27.06.2022



«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., МФТИ ИЯИ РАН

Введение

- ٠ 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 ٠ продуктам распада радона, зимний максимум кривой растет от сезона к сезону, в то время как летний минимум находится на одном уровне counts/day
- С кривой давления ситуация обратная: ٠ 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

Q

- Используя метод разделения сигналов по форме импульса, мы разделяем сигналы на «n» - нейтроны и «ch» -(«charged») - групповые прохождения быстрых заряженных частиц.
- Сигналотоднойлегкойрелятивистскойзаряженнойчастицыоченьмализ-замалойтолщинысцинтиллятора(30-50мг/см^2) и находится в области шумовФЭУ.
- 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. 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 H₂O 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 ²²²₈₆Rn в воздухе на Баксане:
 - о перепады **давления**
 - о изменение влажности
 - о 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 ٠



⁽MD) и в трех других (S) эн-детекторах 01.01.2021 - 12.02.2021

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.

²²²₈₆Rn +

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

 $\pmb{P} \ll \pmb{P}_{\mathrm{грунт}}$

8

Гипотеза I. Эксперимент

 В лабораторных условиях представляется возможным исследовать гипотезу I.

В эксперименте детектор помещен в искусственно созданное электрическое поле между металлической пластиной и землей.



Рис. 9. Эксперимент к гипотезе I

a) 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

б)



Эксперимент. Анализ данных



Рис. 10. Суточные графики давления отсчетов И заряженной компоненты в эн-детекторе в лаборатории ИЯИ PAH, 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

10

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*_{грунт} при выполнении дополнительных погодных условий (определенная температура, влажность, и т.д.)





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



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/)

12

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!