

Возможности мониторинга окружающей среды с помощью вторичных компонент космических лучей

Кобелев П.Г., Трефилова Л.А., Янке В.Г.
Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН (ИЗМИРАН)

Введение

Задача определения влаги актуальна во многих направлениях:

- мониторинг количества снега, например, в горах
- определение количества влаги в сельхоз угодьях и т.д.

В районах, где затруднительно провести прямые измерения, а также для получения среднего количества влаги на большой площади используется специальная методика.

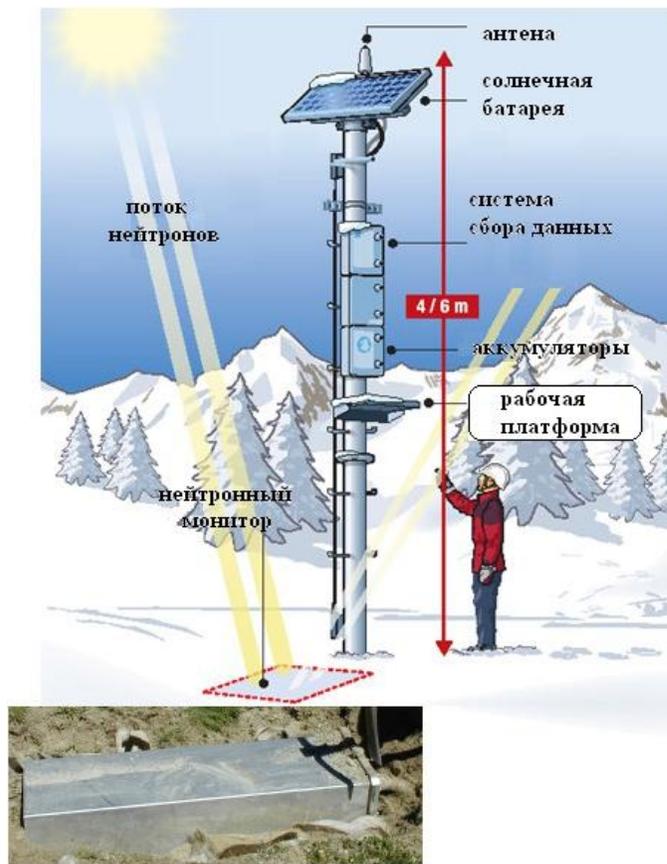
Основной идеей данной методики является использование детекторов эпитепловых нейтронов, которые показывают согласно ([Zreda 2012](#), [Desilets 2010](#), [Bogena 2020](#)) антикорреляцию с количеством влаги в почве и на ней.

Определение влажности почвы с помощью активного источника нейтронов, 1951 год

Gardner Wilford, and Kirkham Don, Determination of soil moisture by neutron scattering // Soil Science, v. 73, no. 5, p. 391-401, 1951



Различные конструкции детекторов для мониторинга изменений окружающей среды

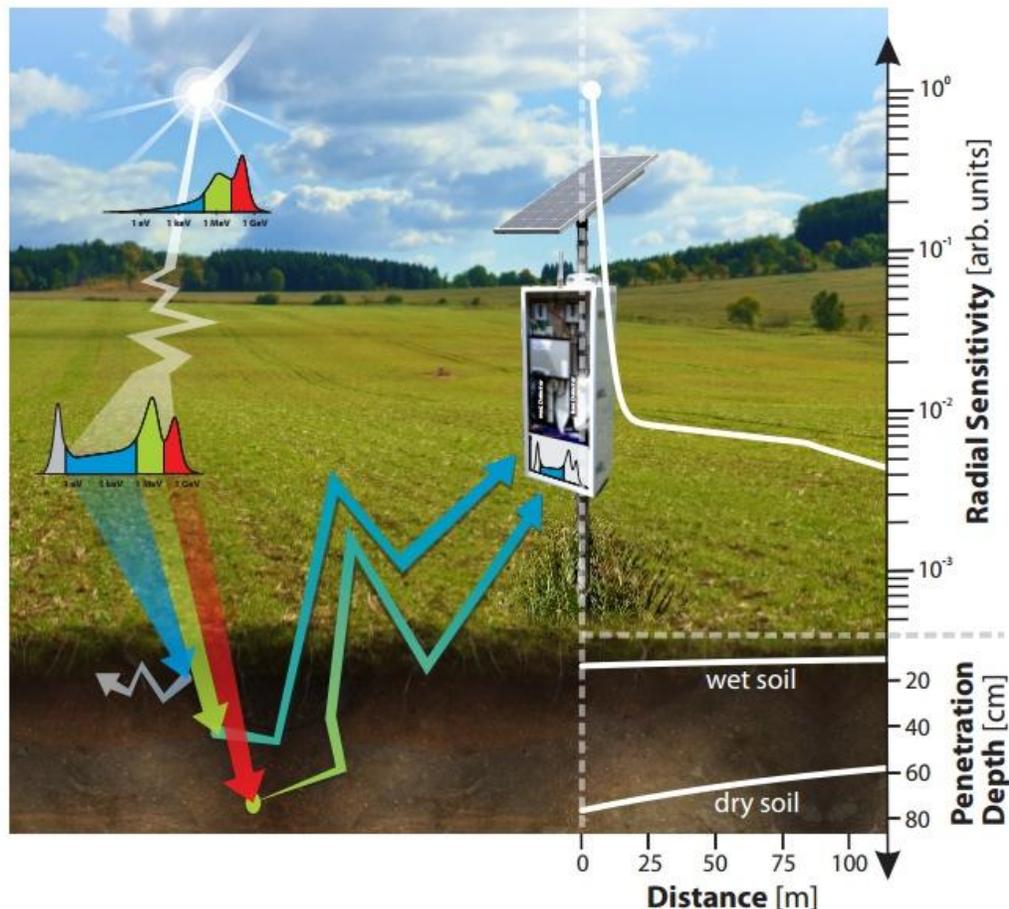


Продукция фирмы *Hydroinnova* CRS 1000/B (США)

<http://hydroinnova.com/main.html>

Детектор института метеорологии,
Гренобль, Франция [Paquet & Laval
et al., 2007]

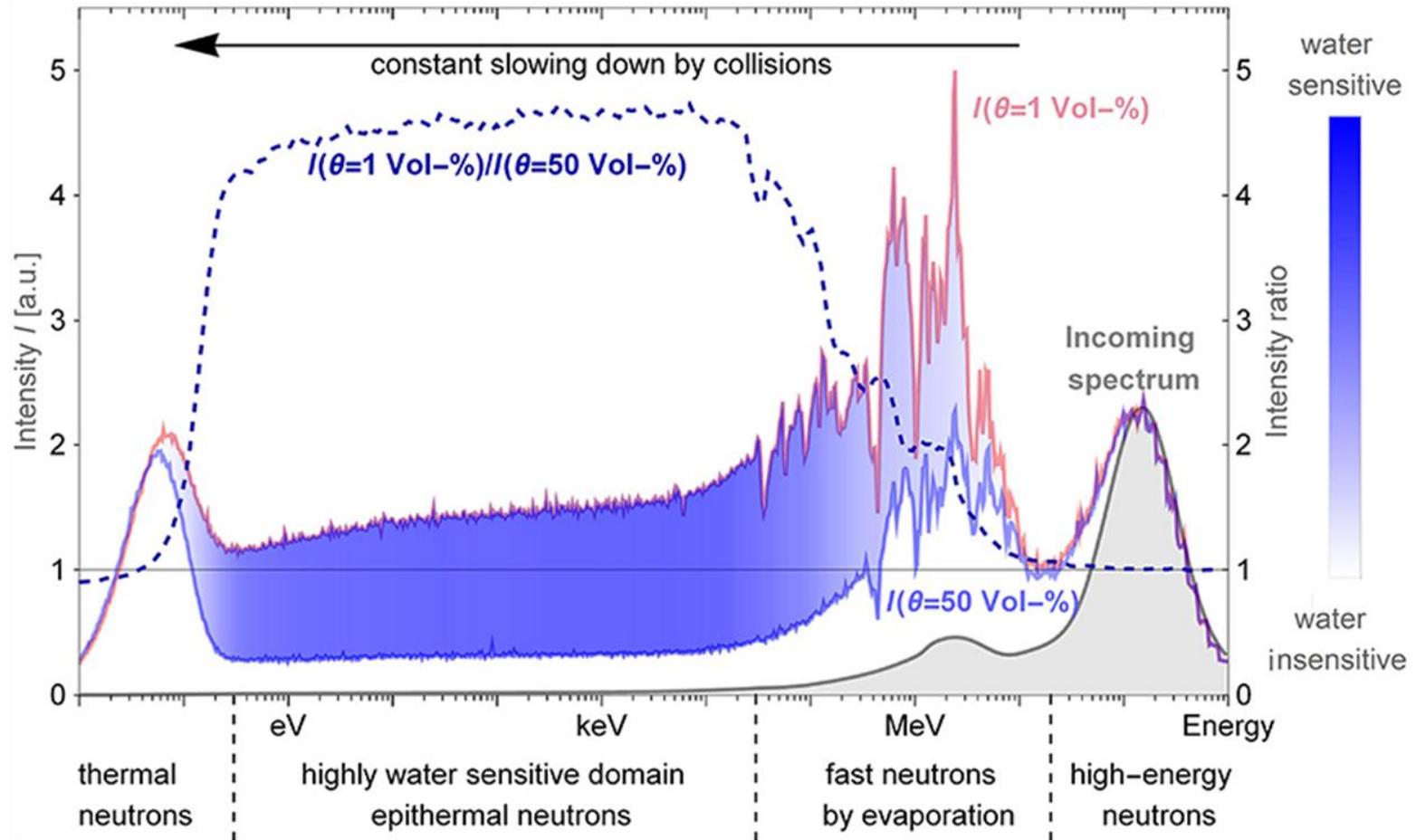
Принцип мониторинга влажности почвы и толщины снега



В результате взаимодействия потока нейтронов с влажной почвой происходит трансформация сформированного в атмосфере спектра нейтронов. Происходит замедление нейтронов: быстрые нейтроны замедляются до эпитепловых, эпитепловые нейтроны замедляются до тепловых, а последние в основном поглощаются в почве.

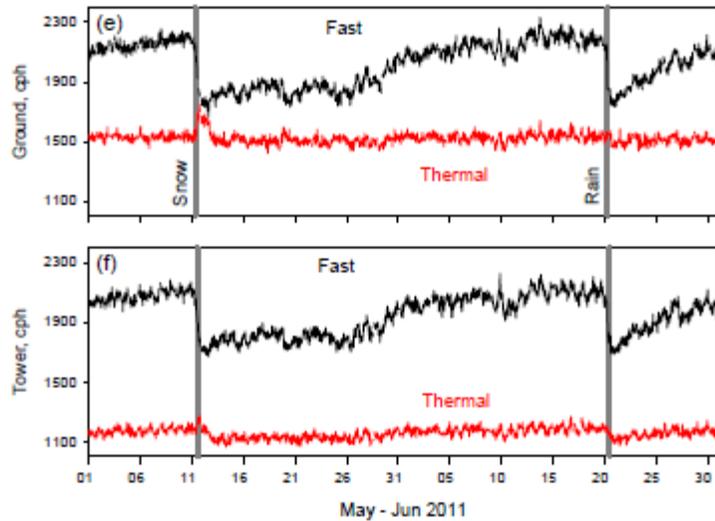
[Schrön et al., 2015]

Чувствительность к содержанию ВОДЫ

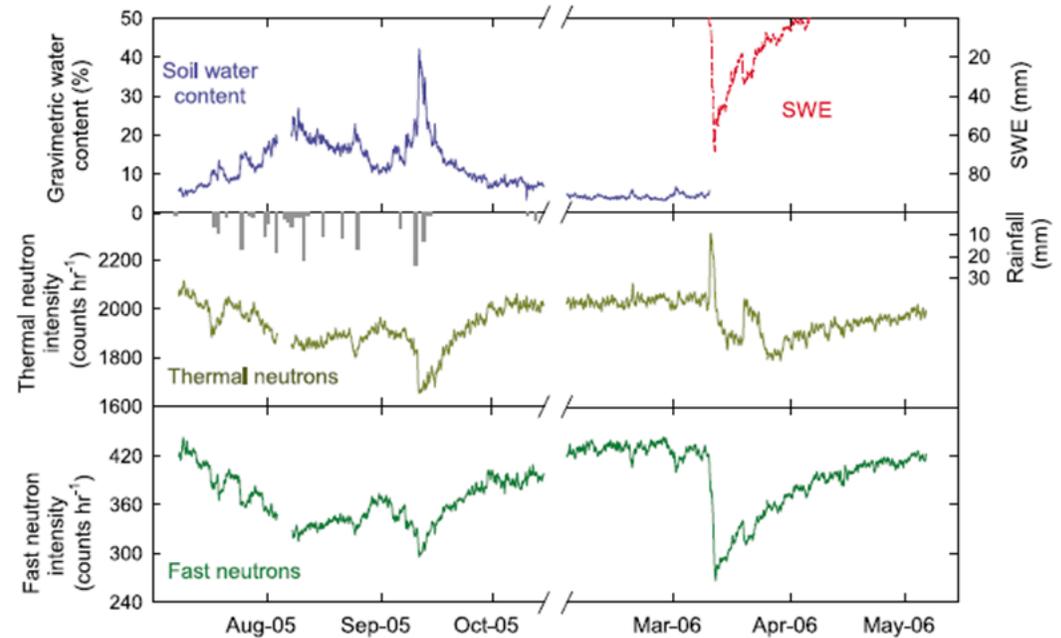


Weimar et al., 2020

Проблема и противоречия



В данной работе два детектора были расположены на башне и у поверхности земли [Zreda 2012].



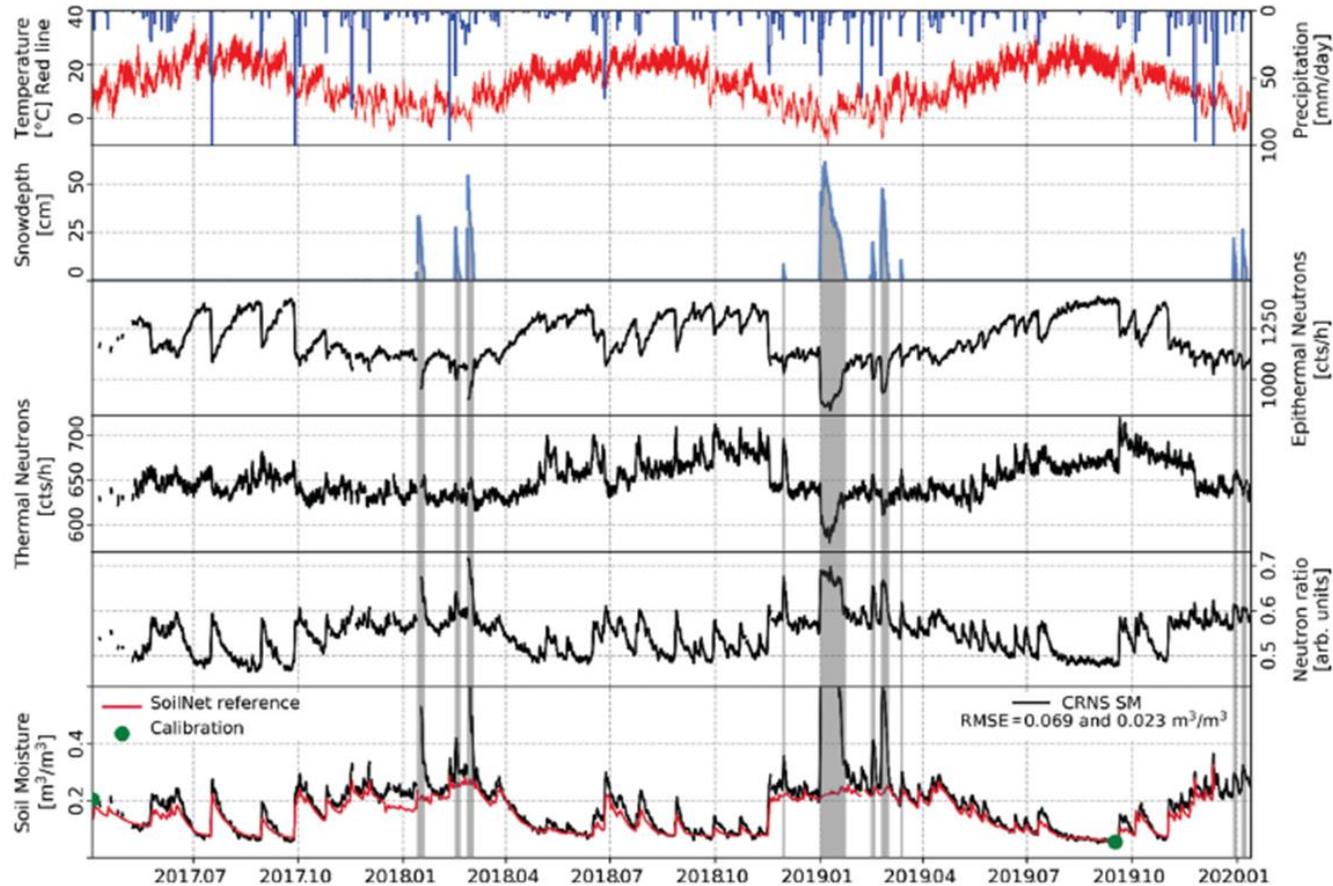
Отклик тепловых и эпитепловых нейтронов.

Дождь привел к понижению эпитепловых, так и тепловых нейтронов. Снег в марте 2006 года привел к увеличению тепловых нейтронов и к понижению эпитепловых нейтронов. [Desilets 2010]

Утверждение о том, что соотношение тепловых и эпитепловых нейтронов можно использовать для отличия снежных явлений от дождя, как показано Desilets et al. (2010), нам кажется спорным.

Работ по мониторингу запасов в виде дождя много, но в нашей северной стране важно оценивать и количество запасов снега.

Проблема и противоречия



[Bogena, 2020]

Осадки, температура воздуха, толщина снега, интенсивность эпитепловых и тепловых нейтронов и их отношение для периода апрель 2017 года - январь 2020 года. На нижней панели – измеренная по полученным данным в реальном времени влажность почвы (soil moisture in m^3/m^3) и точки калибровки.

Цели и задачи

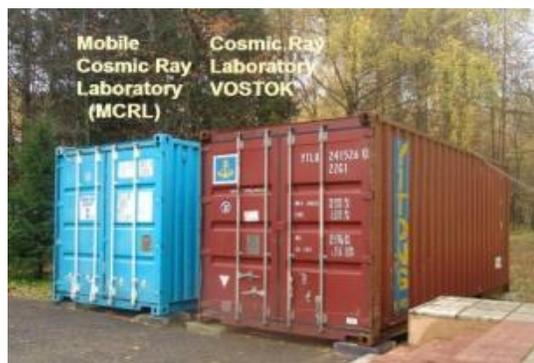
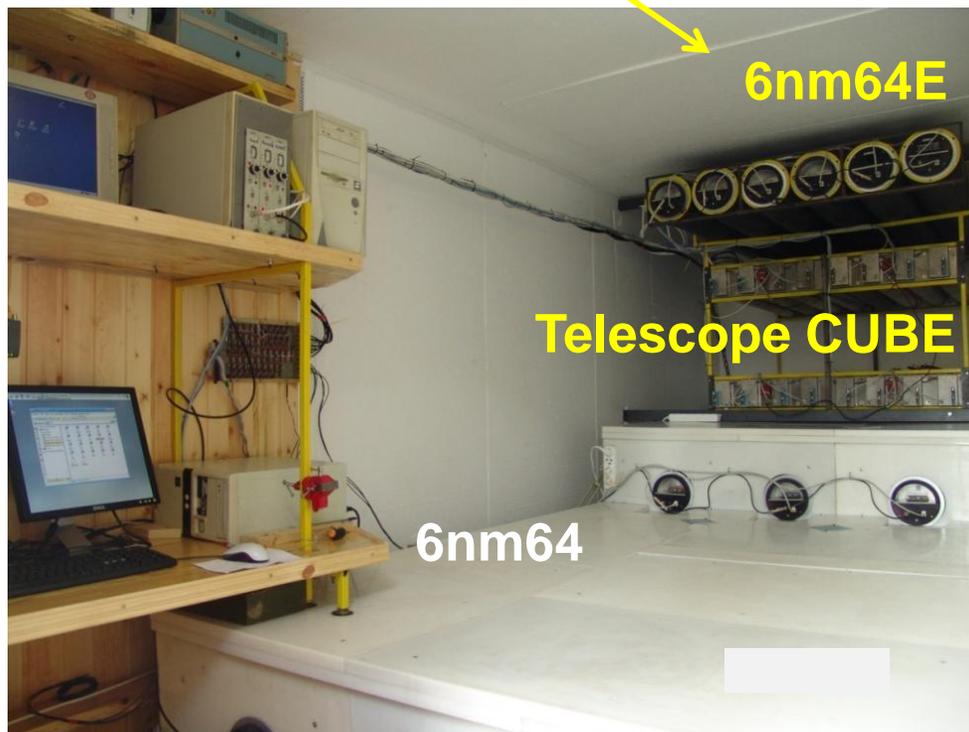
Целью работы является оценка чувствительности различных вторичных компонент космических лучей к изменениям окружающей среды, которая сводится к следующим **задачам**:

1. Исследовать отклик детекторов тепловых и эпитепловых нейтронов и детекторов заряженной компоненты на различного типа осадков в течение длительного периода наблюдений (2015-2022 годы).
2. Детально на шкале одного года или сезона рассмотреть отклик различных типов детекторов на изменения осадков в виде дождя или снега.
3. Обосновать возможности практического применения.

Детекторы эпитепловых и тепловых нейтронов (ИЗМИРАН)

Детекторы MCRL

Детекторы FCRL

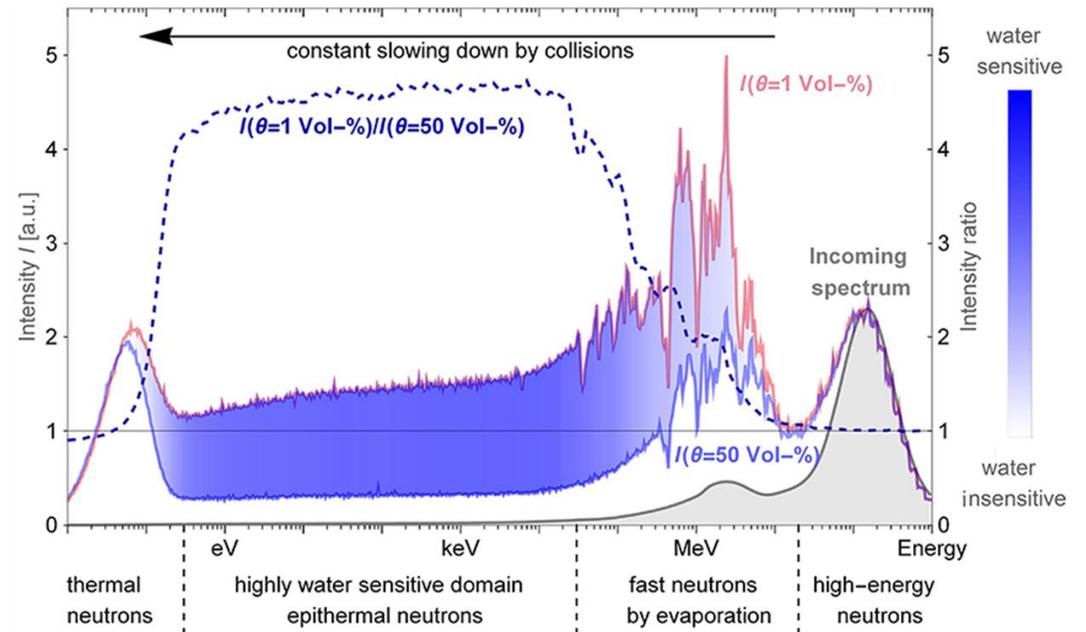
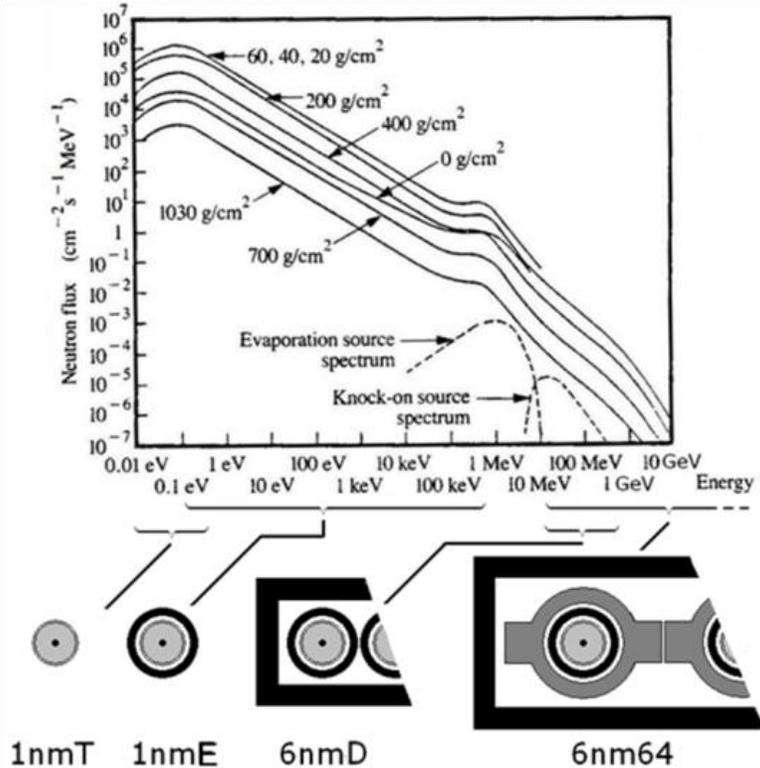


Диапазон чувствительности n-детекторов

Отражатель нейтронного монитора 6nm64 отсекает нейтроны $< \sim 20$ MeV, тем самым уменьшает его чувствительность к эпитепловым нейтронам.

Нейтронный детектор 6nmE максимально чувствителен к эпитепловым нейтронам [Плетников и др., 2011]. Такого типа детектор, даже на основе одного счетчика, может быть установлен в любой точке и не быть привязанным к сети станций космических лучей.

Нейтронный детектор 1nmT чувствителен к тепловым нейтронам.



Чувствительность к содержанию ВОДЫ

Интервалы энергий спектра нейтронов, к которым чувствительны нейтронные мониторы различных конструкций.

Автоматическая дорожная метеостанция

Vaisala ROSA



-
T, °C
H, %
V, m/s
Wind,
precipitation, mm
Snow
Rain
Drizzle
wet snow
Frost
freezing rain

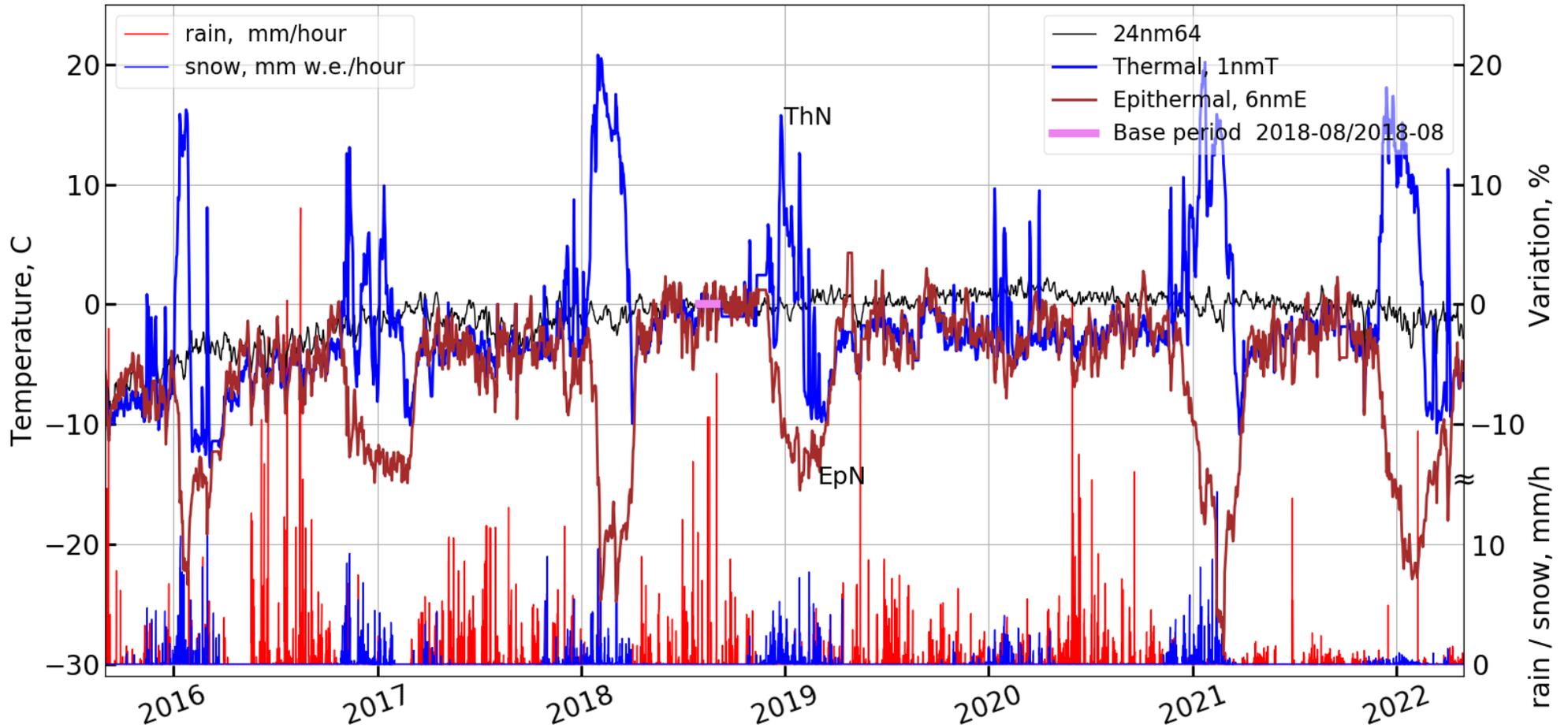
Автоматическая метеостанция

Vaisala WXT530



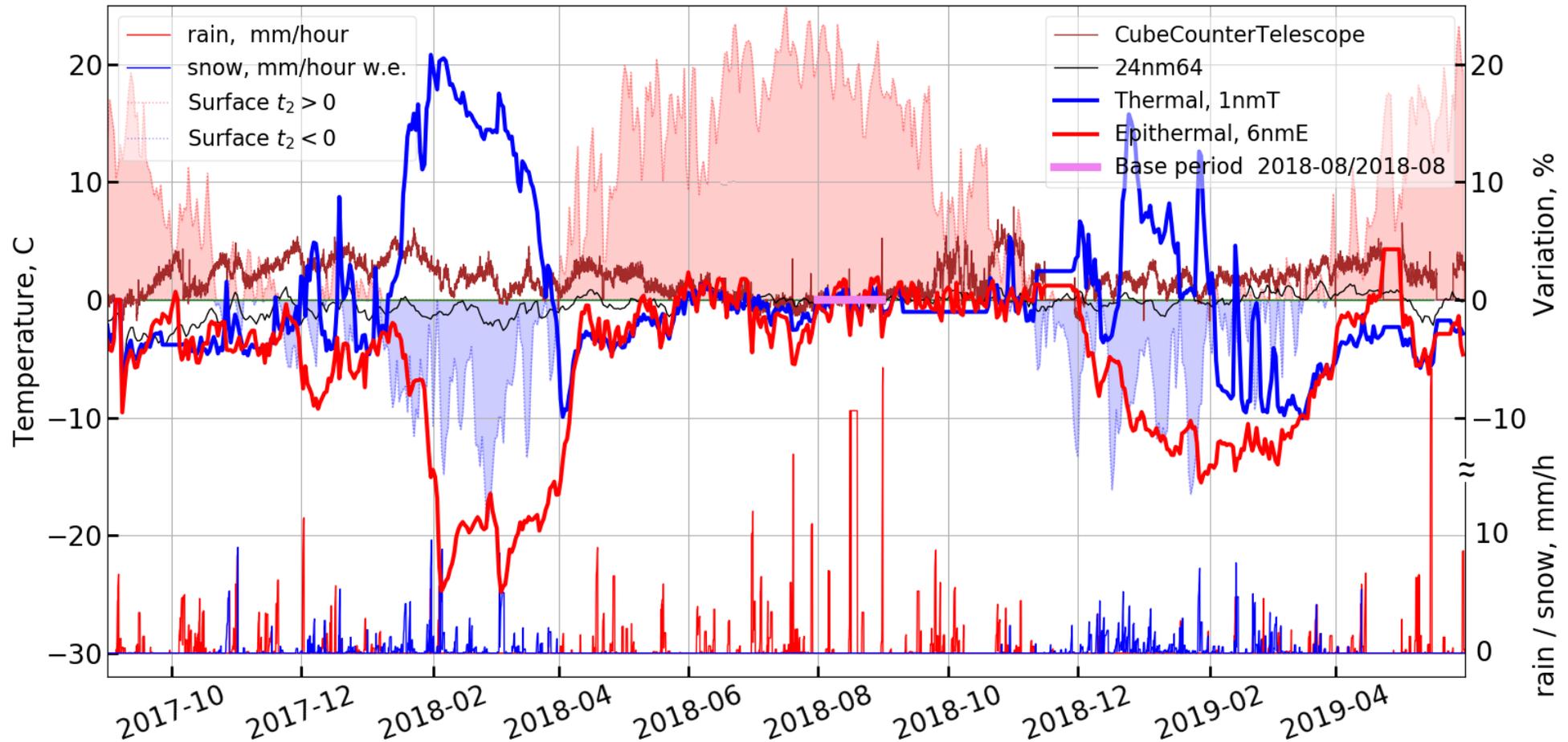
P, hPa
T, °C
H, %
V, m/s
Wind,
precipitation, mm

Результат 1



Вариации тепловых (синяя) и эпитепловых (коричневая кривая) нейтронов за период 2016-2022 годы в сравнении с вариациями стандартного нейтронного монитора (черная кривая). Отклики детекторов тепловых и эпитепловых нейтронов на изменения содержания влаги в почве и над почвой, в целом, находятся в противофазе. На нижней панели показаны осадки в виде дождя или снега.

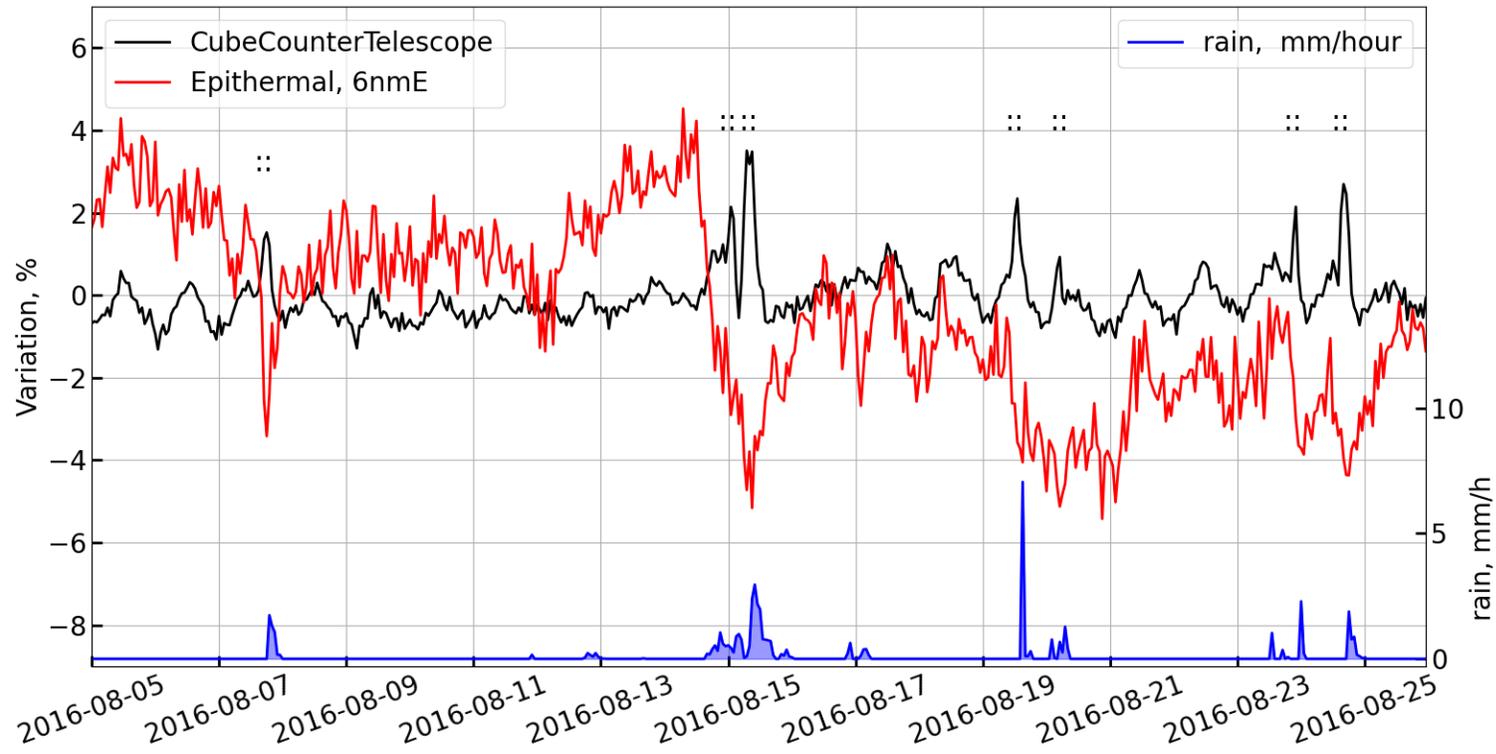
Результат 2



Обозначения те же, что и для “Результат 1”, показана также температура воздуха. Вариации интенсивности показывают:

- 1) однозначную зависимость вариаций эпитепловых нейтронов от накопленного снега
- 2) Сложное поведение тепловых нейтронов в зимний период, особенно в переходный период, период таяния и наступления положительных температур.

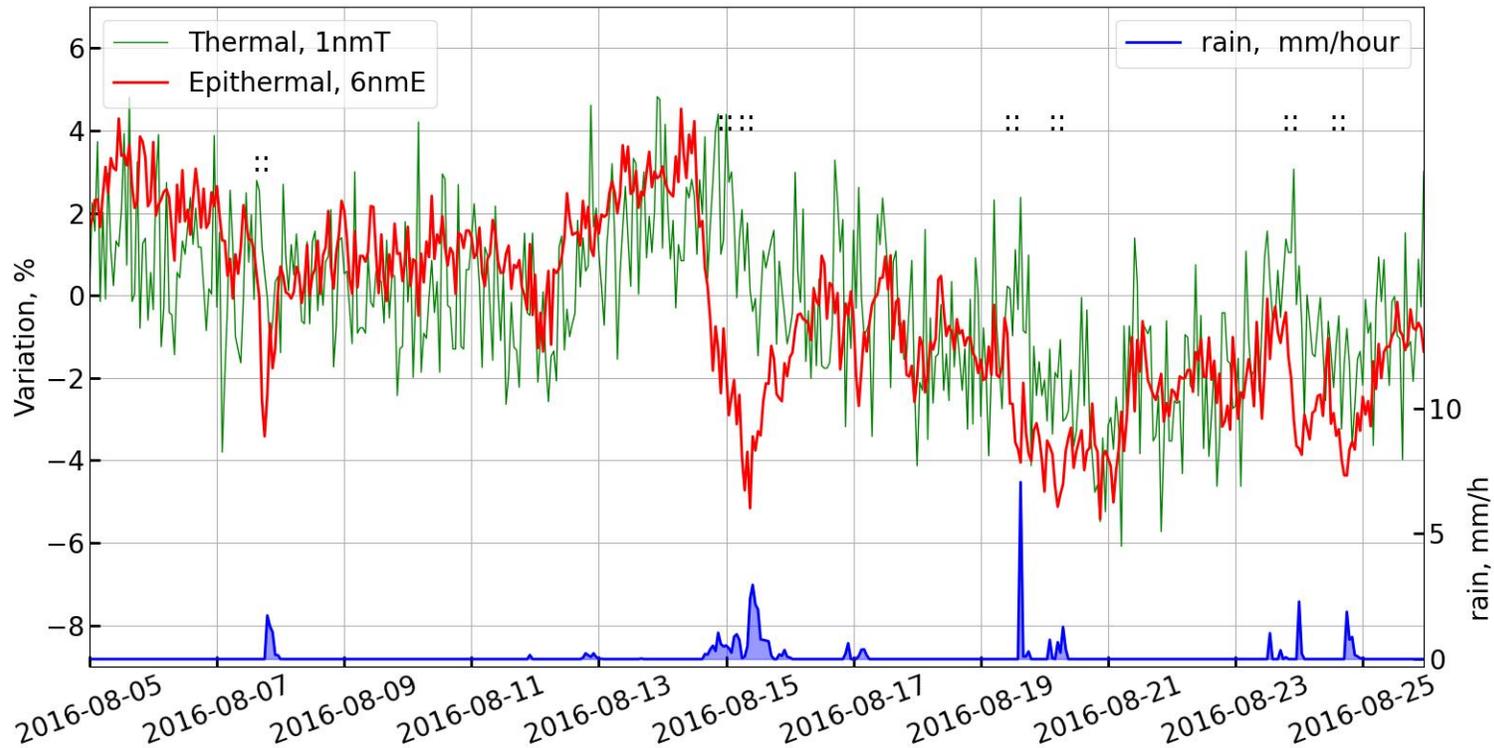
Результат 3



Вариации заряженной компоненты и эпитепловых нейтронов в летний период в сравнении с вариациями стандартного нейтронного монитора. На нижней панели отмечены осадки в виде дождя. Наблюдаются повышения в несколько % в течение нескольких часов в заряженной компоненте и и отклик в вариациях эпитепловых нейтронов.

Реакция заряженной компоненты на количества осадков в виде снега зимой отсутствует. 15

Результат 4



Вариации заряженной компоненты и эпитепловых нейтронов в летний период в сравнении с вариациями стандартного нейтронного монитора. На нижней панели отмечены осадки в виде дождя. Наблюдаются повышения в несколько % в течение нескольких часов в заряженной компоненте и и отклик в вариациях эпитепловых нейтронов.

Реакция заряженной компоненты на количества осадков в виде снега зимой отсутствует. 16

Выводы

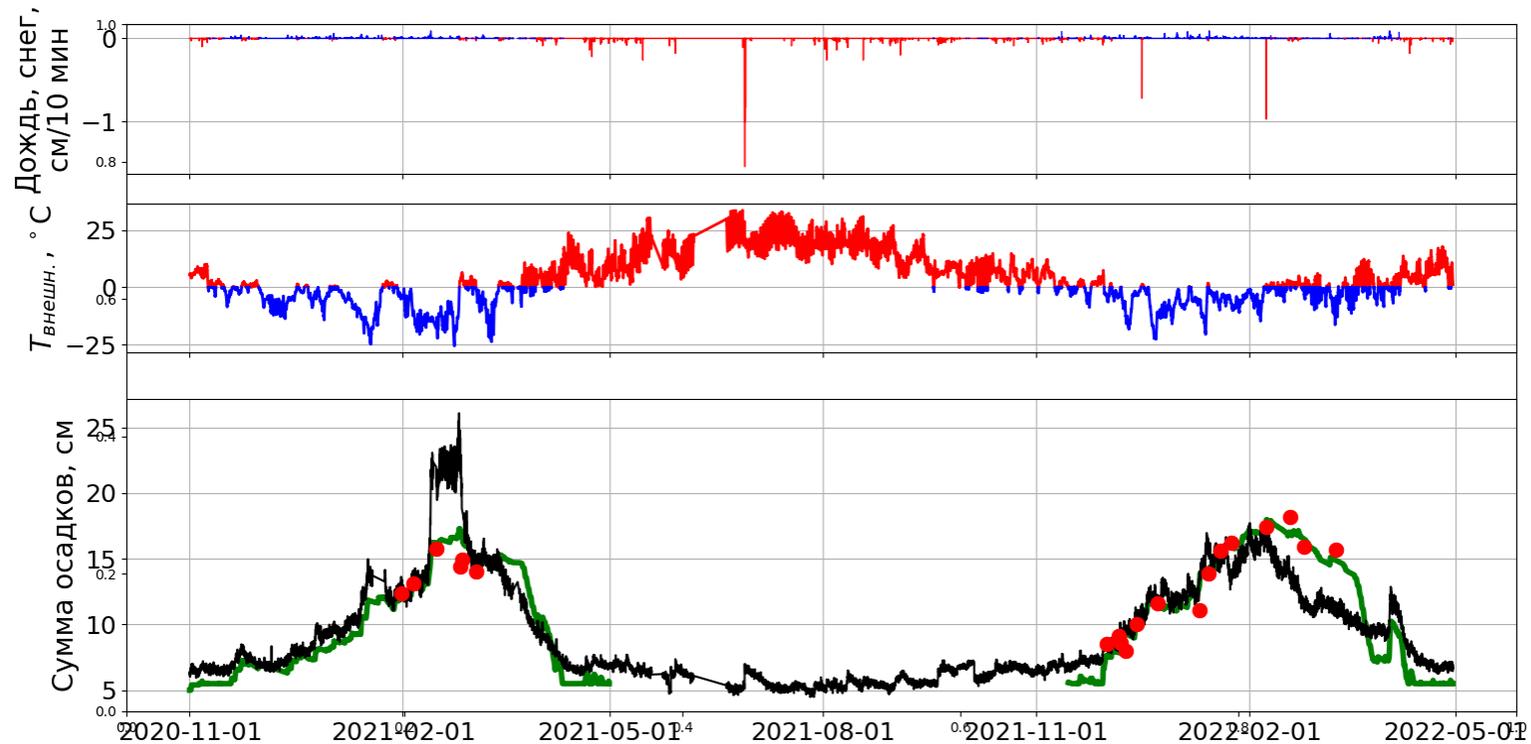
1. Наилучшими возможностями для задачи мониторинга количества осадков в виде снега и дождя обладают эпитепловые нейтроны. Понижение интенсивности эпитепловых нейтронов в случае “эффекта дождя” достигает 8%, в случае “эффекта снега” – до -30%.
2. Отклик тепловых нейтронов не наблюдается для осадков в виде дождя. Для осадков в виде снега характерен быстрый рост интенсивности при появлении небольшого слоя снега (до +20%) в зимний период. При последующих снегопадах наблюдается неоднозначное ход интенсивности. В весенний период, а также при резких потеплениях в течение зимы наблюдается гистерезис и резкие понижения скорости счета (весной - до -10%). После полного схода снега интенсивность возвращается к среднему уровню и значимо не изменяется в бесснежный период. Как итог: поведение тепловых нейтронов достаточно неоднозначно и требует дальнейшего изучения.
3. Реакция заряженной компоненты на количества осадков в виде снега зимой отсутствует. Летом наблюдаются повышения в несколько % в течение нескольких часов при прохождении мощных грозовых облаков, что, может быть, связано с дополнительной генерацией заряженной компоненты в кучево-дождевых облаках.

Мониторинг количества осадков можно выполнять только с помощью детектора эпитепловых нейтронов.

Детекторы тепловых нейтронов и детекторы заряженной компоненты для такой задачи не подходят

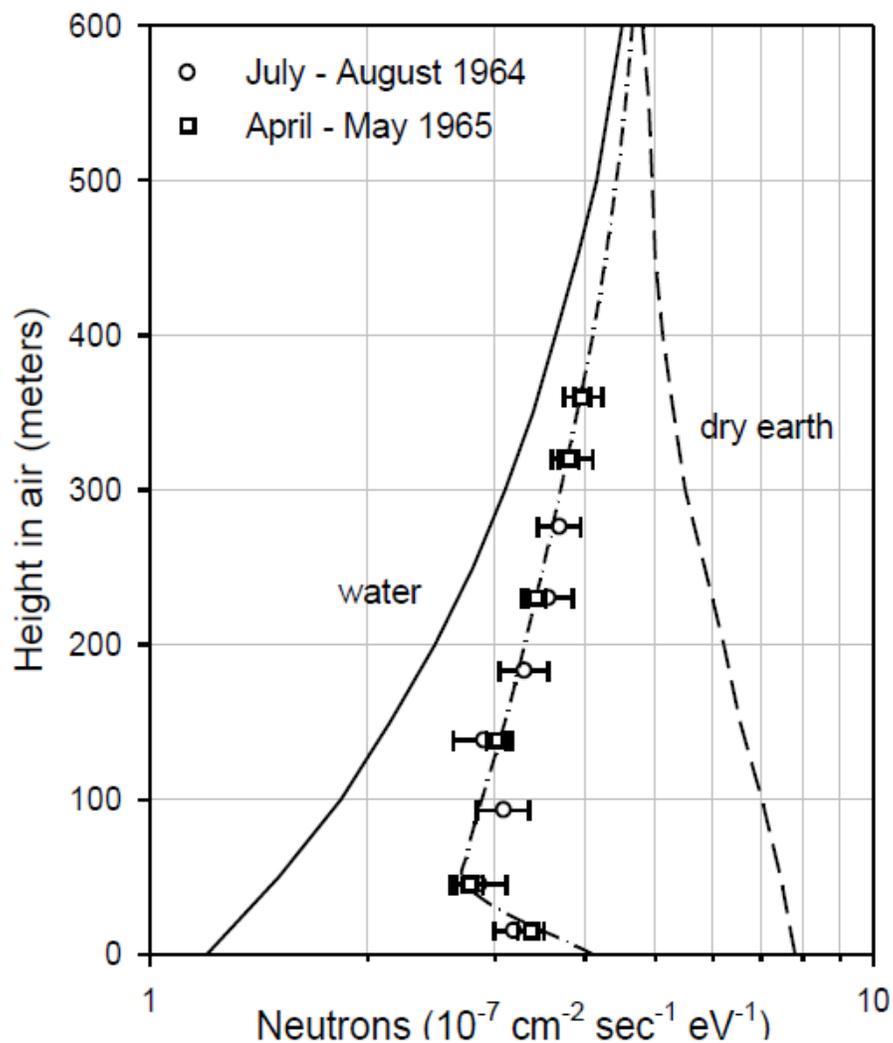
Спасибо!

Обсуждение результатов



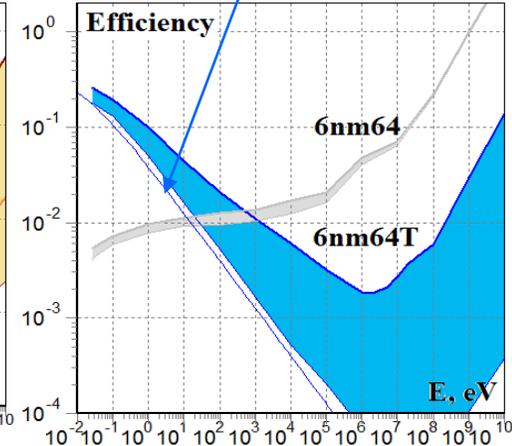
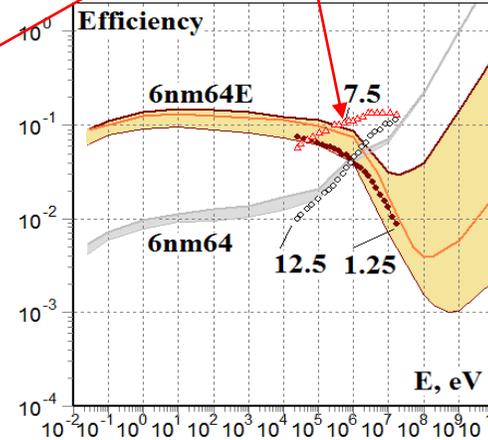
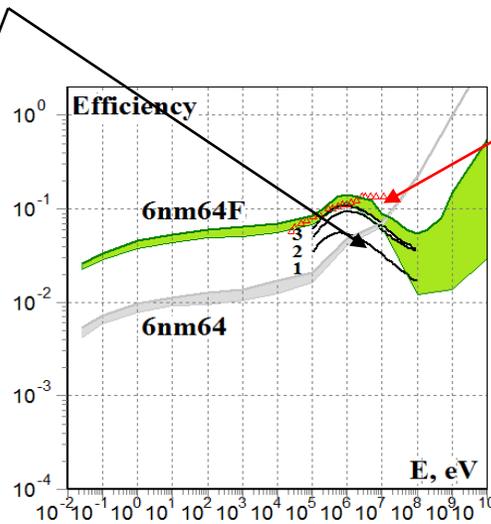
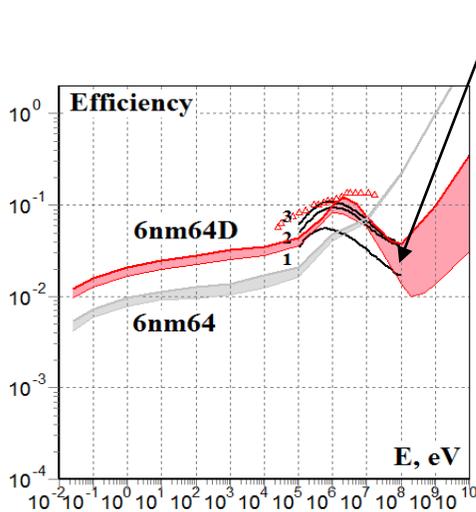
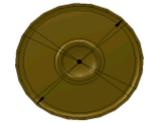
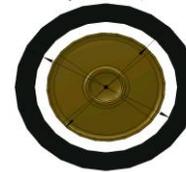
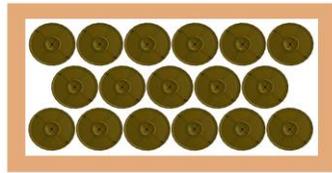
Осадки в виде снега или дождя и температура воздуха (верхняя и средняя панель). Суммарная влага в виде влаги в почве (линия и кружки), снежного покрова (кривая и звездочки) и их сумма (кривая и квадраты) по данным метеостанции и результатов проб влажности почвы (кружки) и снежных проб (звездочки). Точками приведена толщина снежного покрова нарастающим итогом (см в.э.) по данным метеостанции. Черная кривая – суммарная влага по результатам непрерывного мониторинга эпитепловых нейтронов с часовым разрешением.

Высотный ход нейтронной компоненты над сухой и влажной почвой



Hendrick L. D., R. D. Edge (1966),
Cosmic-ray Neutrons Near Earth,
Physical Review, 145(4), 1023-&.
doi:10.1103/PhysRev.145.1023

Сравнение эффективностей нейтронных детекторов



Эффективность
детектора с
отражателем
6nmD.

Эффективность
детектора с
отражателем
6nmF.

Эффективность
детектора без
отражателя
6nmE.

Эффективность
детектора
тепловых
нейтронов

B



15 февраля 2021



3 марта 2021

Зима 2020/2021. Накопление снега на крыше mcr1 (слева) после снегопада в мороз.

Снег на крыше MCRL быстро таял. Но с середины февраля при морозах -15°C снег начал накапливался до наступления положительных температур. Это видно на рисунке.