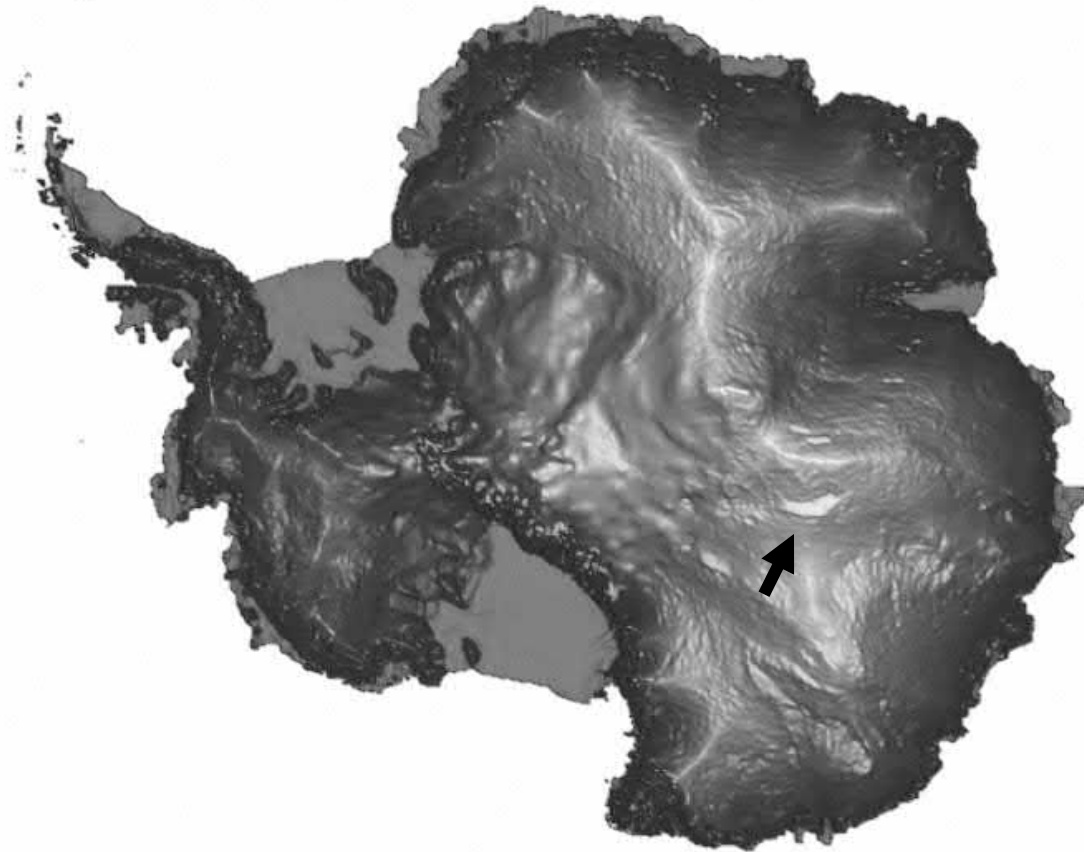
Максимальная толщина: 4 900 м

Объем льда в эквиваленте подъема уровня мирового океана: 58 м

# nature

INTERNATIONAL WEEKLY JOURNAL OF SCIENCE

Volume 381 No 6584 20 June 1996



*Kapitsa A.P. et al. A large deep  
freshwater lake beneath the ice  
of central East Antarctica*

## Озеро подо льдом

Длина - 280 км  
Ширина - до 80 км  
Глубина - 500 м

**Giant lake beneath the Antarctic ice**

# **История открытия озера Восток**

1955 г



**INTERNATIONAL  
COUNCIL  
FOR SCIENCE**

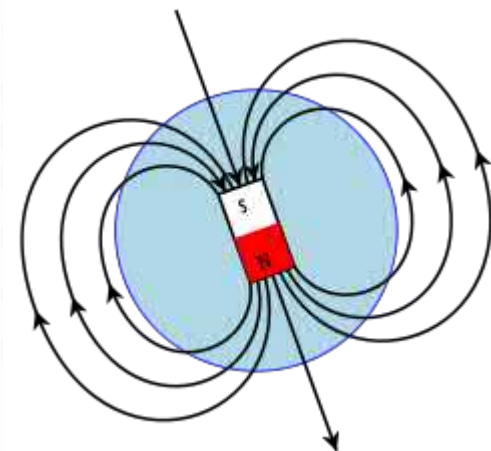
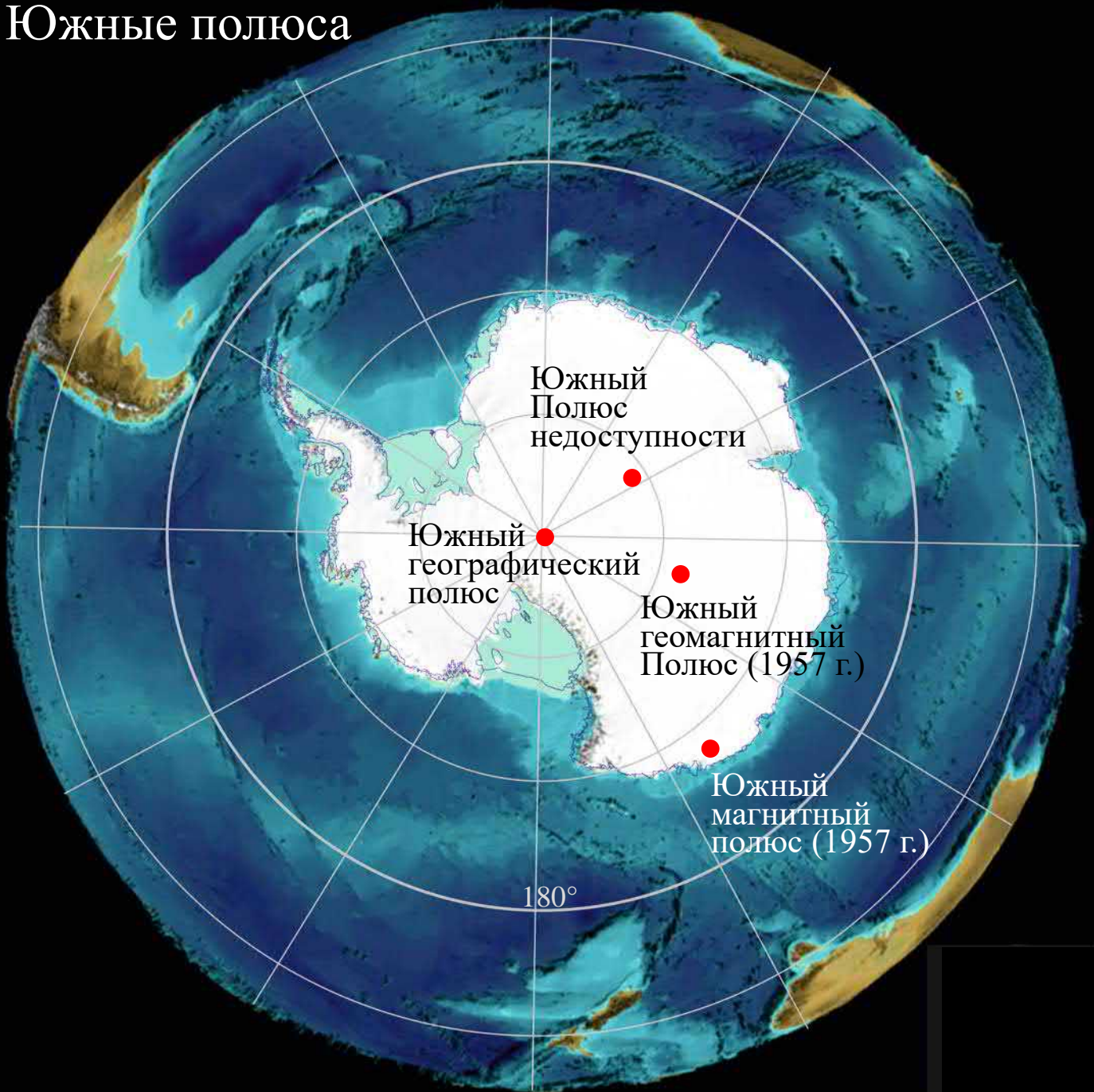
International Council of Science Unions (from 1931)

Международный совет научных союзов

**Совещание в июле 1955 г. (г. Париж) по проведению  
Международного геофизического года (МГГ) - 1957-1958**



# Южные полюса



Южный геомагнитный Полюс в 1957 г.:

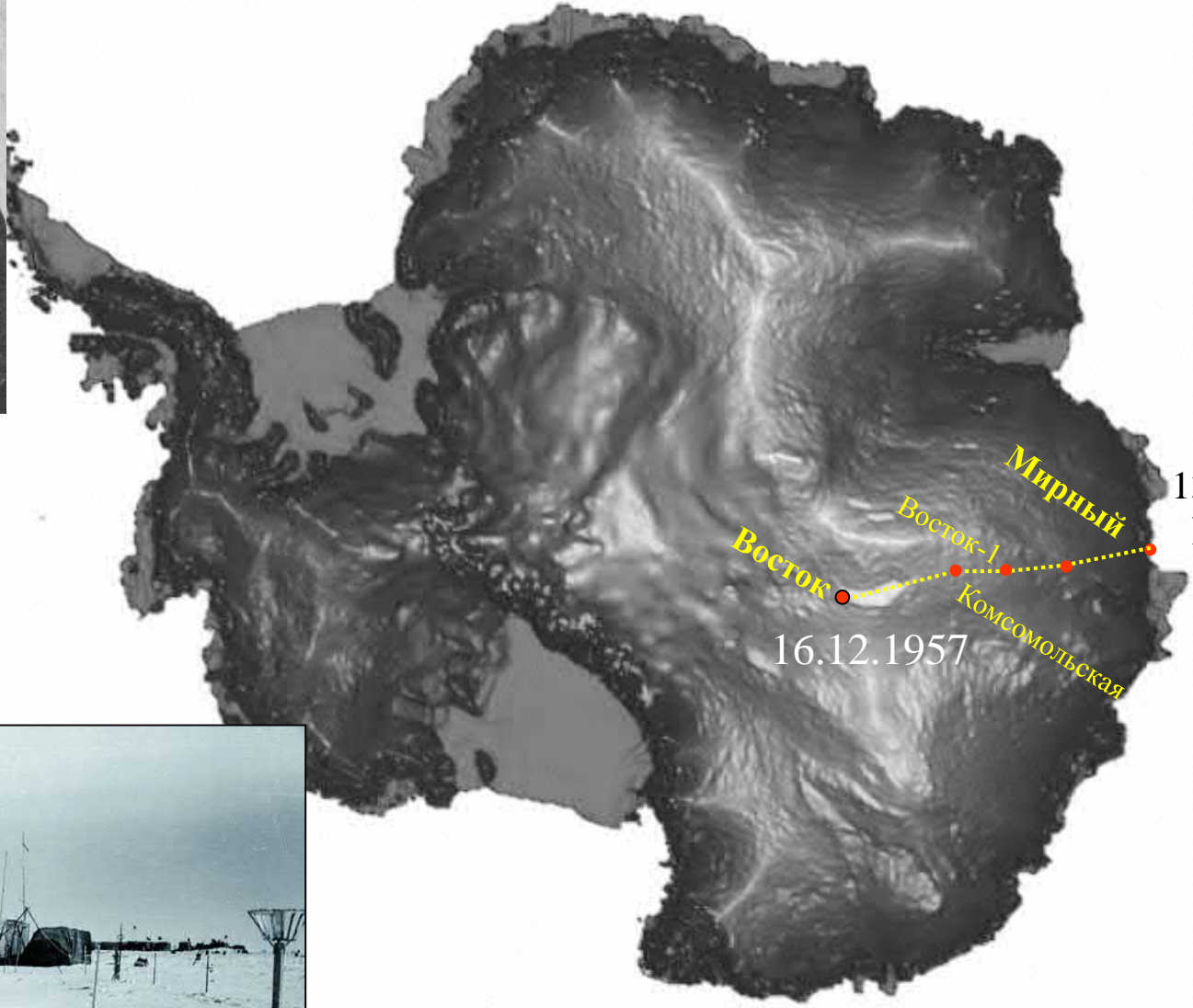
78,5° ю.ш.

110° в.д.



*Алексей Фёдорович  
Трешников*

**1957 г**

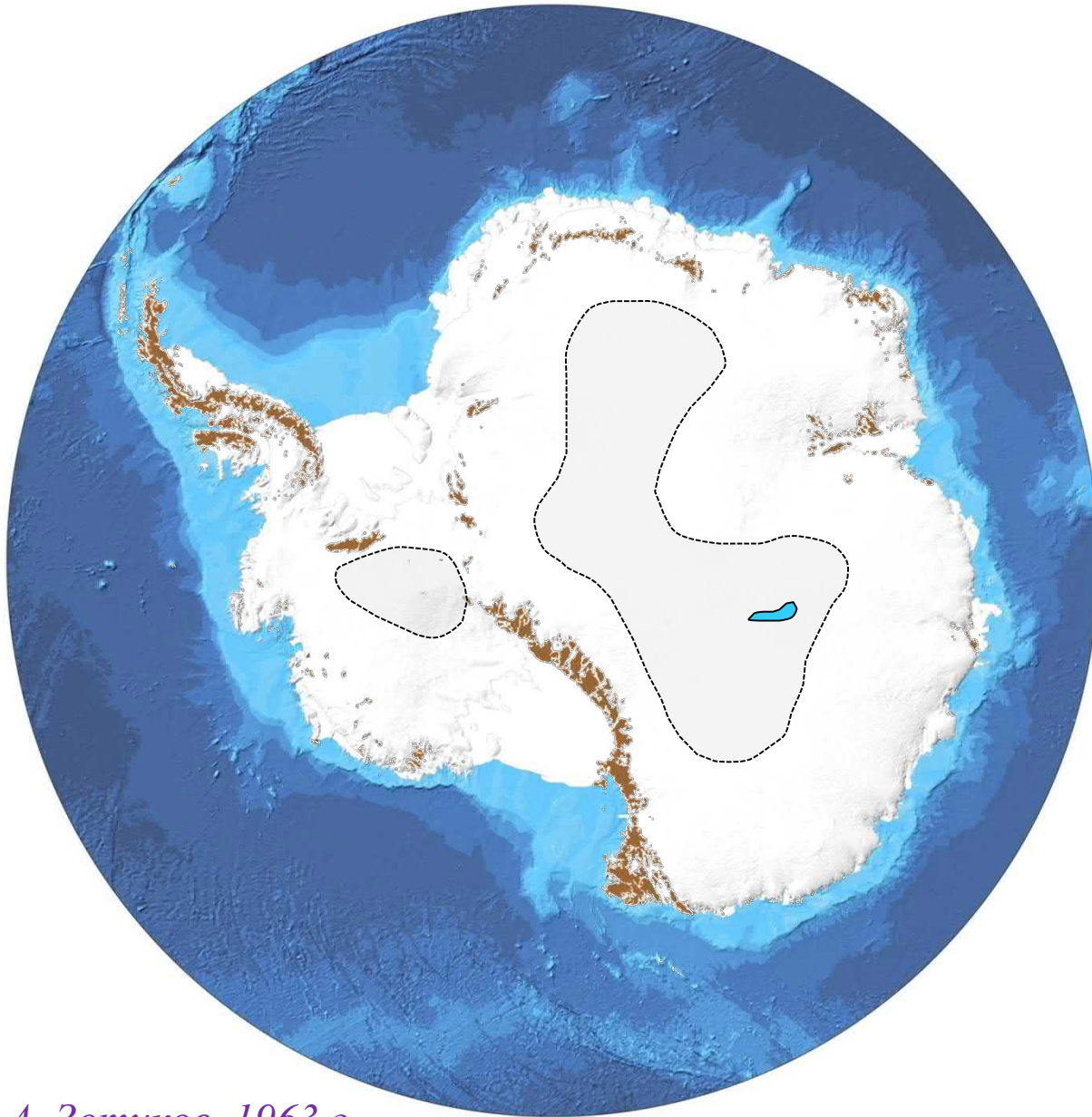


78°28' ю. ш. 106°50' в. д.



# Площадь таяния нижней поверхности льда в Антарктиде

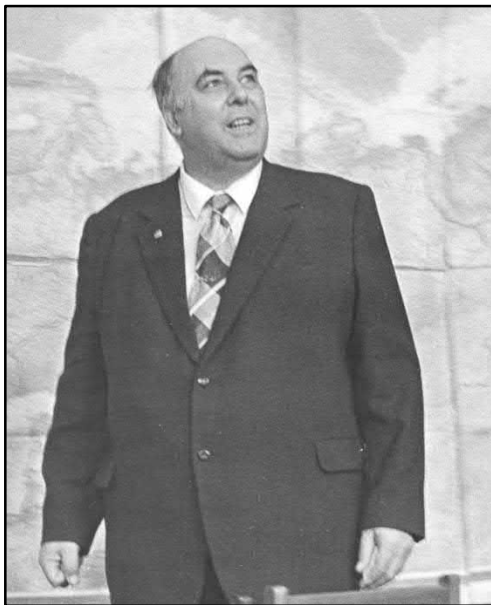
1963 г



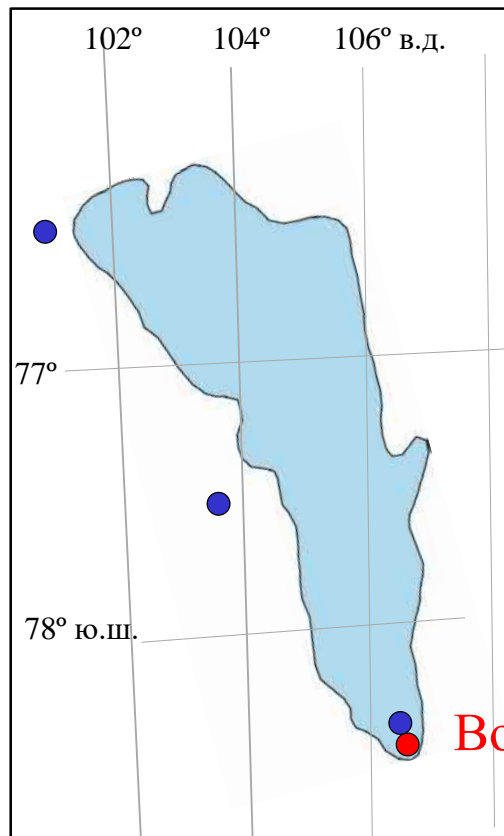
*Игорь Алексеевич Зотиков*

*И.А. Зотиков, 1963 г.*

# Сейсмические исследования (А.П. Капица)



*Андрей Петрович  
Капица*



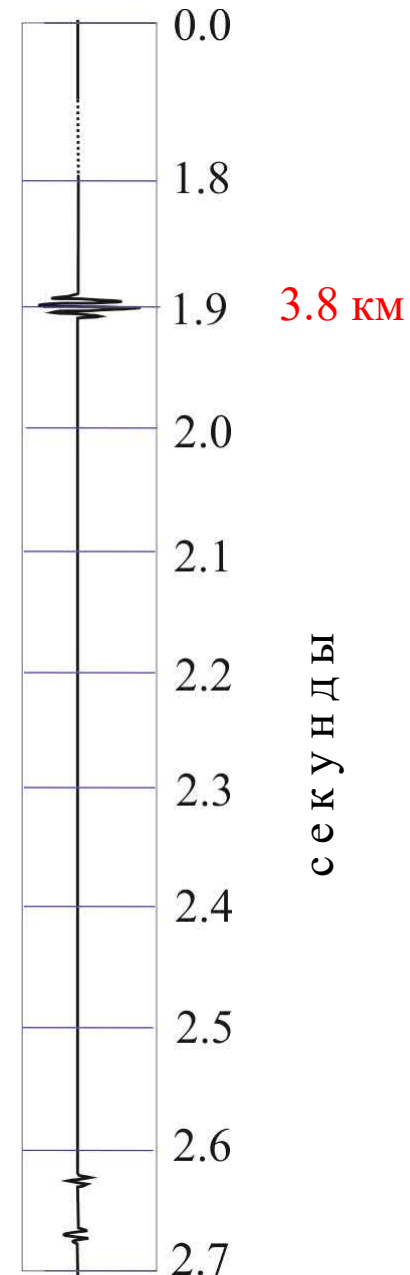
● Пункты сейсмических наблюдений

**1964 г**

Сейсмограмма,  
полученная  
на станции  
Восток

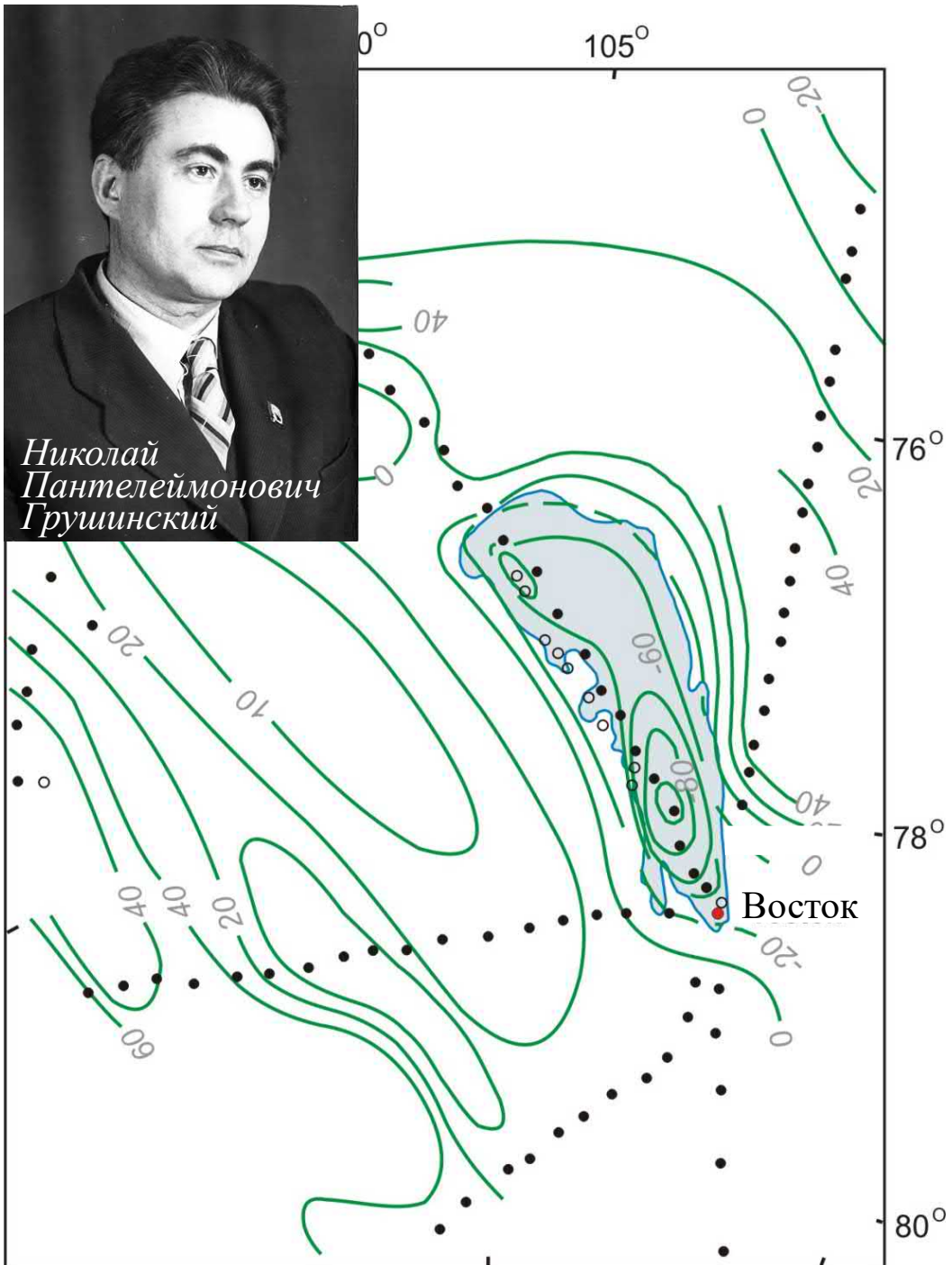


**Заряд:  
5 кг тротила**



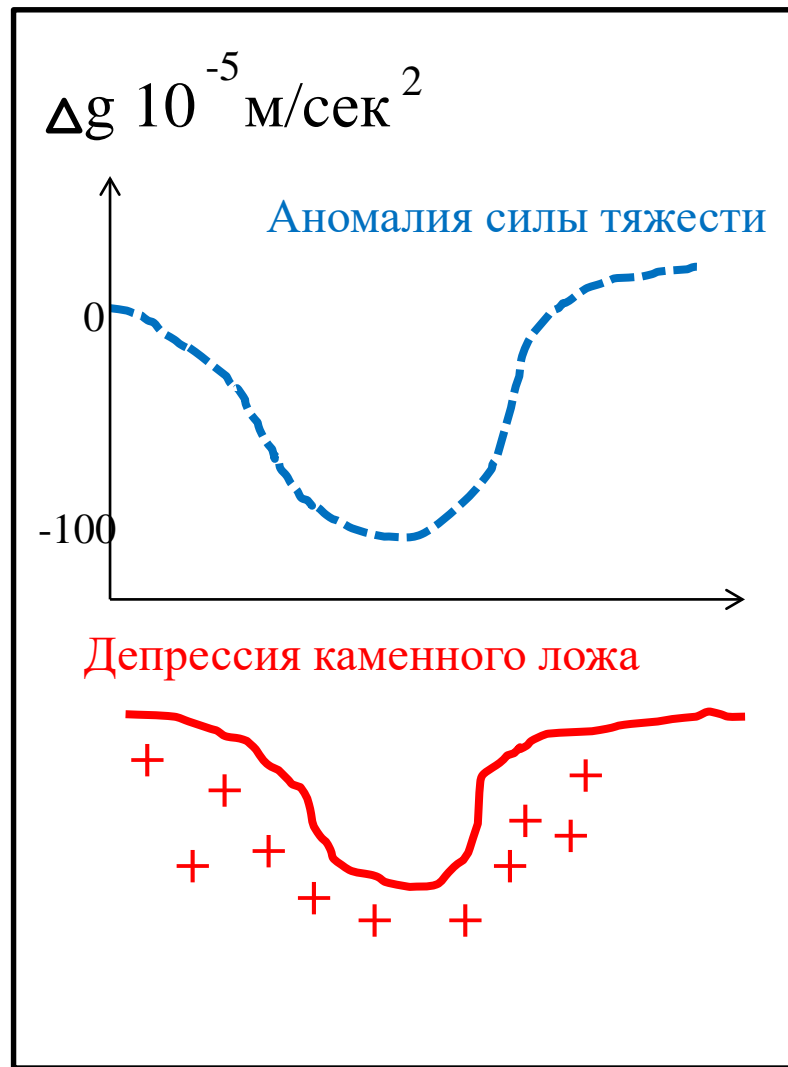


Николай  
Пантелеймонович  
Грушинский



# Гравиметрические исследования

1972 г



$\Delta g \cdot 10^{-5} \text{ м/сек}^2$

Аномалия силы тяжести

Депрессия каменного ложа

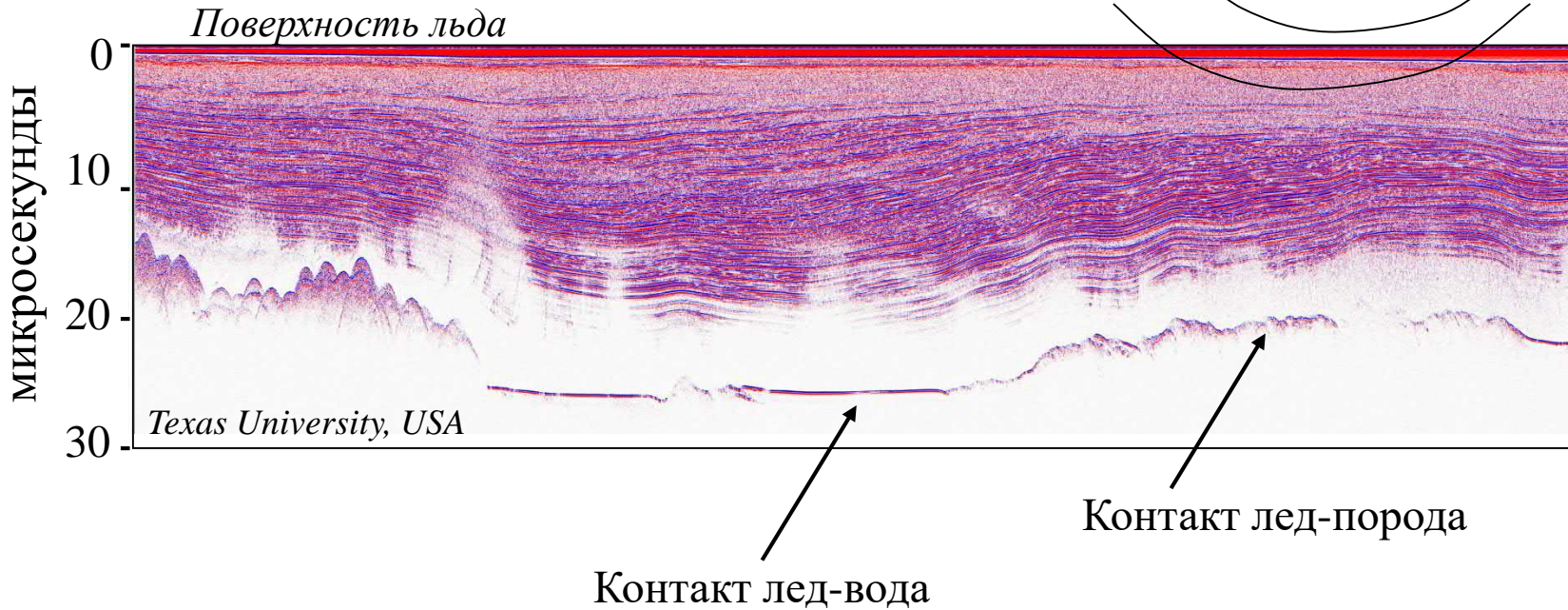
Капица, 1968; Грушинский и др., 1972



# Радиолокационные исследования

Изучение подледной морфологии Антарктиды

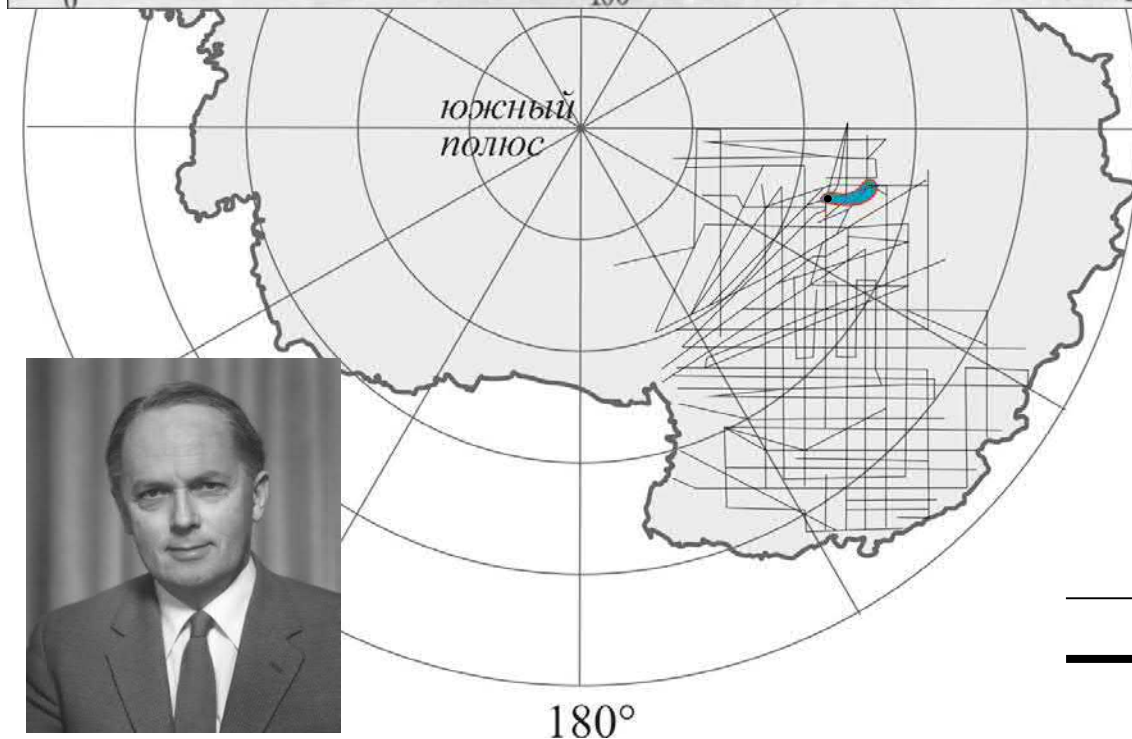
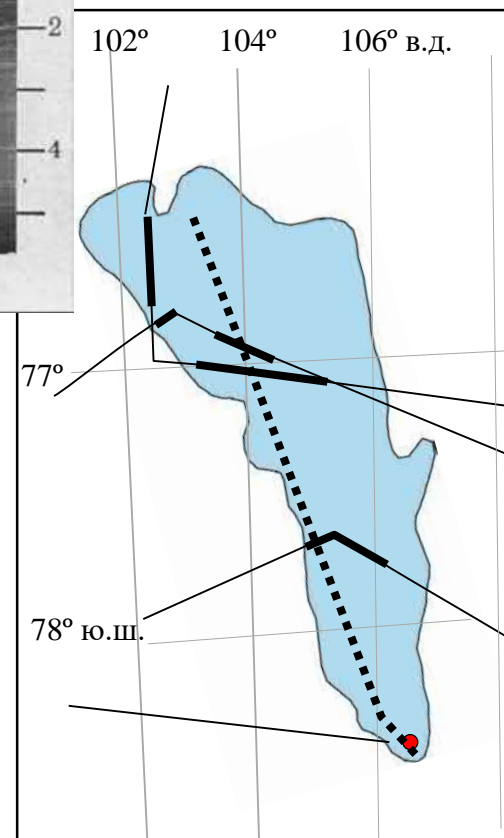
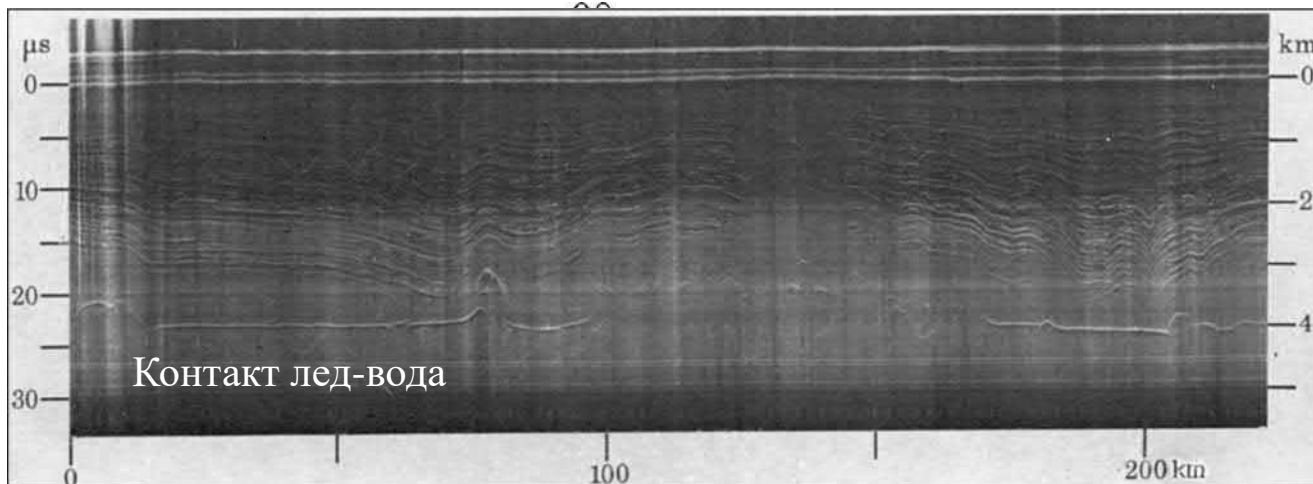
Радиолокационный разрез ледникового покрова Антарктиды (радиосигнал – 30- 100 мГц)



Скорость во льду = 169 000 000 м/с (169 м/мкс)

# Радиолокационные исследования института Скотта (Великобритания) 1967-1975 гг.

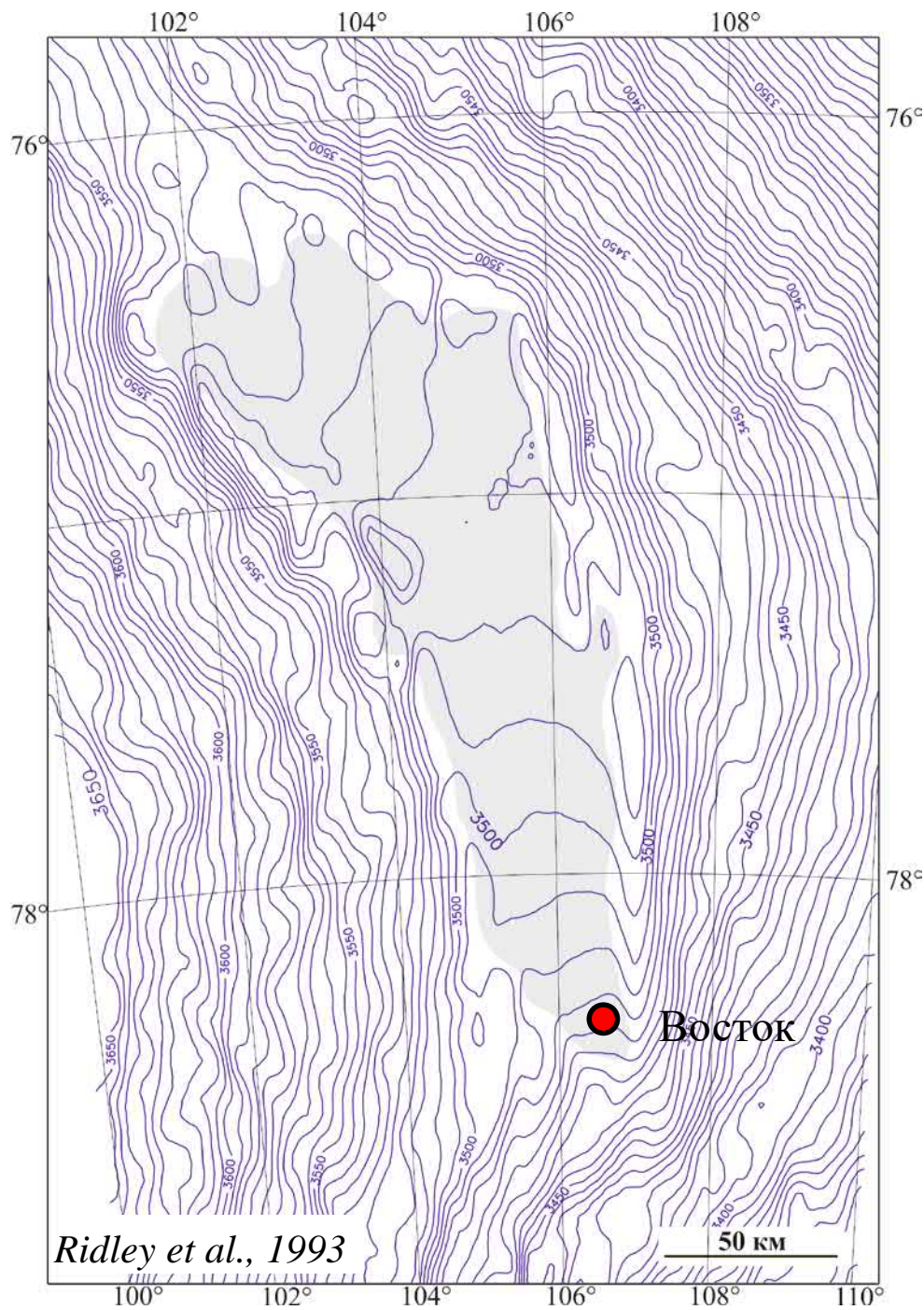
1975 г



Gordon Robin, Scott Polar Research Institute, UK

— Радиолокационные профили  
— с участками «водных» отражений





**Карта ледовой поверхности,  
Составленная по данным  
спутниковых измерений  
(ERS-1)**

**1993 Г**

Наклон ледовой поверхности  
вне озера –  $\sim 2$  м/км

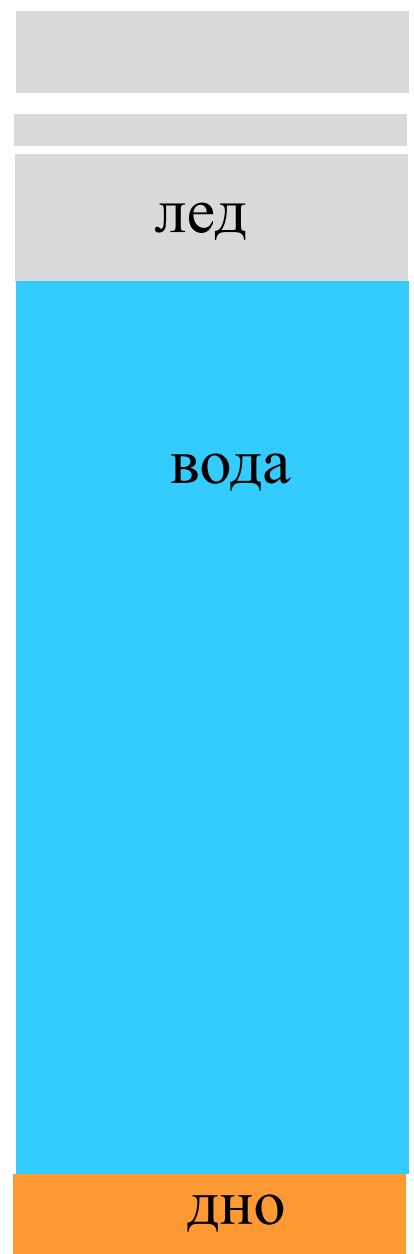
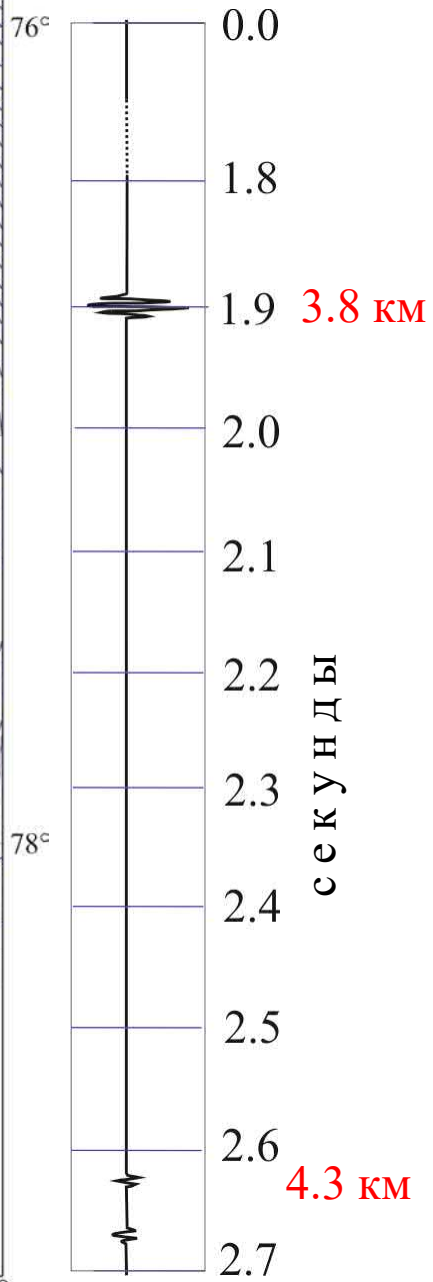
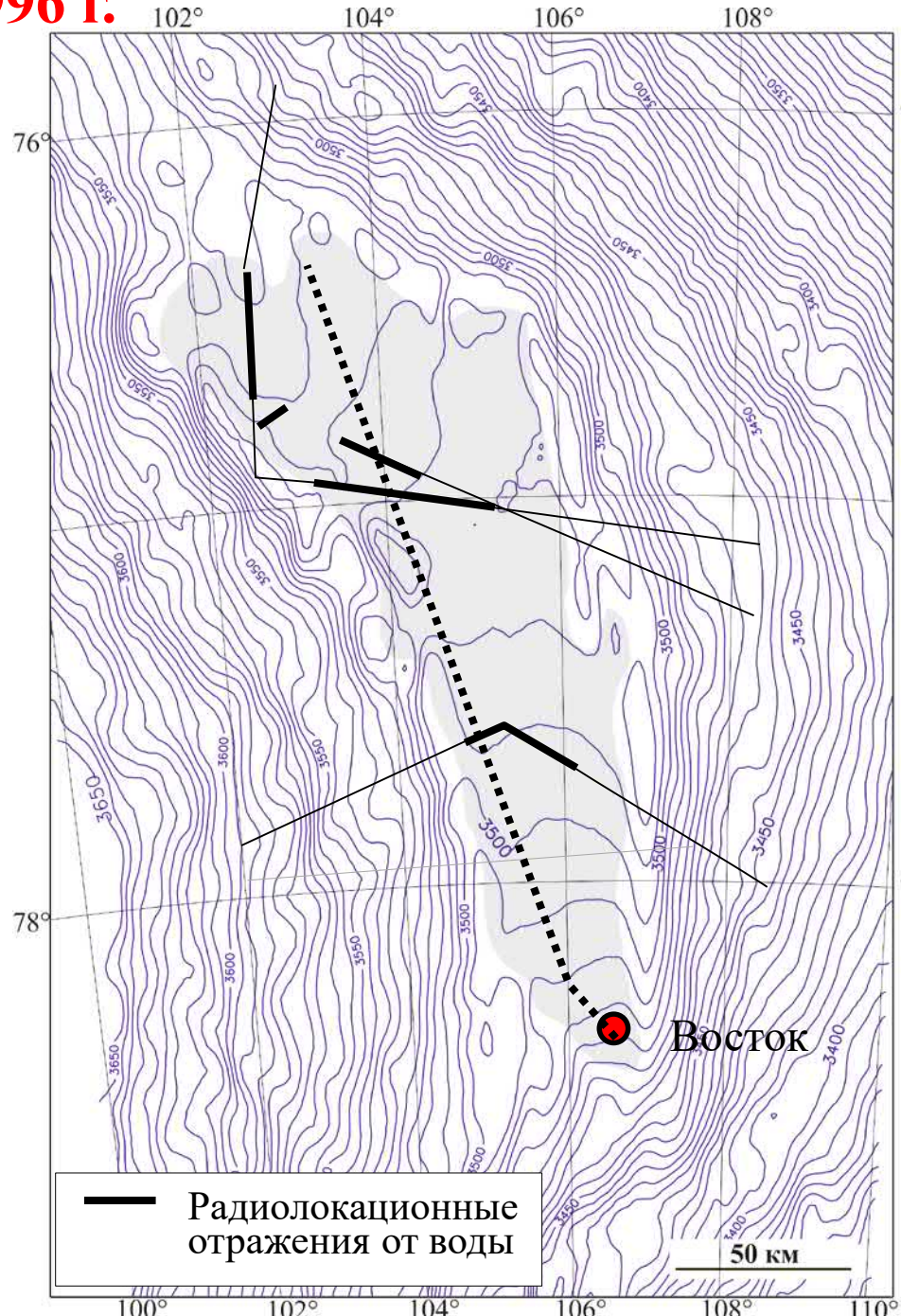
**ERS-1** (European Remote-sensing Satellite)





1996 г.

Сейсмограмма 1964 г.



Kapitsa et al., 1996. Nature

**Геофизические исследования  
озера Восток  
(после его открытия)**

# Геофизические исследования

 США (UTIG)

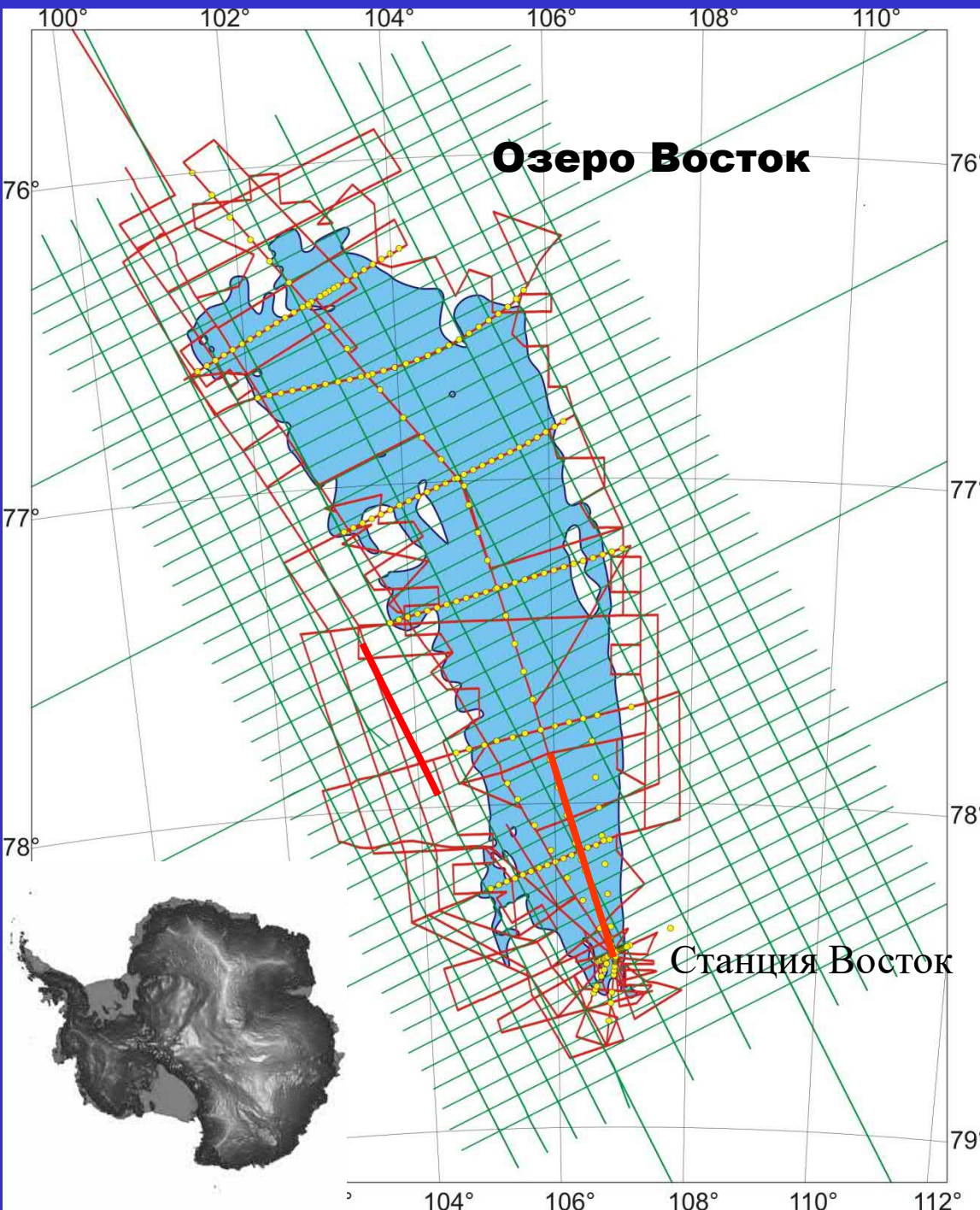
Аэрогеофизика, 2000 г.

Россия (ПМГРЭ)

 Наземное РЛ профилирование 1996-2008 г.г.

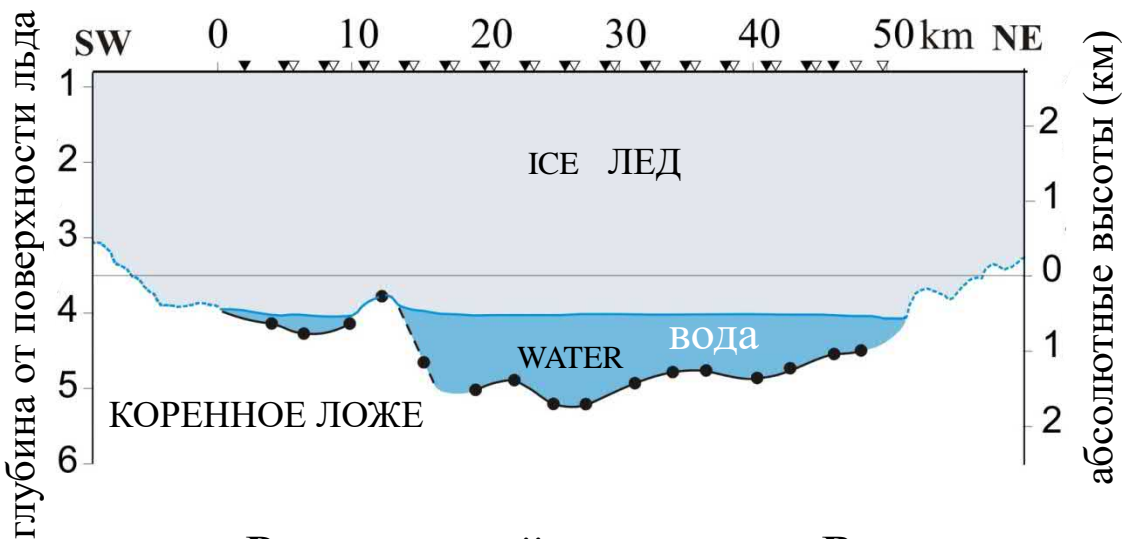
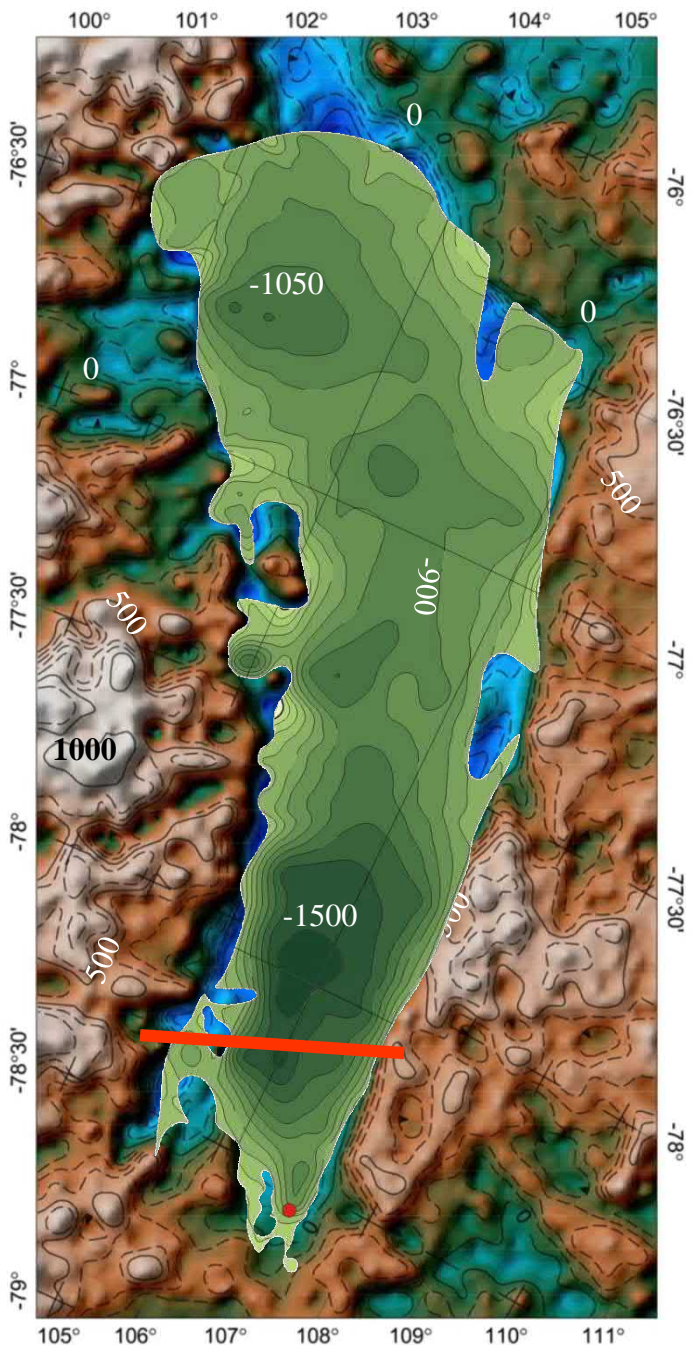
 Сейсмические измерения глубины озера 1996-2008 г.г.

 Глубинные сейсмически исследования 2010-2016 г.г.





# Рельеф коренного ложа



Разрез южной части озера Восток

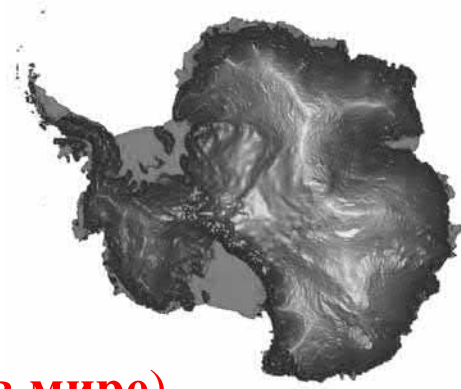
Длина: 280 км

Ширина: 50-80 км

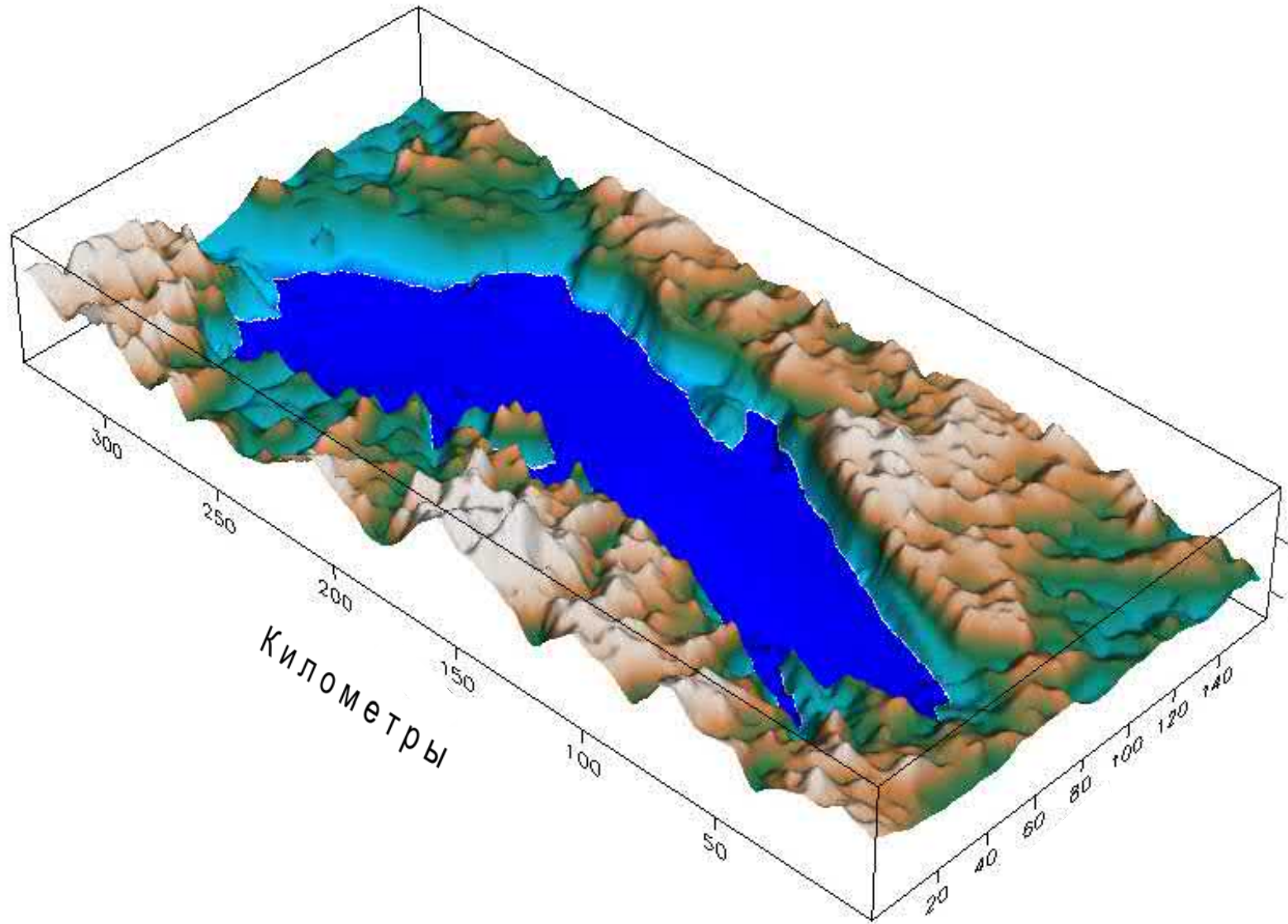
Площадь:  $\sim 16\,000\text{ km}^2$  (17-е в мире)

Объем воды:  $\sim 6000\text{ km}^3$  (5-е в мире)

Глубина: до 1200 м (2-е в мире)

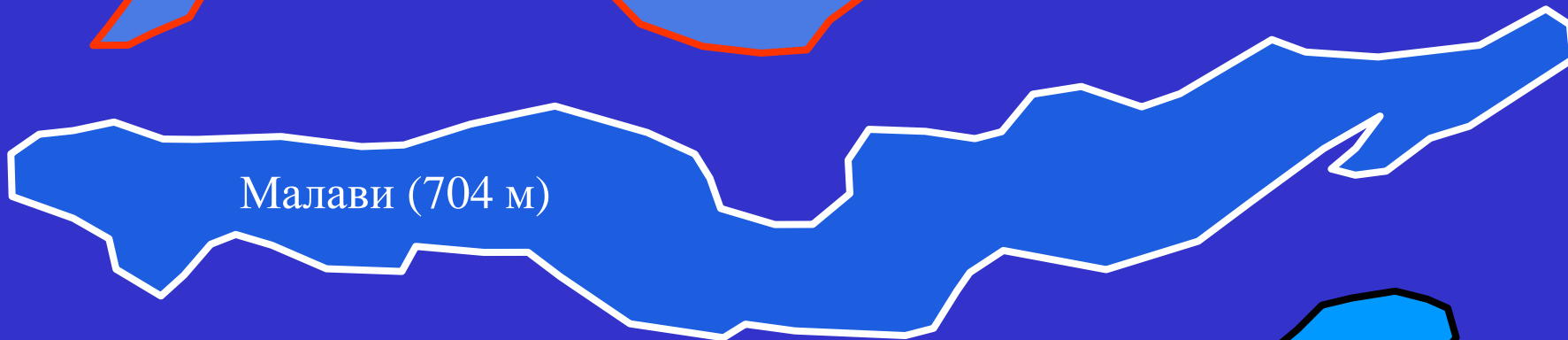
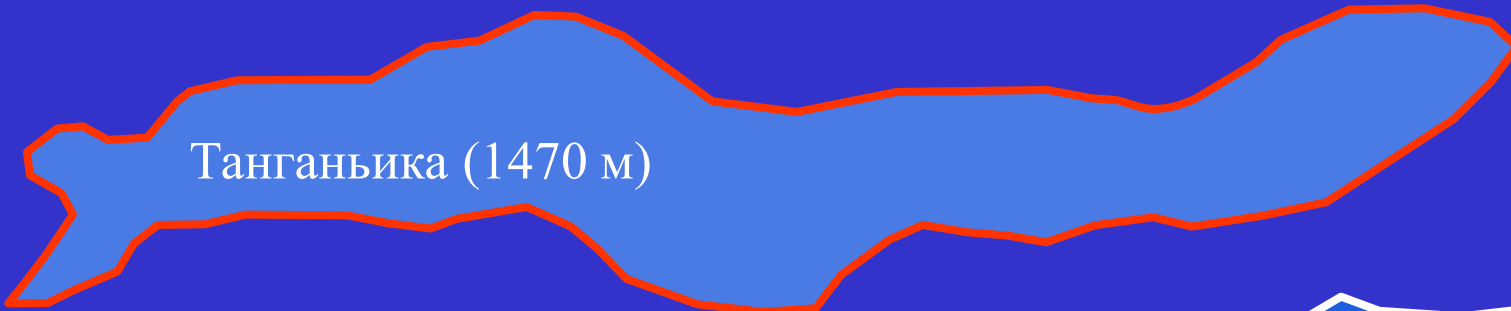


# Озеро Восток



# **Тектоническая природа озера Восток**



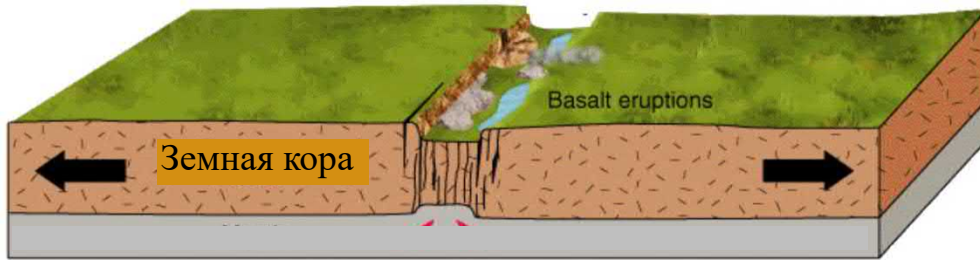


# Рифтовые озера

50 км

---

# Рифты – нарушения земной коры с образованием депрессий на поверхности



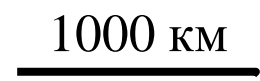
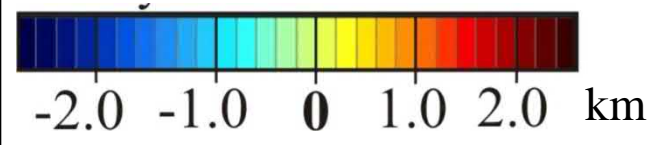
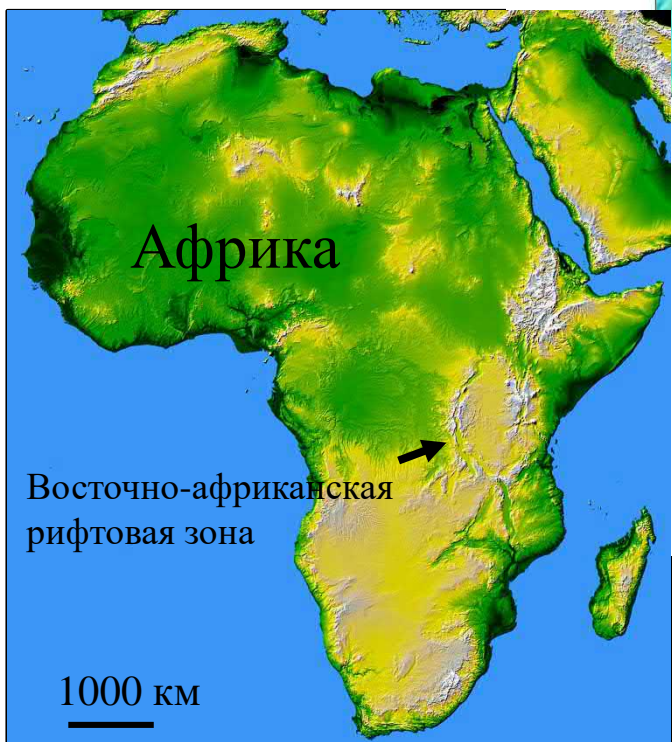
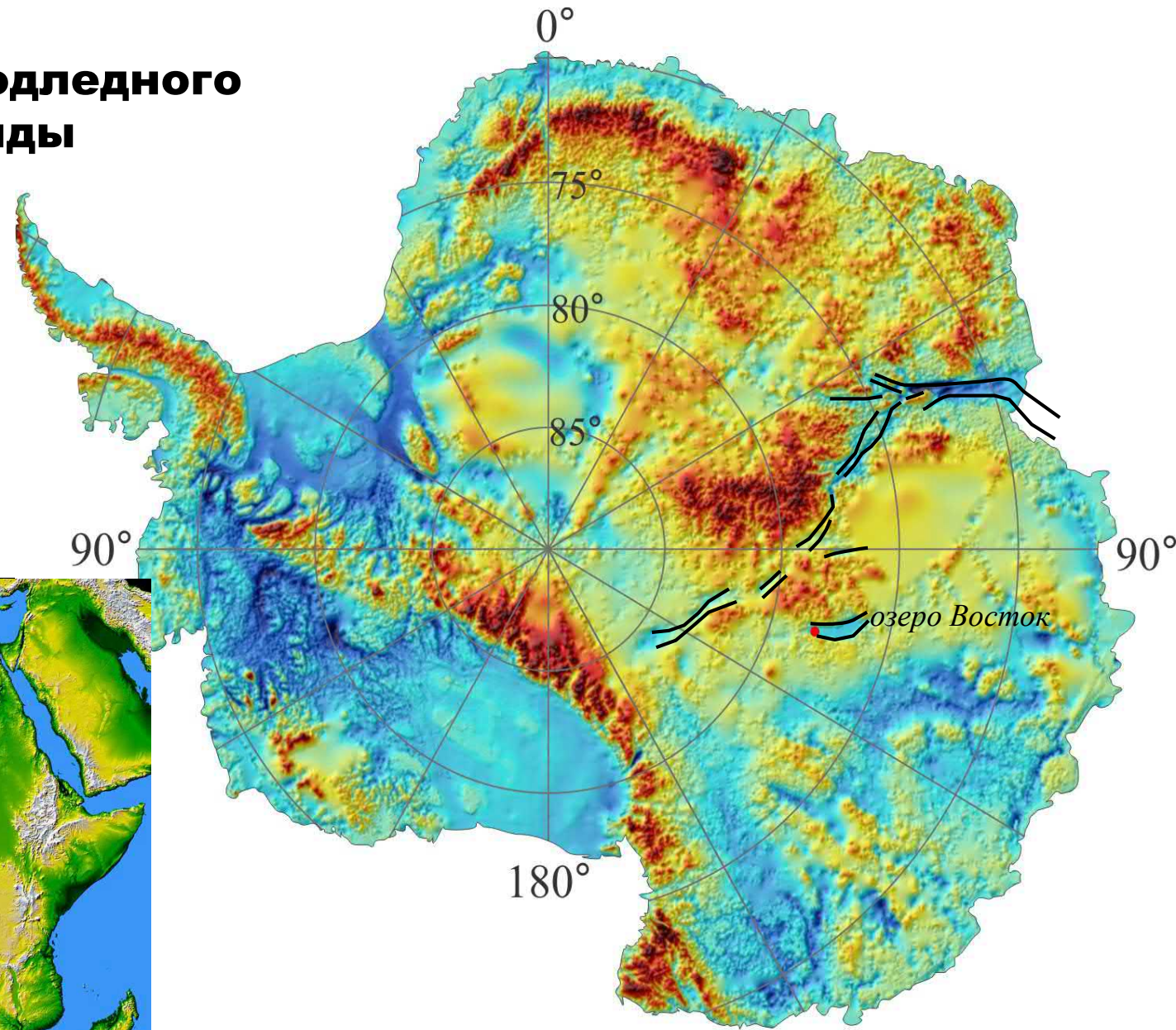
← → Направления растяжений



← → Направления растяжений

Образуются в результате растяжения литосферы и земной коры

# Топография подледного ложа Антарктиды

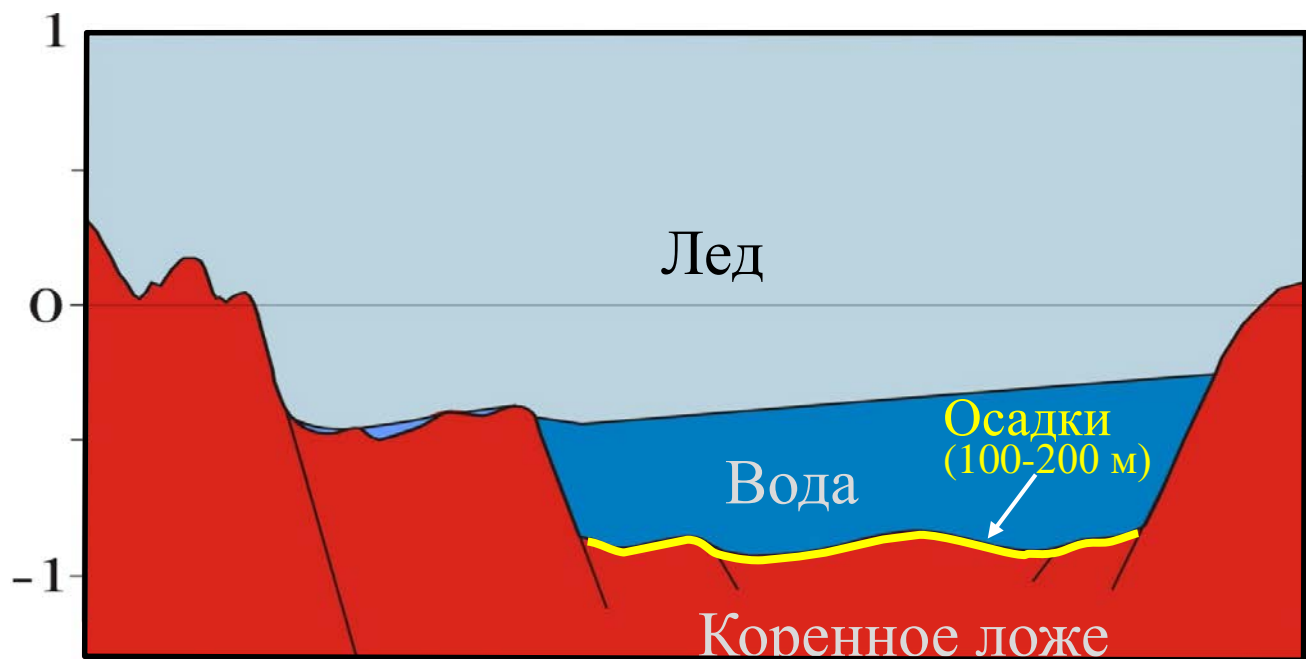




# Разрез озера и подстилающего коренного ложа

(по сейсмическим и радиолокационным данным)

Депрессия озера образовалась  
в ледниковое время,  
15-20 млн. лет назад



# **Геология центральной Антарктиды**

по результатам бурения ледовой скважины  
на станции Восток

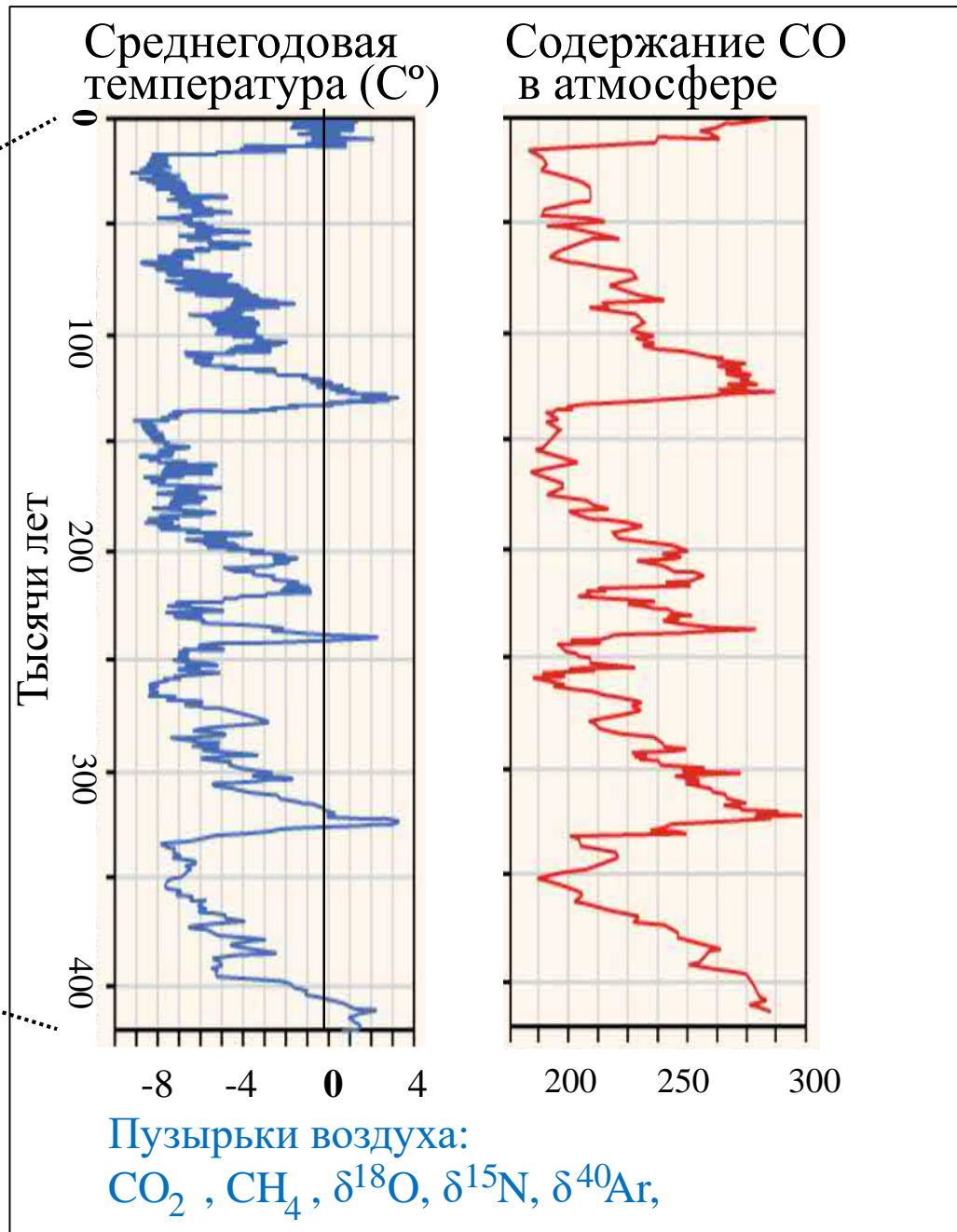
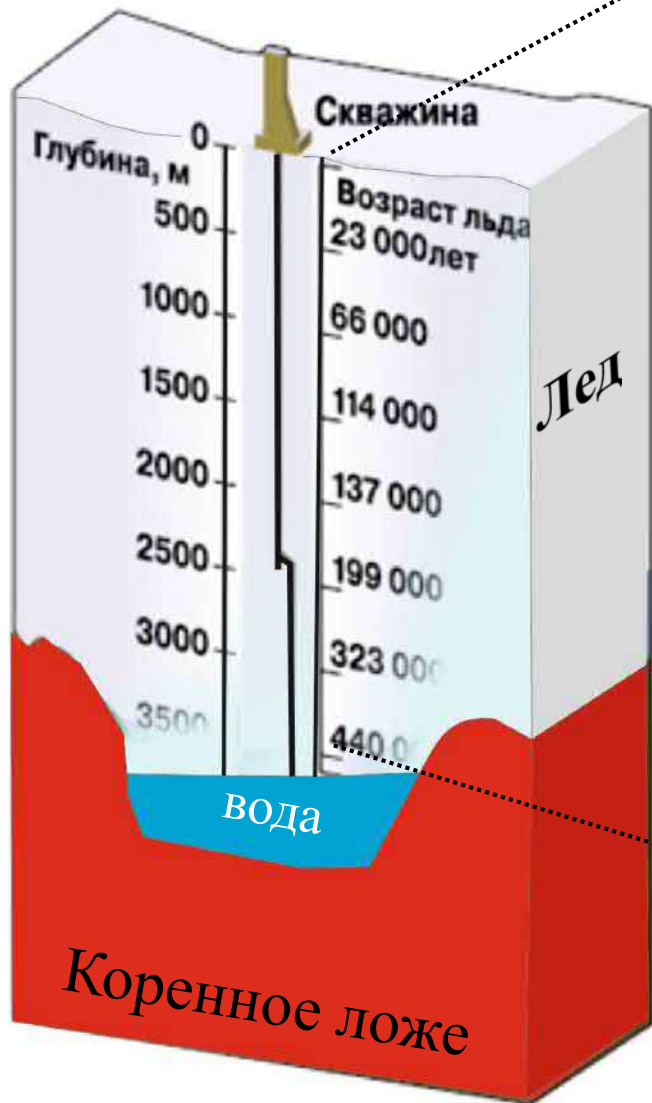
# Станция Восток

Буровая скважина 5Г  
(1990 г.)

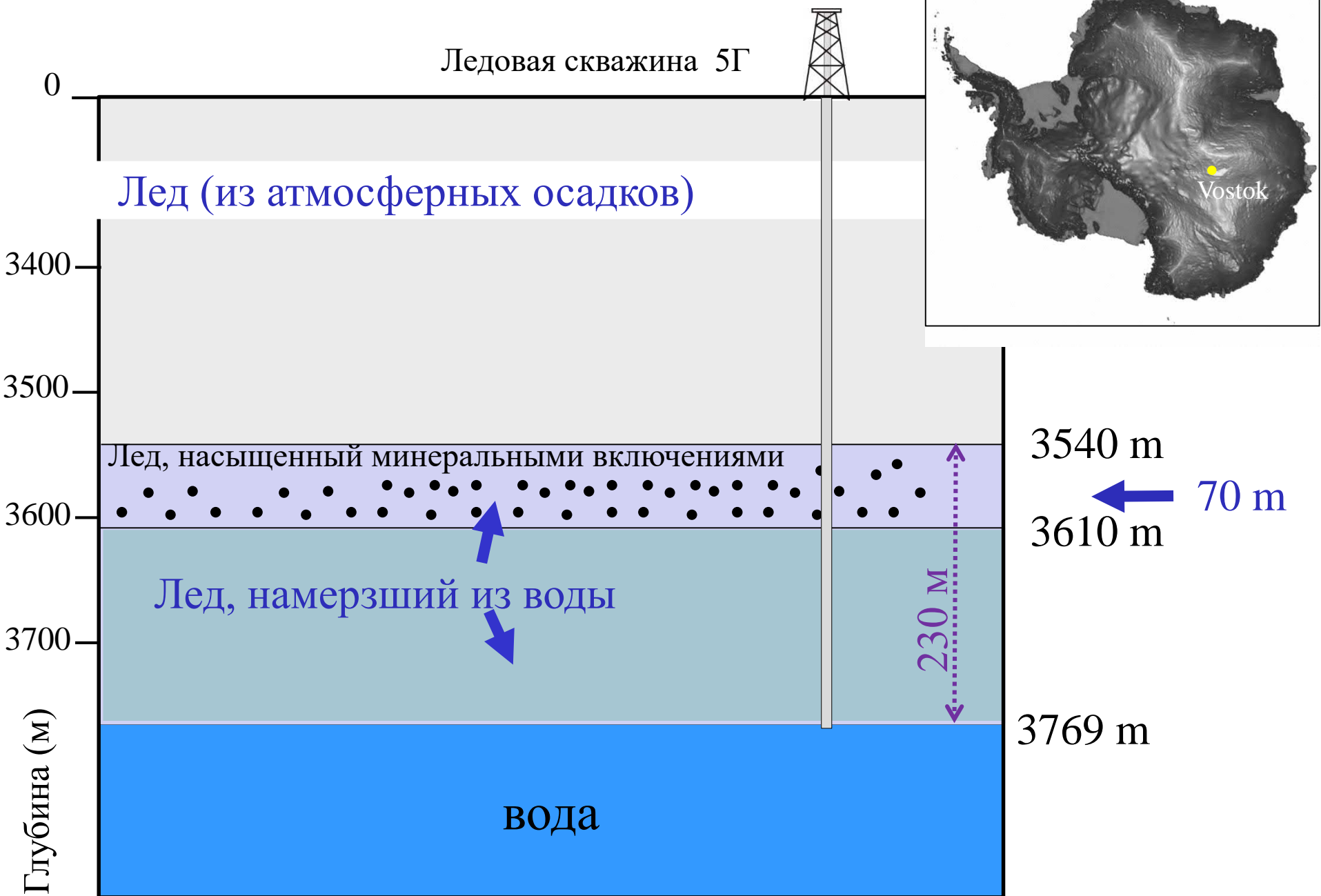




# Реконструкция климата и состава атмосферы в прошлом

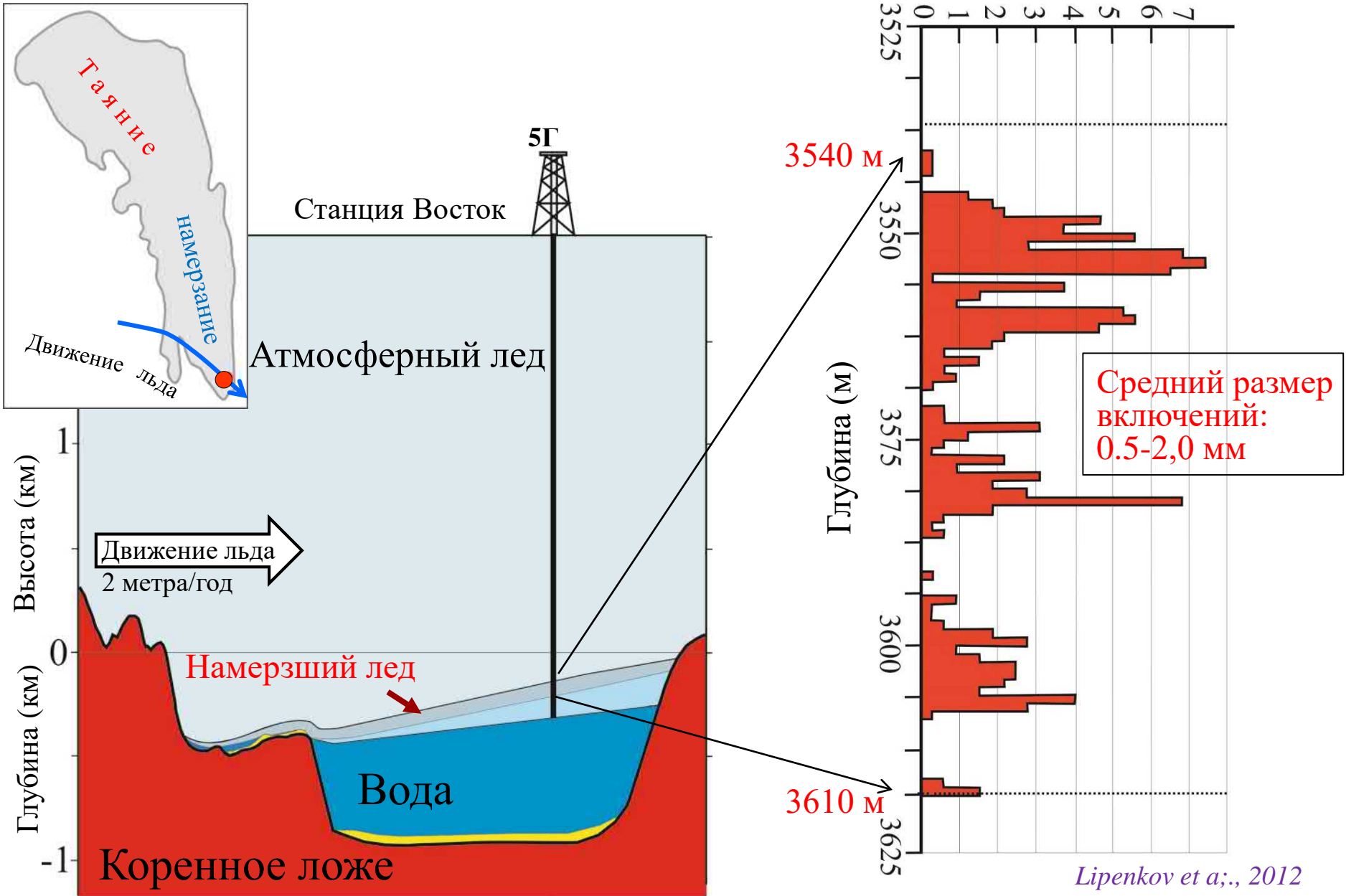


# Строение льда



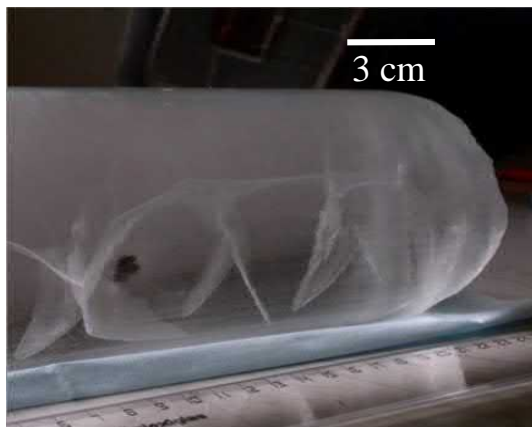
# Разрез льда и подледной среды

Количество включений  
на литр льда в скважине





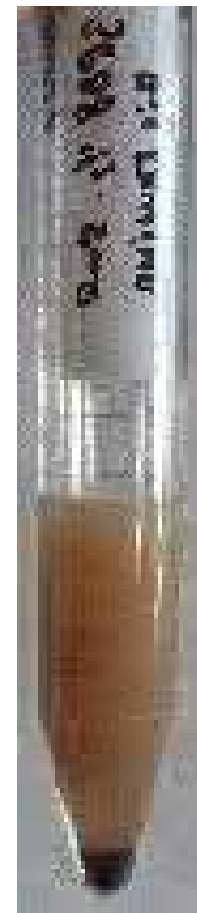
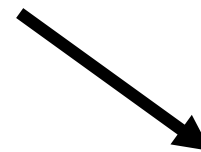
# Минеральные включения



Включение в керне льда



Включение  
во льду



После таяния льда  
в колбе я разрушения

Включения - рыхлые агрегаты  
состоящие из глинистой массы,  
зерен минералов и обломков пород

# Обнаруженные минералы

Керн с глубины 3549 м



1 mm

Керн с глубины 3550 м

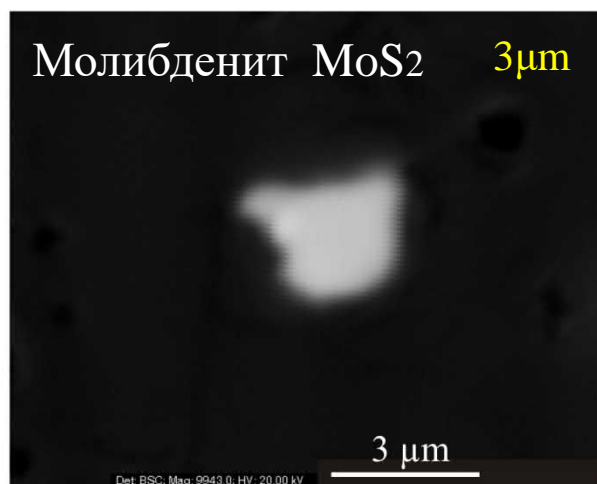


0,3 mm

Керн с глубины 3559 м



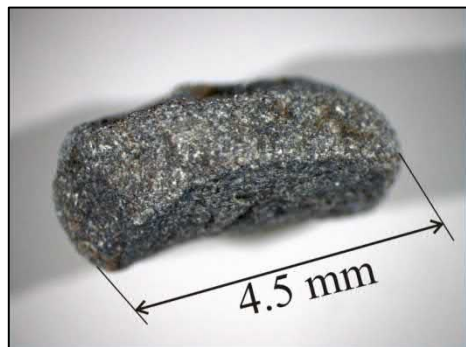
6 μm



3 μm



4 μm



Обломки горных пород с глубины 3607-3608 м

Песчаники алевролит

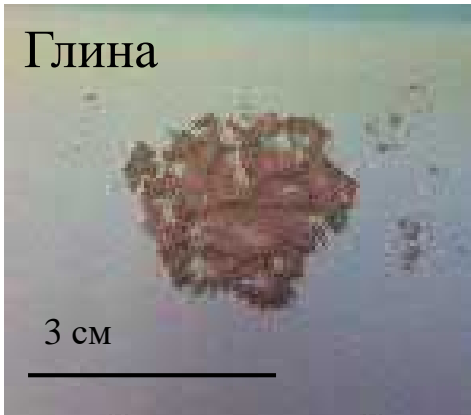




# Глинистые минералы



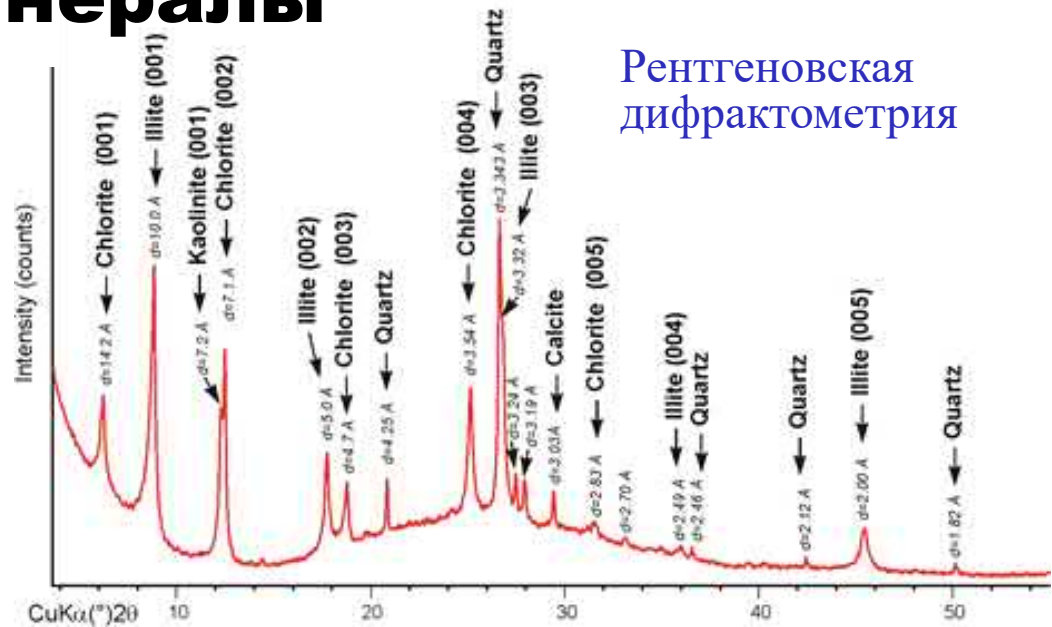
Глинистая суспензия



Глина

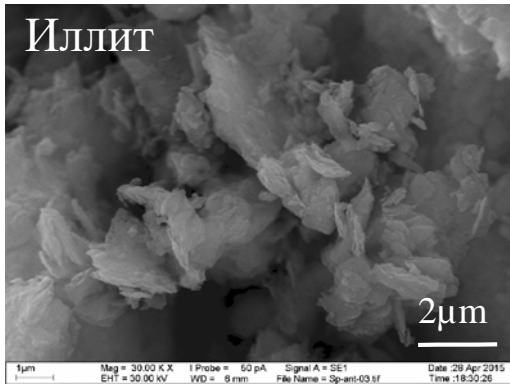
3 см

Обломки минералов и горных пород

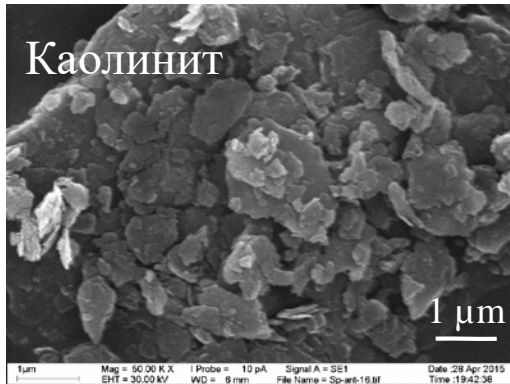


Рентгеновская дифрактометрия

Фотографии на электронном микроскопе



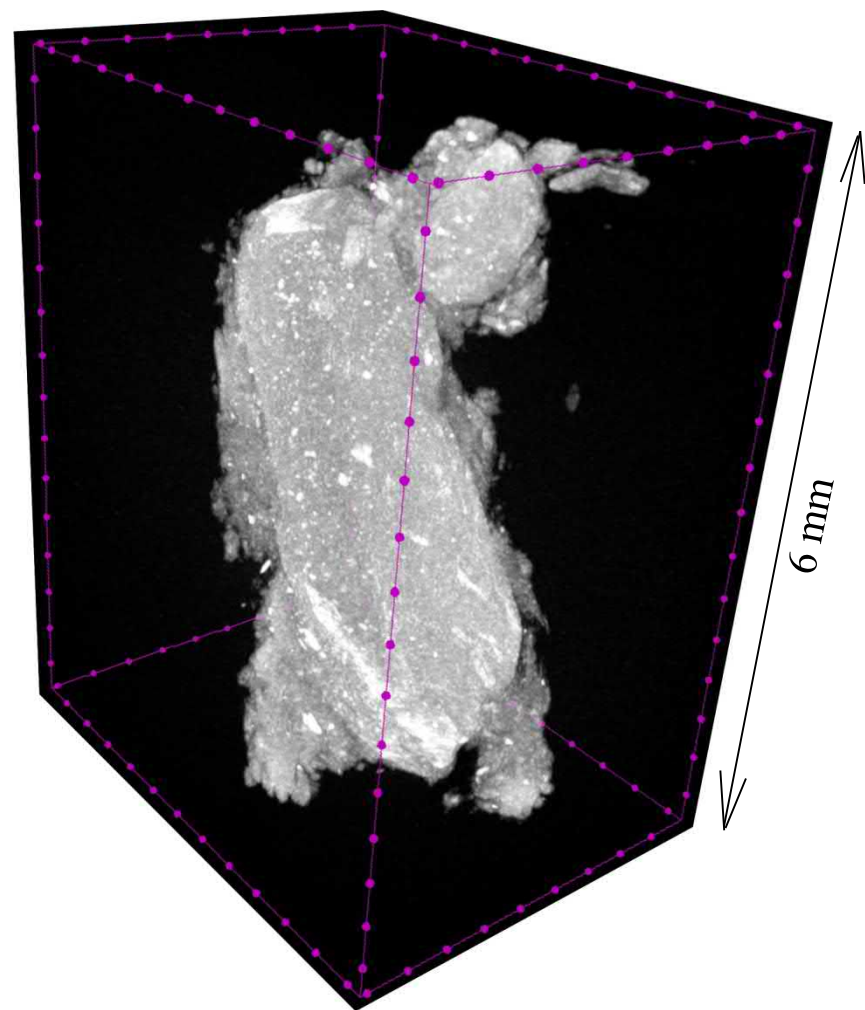
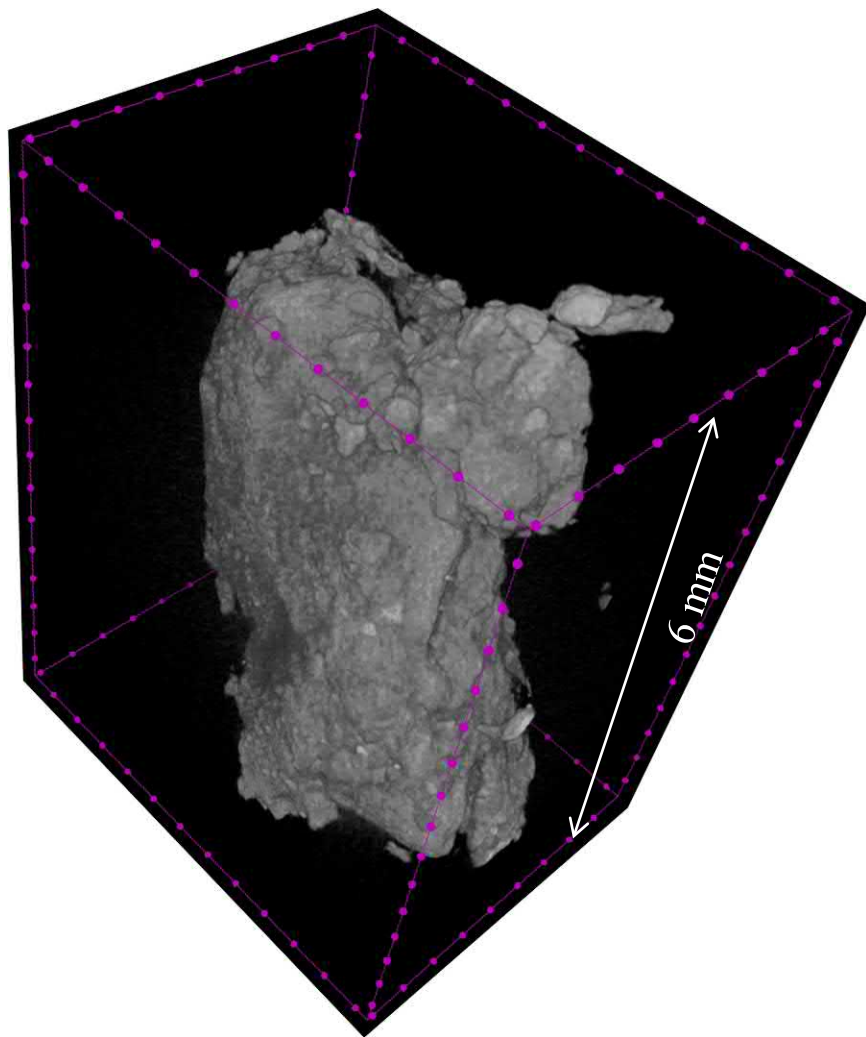
Иллит

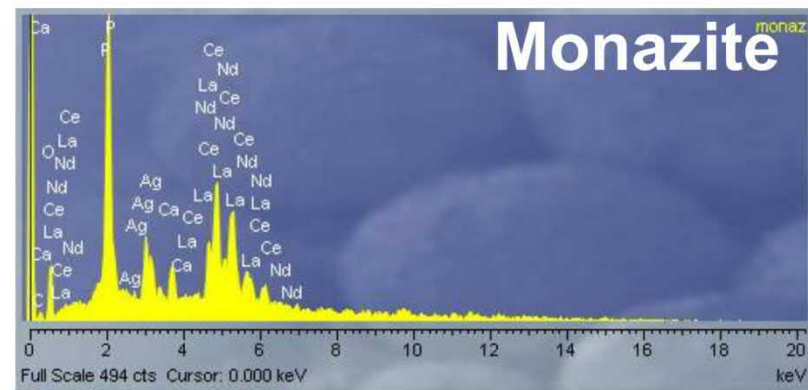
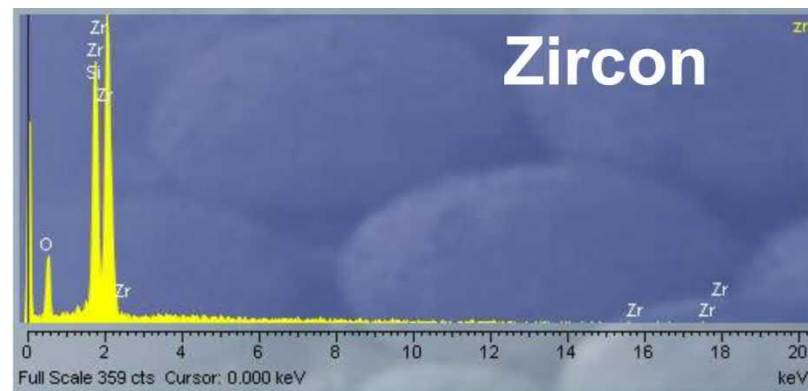
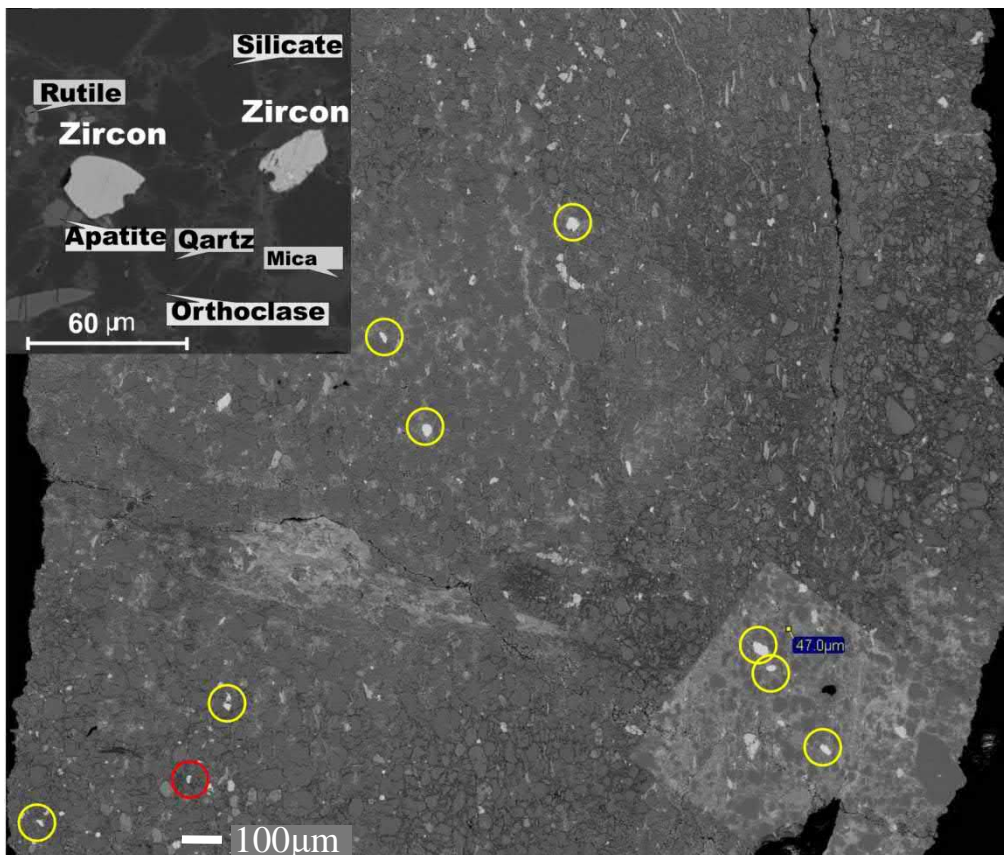


Каолинит



# Рентгеновская томография обломка горной породы





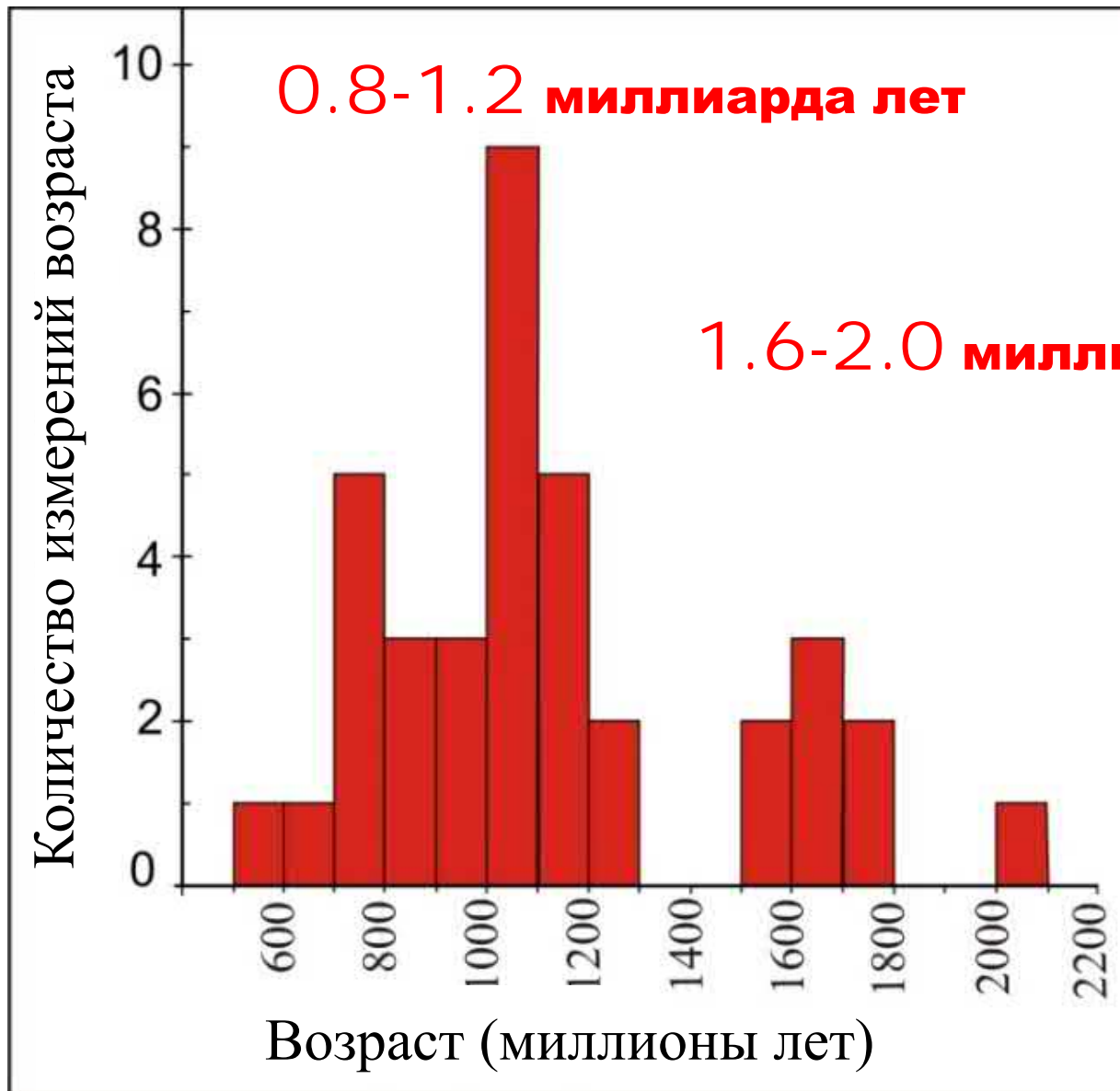
○ Циркон  
○ Моноцит

Исследования на микрозонде

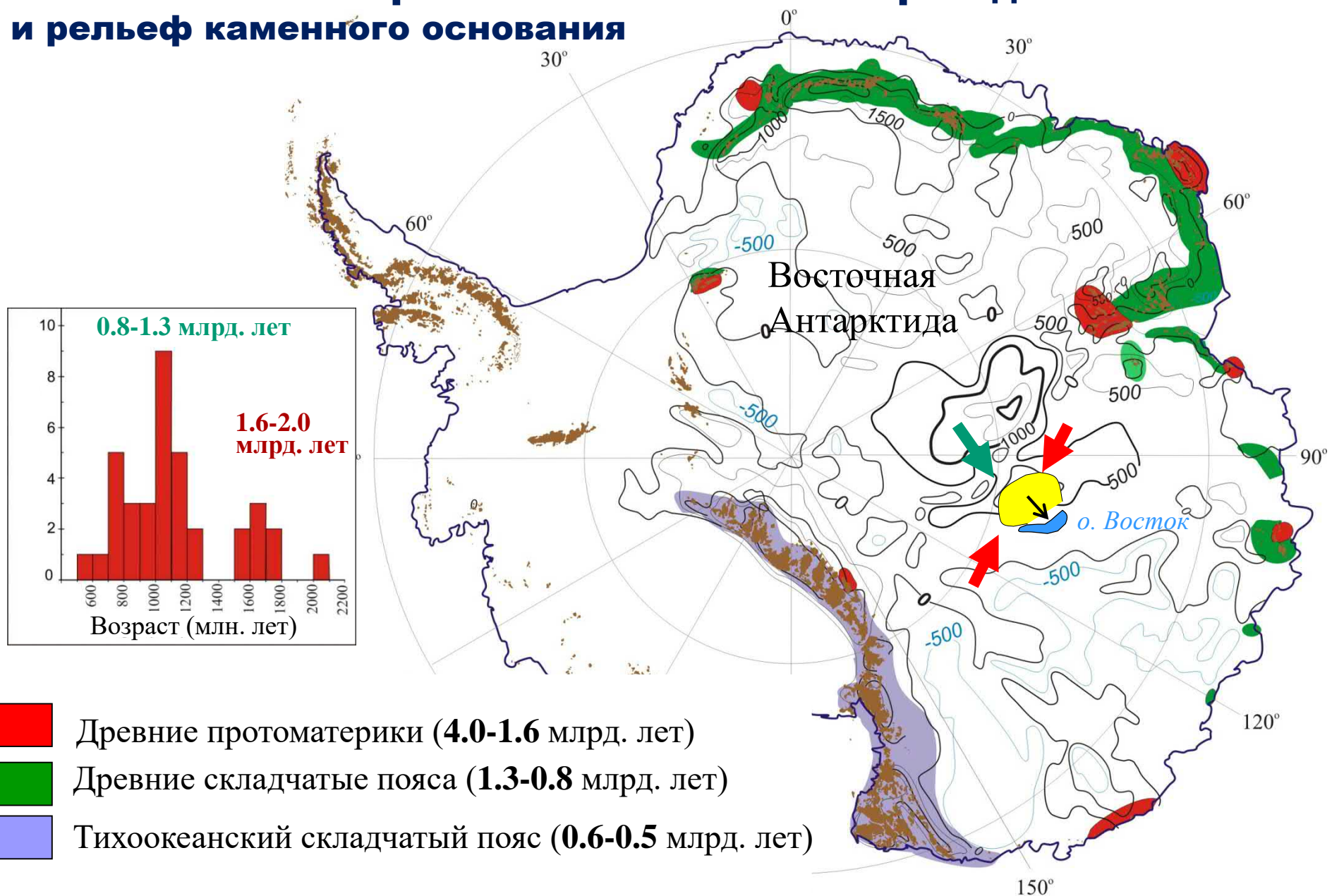
**Получен возраст по 40 зернам урансодержащих минералов**



# Возраста зерен циркона



# Геологическое строение Восточной Антарктиды и рельеф каменного основания

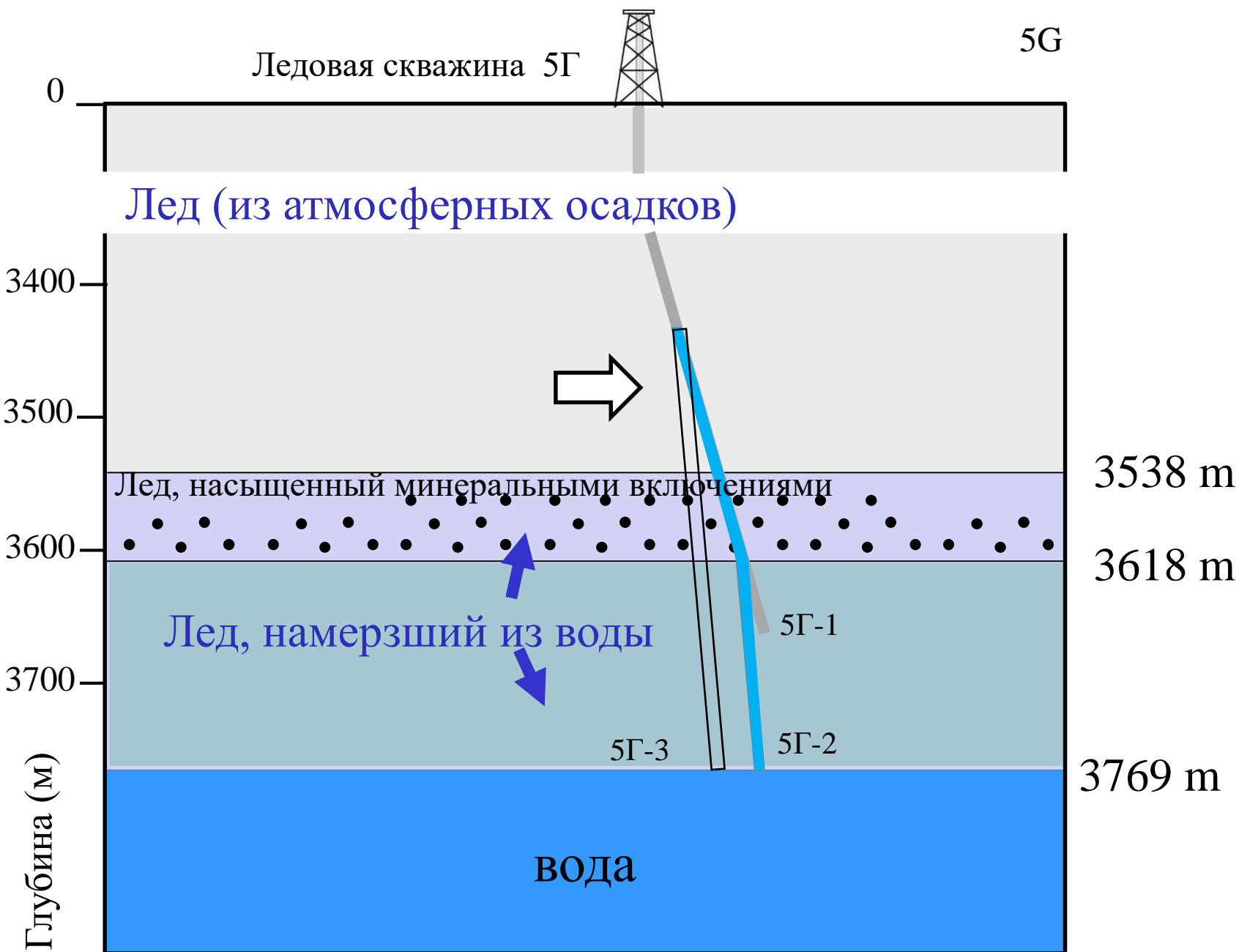


# Озерная вода

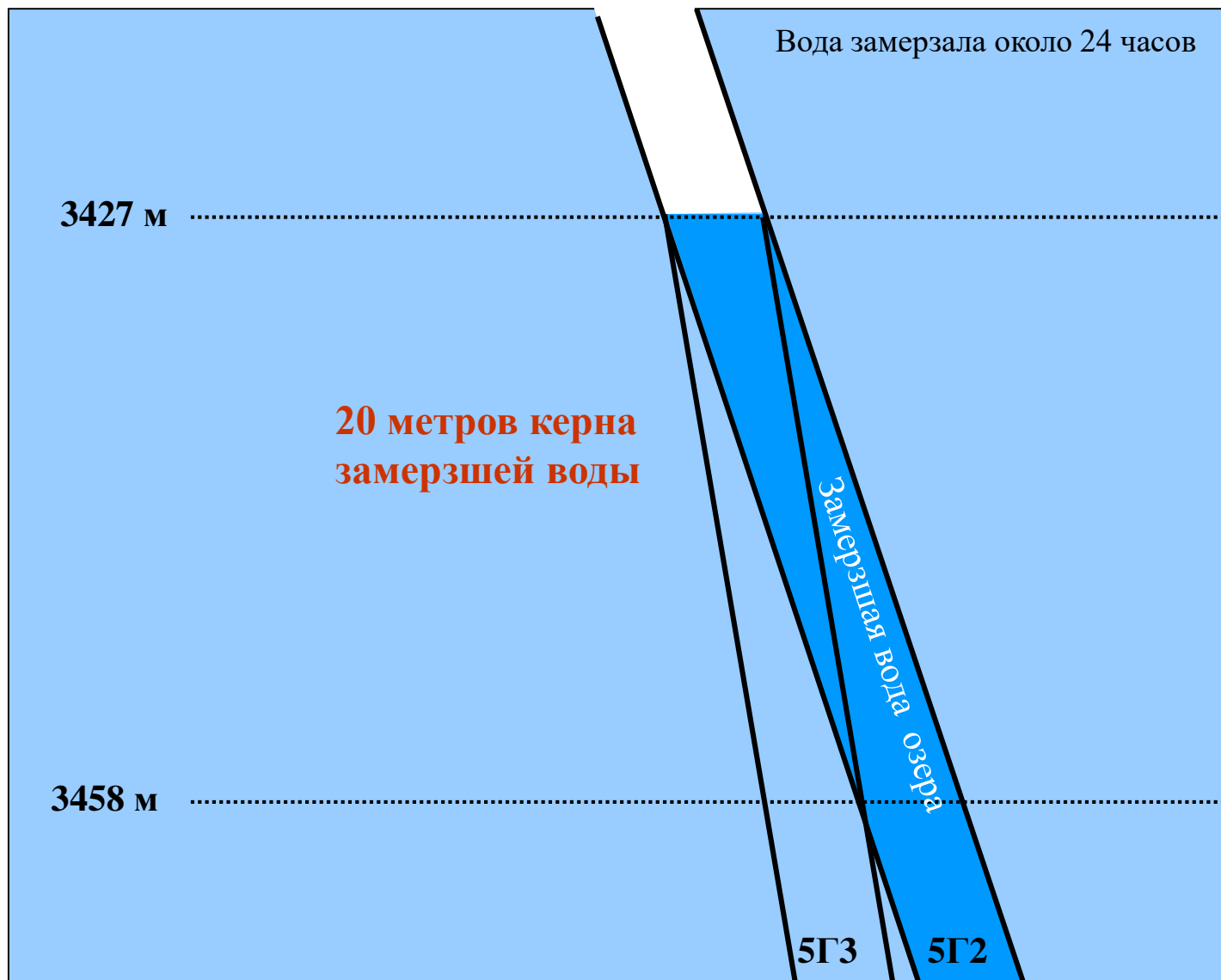
Изучение кернов замерзшей воды

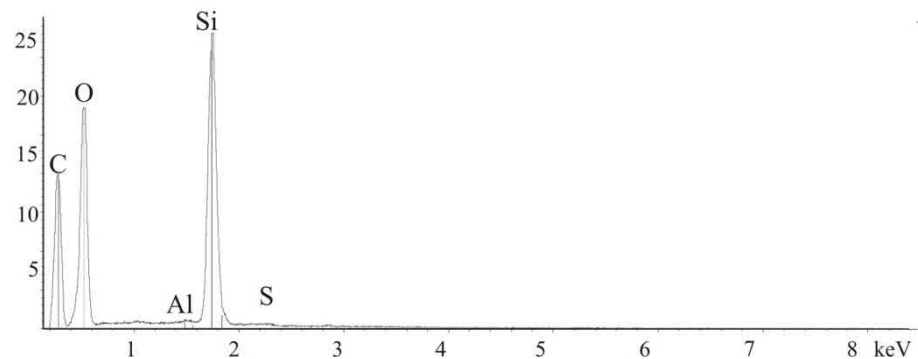
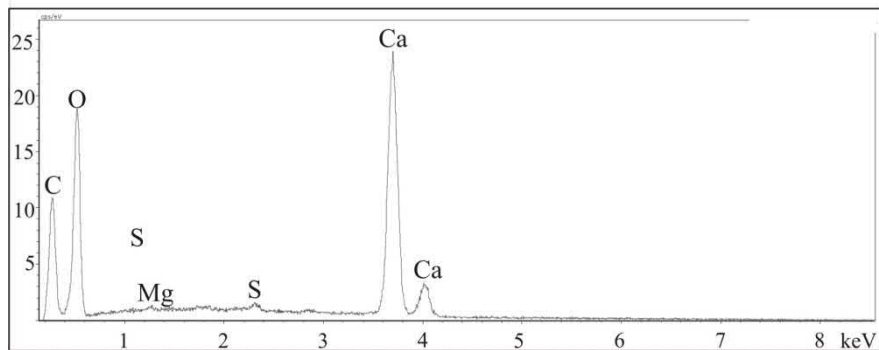
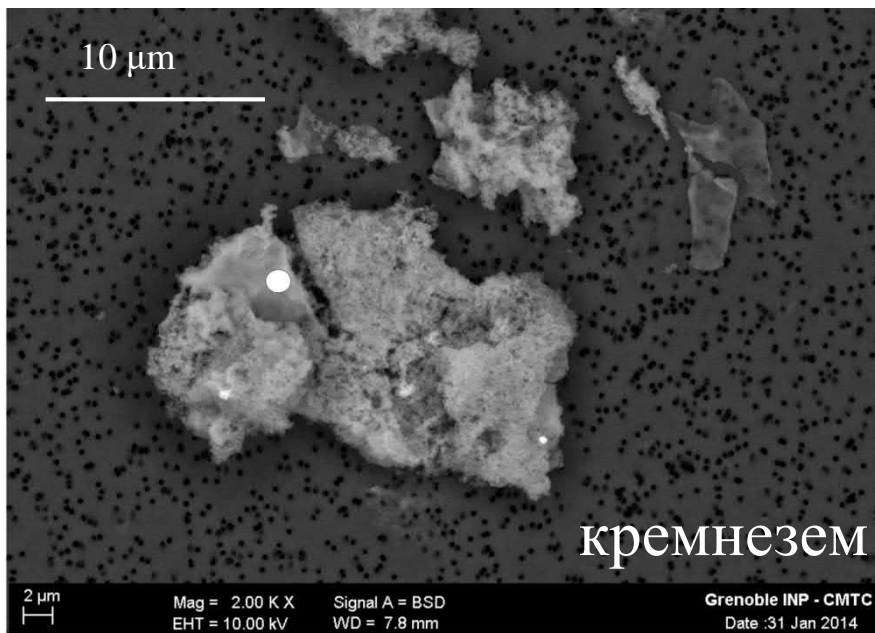
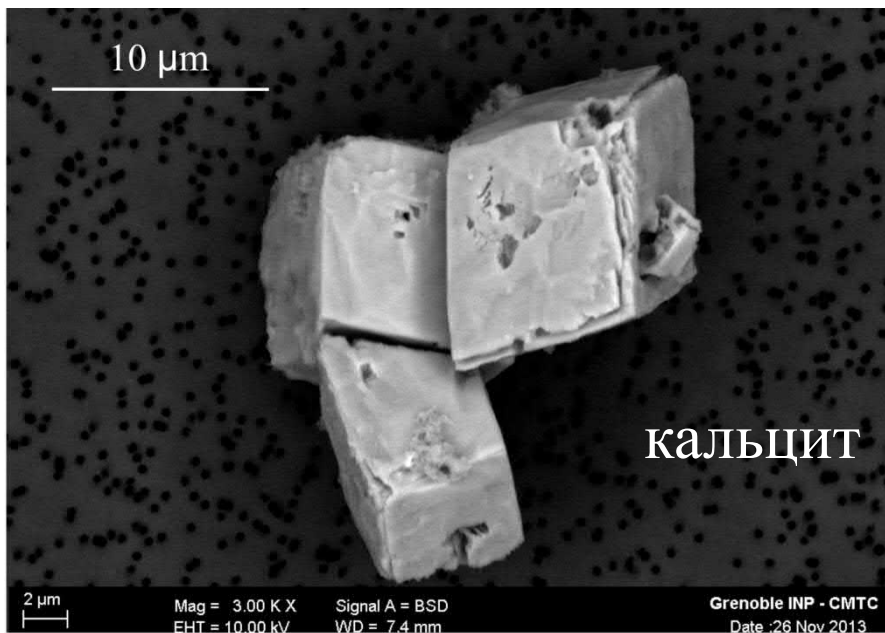


# Бурение льда и проникновение в озеро



# Изучение замерзшей воды озера

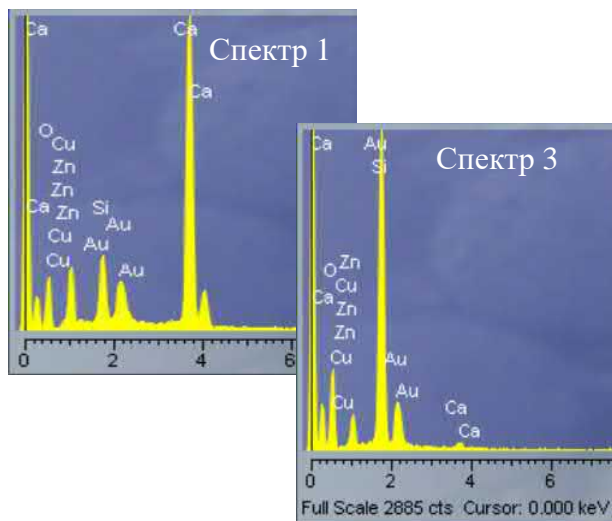
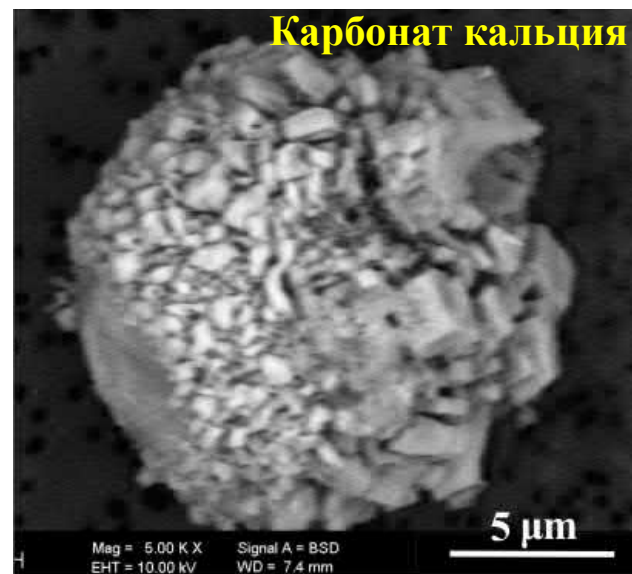
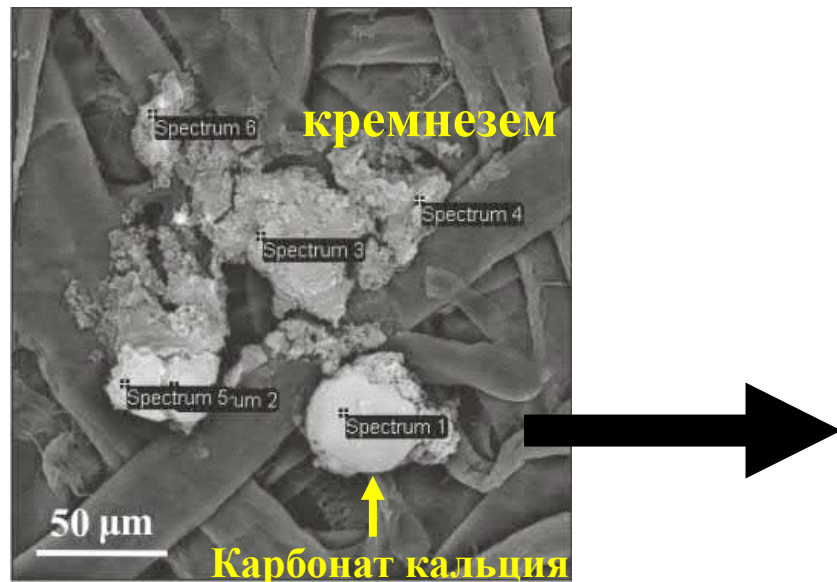






# Карбонат кальция (кальцит?)

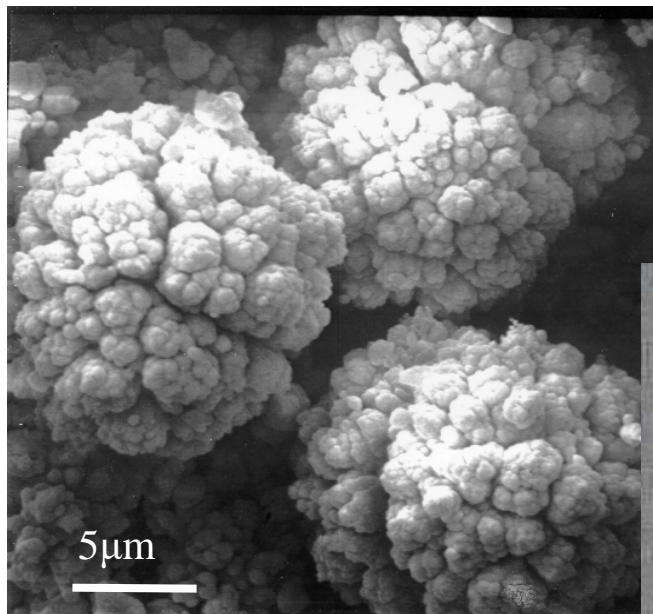
## Сферулит



Большая часть зерен карбоната кальция имеет сферическую форму

# Происхождение?

Сферическая форма Ватерита



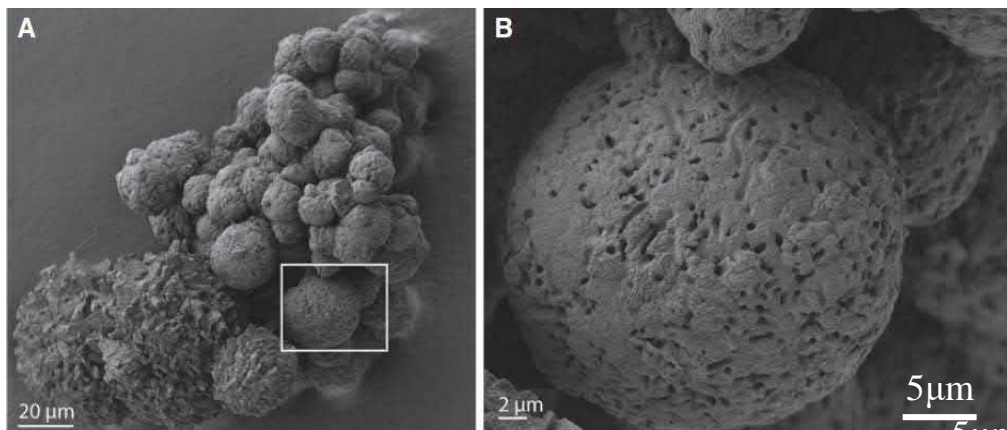
Tracy et al., 1998



Сферическая форма кальцита



Сферические агрегаты образованные *Arthrobacter sp.*



Ronholm et al., 2014

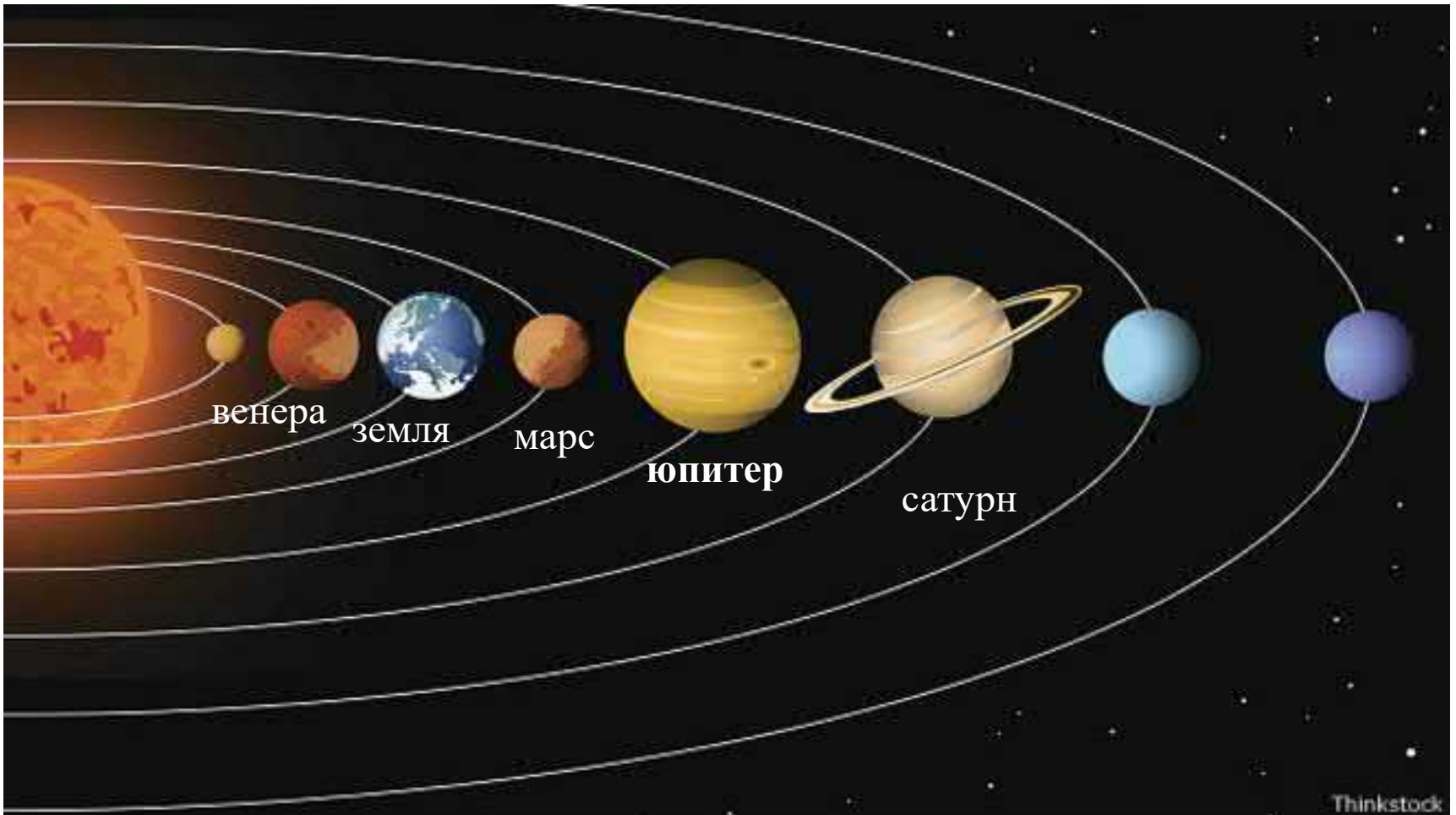
Биогенный материал ?

# Озера (водоёмы) пресной воды подо льдом Антарктиды

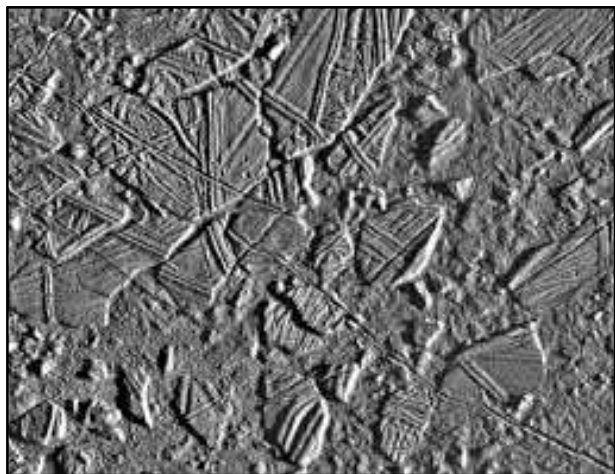


В настоящее время подо льдом Антарктиды открыто **380** озер и многие из них сообщаются друг с другом.

# Антарктические озера и космические исследования







Ио



Европа



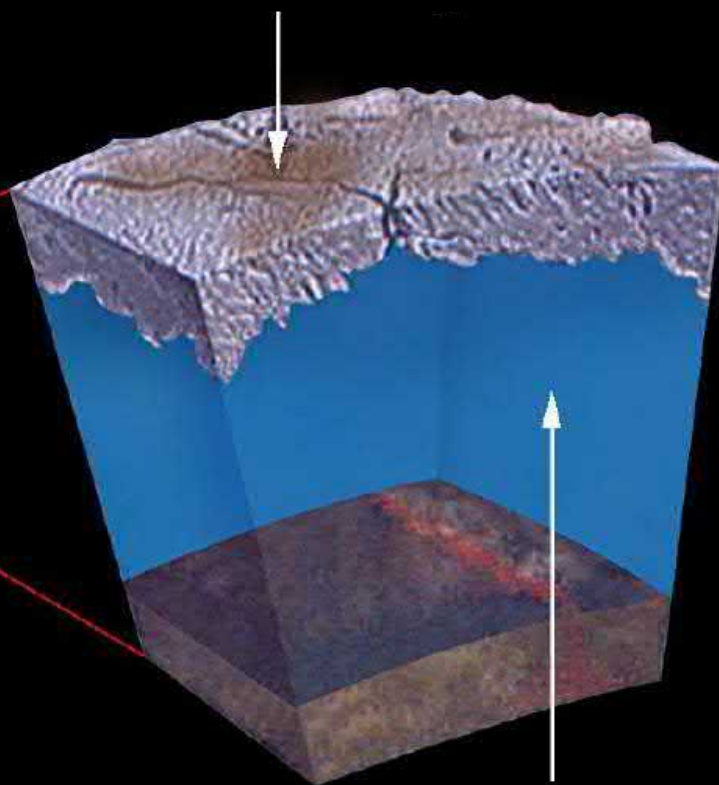
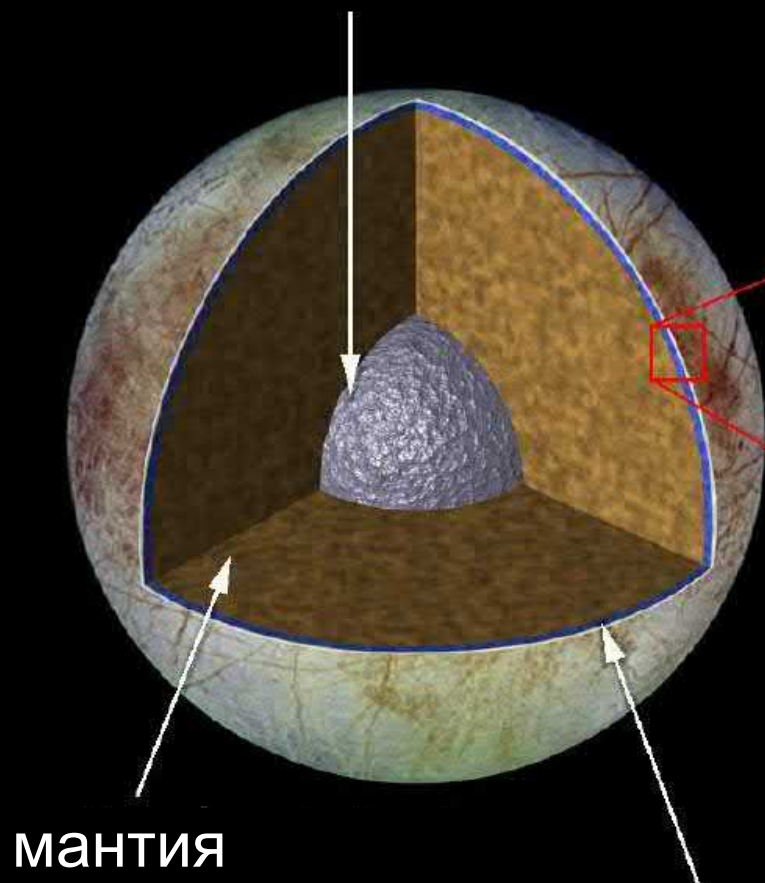
Каллисто



Ганимед

Металлическое ядро

Лед



мантия

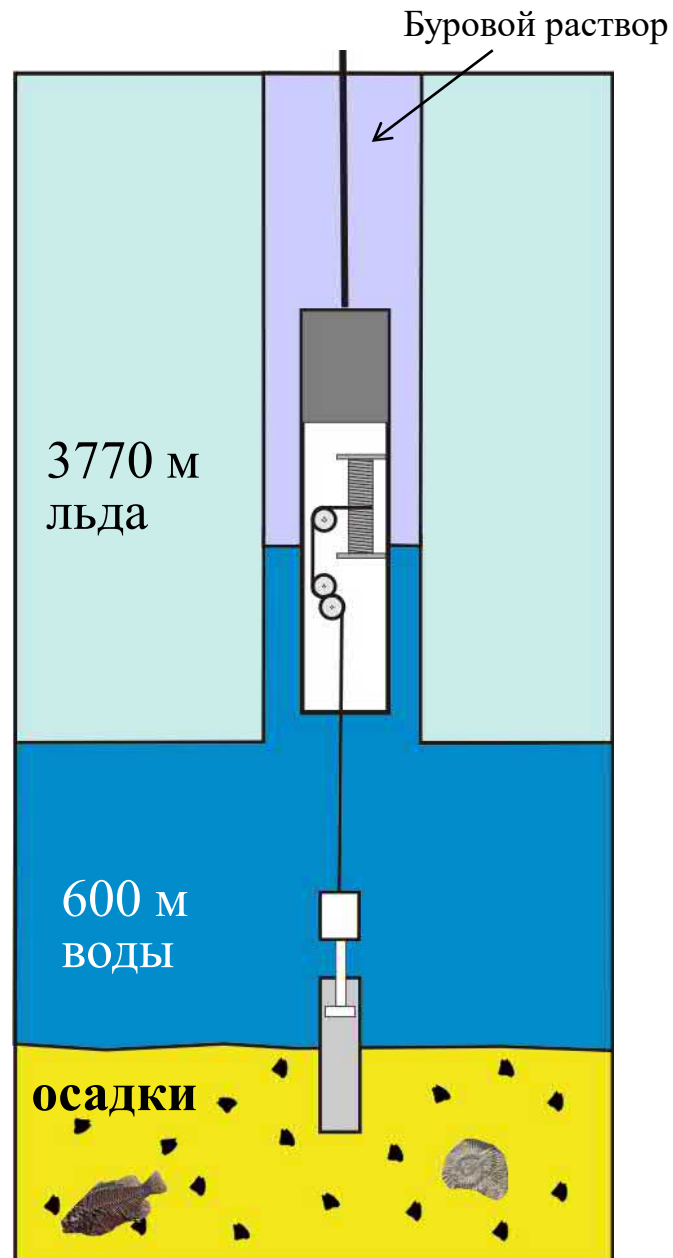
Водный слой

Водный океан  
подо льдом

# **Будущие исследования озера Восток**

## Следующая задача – опробование осадков со дна озера Восток

Осадки озера – уникальный  
архив информации о природной  
среде Антарктики в геологическом  
прошлом





**Спасибо**