

ДОЗЫ РАДИАЦИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ ОТ ВСПЫШКИ 23 ФЕВРАЛЯ 1956 ГОДА ЗА РАЗЛИЧНЫМИ ЗАЩИТНЫМИ ЭКРАНАМИ

RADIATION DOSES ON THE LUNAR SURFACE FROM THE FEBRUARY 23, 1956 SOLAR FLARE BEHIND VARIOUS PROTECTIVE SCREENS

И. П. БЕЗРОДНЫХ¹, А. А. МУСАЛИТИН²

¹ *Институт космических исследований Российской Академии наук (ИКИ РАН), Москва, Россия*

² *АО «Корпорация «ВНИИЭМ», Москва, Россия*

I. P. Bezrodnykh¹, A. A. Musalitin²

¹ *Space Research Institute Russian Academy of Sciences (IKI RAS), Moscow, Russia*

² *JSC "VNIEM Corporation", Moscow, Russia*

Аннотация. Для оценки дозы радиации на поверхности Луны от протонов ускоренных в солнечной вспышке 23 февраля 1956 года использовался метод математического моделирования взаимодействия энергичных заряженных частиц с веществом. Математическое моделирование проводилось с помощью программы Geant4. При моделировании виртуально использовались защитные экраны от радиации, состоящие из алюминия, лунного грунта или воды. В качестве детектора был задан слой воды. По результатам моделирования поглощенные дозы радиации от солнечной вспышки, за защитными экранами с одинаковой массовой толщиной в 1 г/см^2 , но состоящих из разных материалов, могли составлять величину около: 160 сГр за экраном из алюминия; 154 сГр за экраном из лунного грунта; 129 сГр за экраном из воды. За защитными экранами с массовой толщиной в 100 г/см^2 , соответственно: 3,6 сГр (алюминий); 3,3 сГр (реголит); 2,7 сГр (вода). При оценке дозы радиации за экранами из лунного грунта использовался химический состав с места посадки аппарата «Аполлон 11», вклад в дозу радиации от частиц галактических космических лучей не учитывался. Для удобства часть полученных результатов была представлена в виде аналитических функций, описывающих зависимость поглощенных доз радиации от толщины защитных экранов.

Ключевые слова: солнечная вспышка, 23 февраля 1956 года, солнечные космические лучи, лунный грунт, поглощенная доза радиации, математическое моделирование, метод Монте-Карло, программа Geant4.

Для цитирования: Безродных И. П., Мусалитин А. А. Дозы радиации на поверхности Луны от вспышки 23 февраля 1956 года за различными защитными экранами // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2026. Т. 211. № 2. С. 16–21.

Annotation. To estimate the radiation dose on the lunar surface from protons accelerated during the February 23, 1956 solar flare, a method of mathematical modeling of the interaction of energetic charged particles with matter was used. The mathematical modeling was performed using the Geant4 program. The modeling utilized virtual radiation shields consisting of aluminum, lunar soil, or water. A water layer was used as a detector. According to the modeling results, the absorbed radiation doses from the solar flare behind shields with the same mass thickness of 1 g/cm^2 but composed of different materials could be approximately: 160 cGy behind an aluminum shield; 154 cGy behind a lunar soil shield; and 129 cGy behind a water shield. Behind protective screens with a mass thickness of 100 g/cm^2 , the corresponding values were: 3.6 cGy (aluminum); 3.3 cGy (regolith); 2.7 cGy (water). When estimating the radiation dose behind lunar soil screens, the chemical composition of the Apollo 11 landing site was used; the contribution to the radiation dose from galactic cosmic ray particles was not taken into account. For convenience, some of the obtained results were presented as analytical functions describing the dependence of absorbed radiation doses on the thickness of the protective screens.

Key words: solar flare, February 23 1956, solar cosmic rays, lunar soil, absorbed radiation dose, mathematical modeling, Monte Carlo method, Geant4 program.

For citation: Bezrodnykh I. P., Musalitin A. A. Radiation doses on the Lunar surface from the February 23, 1956 solar flare behind various protective screens // Electromechanical matters. VNIEM studies. 2026. Vol. 211. № 2. Pp. 16–21.

Введение

В связи с проектом возвращения человека на Луну и создания обитаемой базы на Луне вопрос радиационной защиты от ионизирующего излучения, источником которого являются солнечные вспышки, становится особенно актуальным. Важным является анализ возможных угроз от солнечных вспышек большой мощности, например, такой как эталонная вспышка 23 февраля 1956 г., которая началась в 03:31 и достигла максимума в 03:42 по мировому времени (UT) [1]. Эта «солнечная вспышка века» – одно из самых выдающихся событий солнечно-земной фи-

зики. Межпланетная ударная волна от солнечной вспышки достигла Земли через 48 ч после вспышки и вызвала на Земле мощную геомагнитную бурю, которая началась 25 февраля около 03:00 UT и достигла максимума через 3 часа в 06:00 UT. Большинство межпланетных ударных волн от солнечных вспышек достигает Земли, примерно, через 36 ч после вспышки. Такие события, когда ударная волна от вспышки приходит к Земле через 24 ч или через 48 ч, бывают редко.

Вспышка 23 февраля 1956 г. была первой вспышкой в 19-м цикле солнечной активности.

Началом первого цикла солнечной активности считается 1755 г. Наблюдения за солнечной активностью (за количеством пятен на поверхности Солнца) регулярно велось с 1600 г. К 1755 г. было уже очевидно, что солнечная активность имеет циклический характер. Начиная с марта 1755 г. стали вести счет номерам 11-летних циклов. 19-й цикл солнечной активности начался в апреле 1954 г. и закончился в октябре 1964 г. В этот период солнечная активность была самой высокой за более чем 300 лет наблюдений за Солнцем, а поток частиц солнечных космических лучей (СКЛ) с энергией более 200 МэВ от вспышки 1956 г. был самым большим за все время регистрации частиц с помощью технических средств. На рис. 1 схематично показана видимая поверхность Солнца, вспышка произошла в группе пятен с координатами 23° с. ш. 80° з. д. [1].

К началу 19-го цикла активности Солнца человечество технически было готово исследовать влияние солнечной активности на процессы в околоземном пространстве и на Земле. Уже во второй половине 1940-х и в начале 1950-х гг. активно развивалась технология регистрации космических лучей на поверхности Земли и на больших высотах в стратосфере с помощью шаров зондов и баллистических ракет [2, 3]. Первый успешный пуск баллистической ракеты США с аппаратурой для регистрации космических лучей состоялся 10 мая 1946 г. Ракета достигла высоты около 80 км. Такие запуски ракет были частью программы адаптации ракет А4 («Фау-2»), разработанных немецким конструктором Вернером фон Брауном, для научных исследований.

Научными исследованиями радиационных условий на больших высотах с помощью ракет руководил американский астрофизик Джеймс Ван Аллен, в честь которого назовут радиационные пояса Земли [2, 3]. Первый успешный запуск баллистической ракеты в СССР на полигоне Капустин Яр был выполнен 18 октября 1947 г. При создании советской ракеты за основу была взята ракета А4. Первый успешный пуск ракеты с научной аппаратурой состоялся 22 июля 1951 г. Технический руководитель проекта был С. П. Королев, научный руководитель исследований – А. Е. Чудаков [3].

Причиной того, что инженеры успели подготовить широкий комплекс сложнейшей научной аппаратуры к 19-му циклу солнечной активности, была организация Международного геофизического года (МГГ). В 1950 г. группа ученых (включая Ллойда Беркнера и Сидни Чепмена) предложила провести глобальный «геофизический год» вместо традиционного полярного года. В конце 1951 г. Международным советом научных союзов (МСНС) был создан специальный комитет по организации МГГ, а в 1952 г. проект был расширен до планетарного масштаба и официально объявлен. МГГ планировался на период с 1 июля 1957 по 31 декабря 1958 гг. В 1956 г. стало известно, что США и СССР планируют запустить искусственные спутники для изучения верхних слоёв атмосферы и космических лучей. СССР объявил о программе «Спутник» (*Sputnik*), а США – об «Авангард» (*Vanguard*) и «Эксплорер» (*Explorer*). Это была часть МГГ, первый искусственный спутник Земли был запущен СССР 4 октября 1957 г. Запуск первого спутника вдохновил инженеров на новые технические разработки, которые привели к полету Гагарина и высадке американцев на Луну. В 1956 г., за год до начала МГГ, мир уже активно готовился к этому глобальному научному мероприятию. МГГ стал одним из самых амбициозных проектов в истории науки, объединив усилия 67-ми стран для изучения Земли, Солнца и её окрестностей. Впервые были выделены огромные средства для разработки и создания научной аппаратуры. Были созданы сотни станций по всему миру для научных исследований. Например, в Антарктиде и на океанских кораблях. Исследования включали геомагнетизм, ионосферу, сейсмологию, метеорологию и океанографию. Были созданы цепочки риометрических станций и станций нейтронных мониторов нового стандарта для измерения потоков космических лучей. Регулярно регистрировались потоки высокоэнергичных частиц космических лучей с помощью больших ионизационных камер. Велись измерения потоков частиц космических лучей в верхних слоях атмосферы Земли с по-

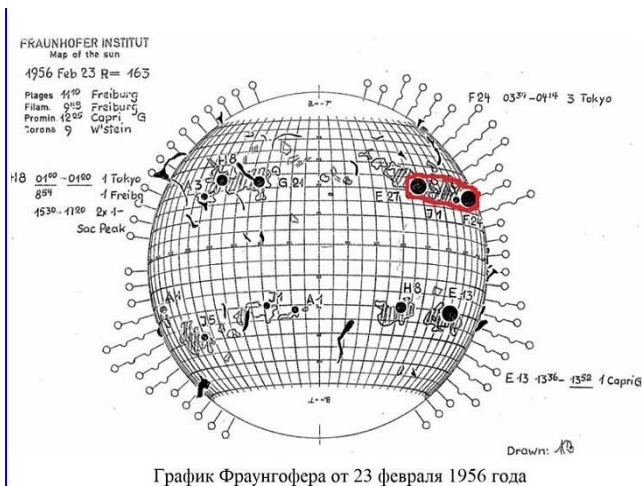


Рис. 1. Схематичное изображение видимой поверхности Солнца: вспышка произошла в области с координатами 23° с. ш. 80° з. д. (группа пятен, где произошла вспышка, обведена красной линией)

мощью баллонов и баллистических ракет. Солнечная вспышка 23 февраля 1956 г. была первой в истории человечества, когда оно впервые получило техническую возможность исследовать ее влияние на процессы в околоземном пространстве. После сверхмощной солнечной вспышки 23 февраля 1956 г. стало очевидно, что необходима организация регулярного мониторинга солнечной активности и радиационной обстановки. В настоящее время программу проведения Международного геофизического года можно рассматривать как предшественницу таких амбициозных программ как «Артемиды» (*Artemis*). Программа *Artemis* – это проект НАСА (NASA) по возвращению человека на Луну, созданию устойчивого присутствия на Луне и подготовке к миссиям на Марс (URL: <https://www.nasa.gov/feature/artemis/>).

Оценка радиационных условий

Потоки ионизирующих излучений от солнечной вспышки 23 февраля 1956 г. были зарегистрированы с помощью 14-ти стандартных станций нейтронных мониторов, расположенных на разных геомагнитных широтах [4, 5]. Это позволило получить энергетический спектр высокоэнергичных частиц от вспышки и экстраполировать его на меньшие энергии с учетом моделей распространения космических лучей и результатов измерения потоков космических лучей более низких энергий на больших высотах в атмосфере Земли с помощью баллонов. В работе [6] для события 23 февраля 1956 г. представлена аналитическая функция, назовем ее Y_1 , с помощью которой можно описать интегральный флюенс частиц СКЛ. Флюенс частиц СКЛ – это суммарное количество частиц, прошедших через единицу площади за время события. В то время как интегральный флюенс протонов имеет размерность (протоны/см²) и учитывает все частицы выше определенной энергии ($>E$), дифференциальный флюенс протонов имеет размерность [протонов/(см² · МэВ)] и описывает количество частиц в конкретном узком интервале энергий (от E до $E + dE$). Иногда вместо термина «флюенс» используется термин «спектр», это допустимо, но нужно помнить, что «спектр» более широкое понятие, в то время как «флюенс» относится только к суммарному количеству частиц от вспышки.

Аналитическая функция Y_1 , описывающая интегральный флюенс протонов СКЛ от вспышки 23 февраля, имеет вид:

$$Y_1 = 1,5 \cdot 10^9 \cdot \exp(-(E - 10)/25,0) + 3,0 \cdot 10^8 \cdot \exp(-(E - 100)/320),$$

где E – это кинетическая энергия, МэВ.

Данный вид спектра для 23 февраля 1956 г. использовался во многих научных работах. Например, на рис. 2 показаны интегральные флюенсы (спектры) частиц СКЛ для нескольких вспышек [7], в том числе и интегральный флюенс для вспышки 1956 г., который с высокой точностью описывается с помощью аналитической функции Y_1 , в диапазоне энергий от 1 до 1000 МэВ. Как показано на рис. 2, солнечная вспышка 23 февраля 1956 г. сопровождалась самым большим потоком протонов с энергией более 200 МэВ.

На рис. 3 показан интегральный флюенс протонов СКЛ для события 1956 г. в более широком диапазоне энергии.

На рис. 3 интегральный флюенс частиц СКЛ построен с учетом исправленных значений магнитной жесткости для станций нейтронных мониторов, которые использовались для регистрации частиц от вспышки 1956 г. [4]. По сравнению с интегральным флюенсом протонов для вспышки 1956 г., показанным на рис. 2, интегральный флюенс, показанный на рис. 3, отличается только высокоэнергичной частью. Есть несколько способов определить поглощенную дозу радиации, но в любом случае, поглощенная доза радиации – это отношение энергии, оставленной ионизирующим излучением в веществе к массе этого вещества. Наиболее надежный способ оценки поглощенной дозы – это математическое моделирование взаимодействия ионизирующего излучения с веществом методом Монте-Карло. В качестве программного обеспечения мы выбрали *Geant4* версии 11.0.3. Это очень удобная программа для моделирования. Для расчета дозы радиации не важно, какой спектр по энергиям частиц вы используете: интегральный или дифференциальный. Программа сама может преобразовать исходные данные в нужный формат. Мы решили использовать дифференциальный флюенс, который определили из исходного интегрального спектра. В нашем случае дифференциальный флюенс протонов СКЛ в диапазоне энергий от 1 до 1000 МэВ для вспышки 1956 г. описывается функцией Y_2 вида:

$$Y_2 = 6,0 \cdot 10^7 \cdot \exp(-(E - 10)/25) + 9,375 \cdot 10^5 \cdot \exp(-(E - 100)/320),$$

где E – кинетическая энергия частиц, МэВ.

На рис. 4 показан график дифференциального флюенса протонов СКЛ от вспышки 1956 г. в диапазоне энергий от 1 МэВ до 20 ГэВ. При моделировании, в диапазоне энергий протонов СКЛ от 1 до 1000 МэВ, мы использовали значения функции Y_2 . Для протонов больших энергий дифференциальный флюенс задавался в виде таблицы.

При расчете дозы радиации использовали математическую модель, состоящую из виртуального генератора частиц различных энергий, вероятность генерации частиц с конкретной энергией определялась из нашего дифференциального спектра (флюенса). Дополнительно в модель ввели две виртуальные пластины: первая пластина из алюминия играла роль защитного экрана. При изменении ее толщины процесс математического моделирования повторялся сначала. В качестве второй пластины мы использовали слой воды 1 мм. Вторая пластина играла роль детектора частиц. Поглощенную дозу радиации определяли отношением суммарной энергии, оставленной частицами в детекторе к массе детектора. Мы выбрали тонкий слой

воды в качестве детектора для того, чтобы не учитывать изменения скорости частицы при пролете через детектор. Таким образом, мы оценили дозу радиации от вспышки 1956 г., ее можно отнести к дозе на орбите Луны, соответственно поглощенная доза радиации на поверхности Луны будет в два раза меньше. Все оценки выполнены без учета вклада галактических космических лучей. На рис. 5 для толщин защитного экрана от 0,01 до 100 г/см² из алюминия показаны графики поглощенной дозы радиации на лунной орбите и на поверхности Луны. Результаты расчетов в диапазоне от 0,01 до 1 г/см² получены только в виде таблиц, в диапазоне от 1 до 100 г/см² дополнительно есть представление результатов в аналитическом виде.

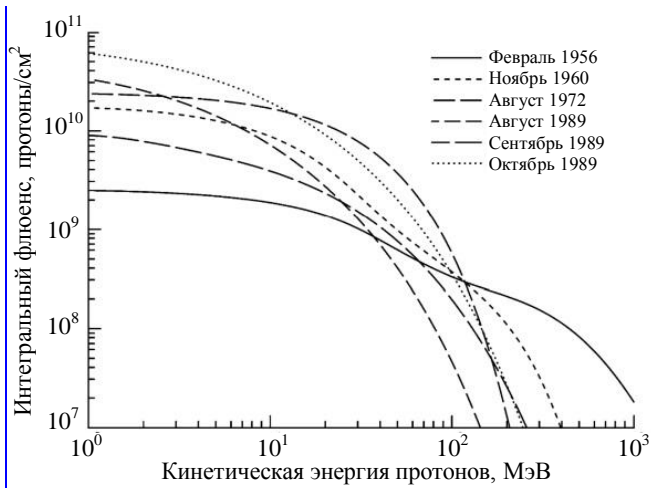


Рис. 2. Для шести мощных солнечных вспышек показаны интегральные флюенсы протонов солнечных космических лучей в диапазоне энергии от 1 до 1000 МэВ

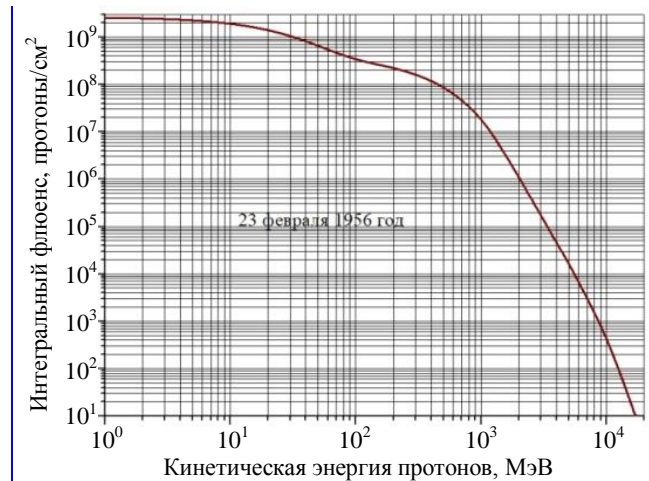


Рис. 3. График интегрального флюенса протонов солнечных космических лучей от вспышки 23 февраля 1956 г. в диапазоне энергии от 1 МэВ до 20 ГэВ

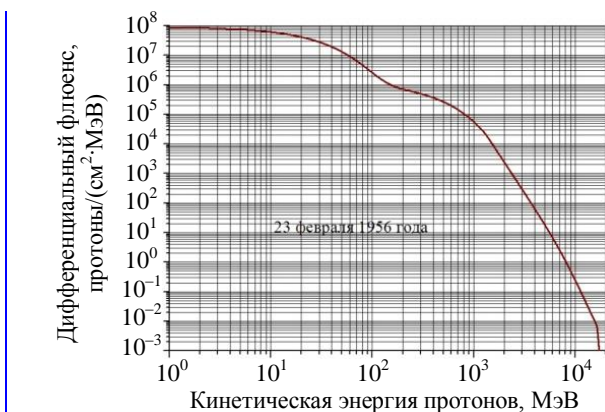


Рис. 4. График дифференциального флюенса протонов от вспышки 23 февраля 1956 г. в диапазоне энергии от 1 МэВ до 20 ГэВ

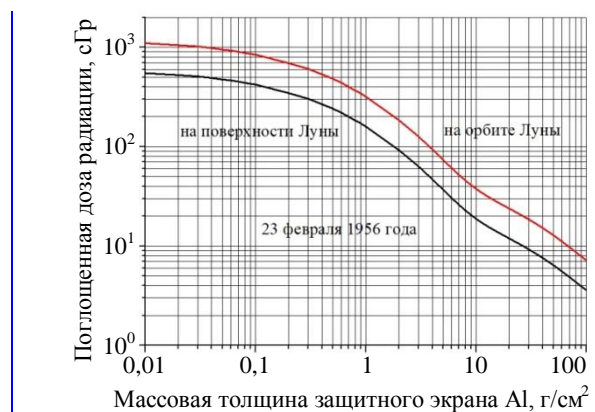


Рис. 5. Поглощенная доза радиации на орбите Луны и на ее поверхности от протонов солнечных космических лучей, источником которых была мощная солнечная вспышка 23 февраля 1956 г.

Дополнительно, мы промоделировали ситуации, когда в качестве защитного экрана используется лунный грунт либо вода. Мы использовали параметры лунного грунта [8] на месте посадки пилотируемого аппарата «Аполлон-11» (*Apollo 11*). Аппарат прилунился в районе Моря Спокойствия, сейчас это место посадки называется Базой Спокойствия. Астронавты доставили с этого места около 21,6 кг образцов лунного грунта, который был исследован в лабораториях 9-ти стран, в том числе и России, в Институте геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского (ГЕОХИ РАН) в Москве.

При моделировании не учитывалось увеличение плотности грунта с глубиной, поскольку расчеты проводились для относительно небольших толщин грунта. На месте посадки космического аппарата, предположительно, плотность менялась с глубиной от 1,6 до 1,9 г/см³. При моделировании использовалась плотность грунта 1,7 г/см³ и соответствующий химический состав: кислород O – 42%; кремний Si – 21%; железо Fe – 12%; титан Ti – 7%; алюминий Al – 7%; кальций Ca – 7%; магний Mg – 4%.

В таблице представлены результаты моделирования ситуаций, когда в качестве защитного экрана используется алюминий, лунный грунт (реголит) или вода.

Для толщин экранов из алюминия от 1 до 100 г/см² поглощенную дозу радиации на орбите Луны от вспышки 1956 г. представили в виде аналитической функции Y_3 , сГр:

$$Y_3 = 181,1 \cdot \exp(-0,458d) + 17,41 \cdot \exp(-0,022d) + (3,4d + 183,918)/d,$$

где d – массовая толщина экрана, г/см² (Al-алюминий).

И соответственно, на поверхности Луны, функциями Y_4 (алюминий), Y_5 (грунт) и Y_6 (вода), сГр:

$$Y_4 = 90,55 \cdot \exp(-0,458d) + 8,705 \cdot \exp(-0,022d) + (1,7d + 91,959)/d,$$

где d – массовая толщина экрана, г/см² (Al-алюминий);

$$Y_5 = 81,42 \cdot \exp(-0,471d) + 7,83 \cdot \exp(-0,023d) + (1,6d + 93,643)/d,$$

где d – массовая толщина экрана, г/см² (лунный грунт, реголит);

$$Y_6 = 67,43 \cdot \exp(-0,541d) + 7,26 \cdot \exp(-0,022d) + (1,05d + 81,296)/d,$$

где d – массовая толщина экрана, г/см² (вода).

Полученные нами аналитические функции относятся к эталонной солнечной вспышке 23 февраля 1956 г. Особенность таких солнечных вспышек состоит в том, что они сопровождаются большими потоками частиц высоких энергий, представляющих опасность для пилотируемых миссий. Защитить экипаж космического аппарата или космонавтов на поверхности Луны от вспышек такой мощности можно, если защитная капсула имеет массовую толщину 100 г/см² и более. На космическом аппарате это могут быть блоки с водой и блоки с продуктами питания. На поверхности Луны это пещеры в скальном грунте или укрытия, построенные в лунном грунте.

Таблица

Поглощенная доза радиации на поверхности Луны, которая могла бы быть от вспышки 23 февраля 1956 г. за разными толщинами защитных экранов

Доза, сГр г/см ²	1	2	5	10	20	30	40	50	80	100
Экран Al	159,45	92,24	37,05	18,81	11,91	9,265	7,610	6,437	4,347	3,584
Реголит	153,73	87,64	35,03	17,92	11,23	8,649	7,061	5,952	4,014	3,322
Вода	128,70	71,50	28,32	15,31	9,792	7,51	6,094	5,093	3,315	2,667

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Rishbeth H., Shea M. A., Smart D. F. The solar-terrestrial event of 23 February 1956 [Электронный ресурс] // *Advances in Space Research*. 2009. Vol. 44. Pp. 1096–1106. DOI : 10.1016/j.asr.2009.06.020 (дата обращения: 14.01.2026).
2. Статьи в журнале «Missiles and rockets» 1956 – 1960 гг. : [сайт] [Электронный ресурс]. URL : https://epizodsspace.airbase.ru/bibl/inostr-yazyki/missiles_and_rockets/missiles_and_rockets.html (дата обращения: 26.01.2026).
3. Challenge to Apollo: The Soviet Union and the space race, 1945 – 1974 [Электронный ресурс] / by Asif A. Siddiqi p. cm. (The NASA history series) NASA SP ; 2000-4408. URL : <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/SP-4408pt1.pdf> (дата обращения: 03.02.2026).
4. Revisited Reference Solar Proton Event of 23 February 1956: Assessment of the Cosmogenic-Isotope Method Sensitivity to Extreme Solar Events [Электронный ресурс] / I. G. Usoskin [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. 2020. Vol. 125. Iss. 6. DOI : 10.1029/2020JA027921 (дата обращения: 09.02.2026).
5. Протонное событие 23 февраля 1956 г. По данным нейтронных мониторов / А. Белов [и др.] // *Известия Российской академии наук. Серия физическая*. 2005. Т. 69. № 6. С. 804–807.
6. Transport Methods and Interactions for Space Radiations [Электронный ресурс] / John W. Wilson [и др.] // *NASA Reference Publication 1257*. 1991. 620 p. URL : <https://spaceradiation.larc.nasa.gov/nasapapers/RP1257.pdf> (дата обращения: 09.02.2026).
7. Gregory A. N. Space Radiation and Human Exposures, A Primer [Электронный ресурс] // *RADIATION RESEARCH* 2016. Vol. 185. Pp. 349–358. URL : <http://d54x.ru/articles/Luna/nelson2016Luna.pdf> (дата обращения: 17.02.2026).
8. Heiken G. H., Vaniman D. T., French B. M. Lunar Sourcebook, A User's Guide to the Moon [Электронный ресурс]. Cambridge University Press, 1991. URL : <http://d54x.ru/articles/Luna/Luna91.pdf> (дата обращения: 05.03.2026).

References

1. Rishbeth H., Shea M. A., Smart D. F. The solar-terrestrial event of 23 February 1956 [Electronic resource] // *Advances in Space Research*. 2009. Vol. 44. Pp. 1096–1106. DOI : 10.1016/j.asr.2009.06.020 (date of access: 14.01.2026).
2. Articles in the magazine «Missiles and rockets» 1956 – 1960 rr. : [website] [Electronic resource]. URL : https://epizodsspace.airbase.ru/bibl/inostr-yazyki/missiles_and_rockets/missiles_and_rockets.html (date of access: 26.01.2026).
3. Challenge to Apollo: The Soviet Union and the space race, 1945 – 1974 [Electronic resource] / by Asif A. Siddiqi p. cm. (The NASA history series) NASA SP ; 2000-4408. URL : <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/SP-4408pt1.pdf> (date of access: 03.02.2026).
4. Revisited Reference Solar Proton Event of 23 February 1956: Assessment of the Cosmogenic-Isotope Method Sensitivity to Extreme Solar Events [Electronic resource] / I. G. Usoskin [et. al] // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. Vol. 125. Iss. 6. DOI : 10.1029/2020JA027921 (date of access: 09.02.2026).
5. Proton event of February 23, 1956. According to neutron monitors / A. Belov [et al.] // *Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics*. 2005. Vol. 69. No. 6. Pp. 804–807.
6. Transport Methods and Interactions for Space Radiations [Electronic resource] / John W. Wilson [и др.] // *NASA Reference Publication 1257*. 1991. 620 p. URL : <https://spaceradiation.larc.nasa.gov/nasapapers/RP1257.pdf> (date of access: 09.02.2026).
7. Gregory A. N. Space Radiation and Human Exposures, A Primer [Electronic resource] // *Radiation Research*. 2016. Vol. 185. Pp. 349–358. URL : <http://d54x.ru/articles/Luna/nelson2016Luna.pdf> (date of access: 17.02.2026).
8. Heiken G. H., Vaniman D. T., French B. M. Lunar Sourcebook, A User's Guide to the Moon [Electronic resource]. Cambridge University Press, 1991. URL : <http://d54x.ru/articles/Luna/Luna91.pdf> (date of access: 05.03.2026).

Поступила в редакцию 18.03.2026

The article was submitted 18.03.2026

Информация об авторах

Иннокентий Петрович Безродных – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, т. +7 (495) 333-20-00, e-mail: d54x@mail.ru;

Александр Александрович Мусалитин – старший научный сотрудник, т. +7 (495) 366-01-47, e-mail: d18188@mail.ru.

Information about the authors

Innokenty Petrovich Bezrodnykh – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, t. +7 (495) 333-20-00, e-mail: d54x@mail.ru;

Alexander Aleksandrovich Musalitin – Senior Researcher, t. +7 (495) 366-01-47, e-mail: d18188@mail.ru.