

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ДАННЫХ НЕЙТРОННОГО МОНИТОРА НА ОСАДКИ В ВИДЕ СНЕГА В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

METHOD OF AUTOMATIC CORRECTION OF NEUTRON MONITOR DATA FOR PRECIPITATION IN THE FORM OF SNOW IN REAL TIME

В.Л. Янчуковский

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, Россия, YanchukovskiyVL@ipgg.sbras.ru*

В.С. Кузьменко

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А. Трофимука СО РАН,
Новосибирск, Россия, KuzmenkoVS@ipgg.sbras.ru*

V.L. Yanchukovsky

*A.A. Trofimuk Institute of Oil and Gas Geology
and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russia, YanchukovskiyVL@ipgg.sbras.ru*

V.S. Kuz'menko

*A.A. Trofimuk Institute of Oil and Gas Geology
and Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russia, KuzmenkoVS@ipgg.sbras.ru*

Аннотация. Выполнено экспериментальное исследование влияния осадков в виде снега на результаты измерений интенсивности потока нейтронов у земной поверхности. Рассматриваются состояние снежного покрова и его плотность, обнаружена зависимость плотности от глубины снежного покрова. На основе полученных экспериментальных результатов делается оценка пробега поглощения нейтронов в снегу. Показано, что изменения снежного покрова на 10–12 см при его глубине 80 см вызывают вариации темпа счета монитора амплитудой 0.9 %. При глубине снежного покрова 80 см происходит уменьшение темпа счета нейтронного монитора на ≈ 8 %. Наблюдаемые вариации следует отнести к метеорологическим эффектам космических лучей. Коэффициент поглощения нейтронов в снегу был также найден по корреляции между темпом счета нейтронного монитора и количеством снега над детектором. Предложена коррекция данных нейтронного монитора на осадки в виде снега в реальном времени. Для этого был реализован непрерывный мониторинг глубины снежного покрова. Мониторинг обеспечивается снегомером, выполненным с использованием модуля лазерного дальномера. Обсуждаются полученные результаты.

Ключевые слова: космические лучи, нейтронный монитор, метеорологические эффекты, пробег поглощения.

Abstract. We have carried out an experimental study of the influence of precipitation in the form of snow on measurements of the neutron flux intensity near Earth's surface. We have examined the state of the snow cover and its density, and found out that the density depends on the depth of the snow cover. Using the experimental results, we estimate the neutron absorption path in the snow. Changes in snow cover by 10–12 cm at a depth of 80 cm are shown to cause variations in the monitor count rate with an amplitude of 0.9 %. At the snow depth of 80 cm, the neutron monitor count rate decreases by about 8 %. The observed variations should be attributed to the meteorological effects of cosmic rays. The absorption coefficient of neutrons in the snow was also found from the correlation between the count rate of the neutron monitor and the amount of snow above the detector. We propose a real-time correction of the neutron monitor data for precipitation in the form of snow. For this purpose, we implement continuous monitoring of the amount of snow cover. The monitoring is provided by a snow meter made using a laser rangefinder module. We discuss the results obtained.

Keywords: cosmic rays, neutron monitor, meteorological effects, absorption range.

ВВЕДЕНИЕ

Для непрерывных наблюдений за интенсивностью ядерно-активной компоненты космических лучей (КЛ) в атмосфере в качестве стандартного прибора Мировой сети станций КЛ используется нейтронный монитор NM-64 [Дорман, 1975]. В Новосибирске нейтронный монитор состоит из четырех секций общей площадью сбора частиц 24 м², что позволяет обеспечить статистическую точность часовых данных 0.1 %. Чувствительность нейтронного монитора в области энергий первичных космических лучей находится в основном от единиц ГэВ до 30 ГэВ с максимумом для частиц с энергией

5.6 ГэВ [Янчуковский, Филимонов, 1995]. Поток КЛ в этой области энергий подвержен наибольшей модуляции, обусловленной процессами на Солнце и в межпланетном пространстве (в гелиосфере), магнитосфере и атмосфере Земли. Однако наблюдаемые вариации интенсивности потока нейтронов могут включать также вариации, вызванные изменениями толщины поглотителя над детектором, представляющие собой атмосферные осадки в виде снега. Снег над нейтронным монитором может приводить к возникновению двух противоположных эффектов. Основной из них — эффект абсорбции, который вызывает уменьшение темпа счета нейтронного монитора.

Однако возможен и эффект генерации нейтронов в снегу [Дорман, 1972], приводящий, наоборот, к увеличению темпа счета монитора. Изменения интенсивности потока нейтронов, обусловленные осадками в виде снега, могут достигать нескольких процентов. Эти вариации необходимо корректно учитывать в исходных данных нейтронного монитора.

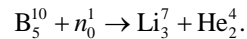
ВАРИАЦИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ, ВЫЗВАННЫЕ ОСАДКАМИ В ВИДЕ СНЕГА

В последние годы опубликовано много работ о связи потока нейтронов КЛ с количеством осадков в виде снега [Heye et al., 2020; Sigouin, Si, 2016; Rivera Villarreyes et al., 2011; Schattan et al., 2017]. Перечисленные работы и содержащиеся в них обзоры посвящены актуальным прикладным задачам — оценкам водного эквивалента снега (ВЭС) и влажности почв с помощью КЛ. Измерения ВЭС проводятся с целью моделирования и прогнозирования наводнений, а также в интересах сельского хозяйства. В работе [Sigouin, Si, 2016] исследуется возможность использования потока медленных нейтронов КЛ для измерения ВЭС. Предложенный Sigouin и Si метод позволяет проводить измерения дистанционно на больших площадях (в радиусе до 300 м). Зонд был откалиброван в течение двух зим с использованием традиционных методов измерения ВЭС. Метод дает также возможность делать оценку запасов влаги в почве. Недавно было показано [Heye et al., 2020], что применение нейтронных зондов космических лучей (НЗКЛ) для измерения массы снега является многообещающим методом мониторинга развития снежного покрова (СП). НЗКЛ требуют меньшего обслуживания по сравнению с обычными датчиками. Heye et al. [2020] использовали в зондах детекторы тепловых и надтепловых нейтронов. Тестирование различных методов преобразования скорости счета нейтронов в характеристики СП показало, что все методы позволяют достаточно хорошо определять массу снега во время осадков. Одной из новых методик измерений [Rivera Villarreyes et al., 2011], позволяющей определять интегральную влажность почвы, является наземное зондирование нейтронами КЛ, точнее, нейтронами альbedo Земли. В исследовании [Rivera Villarreyes et al., 2011] проводилось измерение нейтронов альbedo Земли на сельскохозяйственном поле в Северной Германии. Для проверки измерения нейтронов альbedo сопровождалось другими измерениями влажности почвы. В целом в исследовании излагается процедура зондирования нейтронами альbedo Земли на основе устройств, которые сейчас коммерчески доступны. В [Schattan et al., 2017] выполнена оценка характеристик наземного датчика нейтронов КЛ для мониторинга СП в Австрийских Альпах. Подсчет нейтронов сопоставлялся с непрерывными измерениями ВЭС и высоты СП с помощью автоматической метеорологической станции. Дополнительно использовались несколько пространственно-распределенных карт СП и ВЭС на основе наземного лазерного ска-

нирования. Обнаружена сильная нелинейная корреляция как для СП, так и для ВЭС. Средняя площадь охвата наземного датчика находится в диапазоне от 230 до 270 м.

Влияние снега на интенсивность потока регистрируемых нейтронов рассматривалось с использованием детекторов, представленных на рис. 1.

Регистрация нейтронов осуществляется с помощью газоразрядных счетчиков СНМ-15 [Асатиани и др., 1969], как в нейтронном мониторе NM-64, согласно реакции



Эффективность счетчика максимальна для тепловых нейтронов и составляет более 40 % [Асатиани и др., 1969]. Счетчики СНМ-15 группируются по три в блоки, как показано на рис. 1, а. Для исследования возможной анизотропии потока тепловых нейтронов два блока детекторов были расположены один над другим и между ними помещен лист кадмия толщиной в 1 мм. С боков эти детекторные блоки также прикрыты листовым кадмием (рис. 1, в). Непрерывная регистрация нейтронов с помощью представленных детекторов была начата 19 августа 2013 г. в одноэтажном здании станции КЛ «Новосибирск». Были использованы среднесуточные значения темпа счета верхнего N_1 и нижнего N_2 детекторных блоков за годовой период с января 2014 г. по январь 2015 г. В этот период велись также регулярные замеры толщины снега на крыше здания. По данным непрерывных наблюдений за этот период находились отношения темпов счета детекторов R и анизотропия A :

$$R = N_1 / N_2,$$

$$A = \frac{N_1 - N_2}{N_1 + N_2}. \quad (1)$$

Полученные результаты (рис. 2) показывают, что сезонный ход анизотропии потока тепловых нейтронов в основном обусловлен наличием осадков в виде снега.

В связи со значительными вариациями интенсивности потока нейтронов, вызванными атмосферными осадками в виде снега, возникает необходимость регулярного учета толщины СП над детектором в реальном времени. Станции КЛ, расположенные на высоких и средних широтах, а также в горах на низких широтах, подвержены влиянию снега, который накапливается над детектором и приводит к искажению наблюдаемых вариаций потока нейтронов. Следовательно, данные наблюдений КЛ с помощью нейтронного монитора требуют введения соответствующей поправки. В работе [Кобелев и др., 2020] применен так называемый метод опорной станции. Суть метода заключается в сравнении изотропных вариаций на исследуемой и опорной станциях. Предполагается, что на опорной станции снег заведомо отсутствует. При этом считается, что различие вариаций потока нейтронов обусловлено влиянием на скорость счета исследуемого детектора только СП.

Для корректного учета СП над нейтронным монитором в реальном времени необходимы непрерыв-

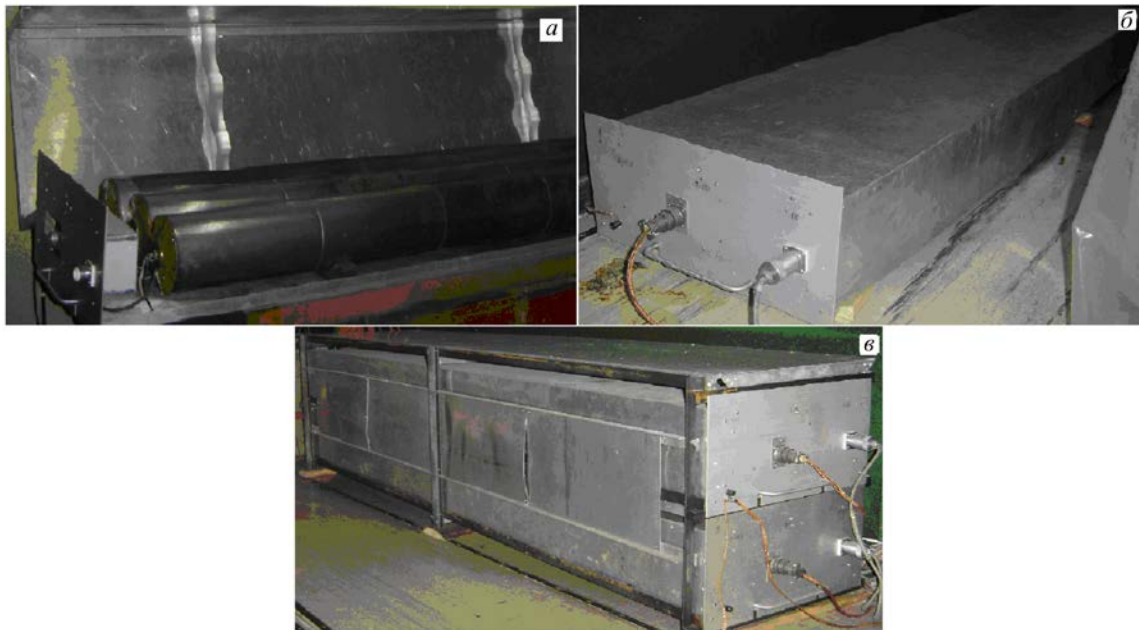


Рис. 1. Детектор нейтронов: а — расположение счетчиков в блоке; б — одиночный выносной детекторный блок; в — спаренные детекторные блоки

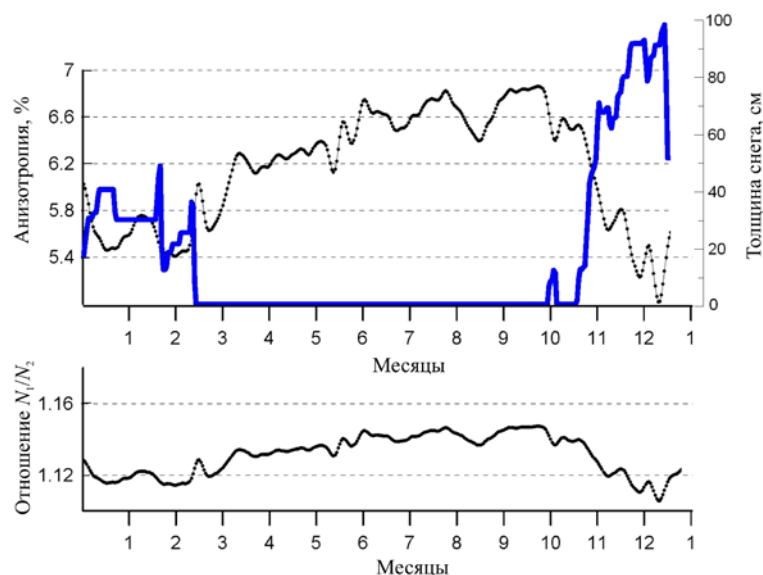


Рис. 2. Сезонные изменения потока тепловых нейтронов у поверхности Земли: сверху — анизотропия потока (черная кривая) и глубина снежного покрова (синяя кривая); внизу — отношение темпа счета детекторов N_1 и N_2

ные данные об удельной массе снега над детектором, для чего должны быть известны глубина СП и его плотность.

СОСТОЯНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ЕГО ПЛОТНОСТЬ

Плотность снега существенно меняется в зависимости от его состояния (сухой, мокрый), формы снежинок (хлопья, средние снежинки, крупинки), условий, в которых выпал (в тихую или ветреную погоду), времени лежания (свежевыпавший, лежалый, целинный) и пр. Некоторые усредненные значения для плотности снега по данным длительных наблюдений [<https://tehtab.ru/Guide/GuideMedias/GuideWater/SnowDensityAndHardness>] приведены в табл. 1 и 2.

Таким образом, в зависимости от условий снег может иметь плотность от 0.03 до 0.95 г/см³.

ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ НЕЙТРОНОВ В СНЕГУ

Зависимость темпа счета нейтронного монитора от количества снега, скопившегося на крыше здания, представляет собой экспоненту (кривая поглощения):

$$N = N_0 e^{-h/L}. \tag{2}$$

Здесь N_0 — темп счета детектора (нейтронного монитора NM-64) при толщине поглотителя $h=0$ (в данном случае снега); L — пробег поглощения нейтро-

нов в снегу. Относительные вариации темпа счета $\Delta N = \frac{N - N_{h_0}}{N_{h_0}} \cdot 100$ [%] вследствие изменений толщины снега будут определяться выражением

$$\Delta N = 100 \left[e^{-h/L} - 1 \right], \quad (3)$$

а пробег поглощения

$$L = \left| h / \ln \left(\frac{\Delta N}{100} + 1 \right) \right|. \quad (4)$$

В табл. 3. приведены результаты замеров толщины снега, его масса (на см²), а также значения ΔN [%].

Толщина снега измерялась с помощью линейки, а масса снега (на см²) находилась по количеству талой воды из керна, взятого с помощью стеклянной трубки с сечением 1 см². Масса талой воды также контролировалась с помощью аптечных весов 4-го класса точности по ГОСТ 14704-69 (з-д Кофарджиев, София, Болгария, 1971 г. в.). Найденная плотность снега изменялась от 0.06 до 0.095 г/см³. В данном случае категорию снега следует принять как снег свежавывающий (см. табл. 1). В течение зимнего периода снег может неоднократно сходить с достаточно крутой крыши здания. Плотность снега в зависимости от глубины СП показана на рис. 3.

Таблица 1

Плотность свежавывающего снега

п/п	Состояние снега	Плотность, г/см ³
1	Свежий пушистый сухой снег	0.030–0.060
2	Снег рыхлый хлопьями	0.040–0.070
3	Снег рыхлый средними снежинками	0.080–0.12
4	Снег рыхлый мелкими крупинками	0.080–0.16
5	Снег мокрый	0.06–0.15
6	Снег осевший	0.20–0.30
7	Снег ветрового (метелевого) переноса	0.20–0.30

Таблица 2

Плотность лежалого снега

п/п	Состояние снега	Плотность, г/см ³
1	Снег, выпавший в течение нескольких суток, чистый неокученный	0.10–0.15
2	Снег сухой	0.125
3	Снег осевший, лежалый до 30 сут	0.20–0.30
4	Снег целинный, лежалый более 30 сут	0.34–0.42
5	Снег сухой осевший старый	0.3–0.5
6	Снег мокрый осевший старый	0.6–0.8
7	Снег мокрый	до 0.95

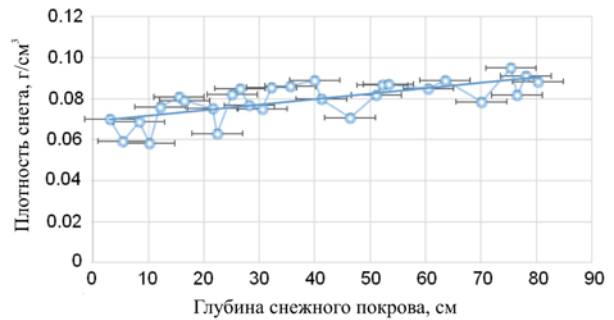


Рис. 3. Зависимость плотности снега от глубины снежного покрова

Пробег поглощения нейтронов в снегу определяется согласно выражению (4). Среднее значение пробега поглощения в снегу — 107 г/см². Средняя плотность снега за весь период измерений составила 0.08 г/см³. Наблюдается увеличение плотности снега с ростом толщины покрова. Изменение плотности снега с глубиной показано на рис. 3 линией тренда.

Линейная корреляция между темпом счета нейтронного монитора и количеством снега над детектором представлена на рис. 4. Сплошной линией показана линия регрессии. Коэффициент поглощения потока излучения, регистрируемого нейтронным монитором, в снегу составил $\beta = -0.94$ % / (г·см⁻²). Эта величина соответствует пробегу поглощения 107 г/см².

КОРРЕКЦИЯ ДАННЫХ НЕЙТРОННОГО МОНИТОРА НА ОСАДКИ В ВИДЕ СНЕГА

Поправку на снег в данные нейтронного монитора следует вводить аналогично учету изменений атмосферного давления:

$$N_0(t) = N(t) \exp \left[(\beta_{\text{сн}} / 100) (h_{\text{снк}}(t) - h_{\text{сн}0}) \right]. \quad (5)$$

Здесь $h_{\text{сн}0} = 0$ — отсутствие снега на крыше здания; $h_{\text{снк}}(t)$ — количество снега на крыше в некоторый момент времени t [г/см²]; $\beta_{\text{сн}}$ — коэффициент поглощения потока нейтронов в снегу [%/(г·см⁻²)]; $N(t)$ — темп счета нейтронного монитора в момент времени t при наличии снега на крыше здания; $N_0(t)$ — темп счета нейтронного монитора в момент времени t , приведенный к значению $h_{\text{сн}0} = 0$.

Для коррекции данных нейтронного монитора на количество снега следует непрерывно проводить измерения глубины СП на крыше здания.

НЕПРЕРЫВНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИНЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

В качестве датчика снегомера нами использовался модуль фазового лазерного дальномера модели HI50 Hi-AT Technology Co., LTD [https://aliexpress.ru/item/32793950499.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.3f7d33edMI6IXU&_ga=2.87447898.33769789.1614593370-424972838.1577095815&sku_id=6396517221]. От использовавшихся ранее датчиков ультразвуковых дальнометров пришлось отказаться из-за их неустойчивой работы во время сильных порывов ветра (20 м/с и более), метели, пурги

Таблица 3

Зависимость темпа счета нейтронного монитора от количества снега на крыше здания.

Количество снега, h		Плотность снега ρ , г/см ³	Изменения темпа счета ΔN , %	Пробег поглощения L , г/см ²	Коэффициент поглощения β , %/(г·см ⁻²)
Глубина покрова, см	Удельная масса, г/см ²				
3.0	0.21	0.07	-0.20	105.0	-0.952
5.4	0.32	0.0593	-0.332	96.4	-1.037
8.3	0.57	0.0686	-0.531	107.3	-0.931
10.2	0.59	0.0578	-0.59	100.3	-0.997
12.1	0.92	0.076	-0.797	115.4	-0.866
15.5	1.25	0.0806	-0.996	126.1	-0.793
16.5	1.30	0.0788	-1.05	124.5	-0.803
21.6	1.62	0.075	-1.394	117	-0.854
22.4	1.41	0.0629	-1.41	100.7	-0.993
25.1	2.06	0.0821	-1.66	124.0	-0.806
26.5	2.25	0.0849	-1.9	119.7	-0.835
28.2	2.16	0.0766	-1.72	126.6	-0.789
30.5	2.29	0.0751	-2.48	92.3	-1.08
32.2	2.75	0.0854	-2.46	113.2	-0.884
35.6	3.06	0.0859	-3.1	100.2	-0.997
40.0	3.56	0.089	-3.45	104.9	-0.953
41.2	3.28	0.0796	-3.5	95.3	-1.048
46.4	3.76	0.081	-3.05	107.5	-0.93
51.1	4.18	0.0818	-3.9	107.2	-0.933
52.2	4.52	0.0866	-4.2	107.6	-0.929
53.3	4.64	0.087	-5.18	91.88	-1.08
60.5	5.14	0.085	-4.91	107.3	-0.931
63.5	5.65	0.089	-5.3	109.4	-0.914
70.1	5.5	0.0785	-5.7	96.5	-1.036
75.4	7.16	0.095	-7.57	98.1	-1.019
76.5	6.26	0.0818	-5.8	107.9	-0.927
78.1	7.11	0.091	-6.7	109.6	-0.912
80.3	7.1	0.0884	-6.9	106.4	-0.939
Среднее значение					
38.6	3.24	0.08	-3.09	107	-0.94

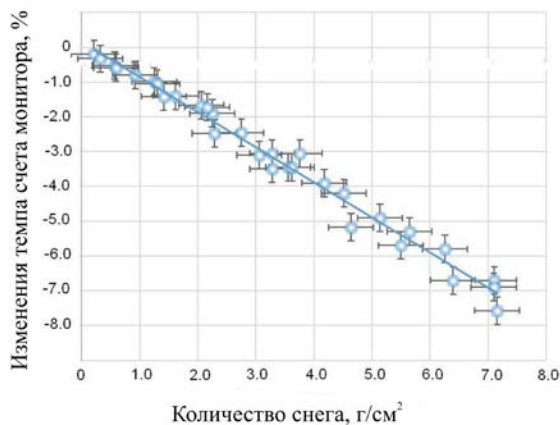


Рис. 4. Зависимость темпа счета нейтронного монитора от количества снега над ним

(обильные снежные осадки с сильным ветром), а также в тихую погоду с очень легким (пушистым) свежеснежавшим снегом. Лазерный дальномер выгодно отличается от ультразвуковых дальномеров устойчивой работой в перечисленных условиях: в ходе продолжительного тестирования сбоев зарегистрировано не было. Общий вид модуля лазерного дальномера представлен на рис. 5.

В сборку входит промышленный модуль управления, не содержащий ЖК-дисплея (общая масса не превышает 38 г). Класс лазера — II (635 нм, <1 мВт), точность измерения ± 1 мм при длительности замера 0.3–2.0 с. Модуль лазерного дальномера был помещен в корпус, представляющий собой пластиковый цилиндр диаметром 50 мм, с обеих сторон герметично (с использованием сальников) закрытый пластиковыми крышками. Передняя крышка имеет окно (см. рис. 5), в которое плотно вставляется модуль. В качестве корпуса использована сантехническая пластиковая труба. Корпус с модулем дальномера был установлен на мачте над крышей здания, в котором находится нейтронный монитор (рис. 6).

С помощью дальномера измеряется расстояние $h(t)$ до поверхности СП, расстояние до кровли h_0 известно (const). Глубина СП находится как $h_{\text{сн}}(t) = h_0 - h(t)$, а количество снега — как $h_{\text{снК}}(t) = \rho h_{\text{сн}}(t)$, где ρ — плотность снега (рис. 3). Полученные значения после каждого измерения заносятся в компьютер. На рис. 7 представлен пример непрерывной синхронной записи темпа счета нейтронного монитора и глубины СП над монитором.



Рис. 5. Модуль лазерного дальномера (а), крышка корпуса (б), в которую вставляется модуль, и дальномер в сборе (в)

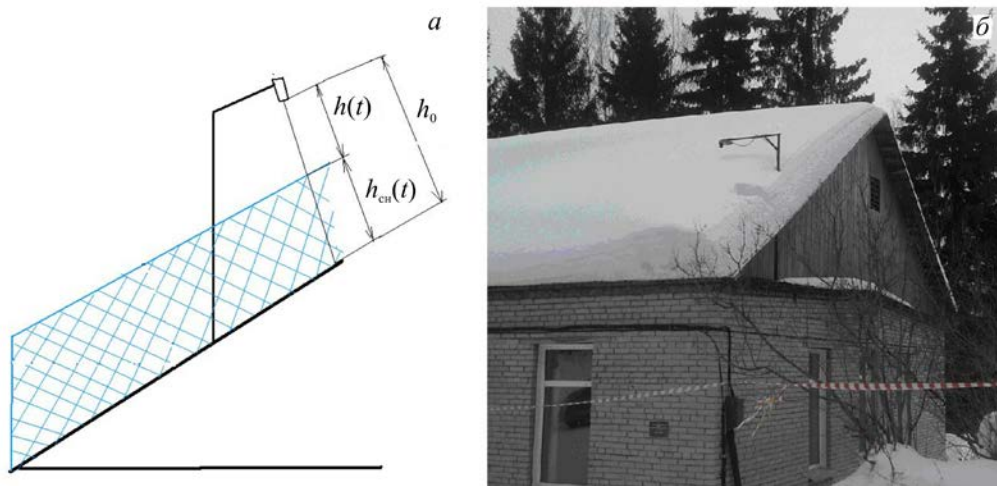


Рис. 6. Установка датчика снегомера над зданием: схема (а) и общий вид (б)

На приведенном временном интервале видно «сползание» темпа счета монитора по мере постепенного незначительного (менее 10 см) накопления снега. Изменения СП на 10–12 см при его глубине 80 см вызывают вариации темпа счета монитора 0.9 %. На рис. 8 показан темп счета монитора в момент схода снега с крыши здания.

Исходные часовые данные нейтронного монитора на рис. 8 представлены кривой 1, а кривой 2 показаны данные, скорректированные на снег согласно представленной методике. Видно, что общее количество накопившегося на крыше здания снега глубиной около 80 см приводит к уменьшению темпа счета нейтронного монитора на ~8 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Накопление осадков в виде снега может приводить к значительным вариациям интенсивности вторичных

космических лучей, регистрируемых нейтронными мониторами. Эти вариации, которые следует отнести к метеорологическим эффектам, достигают нескольких процентов. Чтобы исключить эффект осадков из данных нейтронного монитора, необходимо проводить регулярные измерения глубины снежного покрова на крыше здания, в котором находится нейтронный монитор. Предложенное решение позволяет проводить измерения глубины снежного покрова с высокой точностью и вводить поправки в данные нейтронного монитора в реальном времени.

В работе использованы экспериментальные данные УНУ-85 «Российская национальная сеть станций космических лучей».

Работа выполнена при поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0013 «Проявление процессов глубинной геодинамики в геосферах Земли по результатам мониторинга геомагнитного поля, ионосферы и космических лучей».

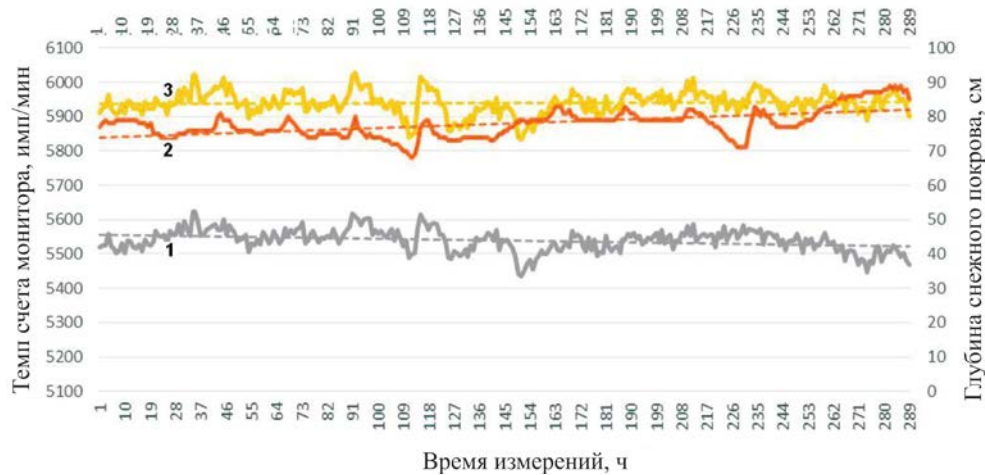


Рис. 7. Пример непрерывной синхронной записи темпа счета нейтронного монитора (кривая 1) и глубины снежного покрова на крыше здания (кривая 2). Темп счета монитора, исправленный на влияние снега, показан кривой 3. Штриховыми линиями на рисунке показаны тренды темпа счета монитора (исходные данные), глубины снега за период измерений и темпа счета монитора, исправленного на влияние снега

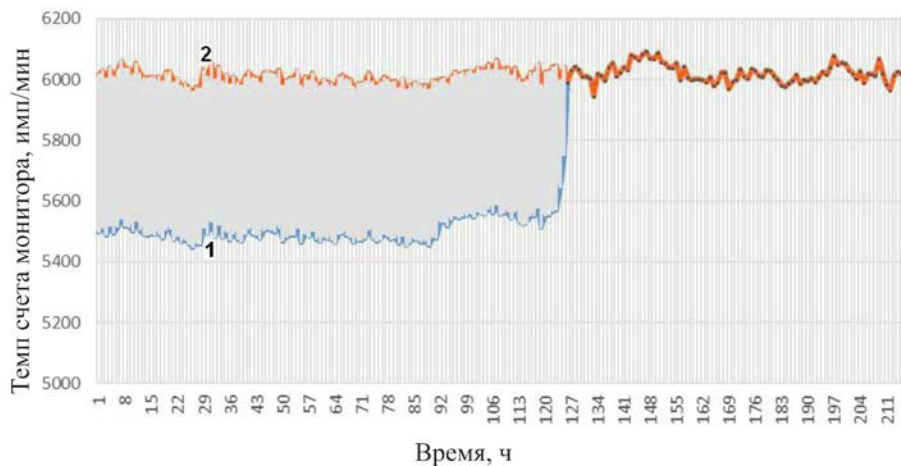


Рис. 8. Изменение темпа счета нейтронного монитора при сходе накопившегося снега с крыши здания

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Асагиани П.Я., Блох Я.Л., Гагуа Т.А. Крупногабаритные нейтронные счетчики типа СНМ-15. *Труды Всесоюзной конференции по космическим лучам. Ташкент, 1968*. М.: Ротапринт ФИАН СССР, 1969. Ч. 2. Вып. 3. С. 101–104.

ГОСТ 14704-69. *Весы лабораторные. Пределы взвешивания и нормы точности.*

Дорман Л.И. *Метеорологические эффекты космических лучей.* М.: Наука, 1972. 210 с.

Дорман Л.И. *Экспериментальные и теоретические основы астрофизики космических лучей.* М.: Наука, 1975. 462 с.

Кобелев П.Г., Трефилова Л.А., Белов А.В. и др. Метод опорных станций для исключения эффекта снега на основе данных за 2018–2019 год. *Физика авроральных явлений: труды XLII ежегодного семинара.* Апатиты, 2020. С. 52–55. DOI: 10.37614/2588-0039.2020.43.012.

Янчуковский В.Л., Филимонов Г.Я. Коэффициенты связи и атмосферная кратность нейтронной компоненты вторичных космических лучей. *Известия РАН. Серия физическая.* 1995. Т. 59, № 4. С. 125–128.

Heue B.R., Herrmann F., Jakobi J., et al. Monitoring of snowpack dynamics with cosmic-ray neutron probes: a comparison of four conversion methods. *Front. Water.* 04 August 2020. DOI: 10.3389/frwa.2020.00019.

Rivera Villarreyes C.A., Baroni G., Oswald S.E. Integral quantification of seasonal soil moisture changes in farmland by cosmic ray neutrons. *Hydrology and Earth System Sciences.* 2011. Vol. 15, iss. 12. P. 3843–3859. DOI: 10.5194/hess-15-3843-2011.

Schattan P., Baroni G., Oswald S.E., et al. Continuous monitoring of snowpack dynamics in alpine terrain by above-ground neutron sensing. *Water Resources Research.* 2017. Vol. 53, iss. 5. P. 3615–3634. DOI: 10.1002/2016WR020234.

Sigouin M.J.P., Si B.C. Calibration of a non-invasive cosmic-ray probe for wide area snow water equivalent measurement. *The Cryosphere.* 2016. Vol. 10. P. 1181–1190. DOI: 10.5194/tc-10-1181-2016.

URL: <https://tehtab.ru/Guide/GuideMedias/GuideWater/SnowDensityAndHardness> (дата обращения 2 апреля 2021 г.).

URL: https://aliexpress.ru/item/32793950499.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.3f7d33edMI6IXU&_ga=2.87447898.33769789.1614593370-424972838.1577095815&sku_id=6396517221 (дата обращения 2 апреля 2021 г.).

Как цитировать эту статью:

Янчуковский В.Л., Кузьменко В.С. Метод автоматической коррекции данных нейтронного монитора на осадки в виде снега в реальном времени. *Солнечно-земная физика.* 2021. Т. 7, № 3. С. 120–126. DOI: 10.12737/szf-73202108.