

DOI: 10.25702/KSC.2588-0039.2018.41.175-178

ЕЩЕ РАЗ О СЕЗОННЫХ ВАРИАЦИЯХ МЯГКОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЕ

Ю.В. Балабин¹, А.А. Луковникова², А.А. Торопов³, А.В. Германенко¹, Б.Б. Гвоздевский¹,
Л.И. Щур¹, В.Ф. Григорьев¹

¹ФГБНУ "Полярный геофизический институт", г. Апатиты, Россия

²Институт солнечно-земной физики, г. Иркутск, Россия

³Институт космических исследований и аэронавтики, г. Якутск, Россия

1. Введение

Наличие довольно длинного ряда наблюдений на двух станциях космических лучей (Апатиты и Баренцбург), а также появление новых точек наблюдений в других климатических зонах (Тикси, Якутск, Саяны, Ростов), вместе с новым подходом к сравнению данных от разных станций, позволили получить новую информацию о сезонных вариациях мягкого гамма-излучения в нижней атмосфере. Измерения на всех станциях выполняются однотипными сцинтилляционными детекторами, изготовленными в ПГИ. Они имеют эффективный диапазон регистрации 20-400 кэВ и включены в режим мониторинга фонового гамма-излучения, приходящего из верхней полусферы. Помимо возрастных, связанных с осадками, поток фонового гамма-излучения имеет годовую вариацию. Уже установлено, что сезонная вариация связана с наличием снежного покрова на земной поверхности. Представление профилей в абсолютных единицах (скорость счета в имп/мин) показало, что максимум потока, приходящийся на теплый бесснежный период, из года в год на станции держится на постоянном уровне, тогда как минимум, на каждой станции наступающий весной перед таянием снега, зависит от толщины накопившегося за зиму снега. Фаза роста от минимума к максимуму очень короткая и совпадает с периодом схода снежного покрова. Кроме того, в минимуме и на фазе роста отмечается значительное уменьшение событий возрастания гамма-излучения, связанных с осадками, хотя весной погода неустойчивая и с обильными осадками. Сезонная вариация на станции в Ростове-на-Дону отсутствует, как и постоянный снежный покров.

2. Экспериментальное обеспечение и ранее полученные результаты

Сцинтилляционный детектор гамма-излучения (ГИ) на основе кристалла NaI(Tl) Ø62×20 был создан в ПГИ. Детекторы калиброваны по известным линиям элементов. К настоящему времени детекторы установлены в шести пунктах: Баренцбург (Шпицберген, 78° с.ш.), Апатиты (67° с.ш.), Ростов-на-Дону (47° с.ш.), Монды (Саяны, 52° с.ш. 3000 м), Якутск (62° с.ш.), Тикси (71° с.ш.). Как видим, набор станций охватывает довольно широкие геофизические условия как по климатическим зонам, так и по высоте. Длинный ряд данных имеется на двух станциях Апатиты и Баренцбург, где такие детекторы производят непрерывный мониторинг с 2009 г [1, 2]. На других станциях детекторы установлены в 2015-16 г. Таким образом, данные от других станций пока способны только качественно подтвердить выводы, сделанные на основе экспериментальных данных от станций Апатиты и Баренцбург. Эффективный диапазон регистрации у детекторов составляет 20-400 кэВ. Особенностью данного мониторинга является то, что все детекторы установлены в свинцовых стаканах с толщиной стенок 5 см, что исключает влияние фонового ГИ от почвы и окружающих предметов. Прием ГИ производится из верхней полусферы в конусе с углом при вершине 150-160 градусов. Поток ГИ из верхней полусферы в атмосфере формируется в основном космическими лучами [3]. Ранее измерялась относительная сезонная вариация, за базовый уровень принималось многолетнее среднее значение потока на станции.

3. Сезонные вариации гамма-излучения и снежный покров

На рис. 1 и 2 показаны многолетние профили вариаций ГИ на станциях Апатиты и Баренцбург. "Бахрома" на профиле – возрастания во время осадков. Использовано суточное усреднение. Небольшое снижение высокого летнего уровня от 2010 к 2015 и увеличение в 2017 – отражение модуляции космических лучей 11-летним циклом солнечной активности, максимум которой был пройден в 2015-16 г. Представление вариаций в абсолютных значениях сразу же обнаружило факт, что в бесснежный теплый период фоновый поток ГИ остается постоянным из года в год (с поправкой на солнечную модуляцию), а уменьшение связано с толщиной снежного покрова.

Рабочей гипотезой, объясняющей эту годовую вариацию гамма-излучения, предлагается альбедная. Снег (вещество, богатое протонами) эффективно тормозит и задерживает отраженные от почвы нейтроны (точно, как полиэтиленовая защита на нейтронном мониторе [4]), и они не выходят из почвы в атмосферу. Подобная

годовая вариация, четко следующая за толщиной снежного покрова, наблюдается на бессвинцовой секции нейтронного монитора, чувствительной к нейтронам умеренных энергий (сотни кэВ). Узким местом гипотезы является то, что не ясно, в результате каких реакций нейтронов с ядрами каких элементов возникает ГИ (захват, неупругое столкновение и др.). Хорошо известно [4], что свободные нейтроны в плотном веществе распадаются редко. Не имея заряда, они способны даже при тепловой энергии попасть в ядро атома и вступить в реакцию. Такой вариант поведения свободного нейтрона в веществе намного вероятнее, чем его распад.

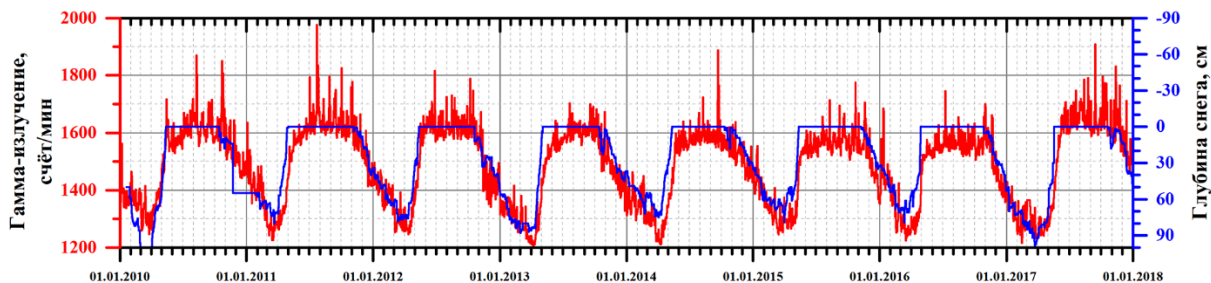


Рисунок 1. Изменения счета гамма-детектора (канал >20 кэВ) на ст. Апатиты в 2010-2017 г. (левая шкала) и толщины снежного покрова (правая шкала). Шкала глубины снега направлена вниз. Взят абсолютный счет детектора, имп/мин.

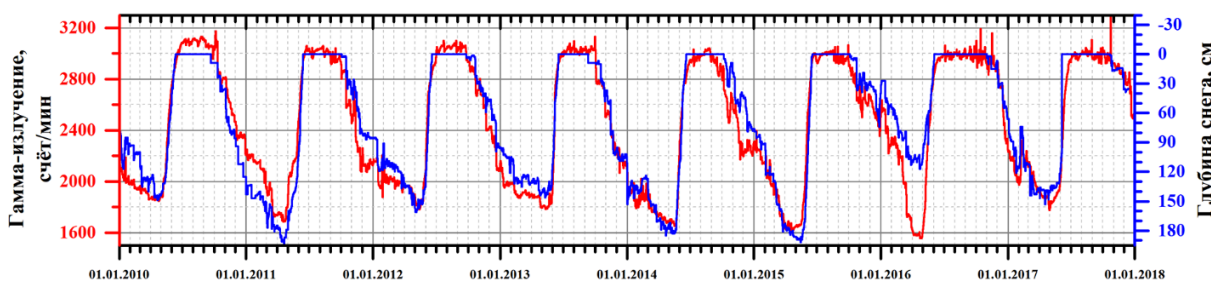


Рисунок 2. Изменения счета гамма-детектора (канал >20 кэВ) на ст. Баренцбург в 2010-2017 г. (левая шкала) и толщины снежного покрова (правая шкала).

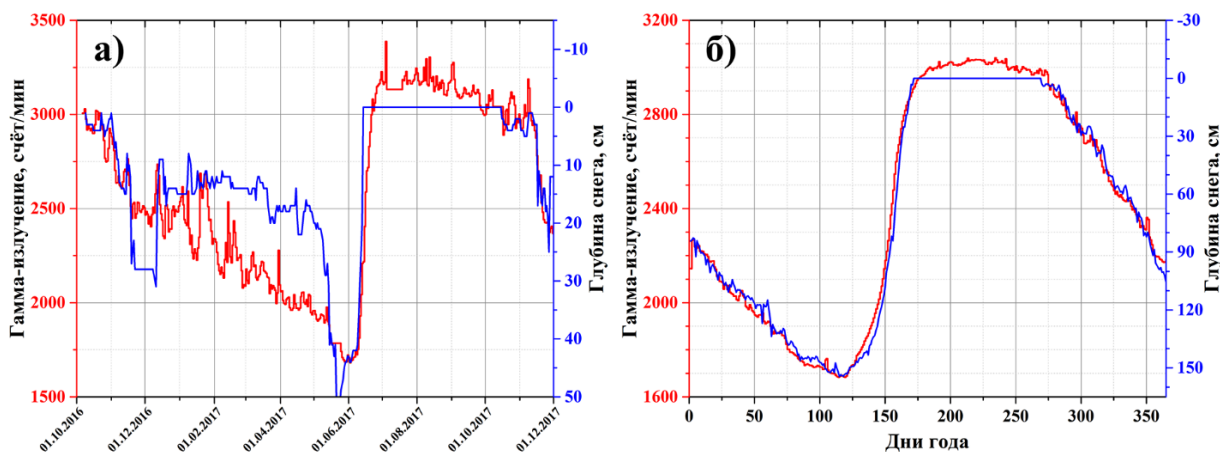


Рисунок 3. а) Пример годовой вариации счета гамма-детектора на одной из новых станций (Тикси) (канал >20 кэВ) в 2016-2017 г. Слева шкала счета детектора, справа – глубина снежного покрова. б) Профиль годовой вариации гамма-излучения и толщины снежного покрова, полученные методом наложения эпох за 8 лет наблюдений (2010-17 г.) в Баренцбурге.

Интересно отметить, что детектор ГИ, установленный в Ростове-на-Дону, никакой годовой вариации не показывает. Из шести перечисленных станций это единственная, где годовой вариации нет. Согласно архиву метеоданных [5], зимой 2016-17 длительный и существенный (более 10 см) снежный покров в Ростове-на-Дону не возникал.

На рис. 2 в счете детектора и толщины снежного покрова наблюдается сильное расхождение зимой 2016 г. Расхождения на станции Тикси еще сильнее (рис. 3а). Нужно учитывать следующее. Как следует из метеоданных, зимой в Тикси часто отмечаются сильные ветра, сдувающие снежный покров. В этом случае измерения толщины снежного покрова на метеостанции дают заниженное значение. С октября в Тикси (по метеоданным) отмечаются устойчиво отрицательные температуры, следовательно, выпавший снег не тает, а с каждым новым снегопадом он накапливается. Однако, снег сдувается и скапливается на подветренных склонах холмов и оврагах. Таким образом, интегрально слой снега в данном регионе значительный, но на метеоплощадке его может быть немного. Этим же эффектом объясняется расхождение в Баренцбурге в 2016 г. Метеоплощадка там располагается на пологом подножии холма, тянущегося по берегу залива. При сильных южных ветрах снег частично сдувается с площадки. Также следует отметить, что эффект оказывает количество воды, содержащейся в снеге, а не сам снег. При сильных ветрах и поземках снег перемещается и уплотняется [6]. Наиболее надежные данные получаются на метеостанции Апатиты. Она располагается на низменном берегу озера, в пределах 100-200 м со всех сторон к ней подступает лес. В таких условиях ни интенсивного выдувания снега, ни значительного уплотнения не происходит, и метеоданные о толщине снежного покрова надежные.

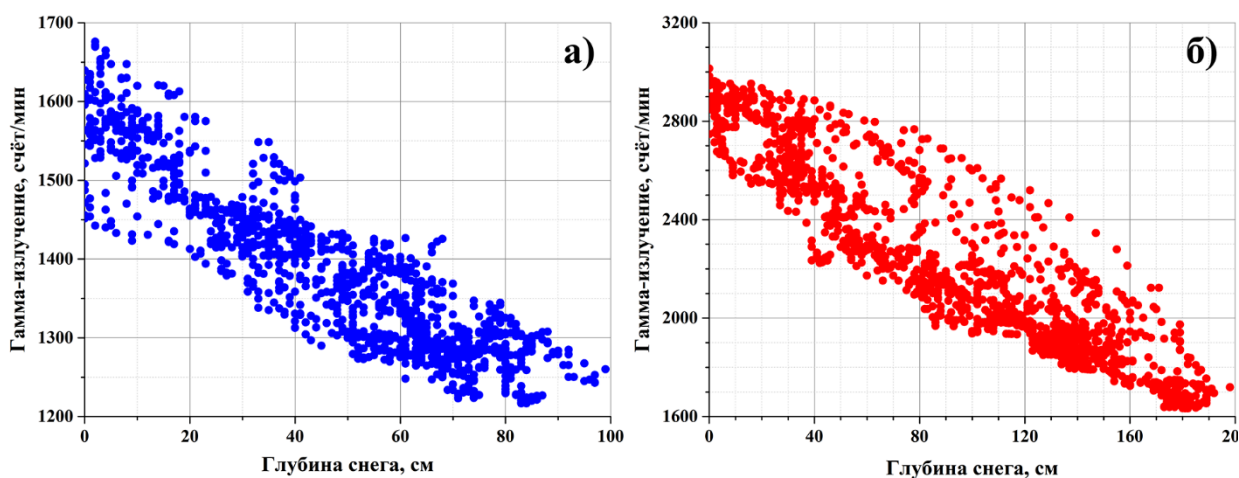


Рисунок 4. Зависимость счета детектора гамма-излучения от толщины снежного покрова в Апатитах (а) и в Баренцбурге (б). Связь между счетом детектора на станции и толщиной снежного покрова довольно точная. В Апатитах она линейная, в Баренцбурге немного отклоняется.

Многолетние данные Апатитов и Баренцбурга были использованы для получения среднего профиля вариации. Применен метод наложения эпох. Результат показан на рис. 3б. Минимум потока ГИ наступает, когда толщина снежного покрова максимальна. При таянии снега поток гамма-излучения быстро восстанавливается до прежнего уровня. Применение метода наложения эпох позволило существенно повысить точность. Также на основе этих данных была построена зависимость «счет детектора – толщина снежного покрова» (рис. 4). Помимо общего поля густо расположенных точек на этих зависимостях наблюдаются отдельные цепочки точек (например, в верхней части рис. 4б). Детальное изучение данных показало, что отдельные цепочки точек соответствуют весенним периодам таяния снега. Накопление снега происходит постепенно в течение длительного зимнего периода, тогда как таяние происходит довольно быстро (менее 1 месяца), по-видимому, фон ГИ несколько запаздывает. Это легко объяснить следующим образом. Основным фактором является не сам снег, а наличие на поверхности земли слоя, содержащего воду (вещество с высокой долей протонов) в любой форме. При отрицательных температурах это лежащий сверху снежный покров. Весной при таянии происходит быстрое уменьшение толщины снежного покрова, однако, при этом почва наполняется водой и эффект продолжает действовать еще некоторое время, пока содержание воды в почве не уменьшится. Соответственно, наблюдается отставание в восстановлении потока излучения при таянии.

Несмотря на то, что эта зависимость близка к линейной, определим по указанным зависимостям показатель ослабления μ , считая, что на рис. 4 представлен участок экспоненциальной зависимости интенсивности ГИ от толщины снежного покрова в виде $I=I_0 \cdot \exp(-\mu x)$, где x – толщина снежного покрова. В силу малости значения μ на коротком участке значений x отклонения от линейности малы. Предположение экспоненциальной зависимости вполне обосновано, поскольку поглощение потоков излучений в веществе происходит по экспоненциальному закону в большинстве случаев [3]. Вычисленные значения показателя ослабления излучения для Баренцбурга и Апатитов на основе приведенной формулы оказываются очень

близкими и составляют $\mu = 0.0014 \text{ см}^{-1}$. Одинаковое значение μ является важным фактом и указывает на единый процесс, обуславливающий эту вариацию и зависимость интенсивности ГИ от снежного покрова. Имеющиеся данные позволяют сделать предположение, что после соответствующей калибровки сезонные вариации ГИ можно применять для оценки водных запасов в снежном покрове. Отметим важное преимущество нового метода. Измерения на метеоплощадке подвержены влиянию локальных условий (сдувание ветром, проседание и уплотнение снега при оттепелях). Измерения содержания воды в снежном слое по уровню ГИ являются, во-первых, интегральными, во-вторых, дают информацию непосредственно о полном содержании воды в снежном слое.

4. Заключение

Анализ большой базы данных мониторинга гамма-фона на двух станциях и данные первого года наблюдений еще на ряде станций позволяет сделать однозначный вывод: годовая вариация гамма-излучения в приземном слое атмосферы связана с толщиной снежного покрова, точнее, эквивалентного слоя воды.

В настоящее время ощущается недостаток данных как по вариациям на станциях в других климатических зонах, так и по механизму ядерного взаимодействия нейтронов умеренных энергий с веществом.

Однако, при соответствующей эмпирической калибровке такой детектор гамма-излучения может служить измерителем запасов воды в приземном слое почвы и в снежном покрове. Чувствительность такого измерителя невелика, но его достоинство в том, что он измеряет интегральные средние запасы, свободные от ошибки, связанной с локальными условиями на метеоплощадке.

Литература

1. Балабин Ю.В., Германенко А.В., Гвоздевский Б.Б., Вашенюк Э.В. Вариации естественного рентгеновского фона в полярной атмосфере // Геомагнетизм и аэрномия, 2014, Т. 54, № 3, С. 376.
2. Balabin Y.V., A.V. Germanenko, B.B. Gvozdevsky, X-ray increase while precipitation as an atmosphere phenomenon // Proceeding of VI International conference "Atmosphere, Ionosphere, Safety", 2018, V. 1, P. 189.
3. Хаякава С. «Физика космических лучей. Ч.1: Ядерно-физический аспект; Ч.2: Астрофизический аспект.», М.: Наука, 1974, 1042 С.
4. Дорман Л.И. «Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей», М.: Наука, 1975, 402 С.
5. <https://rp5.ru>
6. Матвеев Л.Т. «Курс общей метеорологии», Л.: Гидрометеиздат, 1984, 752 С.