

Поиск геофизических сигналов-предвестников  
сейсмической активности  
на Тянь-Шаньской высокогорной станции

А. Л. Щепетов

*Физический институт РАН им. П. Н. Лебедева (Москва)*

Н. М. Салихов

*Институт Ионосферы (Алматы)*

2019

## Цель работы

Мониторинг состояния различных геофизических полей в сейсмически активных географических регионах и поиск характерных аномалий их поведения, которые имеют место *до* и во время сильных землетрясений

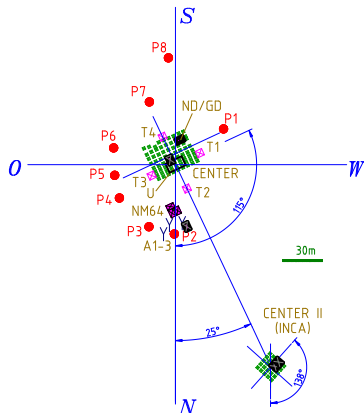
## Место проведения

Тянь-Шаньская высокогорная научная станция ФИАН  
и ее окрестности

# Направления исследований

- ▶ мониторинг радиационного фона на ТШВНС
- ▶ регистрация сейсмических колебаний в акустическом диапазоне частот
- ▶ регистрация низкочастотных электромагнитных колебаний в диапазонах ОНЧ (1.5–12 кГц) и СНЧ ( $\leq 100$  Гц)
- ▶ измерения доплеровского сдвига частоты радиосигналов, отраженных от ионосферы
- ▶ поиск корреляций между космическими лучами высокой энергии ( $10^{14} - 10^{17}$  эВ) и сейсмическими сигналами литосферного происхождения

# Комплекс детекторов Тянь-Шаньской станции



## ► CENTER-I:

- \* сцинтилляторы ШАЛ
- \* адроны ШАЛ
- \* направления ШАЛ ( $\theta, \phi$ )
- \* подземелье (мюоны)
- \* нейтроны & гамма

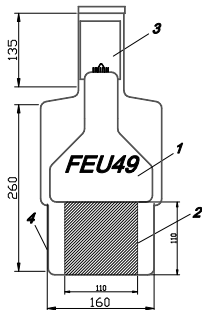
## ► CENTER-II:

- \* сцинтилляторы ШАЛ
- \* ионизационно-нейтронный калориметр INCA



# Мониторинг радиационного фона: $\gamma$ -детектор

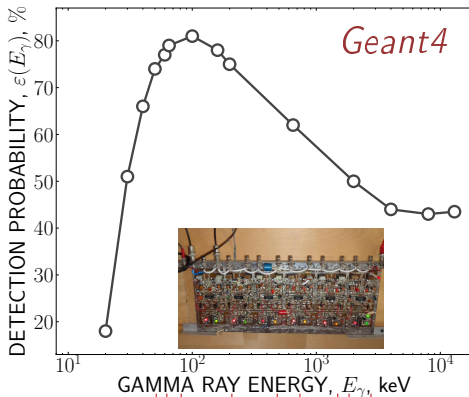
## ► внутреннее устройство



(1) – ФЭУ, (2) – кристалл NaI,  
(3) – плата электроники, (4) – корпус из алюминия толщиной 1 мм.



## ► эффективность $\gamma$ -детектора & энергетические диапазоны



50 keV

60 keV

80 keV

200 keV

450 keV

700 keV

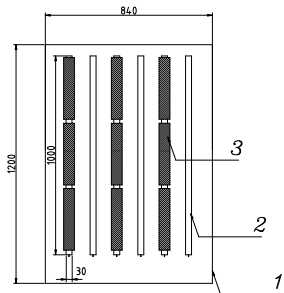
2500 keV

1600 keV

1100 keV

# Нейтронный детектор

## ▶ внутреннее устройство



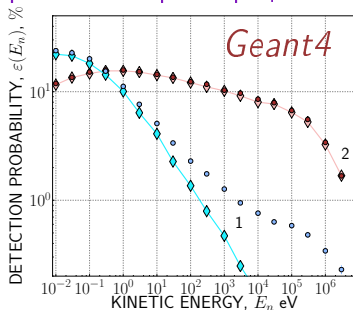
- (1) – алюминий толщиной 1 мм,  
(2) – газоразрядный счетчик  
с наполнением  $^3\text{He}$ ,  
(3) – замедлитель нейтронов



## ▶ основная реакция



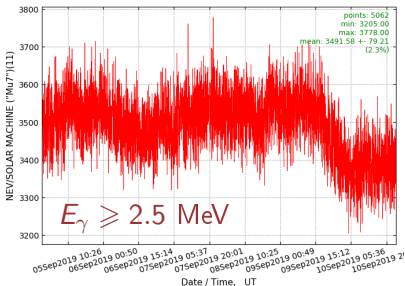
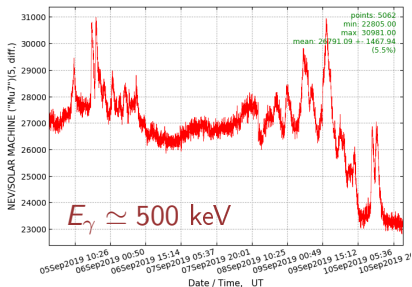
- ▶ процедура регистрации — подсчет суммарного числа импульсов, поступивших от счетчиков в течение некоторого фиксированного времени (ворот)
- ▶ эффективность регистрации



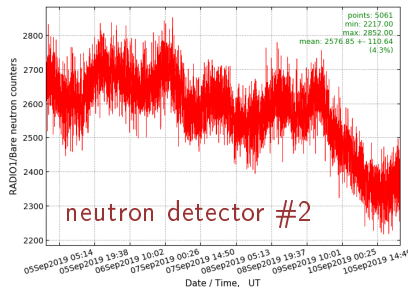
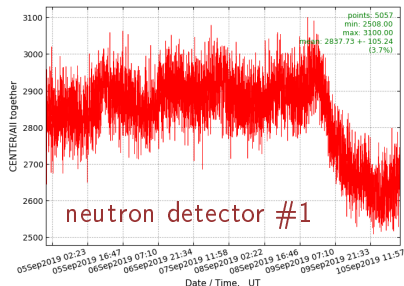
- (1) – открытый счетчик,  
(2) – счетчик внутри замедлителя из  
парафина толщиной 2 см

# Типичные результаты радиационного мониторинга

## гамма-излучение



## тепловые нейтроны



● time resolution 100s

# Подземная скважина ТШВНС

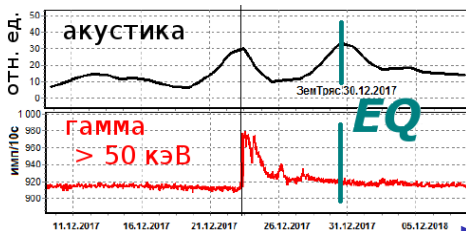


## ► установленная аппаратура:

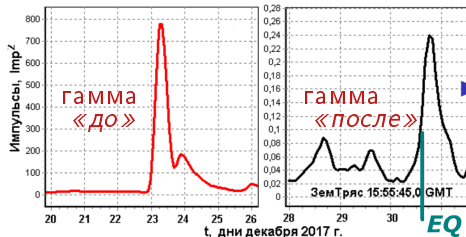
- температурные датчики
  - микрофоны на глубине 50 м и 100 м
  - гамма-детектор
  - нейтронный счетчик
- 
- полная глубина  $\sim 300$  м
  - автономное энергоснабжение

# Мониторинг в периоды сейсмической активности

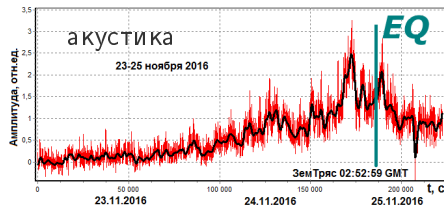
► 30 Dec 2017



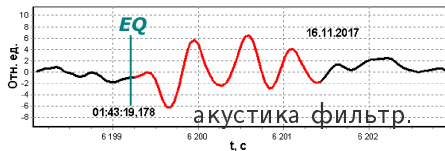
**мощность динамического спектра  
для периодов 0.5–1 суток**



► 26 Nov 2016



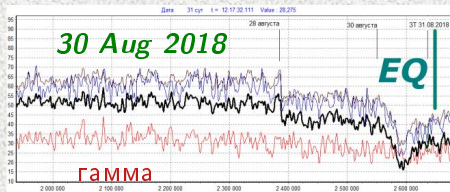
► 16 Nov 2017



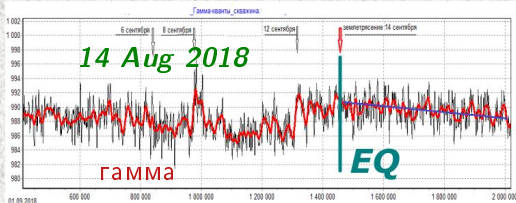
► 14 Sep 2018



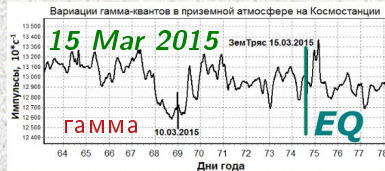
# Примеры аномальных возмущений интенсивности потока гамма-квантов в скважине и приземной атмосфере перед землетрясениями (M 4,8-5,8), произошедших в пределах радиуса Добровольского



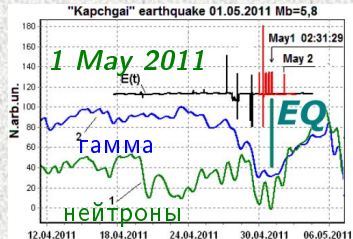
Резкое понижение 30 августа с последующим повышением ко дню землетрясения **31.08.2018 г. M4,8** наблюдалось как в скважине, так и приземной атмосфере. (~ в 50 км от эпицентра)



За 6 дней до землетрясения **14.08.2018 г. M5,2** возникли аномальные эффекты в вариациях интенсивности потока гамма-квантов в скважине и приземной атмосфере (южный берег оз. Иссык-Куль)



Эффект понижения потока гамма-квантов в приземной атмосфере зарегистрирован за 5 дней до основного толчка в 14,5 км от эпицентра землетрясения **15.03.2015 г. M5,1** (Кеминский очаг)



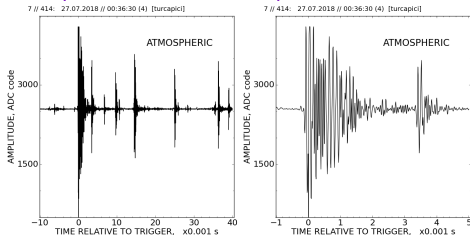
Снижением интенсивности потока тепловых нейтронов (1) и гамма-квантов (2) 30 апреля достигло минимальных значений, непосредственно перед землетрясением **01.05.2011 г. M5,8** произошло резкое повышение. 9 / 22

# Детекторы низкочастотных электромагнитных колебаний

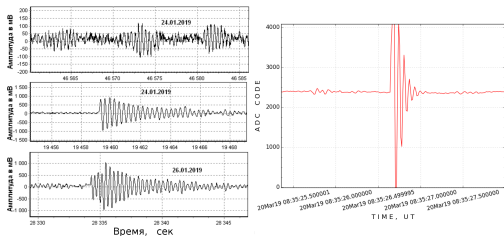
## ► расположение



## ► типичный сигнал VLF («атмосферики»)

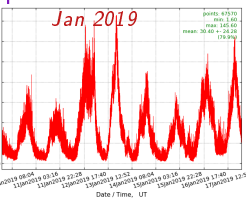
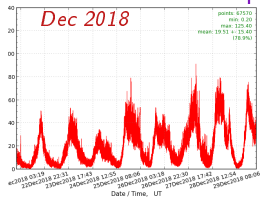
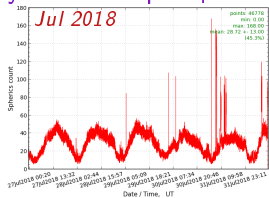


## ► сигналы SLF

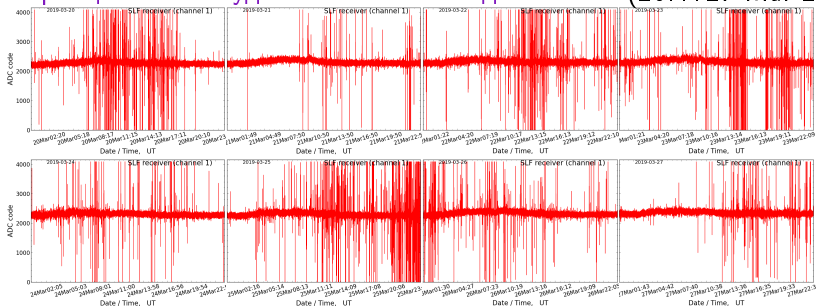


# Типичные данные по электромагнитным излучениям

## ► суточная вариация интенсивности атмосфериков



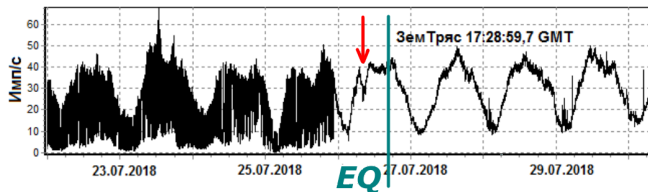
## ► вариации амплитуды сигнала в *SLF* диапазоне (20...27 Mar 2019)





# Эффекты сейсмической активности

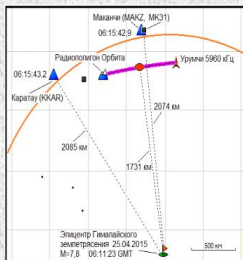
► 27 Jul 2018



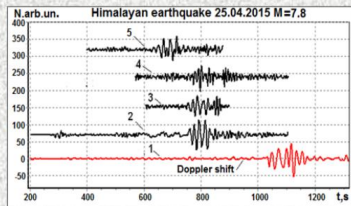
► 14 Sep 2018



# Доплеровский сдвиг отраженных радиосигналов

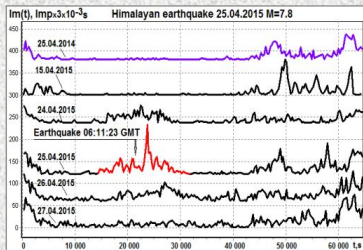


Отклик ионосферы на Гималайское землетрясение 25 апреля 2015 г. M 7.8 по данным наземных доплеровских наблюдений на удалении ~ 1700 км от эпицентра землетрясения



Отклик землетрясения в доплеровском сдвиге частоты ионосферного сигнала на наклонной радиотрассе Урумчи (КНР) - Радиополigon Орбита на расстоянии ~ 1700км от эпицентра землетрясения.

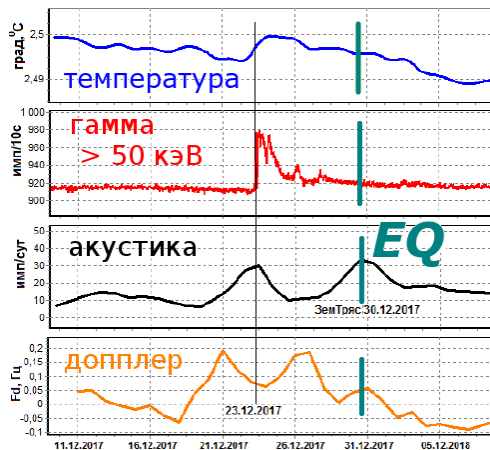
Схема расположения радиотрассы доплеровских измерений во время Гималайского землетрясения 25.04.2025г.



Используя модифицированный метод доплеровского сдвига частоты сигнала накануне землетрясения удалось обнаружить необычные эффекты появления высокочастотной составляющей в вариациях ДСЧ, отраженного от ионосферы.

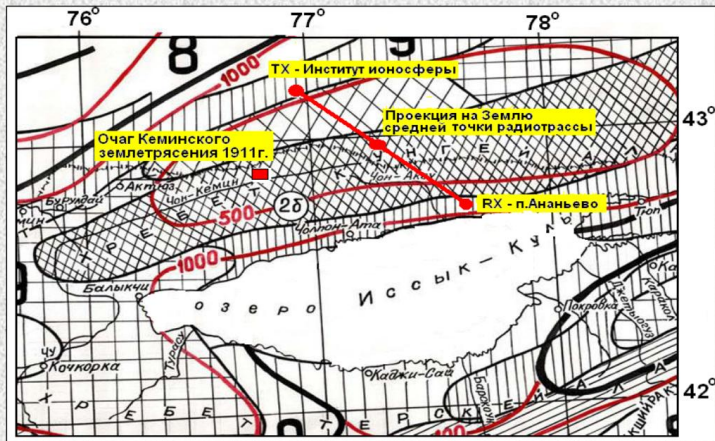
# Эффекты сейсмической активности

► 30 Dec 2017

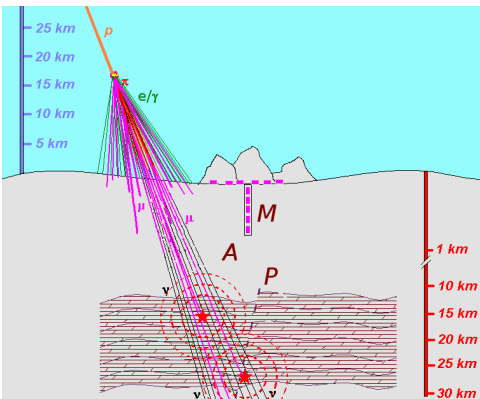


## Выбор оптимального расположения Доплеровского ионозонда на наклонной радиотрассе над Кеминским очагом на территории Республики Казахстан и Кыргызской Республики

Из всех радиофизических методов зондирования ионосферы доплеровский метод обладает наибольшей чувствительностью при регистрации короткопериодных процессов (от единиц до сотен секунд)



# Акустический сигнал от прохождения мюонов через сейсмически напряженную среду



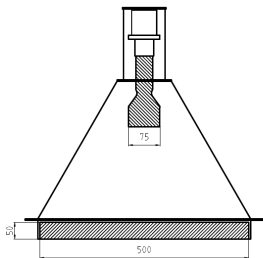
Chavroschkin, O. B. *et al* "Methods, results and perspectives of the high frequency seismic noise and vibrosignals" // *6th Rep IASPEL Comm. Microseismol. 18 IUGG, Hamburg, Germany, 1983*

Царев, В. А. "О геофизических приложениях нейтринных пучков" // *УФН, 1985, 147, 426.*

Царев, В. А., Чечин, В. А. "Атмосферные мюоны и высокочастотные сейсмические шумы" // *Препринт ФИАН № 179, 1988*

Gusev, G. A. *et al* "Cosmic rays as a new instrument of seismological studies" // *Bull. Lebedev Phys. Inst., 2011, 38, 374*

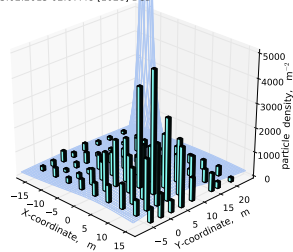
# Установка для регистрации ШАЛ



- общая площадь центрального «ковра»  $900 \text{ м}^2$
- 72 детектора с чувствительной площадью  $0.25 \text{ м}^2$
- 16 периферийных детекторов на расстояниях 40 – 70 м от центра
- диапазон измерения плотности потока частиц  $1 - 10^5 \text{ м}^2$

- 2D аппроксимация функцией НКГ  
 $\rightarrow (x, y, s, N_e)$   
 $N_e \rightarrow N_\mu$

23.02.2015 02:07:48 [1028] BCD



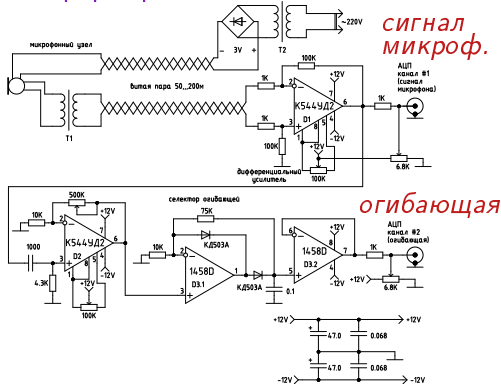
max: 5035; sum: 61163; shower: 6.3 4.2 2.5e+06 0.94 35.6

# Акустический детектор в подземной скважине

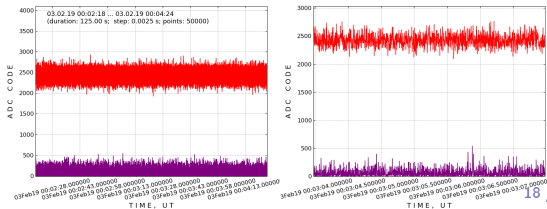


- глубина установки микрофона  $\sim 50$  м
- чувствительность 20 мВ/Па в диапазоне частот 500–10000 Гц
- АЦП: 12 бит, 500 изм/с.

## ► схема формирования сигнала

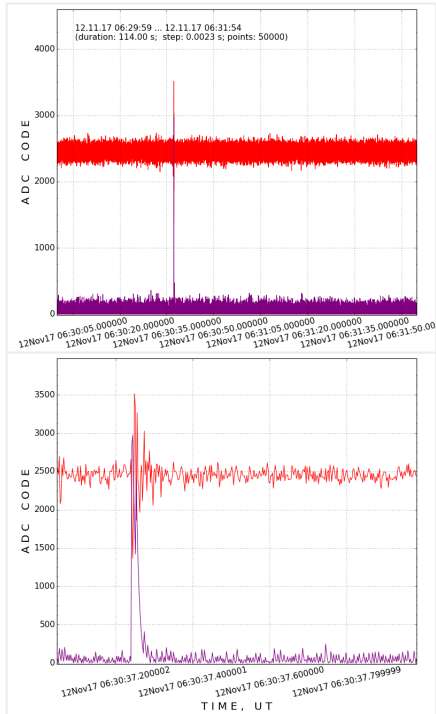


## ► пример акустической записи



# Импульсные сигналы от акустического детектора

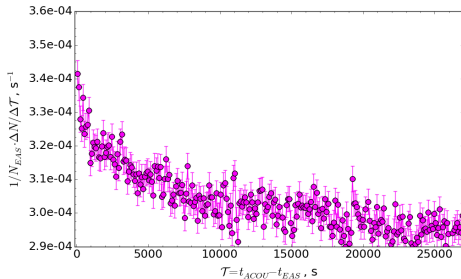
- ▶ «акустические события»  
— кратковременные  
( $\sim 10^{-2} - 10^{-1}$  с)  
возрастания  
интенсивности  
микрофонного сигнала
- ▶ 2 сезона измерений  
«акустика + ШАЛ»:  
06.11.2017 — 23.04.2018  
02.11.2018 — 28.03.2019  
(358 дней)



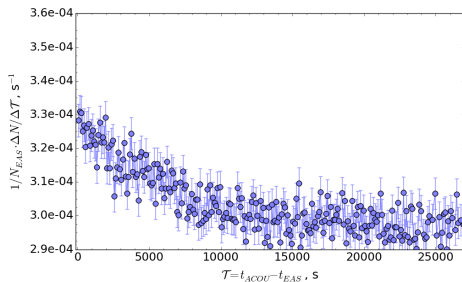


# Анализ данных акустического детектора

- ▶ распределение временных задержек между ШАЛ и последующими акустическими событиями

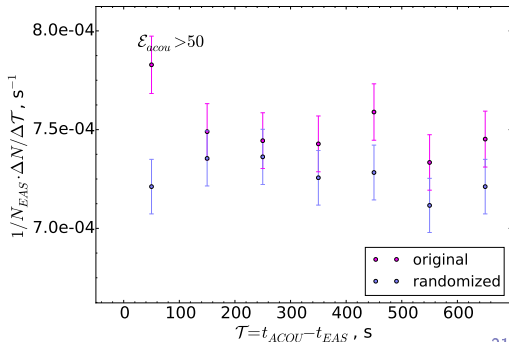
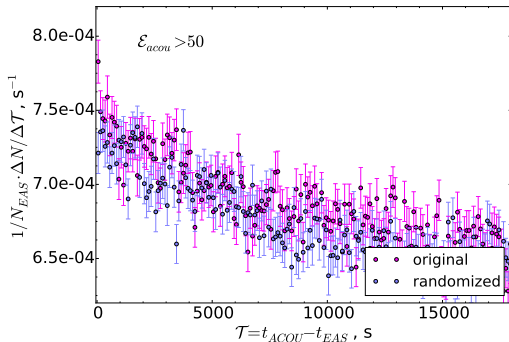


- ▶ распределение задержек между случайными моментами времени и последующими акустическими событиями



# Распределение временных задержек «ШАЛ-АКУСТИКА»

- ▶ ШАЛ с размером  $N_e \gtrsim 5 \cdot 10^5$   
(первичная энергия  $E_0 \gtrsim 10^{15}$  эВ)
- ▶ расстояние от скважины до оси ШАЛ  $R_{EAS} \lesssim 150$  м



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- ▶ на Тянь-Шаньской станции ФИАН разрабатывается практическая методика для непрерывной регистрации различных геофизических характеристик, позволяющих давать оценку текущего уровня сейсмической активности в окружающем станцию регионе.
- ▶ ряд уже полученных результатов, которые связаны с наблюдением эффектов, существенно *опережающих* последующие за ними сейсмические события, могли бы представлять интерес с точки зрения проблемы прогнозирования землетрясений.
- ▶ для подтверждения обнаруженных эффектов требуется продолжение систематических измерений и существенное увеличение статистики исследованных сейсмических событий.