

# Вариации фонового потока тепловых нейтронов на Камчатке

Ю.В. Стенькин<sup>1</sup>, В.В. Алексеенко<sup>1</sup>, Д.А. Кулешов<sup>1</sup>, К.Р. Лёвочкин<sup>1</sup>, Е.О. Макаров<sup>2</sup>, П.П. Фирстов<sup>2</sup>,  
О.Б. Щеголев<sup>1</sup>,



<sup>1</sup> Институт ядерных исследований РАН

<sup>2</sup> Камчатский филиал Единой геофизической службы РАН



# Установка «н-Камчатка»



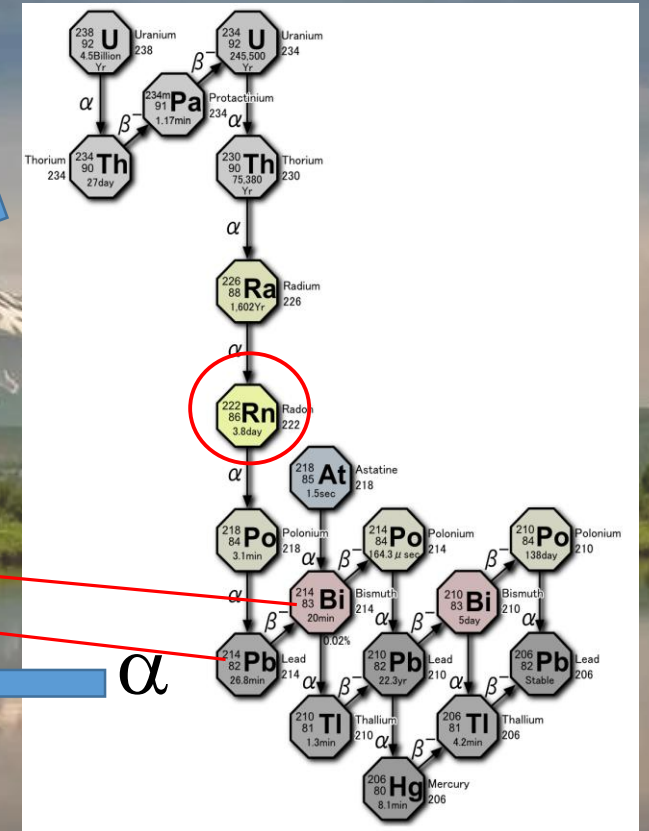
**Расположение – Петропавловск-Камчатский, подвал Института вулканологии  
1 эн-детектор (с возможностью увеличения до 4 детекторов)  
датчики: радона, атмосферного давления, температуры и относительной  
влажности воздуха.**

**Начало измерений – апрель 2019**



# Откуда в природе берутся свободные нейтроны?

## 2 источника:

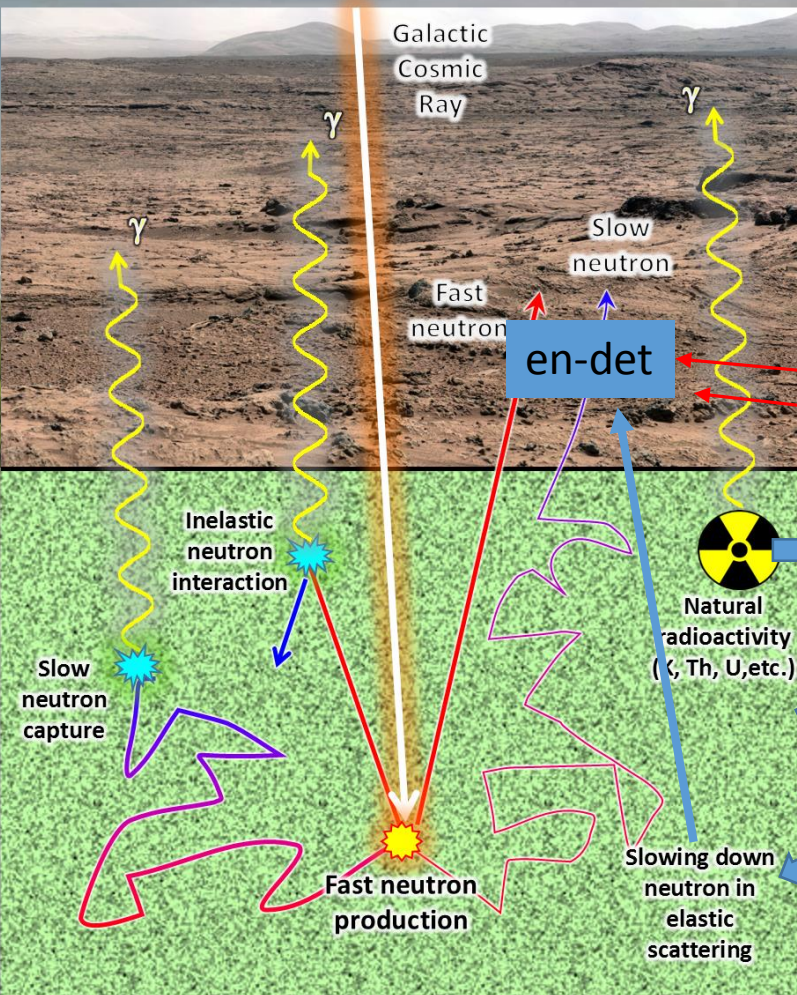


**Нейтрон (Чедвик, 1932г)**

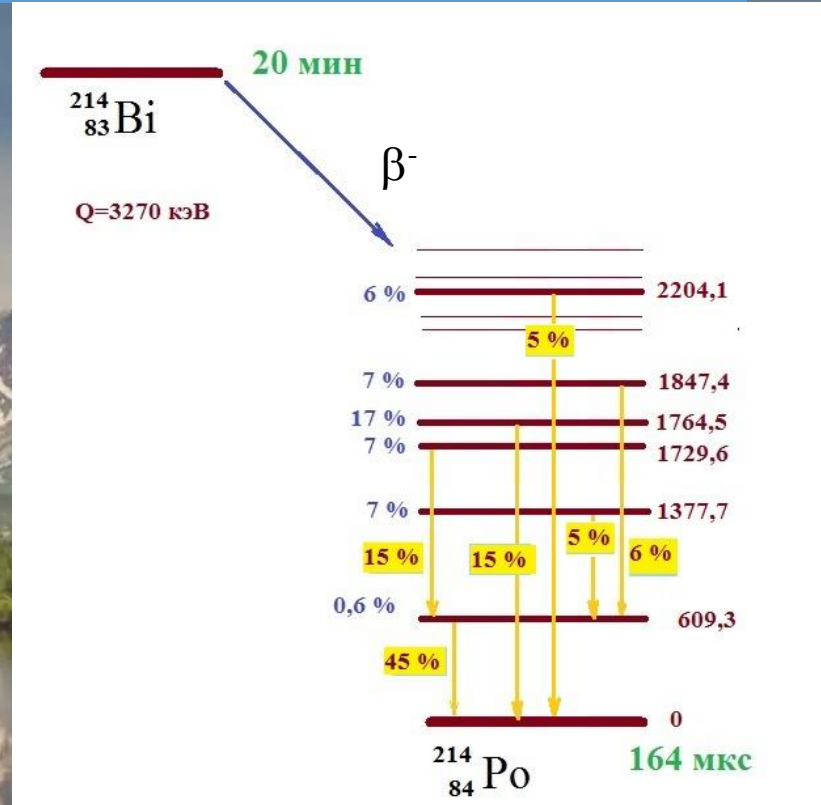
- Ядерная реакция:  

$${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$$
- Нейтрон,  $n$   
 $m_n = 1,67493 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,008665 \text{ а. е. м.} = 1838,6 m_e$   
 $q_n = 0$
- Нейтрон:  ${}^1_0\text{n}$

Участвует в гравитационном и ядерном (сильном) взаимодействиях.



Таким образом, часть регистрируемых нейтронов связана с радоном, а значит, и чувствительна к его распространению в земной коре.

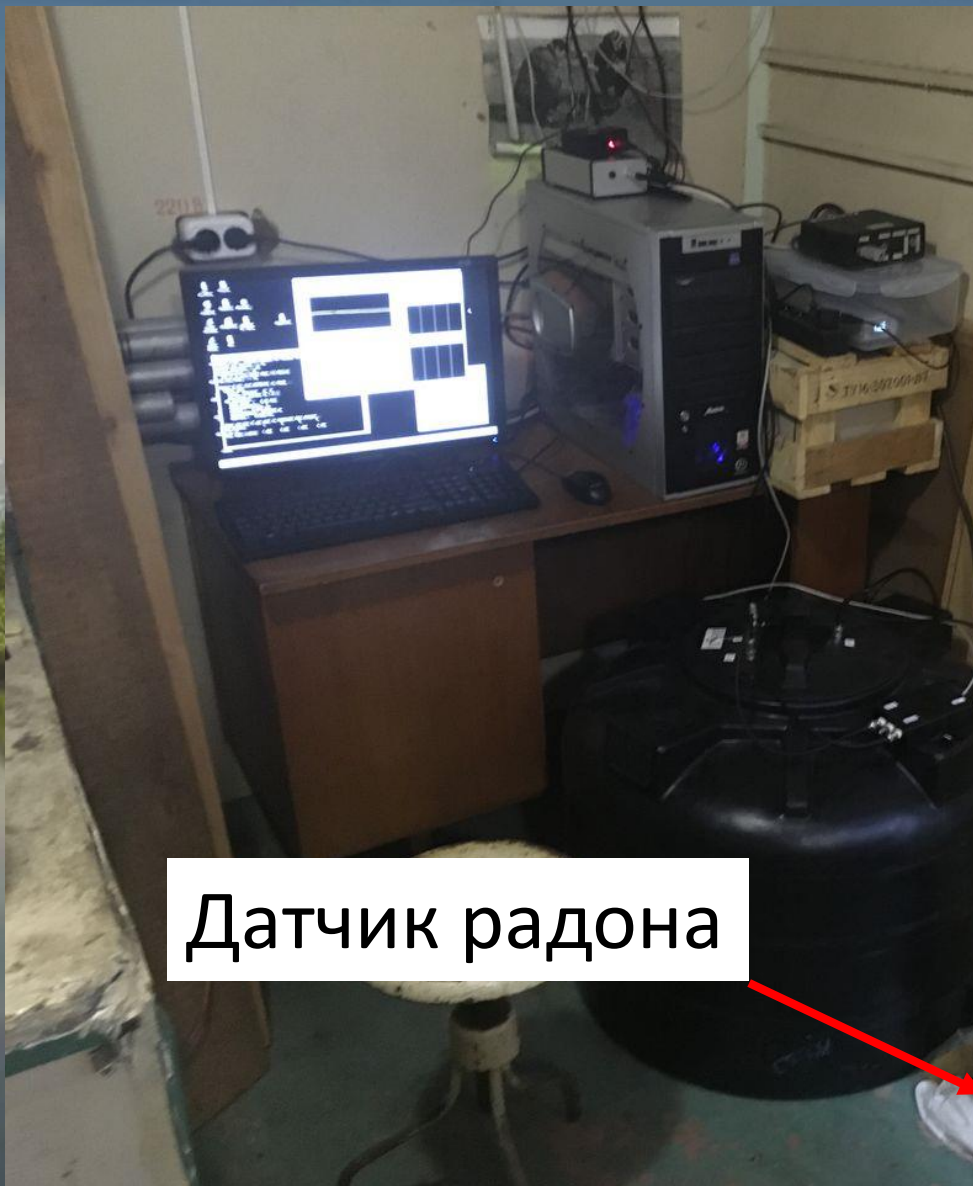


При этом, распады радоновой цепочки в грунте дают нейтроны, а в воздухе – коррелированное рождение  $\gamma$  и заряженных частиц



# Конструкция и свойства эн-детектора

Сцинтиллятор – 50 мг/см<sup>2</sup> компаунда  
ZnS(Ag)+B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
Эффективность регистрации тн – ~20%  
ФЭУ-49



Эн-детектор

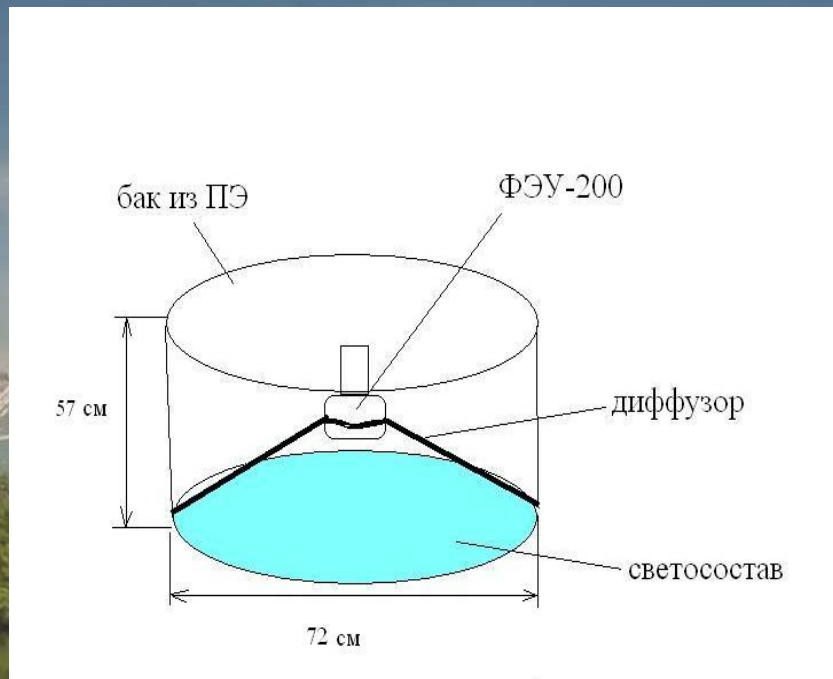
Подвал



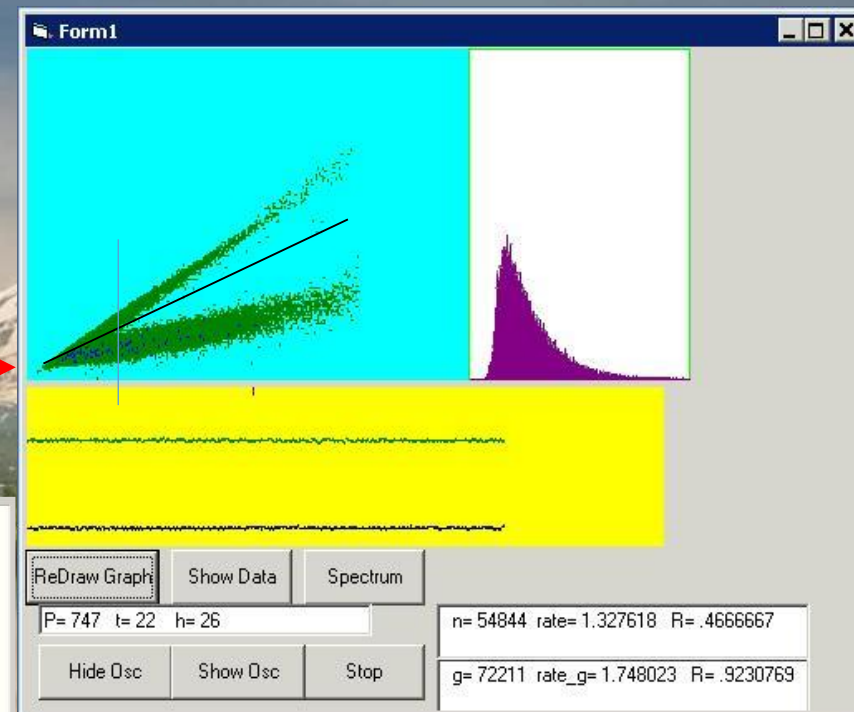
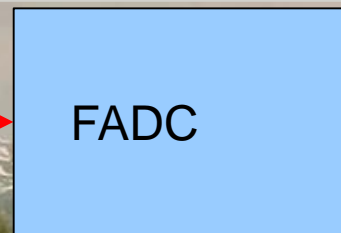
Датчик радона

Все импульсы оцифровываются флэш-АЦП  
и отбираются по форме. Порог = 3 тпр.  
Данные выводятся раз в минуту.

# Отбор по форме импульса позволяет полностью избавиться от фона и от помех



эн-детектор



Главное отличие: оцифровка сигналов и разделение по форме импульса

Импульсы группируются в 3 категории и считаются как: «нейтроны», «заряженные» и «очень медленные»

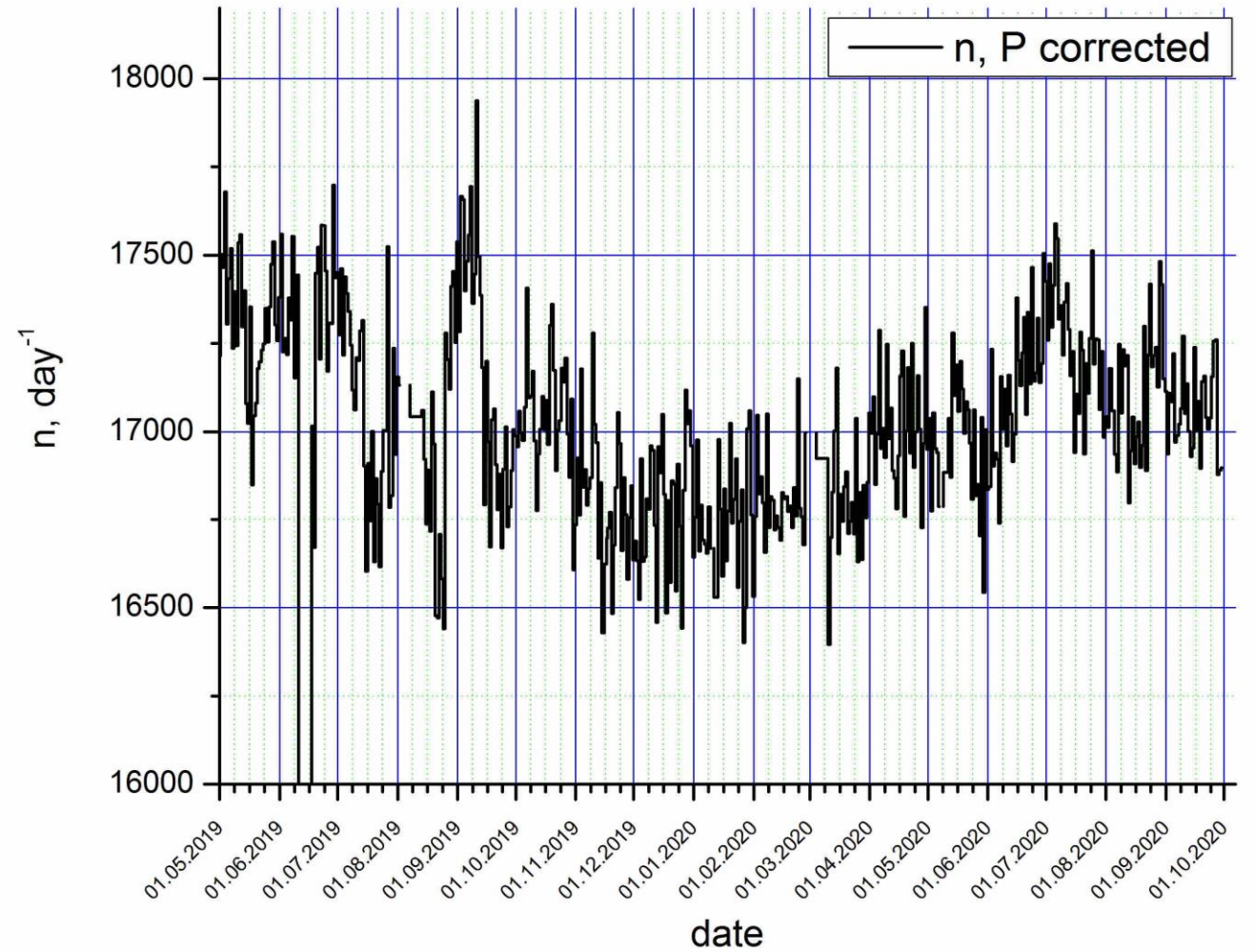


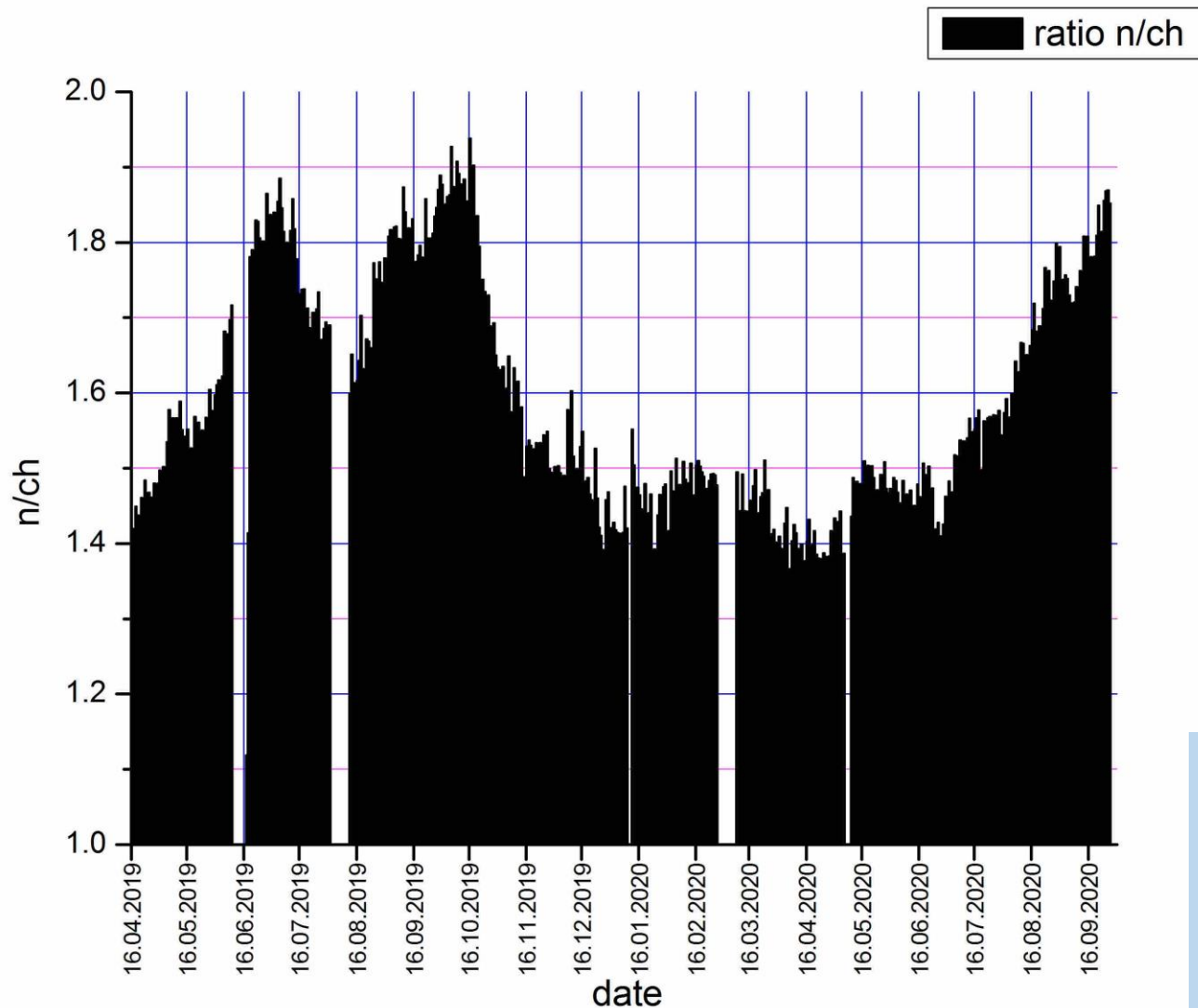
# Почему в подвале?

- чтобы подавить влияние  
к. л. и, соответственно,  
повысить чувствительность к  
«радоновым» нейтронам



нейтроны на Камчатке





Нейтроны и «заряженные» ведут себя по-разному. Почему?

Нейтроны рождаются в грунте космическими лучами и в  $(\alpha, n)$ -реакциях от естественной радиоактивности (радон).

«Заряженные», содержат коррелированные сигналы от  $\beta$ -распадов продуктов распада радона (Bi-214, Pb-214) в воздухе (Stenkin et al, JENRAD, 2020)

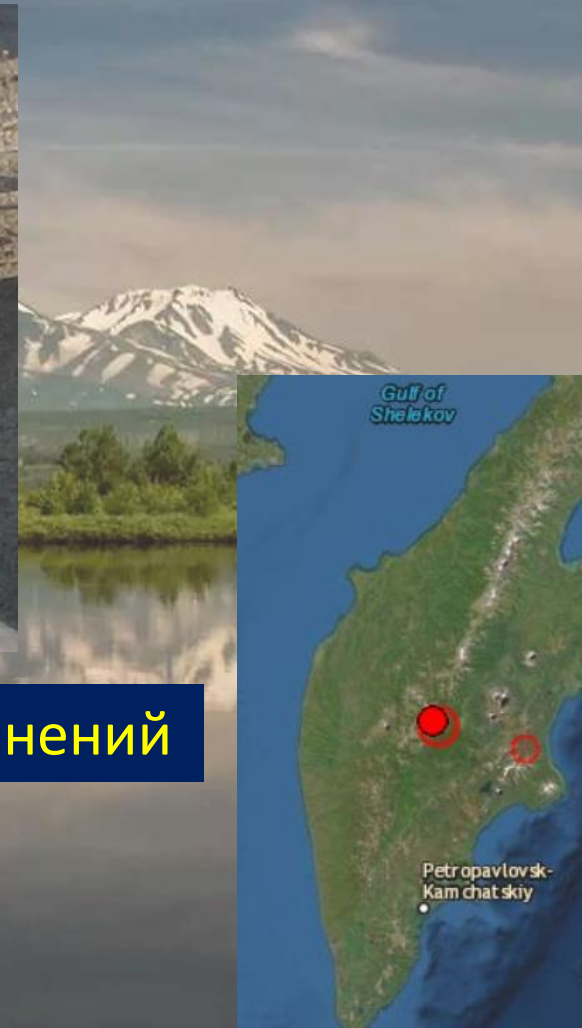
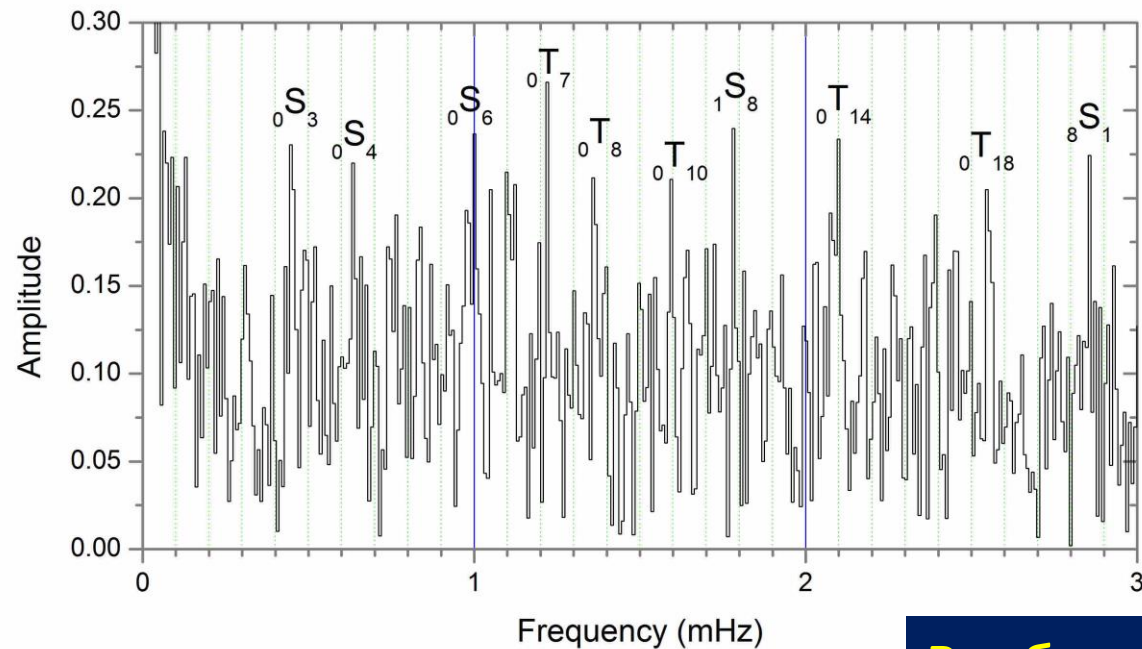


# ЗТ и Собственные колебания Земли

Создание установки на Камчатке нацелено, прежде всего, на поиск корреляций нейтронного потока с сейсмической активностью.

After EQ M6.4

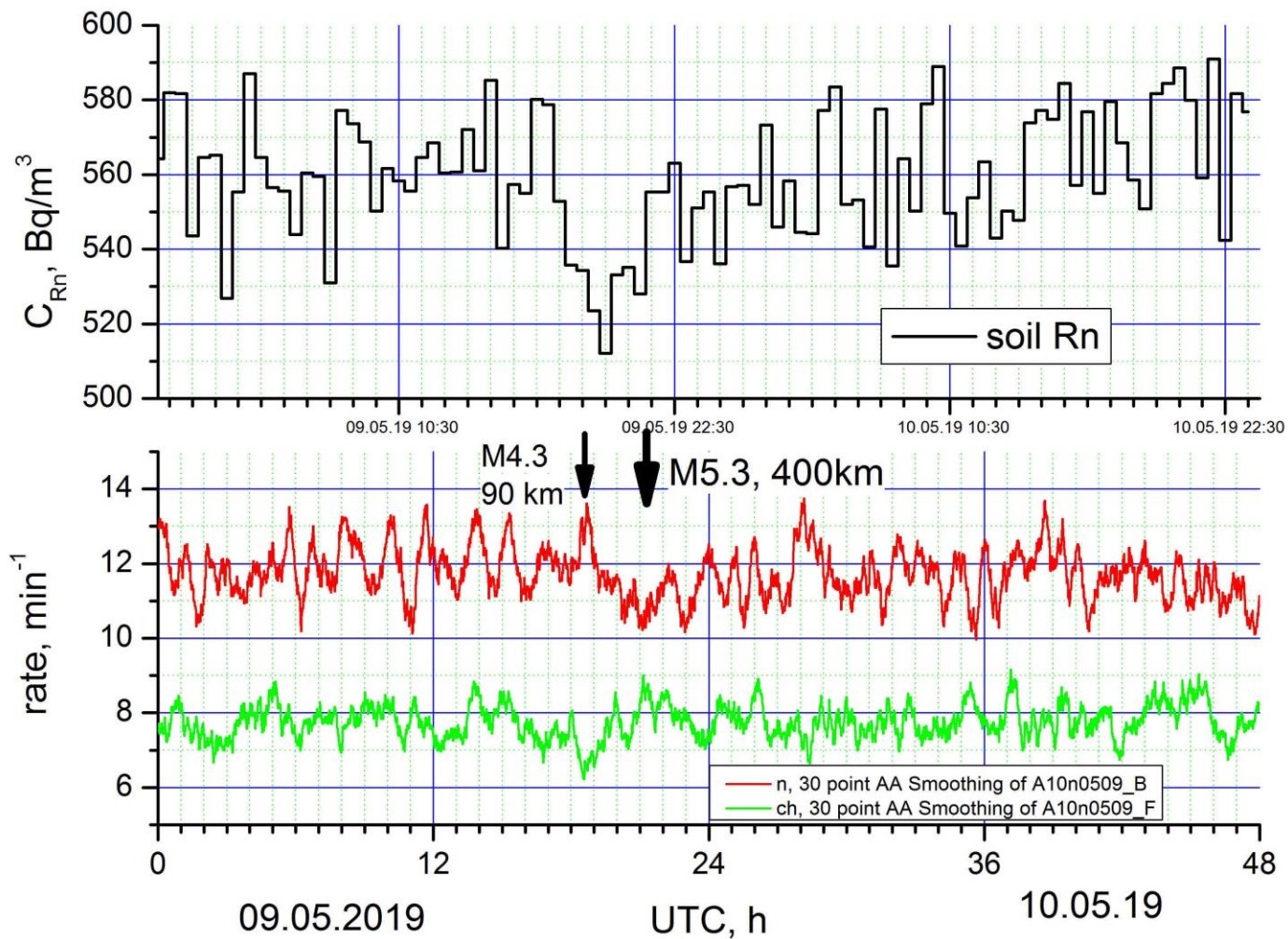
15.09.2020



**Возбуждение СКЗ не вызывает сомнений**

Magnitude	Mw 6.4
Region	KAMCHATKA PENINSULA, RUSSIA
Date time	2020-09-15 03:41:26.7 UTC
Location	55.99 N ; 158.45 E
Depth	330 km
Distances	328 km NNW of Petropavlovsk-Kamchatskiy, Russia / pop: 187,000 / local time: 15:41:26.7 2020-09-15

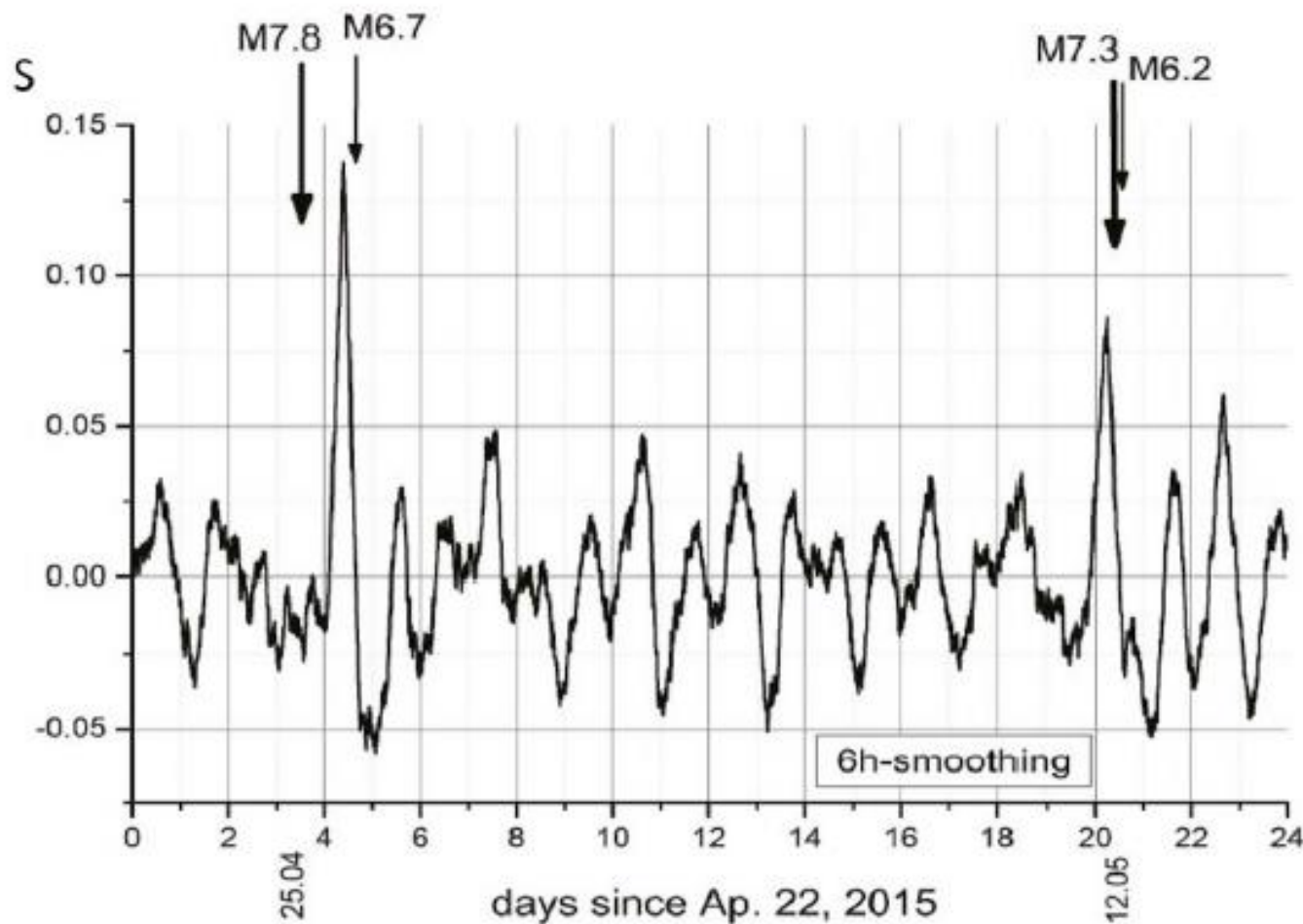
# Намек на корреляцию с ЗТ и радоном





# Что мы наблюдали в других детекторах?

*Journal of Environmental Radioactivity 208-209 (2019) 105981*

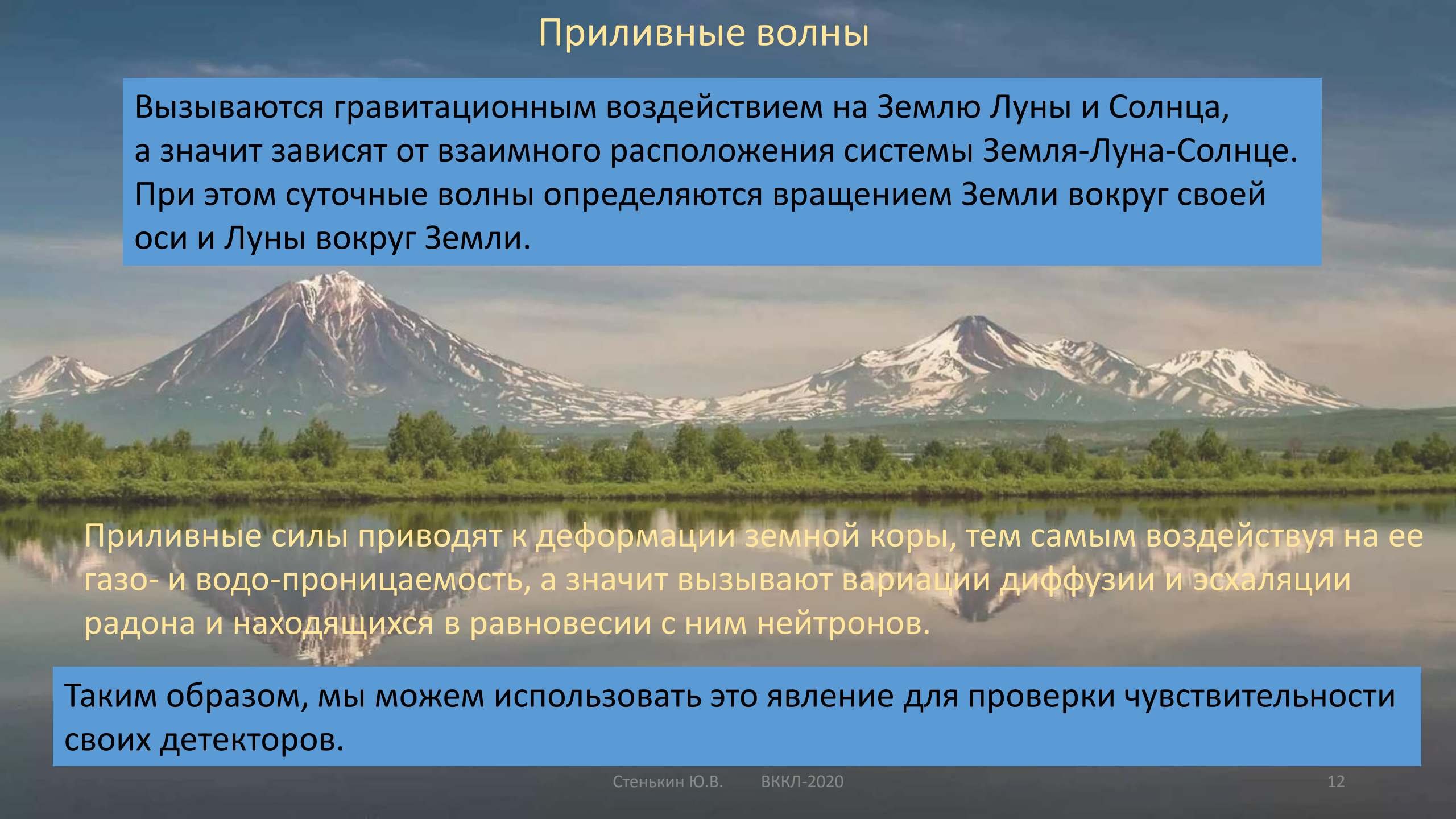


Тибет, уст. PRISMA-YBJ  
отклик на непальское ЗТ  
в 2015 г.

Наблюдался сбой  
фазы суточной волны  
тепловых нейтронов.

# Приливные волны

Вызываются гравитационным воздействием на Землю Луны и Солнца, а значит зависят от взаимного расположения системы Земля-Луна-Солнце. При этом суточные волны определяются вращением Земли вокруг своей оси и Луны вокруг Земли.

A landscape photograph showing a range of snow-capped mountains in the background, with a line of green trees in the middle ground, and a calm body of water in the foreground that perfectly reflects the scene above. The sky is overcast with soft, grey clouds.

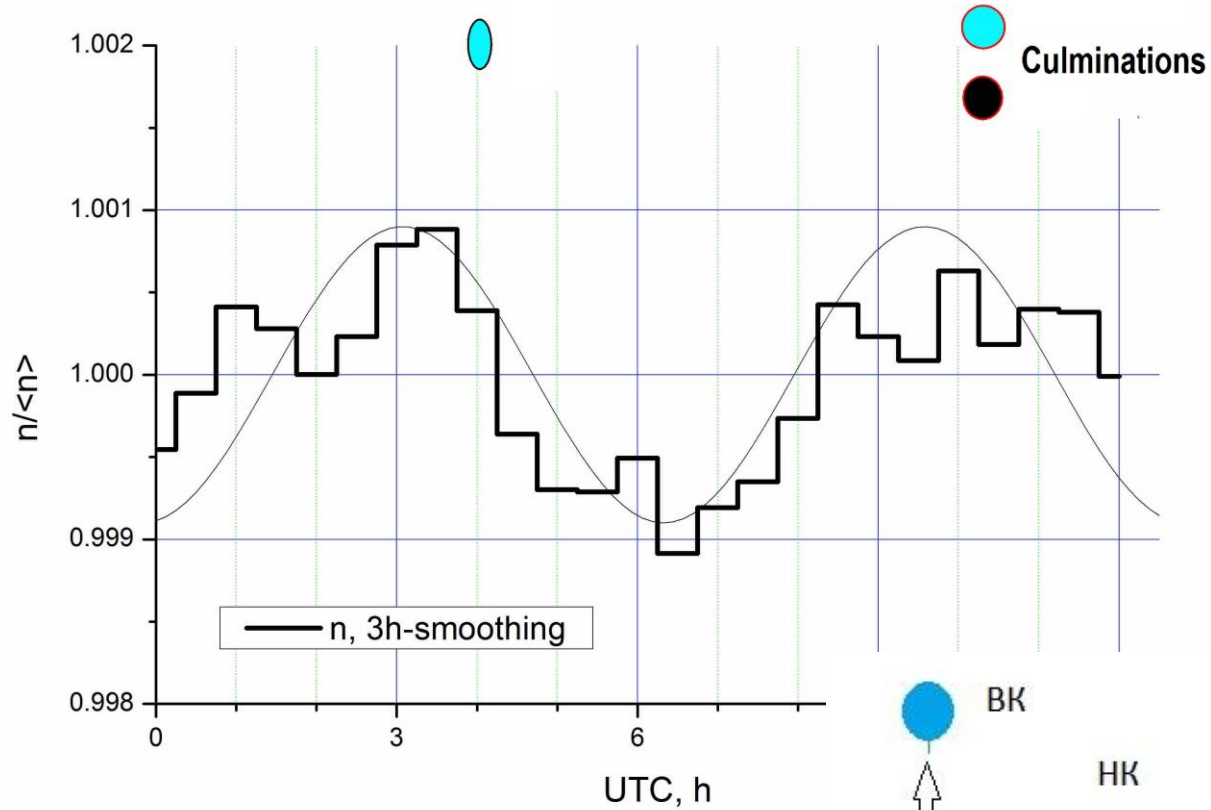
Приливные силы приводят к деформации земной коры, тем самым воздействуя на ее газо- и водо-проницаемость, а значит вызывают вариации диффузии и эсхалации радона и находящихся в равновесии с ним нейтронов.

Таким образом, мы можем использовать это явление для проверки чувствительности своих детекторов.



# M4?

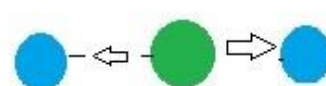
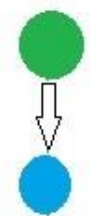
лунно-приливная волна M2 (T=12h25m)



ВК

НК

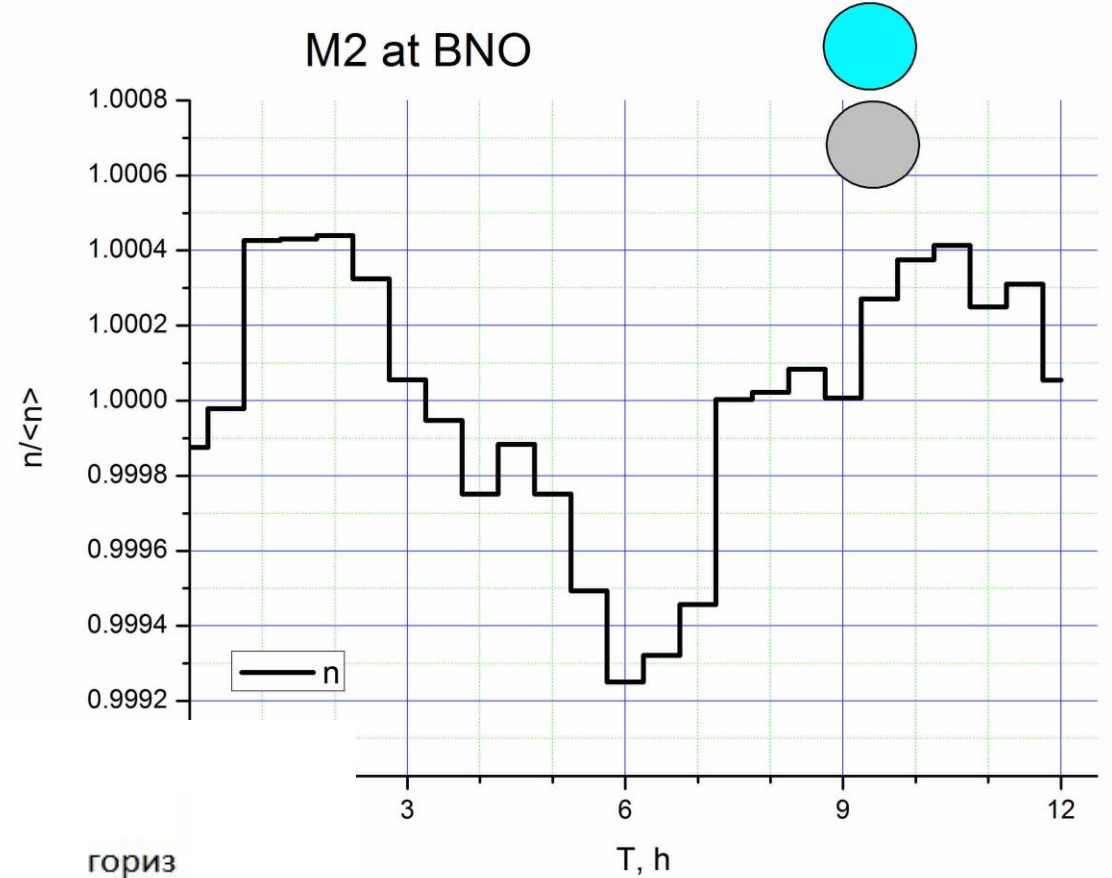
гориз



Стенькин Ю.В.

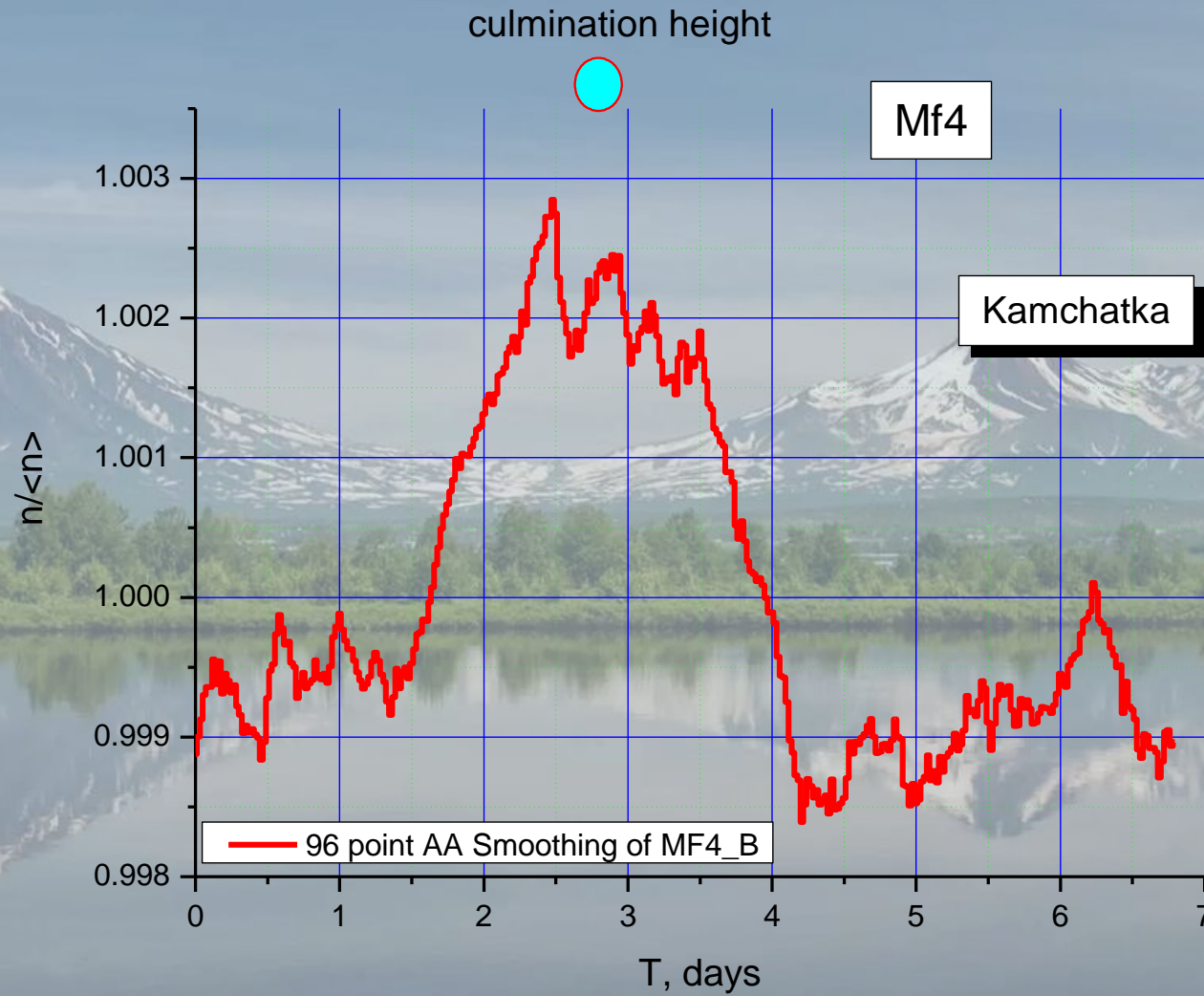
ВККЛ-2020

M2 at BNO



Т. о., нейтронов становится немного больше как во время прилива, так и во время отлива!

# 4-я гармоника of Dragon month $T=27.212$ d (culmination height)



Опять 4-я гармоника!



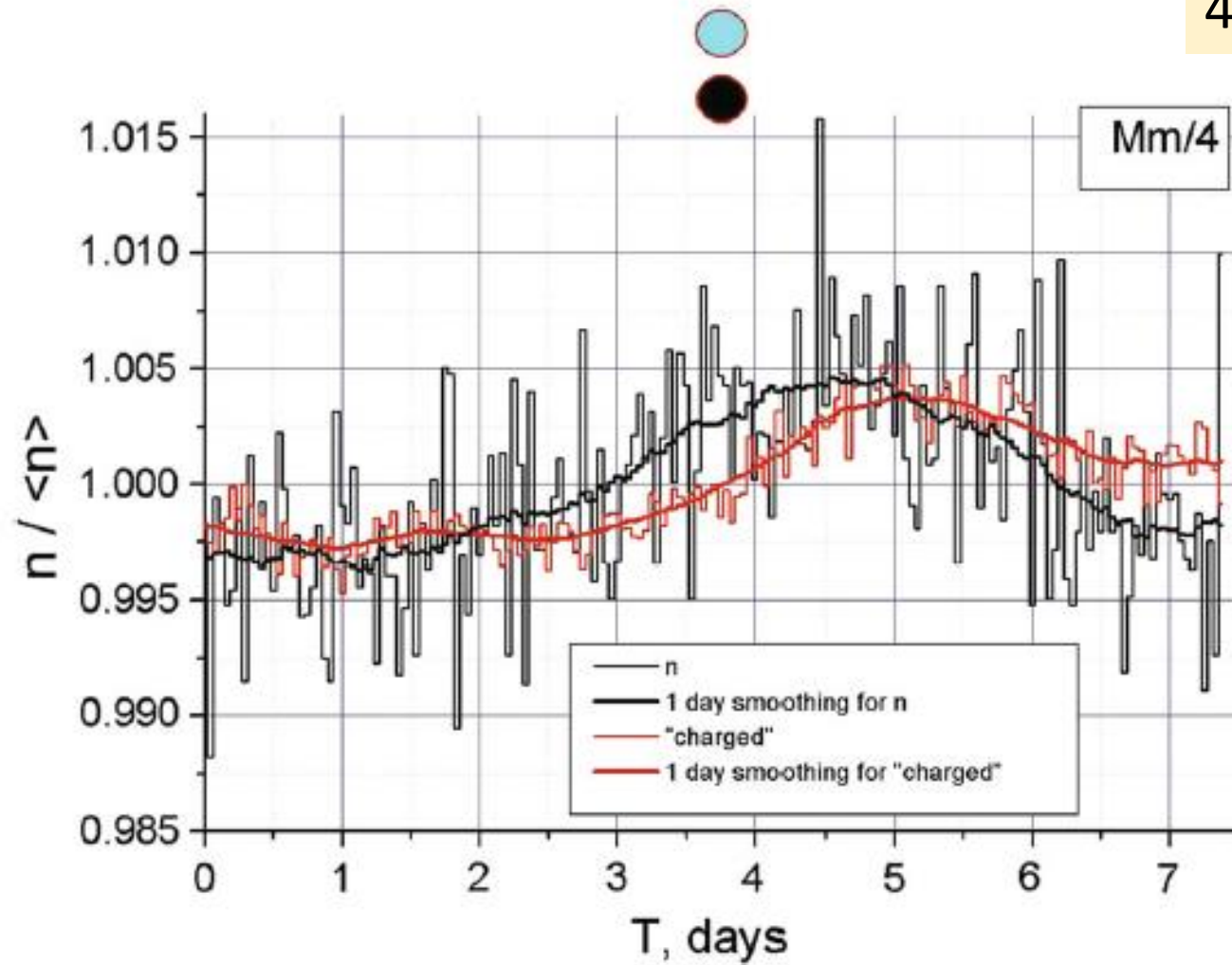


Figure 5  
Superimposed epoch analysis applied to neutrons and “charged” data for one quarter of the synodic moon month

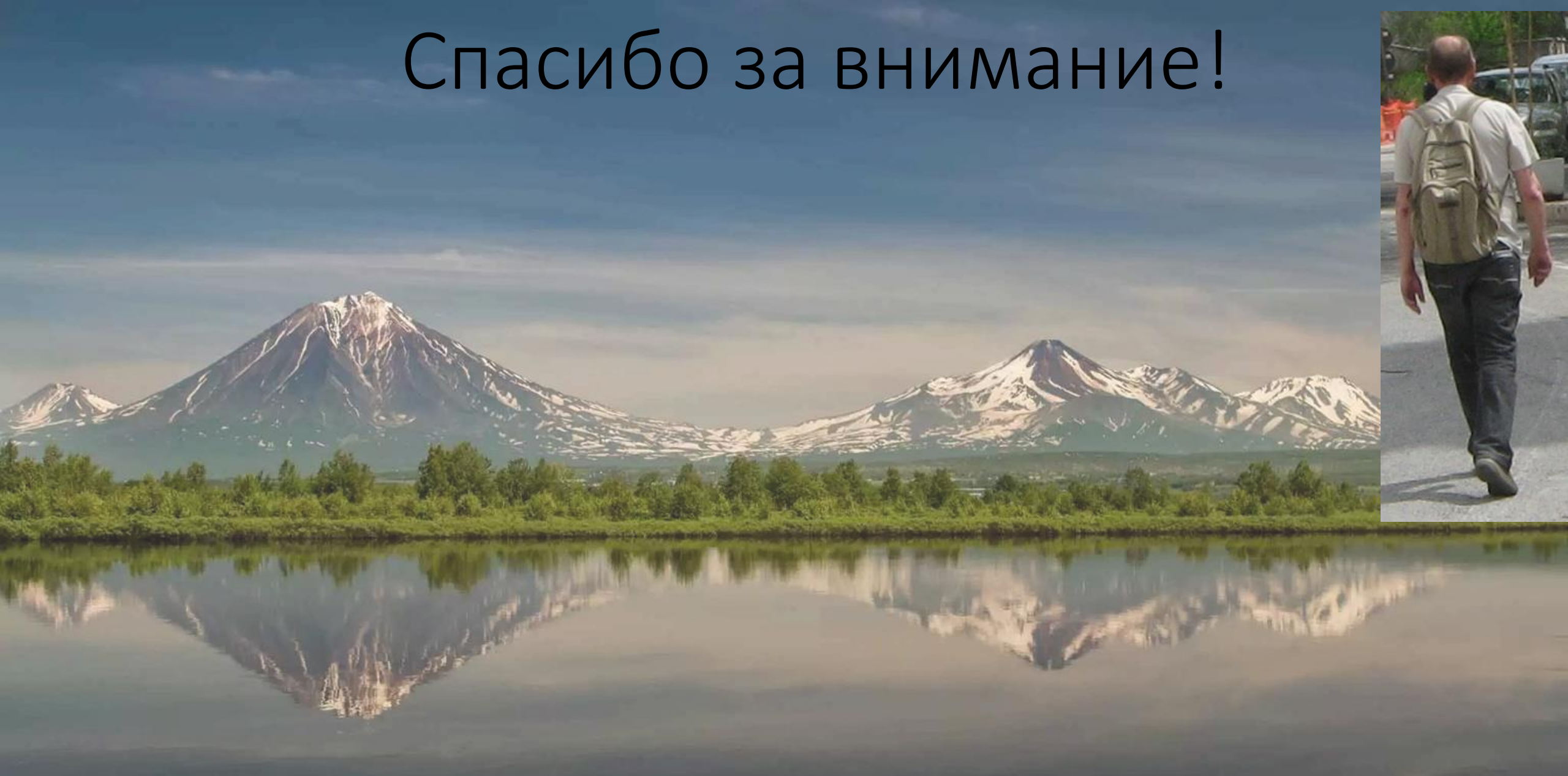
Stenkin et al. Pure Appl. Geophys. 174 (2017)

## Заключение

1. В сейсмически активном регионе создана установка для изучения вариаций природного потока тепловых нейтронов.
2. Полученная за 1.5 года информация показала хорошую стабильность и чувствительность на уровне  $\sim 10^{-3}$ , что проверено по приливным волнам.
3. По-видимому, в силу геологических особенностей Камчатки, наиболее явно выделяются 4-е гармоники приливных волн.
4. Подтверждено возбуждение СКЗ после глубокого ЗТ на расстоянии около 330 км.



# Спасибо за внимание!



Работа выполнена при поддержке РФФИ: Проект №18-02-00339