

# «Анализ вариаций концентрации продуктов распада радона в приземном слое воздуха»

37-я Всероссийская конференция по космическим лучам

Докладчик:

Лагуткина Александра

lagutkina.aa@phystech.edu

#### Авторы:

Лагуткина А.А., Джаппуев Д.Д., Куджаев А.У., Кулешов Д. А., Куринов К. О., Михайлова О.И., Стенькин Ю. В., Щеголев О. Б., ΜΦΤΜ

ИЯИ РАН

## Введение

- На протяжении последних нескольких лет в районе Баксанской Нейтринной Обсерватории (n-BNO) наблюдается рост амплитуды сезонной волны давления и скорости счета заряженной компоненты электронно-нейтронных детекторов.
- В «ch»-компоненте, чувствительной к продуктам распада радона, зимний максимум кривой растет от сезона к сезону, в то время как летний минимум находится на одном уровне
- С кривой давления ситуация обратная: максимум почти не меняется (зеленая прямая), а минимум кривой давления линейно убывает с каждым годом(фиолетовая прямая).
- Наблюдается тенденция к уменьшению среднегодового значения давления в данной местности (красная прямая), к увеличению среднегодового значения для «ch»-компоненты.

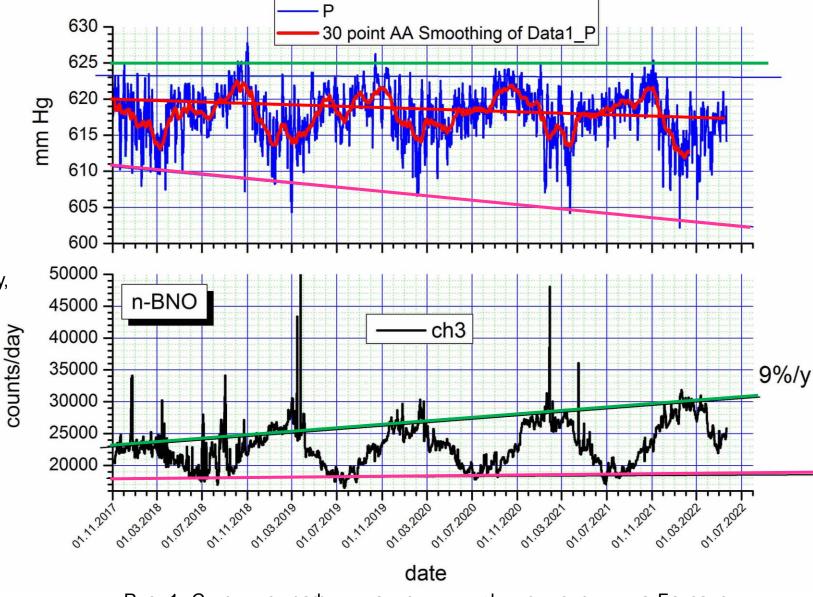


Рис. 1. Суточные графики давления и «ch»-компоненты на Баксане по данным из лаборатории n-BNO с 2017-го по 2021-ый гг.

## Введение

- Судя по данным Московского Нейтронного Монитора, в этот период в вариациях космических лучей наблюдается рост до 2020-го года и спад после (фрагмент стандартного солнечного цикла)
- Видимой корреляции между тенденциями на n-BNO и в космических лучах на MHM не наблюдается

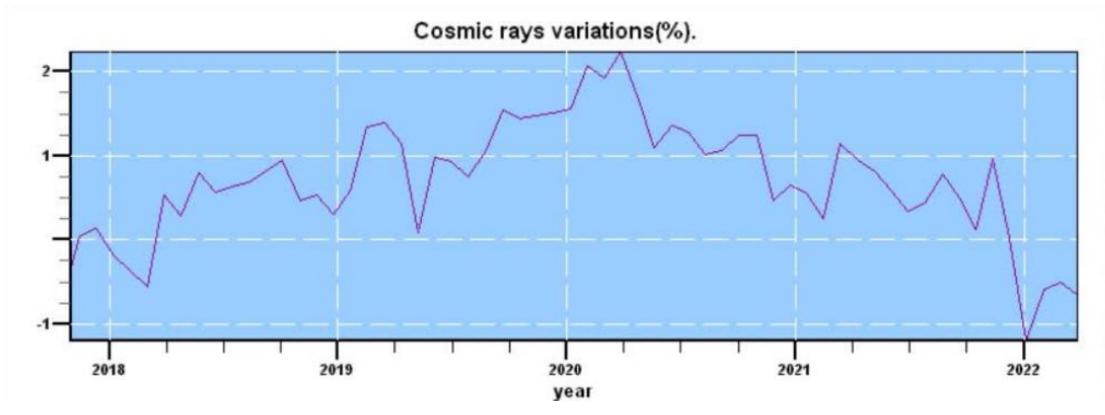


Рис. 2. Суточные графики вариаций космических лучей в Москве по данным Московского Нейтронного Монитора с 2018-го по 2021-ый гг. http://cr0.izmiran.ru/

## Электронно-нейтронный детектор

- Используя метод разделения сигналов по форме импульса, мы разделяем сигналы на «n» нейтроны и «ch» («charged») групповые прохождения быстрых заряженных частиц.
- Сигнал от одной легкой релятивистской заряженной частицы очень мал из-за малой толщины сцинтиллятора (30-50 мг/см^2) и находится в области шумов ФЭУ.
- Поэтому детектор чувствителен не к одиночным быстрым заряженным частицам и гамма-квантам, но к одновременному прохождению 3-х и более заряженных частиц: ШАЛ, мюоны с сопровождением, β-распады, сопровождаемые гамма-квантами.

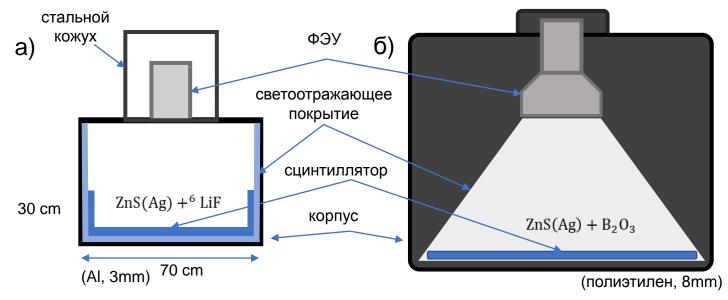


Рис. 5. Схема электронно-нейтронного (эн) детектора а) на n-BNO, б) в ИЯИ РАН

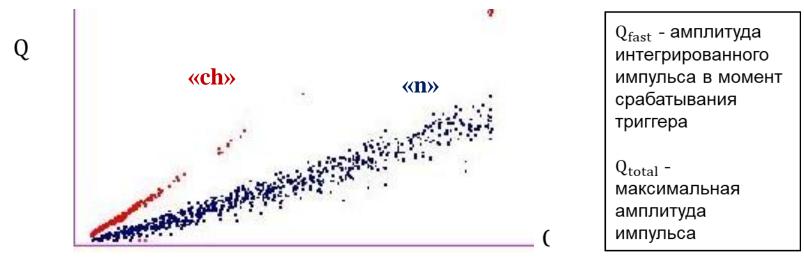


Рис. 6. Разделение оцифрованных импульсов по отношению Q\_fast/Q\_total («вилка»).

## Аэрозоли

- Один из важных переносчиков радиоактивных нуклидов аэрозоли
- Сильно ионизованные тяжелые нуклиды продукты распада радона в воздухе способствуют образованию заряженных аэрозолей
- Поляризованные **молекулы**  $H_2O$  важная составляющая аэрозоля
- В окрестности Баксанской Нейтринной Обсерватории (n-BNO) высокая концентрация радона в почве, а значит, и в воде, и в воздухе
- Возможные **природные источники** вариации концентрации продуктов распада  $^{222}_{86}$ Rn в воздухе на Баксане:
  - перепады давления
  - о изменение влажности
  - выпадение осадков
- Фон от распадов нуклидов в воздухе серьезная проблема для низкофоновых экспериментов по детектированию частиц.

## Аэрозоли и летние возрастания

- На n-BNO летом 2018 года во время сильных дождей, наводнений и схода селей наблюдались пики (Рис.3: 1,2).
- Оба эффекта связаны с наличием заряженных аэрозолей в воздухе.
- Водяной пар играет очень важную роль в формировании аэрозолей, так как молекулы воды сильно поляризованы и притягиваются к ионам нуклидов-продуктов распада радона в воздуха.
- Высокий **уровень воды** в р. Баксан и **бурное течение** создают идеальные условия для формирования **заряженных радиоактивных аэрозолей**

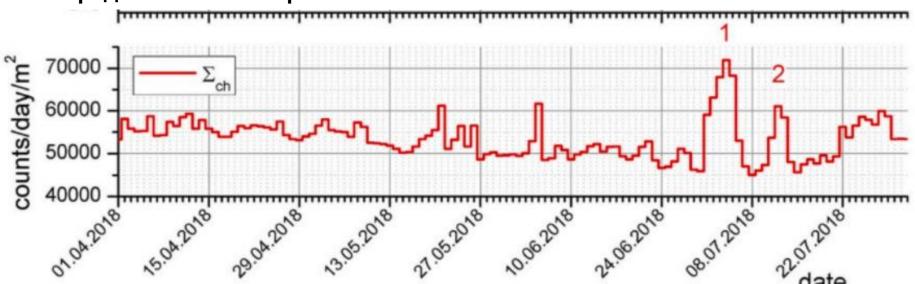


Рис.8. Суточный график отсчетов **заряженной компоненты** в n-БНО в трех эн-детекторах 01.04.2018 – 07.08.2020

[Stenkin Yu.V., et al., Sporadic increases of radioactive aerosols as a possible reason for heavy nuclides enhancements recorded with the en-detectors. - Journal of Environmental Radioactivity 222, 106335 (2020)]

## Наблюдаемый эффект – зимние возрастания 7

- Возможно, рост среднегодового значения ch-компоненты в n-BNO связан с учащением аномальных возрастаний ее темпа отсчета.
- Например, в **январе 2021** года на установке n-БНО (Баксанская Нейтринная Обсерватория) было обнаружено **возрастание заряженных частиц в воздухе** экспериментального зала во время **сильных метелей**. В ходе исследования оказалось, что подобные эффекты имели место и **ранее**.

• Аналогичные превышения имели место в апреле 2021-го года, однако они метелями не сопровождались

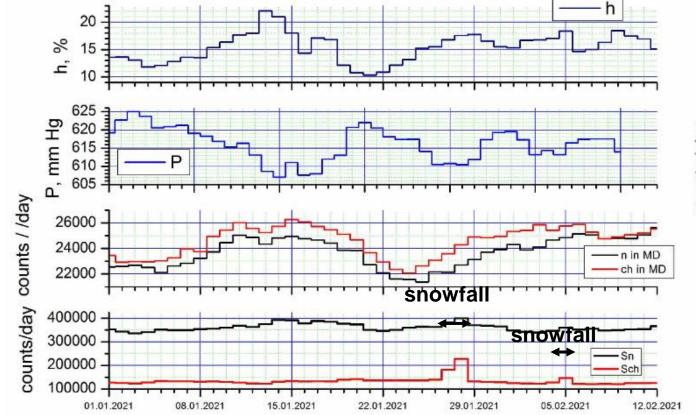


Рис. 3. Суточные графики **влажности воздуха** и **давления** в n-БНО, а также отсчетов **заряженной компоненты** в туннеле мюонного детектора (MD) и в трех других (S) эн-детекторах 01.01.2021 - 12.02.2021

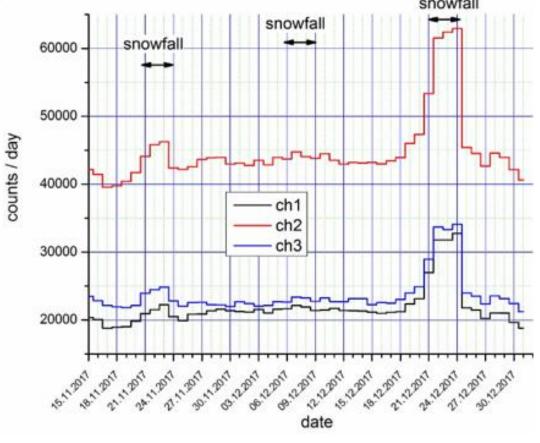


Рис. 4. **Заряженные компоненты** в эн-детекторах в n-БНО в период 15.11.2017 – 30.12.2017

## Гипотезы объяснения зимних возрастаний

#### Гипотеза I:

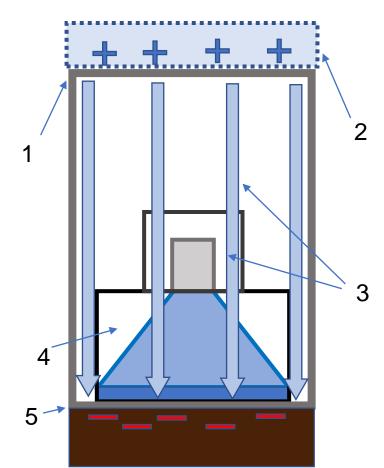


Рис. 7. Схема «конденсатора» между крышей и потолком: 1 — крыша, 2 — снег, 3 — электрическое поле, 4 — эн-детектор, 5 - земля

#### Гипотеза II:

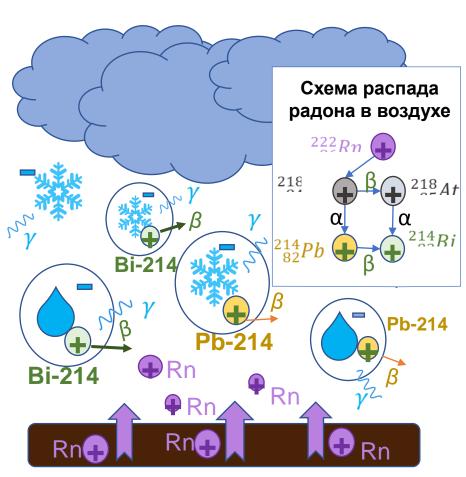


Рис. 8. Схема образования радиоактивных аэрозолей

### Гипотеза III:

 Колебания атмосферного давления вызывают накачку и откачку газа в почву и обратно.



 Давление понижается => в атмосферу из почвы попадает радон.



Для заряженных частиц для нелинейного пампинг-эффекта нужны исключительные условия – давление должно упасть до аномально низкого значения

$${m P}\ll{m P}_{\scriptscriptstyle 
m TDVHT}$$

# Гипотеза I. Эксперимент

б)

• В лабораторных условиях представляется возможным исследовать гипотезу I.

пластиной и землей.

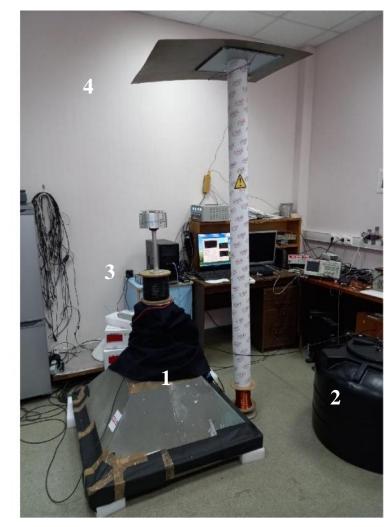
между

металлической

a)

возможным исследовать гипотезу I.

В эксперименте детектор помещен в искусственно созданное электрическое поле



- а) Boltek прибор для измерения электрического поля.
- б) Лабораторная установка к гипотезе I: 1 эн-детектор (разновидность «пирамида», 2 эндетектор (разновидность «бочка»), 3 — Boltek, 4 — металлическая пластина под напряжением

## Эксперимент. Анализ данных

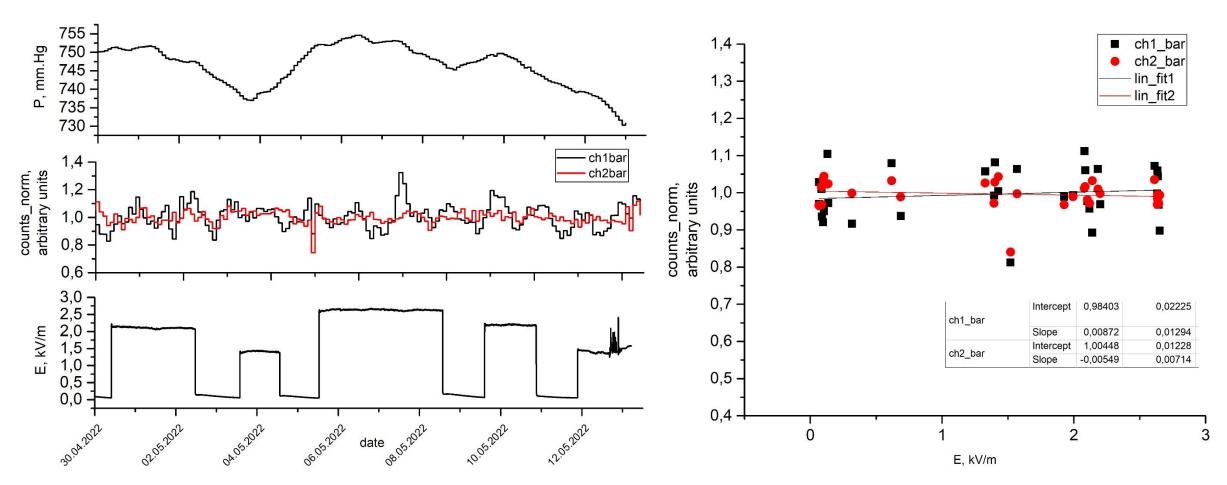


Рис. 10. Суточные графики **давления** и отсчетов **заряженной компоненты** в эн-детекторе в лаборатории ИЯИ РАН, а также **электрического поля** над детектором (28.04.2022 – 12.05.2022).

Рис. 11. График зависимости отсчетов заряженной компоненты от электрического поля в эн-детекторах в лаборатории ИЯИ РАН с линейной аппроксимацией

## Гипотеза III

- Необходимые условия для
  наблюдения нелинейного пампингэффекта в заряженных частицах
  имели место в Москве осенью 2021-го
  года
- Эффект наблюдался в подземной лаборатории ШАЛ МГУ на глубине 25 м водного эквивалента
- Из графика видно, что не на каждое понижение давления есть отклик в виде пиков в компоненте «charged» («порог» эффекта)
- Можно предположить, что аналогичный эффект (пики в «ch»-компоненте) имеет место на n-BNO при P « P<sub>грунт</sub> при выполнении дополнительных погодных условий (определенная температура, влажность, и т.д.)
- Однако учащение аномалий в давлении, а значит, и в показаниях детекторов, может быть тесно связано с изменением климата

#### Pumping-effect in MSU basement

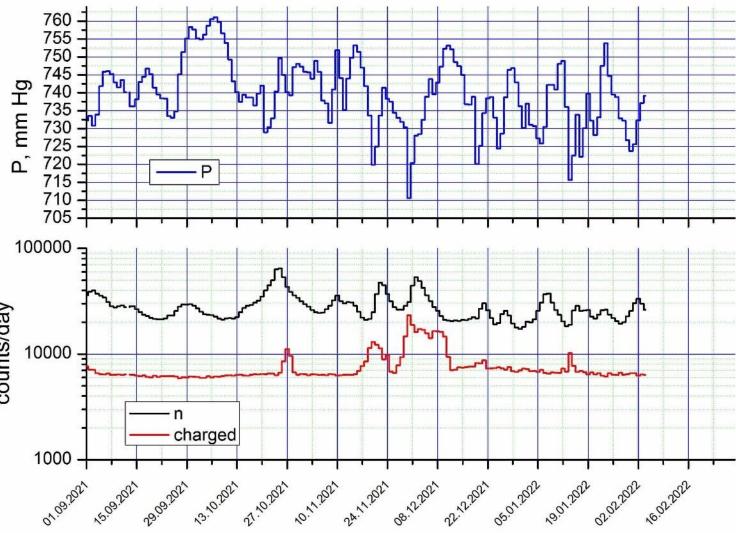


Рис. 12. Суточные графики давления и отсчетов заряженной компоненты (красная кривая) и нейтронов (черная кривая) в эн-детекторе в лаборатории ШАЛ-МГУ в период 01.09.2021-02.02.2022.

## Гипотеза III. Осадки и прогнозы

• Из сценариев Климатического Центра Росгидромета виден тренд к росту средней нормы осадков и средней температуры на

территории РФ

• Влажность растет => аэрозоли образуются интенсивнее

 Т °С растет => учащаются погодные аномалии, в т.ч.
 в давлении

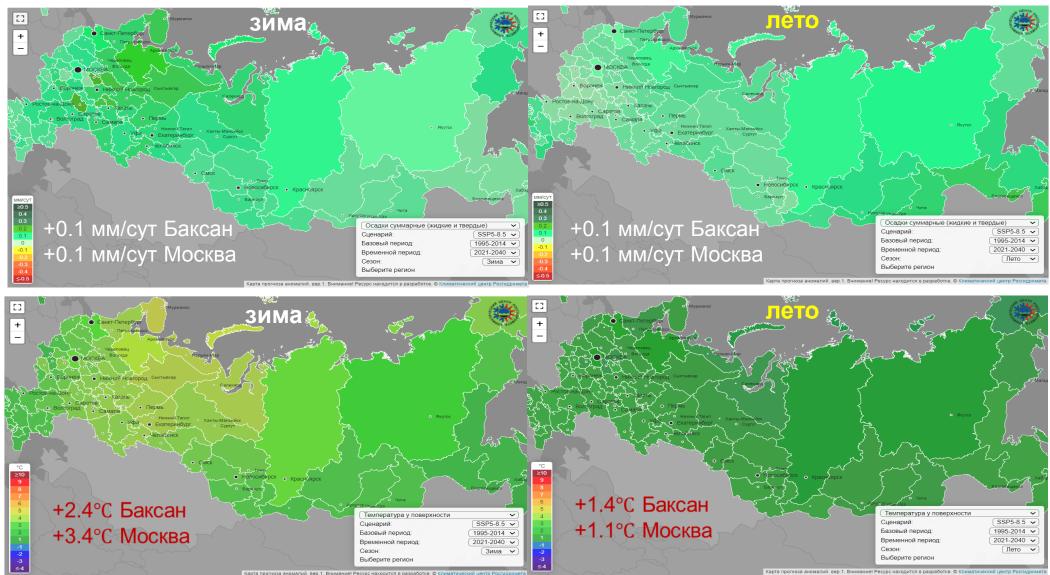


Рис. 13. Схема прироста средней суточной нормы осадков (сверху) и температуры (снизу), предсказанного по сценарию SSP2-4.5 за 2021-2040 гг. (http://cc.voeikovmgo.ru/)

## Выводы

- Обнаружен рост амплитуды сезонных колебаний давления и концентрации продуктов распада радона в приземном слое воздуха на n-BNO со скоростью ~9% в год (основной прирост в зимнее время)
- Обнаружена корреляция между возрастаниями концентрации продуктов распада радона под землей и аномально низкими значениями давления (нелинейный пампинг-эффект)
- Обнаруженные эффекты нельзя объяснить изменениями космических лучей в этот период времени
- Учащение наблюдаемых аномалий в последние годы может объясняться тенденцией к соответствующему учащению случаев погодных условий с аномально низким давлением и уменьшению среднего значения давления в заданной местности
- А также свидетельствовать о глобальных изменениях в атмосфере

## Спасибо за внимание!