

25.00.30
УДК 551.594

МЕТЕОРОЛОГИЯ, КЛИМАТОЛОГИЯ, АГРОМЕТЕОРОЛОГИЯ
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ)

Аджиева А.А.,

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», г. Нальчик, Россия;
Aida-adzhieva@mail.ru

Черкесов А.А.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик, Россия; cherkesov2018@yandex.ru

КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

DOI: 10.37493/2308-4758.2021.3.6

Введение.

В статье рассматриваются вопросы воздействия космической погоды на интенсивность грозových разрядов «облако-земля» и количество опасных метеорологических явлений в год на Северном Кавказе. Приведены признаки воздействия солнечного ветра на рассматриваемые погодные явления.

Материалы и методы исследования.

Использованы результаты исследования грозовой активности, данные о количестве опасных метеорологических явлений на Северном Кавказе, значения скорости солнечного ветра и плотности протонов. Методами корреляционного и спектрального анализа рядов наблюдений грозových разрядов на землю и среднегодовых значений опасных метеорологических явлений на Северном Кавказе выявлено наличие фактов воздействия космической погоды на указанные явления.

Результаты исследований и их обсуждения.

Обоснована связь погодных явлений (на примере грозовой активности и количества опасных явлений в год на территории Северного Кавказа) с факторами солнечной активности (скорости солнечного ветра и плотности протонов в околоземном пространстве). В качестве подтверждений выполненных авторами исследований приведены некоторые аргументы «космической климатологии» Хенрика Свенсмарка (Svensmark, H).

Выводы.

Рассматриваются результаты длительных синхронных наблюдений за суточной грозовой активностью, характеристиками космической погоды и опасными метеорологическими явлениями с большим временным разрешением (сутки, года). С помощью корреляционного и спектрального анализов рядов наблюдений исследуются взаимосвязи между величинами и высказываются гипотезы о возможных механизмах их взаимодействия. Приводится осредненный суточный ход рассматриваемых характеристик.

Ключевые слова:

атмосферное электричество, космическая погода, гроззовая активность, опасные метеорологические явления.

Adzhieva A.A., Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik, Russia

Cherkesov A.A. High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russia

Space Weather and Climate Phenomena in the Atmosphere

- Introduction.** The article discusses the impact of space weather on the intensity of cloud-earth thunderstorms and the number of dangerous meteorological phenomena per year in the North Caucasus. The signs of the influence of the solar wind on the considered weather phenomena are given.
- Materials and methods of research.** The results of the study of thunderstorm activity, data on the number of dangerous meteorological phenomena in the North Caucasus, the values of the solar wind speed and proton density were used. The correlation and spectral analysis of the series of observations of thunderstorms on the earth and the average annual values of dangerous meteorological phenomena in the North Caucasus revealed the presence of facts of the impact of space weather on these phenomena.
- Results and discussion.** The connection of weather phenomena (on the example of thunderstorm activity and the number of dangerous phenomena per year in the North Caucasus) with factors of solar activity (solar wind speed and proton density in near-Earth space) is substantiated. Some arguments of Henrik Svensmark's "space climatology" (Svensmark, H) are presented as confirmations of the studies carried out by the authors.
- Conclusions.** The results of long-term synchronous observations of daily thunderstorm activity, space weather characteristics and dangerous meteorological phenomena with a large time resolution (days, years) are considered. Using correlation and spectral analysis of the series of observations, the relationships between the values are investigated and hypotheses are made about possible mechanisms of their interaction. The average daily course of the considered characteristics is given.
- Key words:** atmospheric electricity, space weather, thunderstorm activity, dangerous meteorological phenomena.

Введение

Одной из ключевых проблем, которая стоит перед учеными в области метеорологии, заключается в определении особенностей воздействия космических факторов на климат Земли. Данной проблеме посвящено большое количество исследований, выполненных зарубежными исследователями. Первые результаты связаны с данными об облачном покрове Земли, полученных со спутников, в сравнении с подсчетами галактических космических лучей на наземных станциях [1]. Этим выводом впервые представлена выявленная новая связь между астрономией и климатом на Земле. Авторами показано, что увеличение интенсивности космических лучей приводит к росту площади покрытия земной поверхности облаками. Облака оказывают (не всегда) сильный охлаждающий эффект, и количе-

ство космических лучей меняется в зависимости от силы солнечного магнитного поля, которое отталкивает большую часть притока релятивистских частиц из галактики. Действие этих двух факторов, обусловленное солнечной энергией, формирует изменение климата, гораздо мощнее, чем изменения солнечной освещенности.

За последние 10 лет достигнуты большие успехи в исследованиях воздействия галактических и солнечных факторов на климат на Земле. Данное направление исследований по предложению датчанина Хенрика Свенсмарка (Svensmark, Н.) получило название космическая климатология [2-4]. В работе [3] им представлены экспериментальные доказательства предложенной методологии, из которых следует, что имеет место высокая корреляция между потоком космических лучей на Землю и образованием облаков. Основное возражение к предложенной Хенриком Свенсмарком методологии исходило от метеорологов. По их мнению наблюдения и теория не смогли удовлетворительно объяснить происхождение аэрозольных частиц, без которых водяной пар не может конденсироваться, образуя облака. Рабочая гипотеза о том, что образованию этих ядер конденсации облаков может способствовать ионизация воздуха космическими лучами, была доказана экспериментальным путем микрофизическими исследованиями.

В этой связи в 1998 году Джаспер Киркби из лаборатории физики элементарных частиц ЦЕРНа в Женеве предложил эксперимент под названием «CLOUD» («ОБЛАКО») для изучения возможной роли космических лучей в химии атмосферы [5]. Идея состояла в том, чтобы использовать пучок ускоренных частиц для имитации космических лучей и поиска аэрозолей, образующихся в экспериментальной облачной камере, содержащей воздух и другие газы. Температура и давление регулировались для имитации условий на разных уровнях атмосферы. Киркби собрал консорциум из 50 специалистов по проблемам атмосферы, солнечно-земным связям и физике элементарных частиц из 17 институтов. От России в эксперименте участвовали представители физико-технологического института им. Иоффе, г. Санкт-Петербург. Результатами эксперимента «CLOUD» показано, что скорость образования аэрозолей в камере пропорциональна интенсивности ионизации. По данным эксперимента «CLOUD» подготовлена коллективная монография [6].

Выдвинута гипотеза, что большая доля потепления в мире в 20 веке была вызвана уменьшением интенсивности космических лучей и слабой облачностью. Но различие между совпадением и причинно-следственными действиями всегда было проблемой в климатологии. Аргументы в пользу антропогенного изменения климата в течение 20-го века основываются главным образом на том факте, что концентрации углекислого газа и других парниковых газов возросли, а также повысились глобальные температуры. Попытки показать, что некоторые детали в климатических изменениях подтверждают парниковое воздействие (например, Митчелл и др., 2001) были менее чем убедительными [7]. Напротив, гипотеза о том, что изменения облачности обусловлены космическими лучами и способствуют изменению климата, предопределяет хороший аргумент, который на самом деле очень легко наблюдать, как исключение, подтверждающее правило. Вершины облаков имеют высокое альbedo и оказывают охлаждающее действие, рассеивая обратно в космос большую часть солнечного света, который в противном случае мог бы согреть поверхность Земли.

Эксперименты «CLOUD» подтвердили, что космические лучи могут создавать центры конденсации для воды, причём основную роль играют отрицательные ионы. В работе [8] приводится механизм того, как именно отрицательные ионы формируют кластер и центр конденсации водяного пара.

Указанные процессы изменяют не только климат на земле, но и оказывают существенное влияние на электрическое состояние атмосферы.

Основными характеристиками, определяющими электрическое состояние атмосферы, являются: грозы; напряженность электрического поля E (измеряемая в В/м); нередко вместо этой величины используют градиент потенциала $\text{grad } \varphi$ ($\text{grad } \varphi$ потенциал электрического поля в атмосфере, размерность которого совпадает с E , но отличается знаком); плотность электрического заряда ρ (Кл/м³); плотность электрического тока j (А/м²); потенциал электрического поля атмосферы.

В работе [9] авторами настоящей работы выявлено наличие корреляционной взаимосвязи между характеристиками солнечного ветра и значениями напряженности электрического поля в чистой атмосфере на высокогорной станции, что подтверждает теоре-

тические представления об атмосферном электричестве как механизме солнечно-земных связей. В данной работе выполнен анализ корреляционной взаимосвязи между характеристикой солнечного ветра – плотностью протонов солнечного ветра, грозовой активностью и количеством опасных метеорологических явлений погоды.

Материалы и методы исследования

Для выявления роли космической погоды в суточной и сезонной динамике грозовой активности и количества опасных метеорологических явлений погоды привлекались показатели: плотности протонов солнечного ветра, которые отражают всплески активности Солнца и унаследовано формируют свойства солнечного ветра, воздействующего на Землю [10]. Последствия действия солнечно-земных связей могут оказывать заметное, а иногда и основное влияние на динамику суточных и сезонных вариаций поля приземной атмосферы. Указанные изменения активности Солнца приводят к резким изменениям скорости солнечного ветра и плотности протонов солнечного ветра (рис. 1).

Как видно из рисунка 1, скорость частиц солнечного ветра варьируется от 400 км/с до 500 км/с. Амплитуда изменений скорости солнечного ветра (V_i) в течение года составляет 25%, а амплитуда изменений концентрации (n) заряженных частиц солнечного ветра составляет более 70%. Такие изменения, очевидно, будут формировать состояние ионосферы и тропосферы.

Для определения среднестатистических значений для территории Северного Кавказа количество грозových разрядов в день использовалась грозопеленгационная сеть LS8000 фирмы «Vaisala», Финляндия [11]. Грозопеленгационная сеть (ГПС) впервые в России была развернута на Северном Кавказе в 2008 г. Высокогорным геофизическим институтом [11]. ГПС LS8000 является разно-отно-дальномерной системой типа LPATS (Lightning Positioning and Tracking System), которая определяет координаты местоположения молнии по результатам анализа времени прихода электромагнитного сигнала от разряда молнии на разнесенные антенны (датчики). Грозопеленгационная сеть, установленная на Северном Кавказе, включает в себя шесть грозопеленгаторов – датчиков и центральный пункт приема, обработки и архивирования информации.

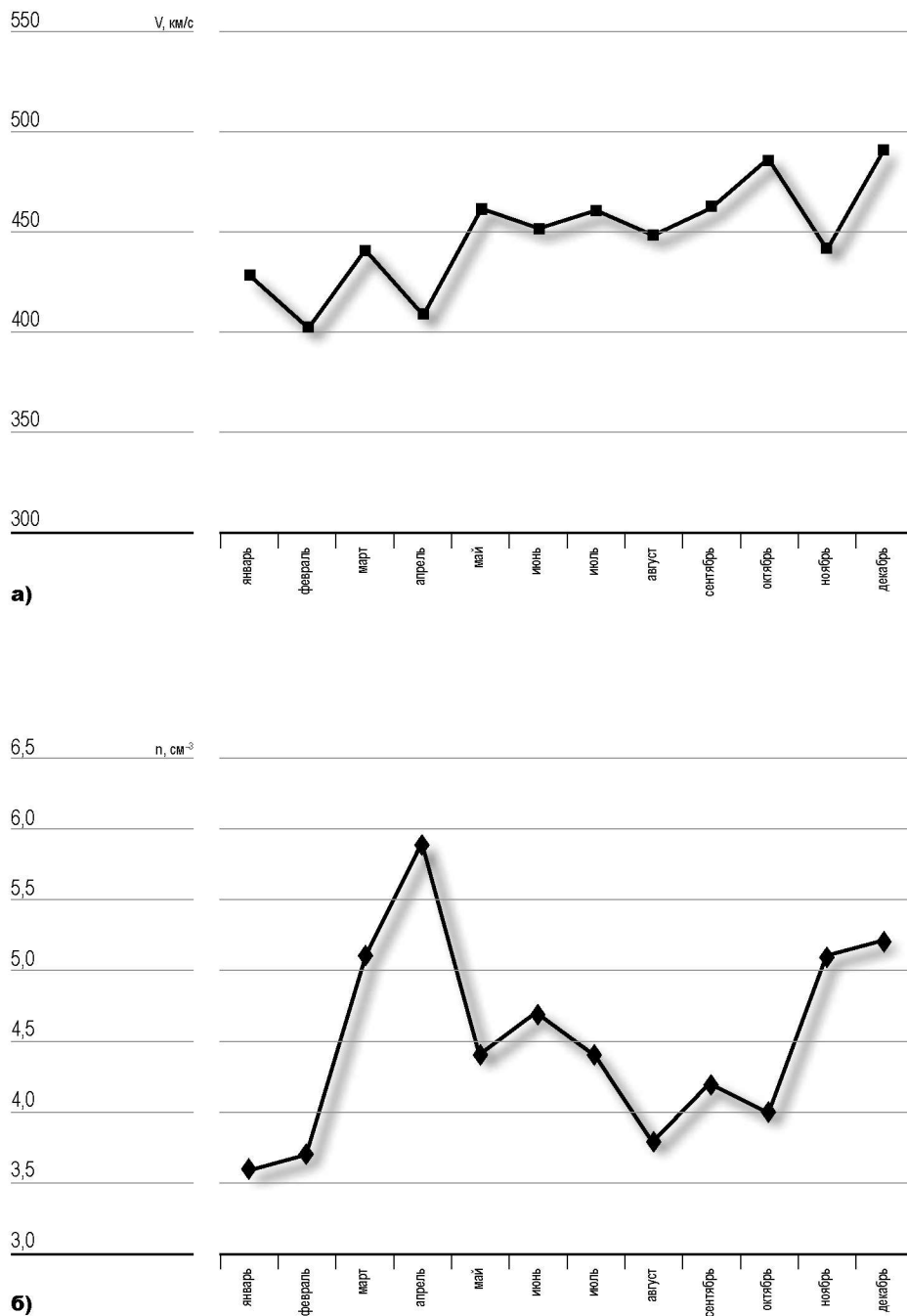


Рис. 1.

Среднемесячные значения скорости солнечного ветра (а) и концентрации протонов солнечного ветра (б) за 2016 г.

Fig. 1 The average monthly values of the solar wind speed (a) and the proton density of the solar wind (b) for 2016.

Разнесенные на расстояния (70–100) км датчики ГПС имеют по две антенны для приема электромагнитного излучения молниевом разряда – в низкочастотном (LF – low frequency) и высокочастотном (VHF – very high frequency) диапазонах длин волн.

Принимаемое датчиками ГПС электромагнитное излучение молнии передается по спутниковому каналу связи в центральный сервер, где после обработки с помощью программного обеспечения формируется следующая информация о каждом молниевом разряде:

- Дата и время. Разница времени прихода электромагнитного излучения молнии датчиками (грозопеленгаторами) ГПС определяет с точностью до 100 наносекунд.
- Координаты места разряда (широту, долготу) в системе геодезических координат (WGS-84).
- Максимальное значение тока в канале разряда молнии «облако-земля», в кА.
- Классификация молний по видам: разряды «облако-земля» или разряды «внутриоблачные» и «облачные».
- Классификация (разделение) разрядов молний «облако-земля» на положительные и отрицательные. ГПС LS8000 определяет полярность молнии «облако-земля» по знаку нейтрализуемого заряда. Если нейтрализуется отрицательный заряд, то молния отрицательная, если нейтрализуется положительный заряд – молния положительная. Для облачных и межоблачных молний LS8000 не определяет знак (полярность) нейтрализуемого заряда.
- Время роста тока молнии «облако-земля» до пикового значения, в мкс.
- Время спада сигнала от пикового значения до нуля, в мкс.
- Максимальное значение скорости увеличения сигнала (крутизна тока молнии), в кА/мкс.

Используемая в работе система грозопеленгации вышеуказанную информацию о молниях принимает со всей терри-

тории Северного Кавказа, архивирует ее и передает информацию потребителям.

Для определения среднегодовых значений опасных метеорологических явлений (ОМЯ) на Северном Кавказе использованы данные с сайта: www.meteo.ru/data.

Согласно [12] в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», начиная с 1997 года, ведется и ежемесячно пополняется база данных «Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России».

Для формирования базы привлекаются несколько источников:

- Данные об опасных гидрометеорологических явлениях, произошедших на территории конкретного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) Росгидромета, которые поступают во ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в виде текстовых ежемесячных сообщений.
- Штормовые сообщения, которые передаются по каналам связи в соответствии с Руководящим документом Росгидромета, который устанавливает порядок подготовки и формы передачи информации от наблюдательных подразделений о возникновении и развитии опасных природных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных гидрометеорологических явлений.
- Данные об опасных природных явлениях, поступающие из МЧС России и других официальных открытых источников.

В базе данных собраны сведения о метеорологических, гидрологических и агрометеорологических опасных явлениях, нанесших ущерб экономике и населению.

Результаты исследований

Для анализа корреляционной взаимосвязи между характеристикой солнечного ветра – плотностью протонов солнечного ветра и количеством опасных метеорологических явлений по-

годы по данным [12] были отобраны за период с 1998 по 2018 годы среднегодовое число опасных метеорологических явлений на территории Северного Кавказа (рис. 2(А)).

Опасные метеорологические явления, на территории Северного Кавказа, отобраны в соответствии с РД 52.04.563-2002 (Инструкция. Критерии опасных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения).

В целом при рассмотрении 20-летнего периода (с 1998 по 2018 г.) четкой взаимосвязи между плотностью протонов солнечного ветра и количеством ОМЯ не прослеживается. Однако если рассмотреть период с 2003 по 2016 г., то мы наблюдаем хорошую корреляционную связь между этими параметрами, равную 0,66 (рис. 2 (Б)). Вертикальными отрезками показан разброс данных. Статистическая значимость (sig.; от англ. statistical signification) равна 0,01, что говорит о высоком уровне значимости.

В данной работе также рассмотрена плотность протонов солнечного ветра (n) как один из возможных факторов воздействия на грозное электричество (рис. 3). Проведен корреляционный и регрессионный анализ их взаимосвязей. Пространственное глобальное распределение грозной активности исследуется на основе данных инструментальных измерений с помощью грозорегистратора LS8000. Для анализа были выбраны разряды типа облако-земля (LF – low frequency). Количество грозных разрядов было отобрано в пределах географических координат $43\text{--}45^\circ$ с.ш. и $43\text{--}45^\circ$ в.д. за июль месяц 2016 г.

Выполненный корреляционный анализ между числом грозных разрядов «облако-земля» в день и плотностью протонов солнечного ветра показал наличие хорошей взаимосвязи между исследуемыми параметрами (рис. 3). Коэффициент корреляции составил 0,64. Статистическая значимость равна $0,0001 < 0,01$ на 1%-м уровне ошибки, что говорит о высоком уровне значимости. Уравнение регрессии: $y = 0,0049x + 5,1872$. Коэффициент детерминации равен $R^2 = 0,4037$ или $D = 40,4\%$. Статистическая значимость sig(F-теста) равна $0,0001 < 0,01$ на 1%-ом уровне ошибки.

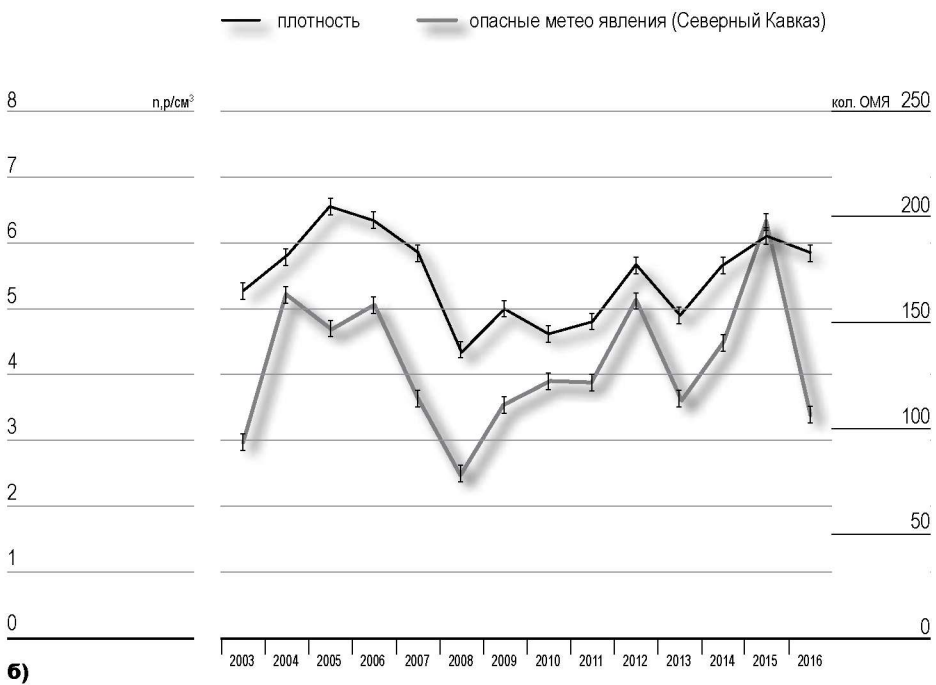
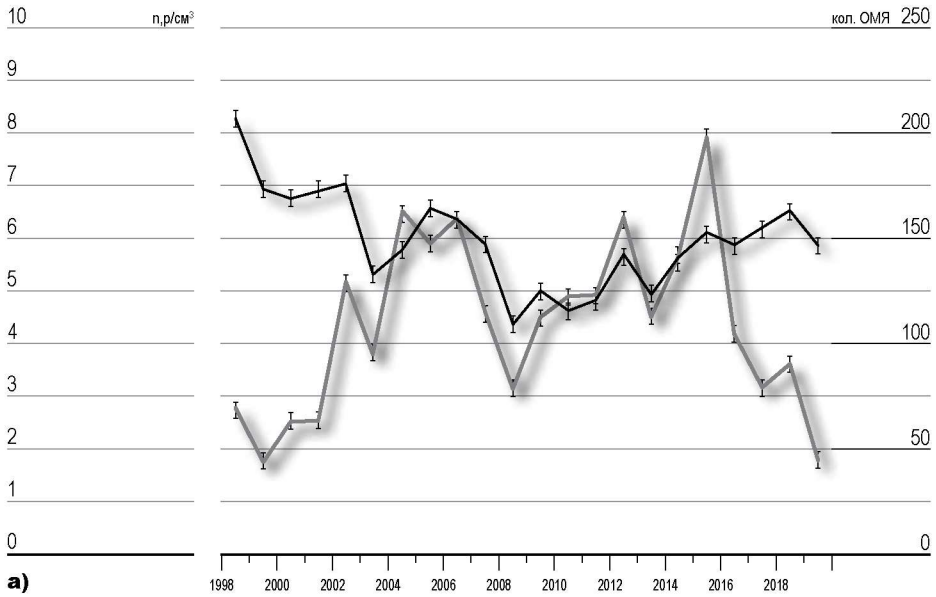


Рис. 2. Среднегодовое распределение ОМЯ (на территории Северо-Кавказского региона) и концентрации протонов солнечного ветра.

Fig. 2. The average annual distribution of dangerous meteorological phenomena (DMP) (in the territory of the North Caucasus region) and the proton density of the solar wind.

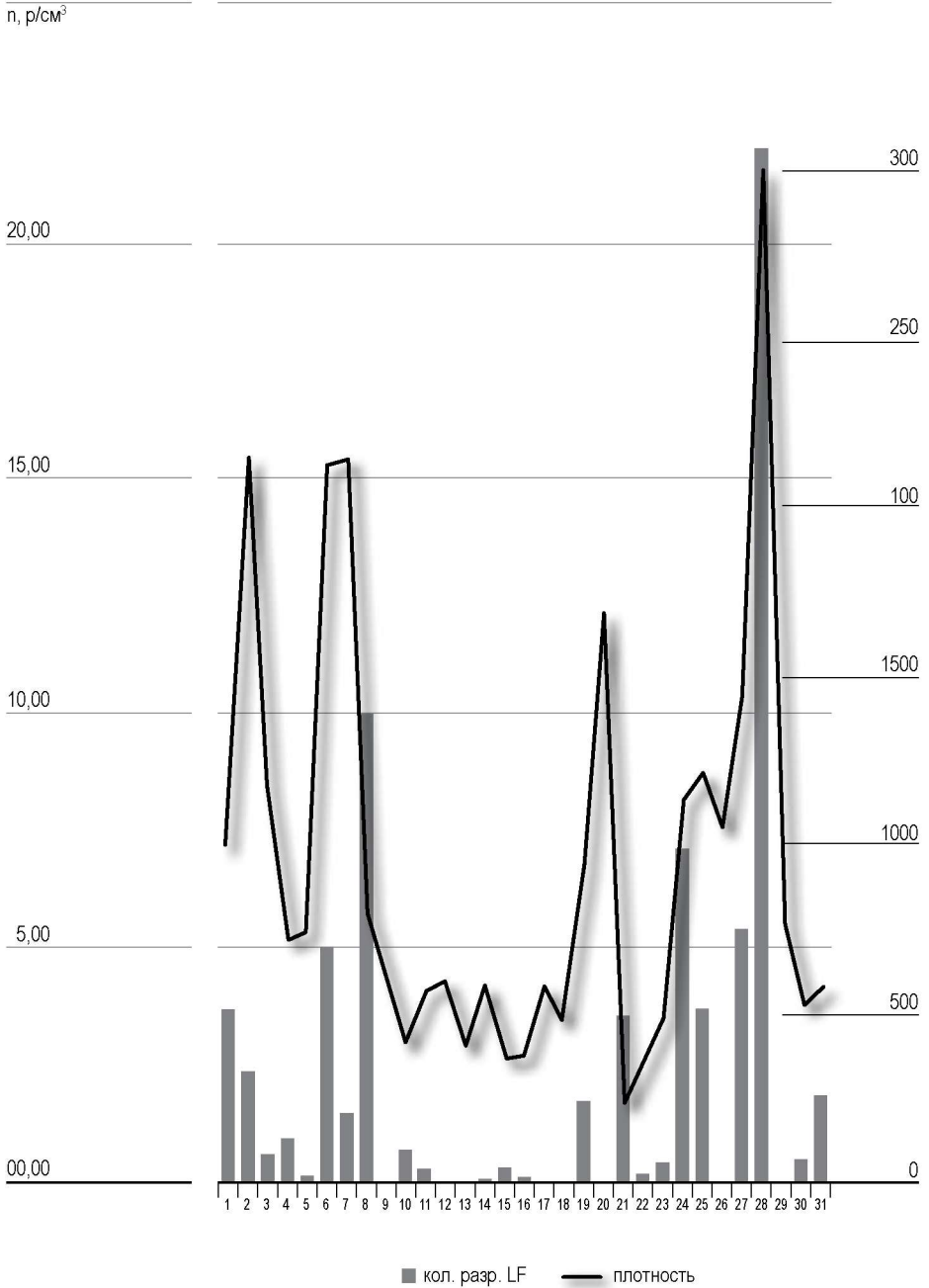


Рис. 3.

Зависимость количества грозовых разрядов облако-земля (в пределах географических координат 42–45°) и концентрации протонов солнечного ветра за июль 2016 г.

Fig. 3 Dependence of the number of lightning discharges (within the geographical coordinates 42–45°) and the density of solar wind protons for July 2016.

Выводы

- Для территории Северного Кавказа прослеживается реакция опасных гидрометеорологических явлений на проявление солнечной активности, а именно, плотности протонов солнечного ветра.
- Выполненный корреляционный и регрессионный анализ между числом грозových разрядов «облако-земля» в день и плотностью протонов солнечного ветра показал наличие хорошей взаимосвязи между исследуемыми параметрами.
- Получено уравнение регрессии между числом грозových разрядов «облако-земля» и плотностью протонов солнечного ветра в виде линейного уравнения. Коэффициент корреляции составил 0,66.

Библиографический список

1. Svensmark H. (1998) Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate. *Physical Review Letters*, 81, 5027–5030.
2. Svensmark, H. (2006) Imprint of Galactic Dynamics on Earth's Climate. *Astronomische Nachrichten, Astronomical Note*, 327, 866–870.
3. Svensmark H., Calder N. 2007 *The Chilling Stars: A New Theory of Climate Change* (IconBooks, Thriplow, Cambridge).
4. Svensmark H., Friis-Christensen E. 1997 *J. Atmos. & Solar-Terrest. Phys.* 59. 1225–1232.
5. Cloud 2000 CERN/SPSC 2000-021 SPSC-P317.
6. A study of the link between cosmic rays and clouds with a cloud chamber at the CERN PS, CERN/SPSC 2000-021 SPSC/P317 april 24, 2000. 107 p.
7. Mitchell J. F. B., et al. (2001), Detection of climate change and attribution of causes, in *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, edited by J. T. Houghton et al., chap. 12, pp. 695–738, Cambridge Univ. Press, New York.
8. Bork N., Kurtén T., Enghoff M.B., Pedersen J.O.P., Mikkelsen K.V., Svensmark H.: Ab initio studies of O₂-(H₂O)_n and O₃-(H₂O)_n anionic molecular clusters, n ≤ 12, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 7133–7142, <https://doi.org/10.5194/acp-11-7133-2011>, 2011.
9. Аджиев А.Х., Куповых Г.В., Керефова З.М., Черкесов А.А. Влияние солнечного ветра на динамику электрического

- поля в приземном слое атмосферы // Известия ЮФУ. Технические науки. №5. Таганрог 2019. С. 114–122.
10. Solar and heliospheric observatory, soho: [сайт]. URL: <https://sohofsftp.nascom.nasa.gov/sdb/goes>.
 11. Аджиев А.Х., Тапасханов В.О., Стасенко В.Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // Метеорология и гидрология №1. 2013. С. 5–11.
 12. Шамин С.И., Бухонова Л.К., Санина А.Т. «Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621326. URL: <http://meteo.ru/data>.

References

1. Svensmark H. (1998) Influence of Cosmic Rays on Earth's Climate. *Physical Review Letters*, 81, 5027–5030.
2. Svensmark H. (2006) Imprint of Galactic Dynamics on Earth's Climate. *Astronomische Nachrichten, Astronomical Note*, 327, 866–870.
3. Svensmark H., Calder N. 2007 *The Chilling Stars: A New Theory of Climate Change* (IconBooks, Thriplow, Cambridge).
4. Svensmark H and Friis-Christensen E 1997 *J. Atmos. & Solar-Terrest. Phys.* 59. 1225–1232.
5. Cloud 2000 CERN/SPSC 2000-021 SPSC-P317.
6. A study of the link between cosmic rays and clouds with a cloud chamber at the CERN PS, CERN/SPSC 2000-021 SPSC/P317 april 24, 2000. 107 p.
7. Mitchell J.F.B., et al. (2001), Detection of climate change and attribution of causes, in *Climate Change 2001: The Scientific Basis*, edited by J. T. Houghton et al., chap. 12. P. 695–738, Cambridge Univ. Press, New York.
8. Bork N., Kurtén T., Enghoff M.B., Pedersen J.O.P., Mikkelsen K.V., Svensmark H.: Ab initio studies of O₂–(H₂O)_n and O₃–(H₂O)_n anionic molecular clusters, n ≤ 12, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 7133–7142, <https://doi.org/10.5194/acp-11-7133-2011>, 2011.
9. Adzhiev A.Kh., Kupovykh G.V., Kerefova Z.M., Cherkesov A.A. The influence of the solar wind on the dynamics of the electric field in the surface layer of the atmosphere // *Izvestiya SFU. Technical sciences*. No 5. Taganrog. 2019. P. 114–122.

10. Solar and heliospheric observatory, soho: [сайт]. URL: <https://sohoftp.nascom.nasa.gov/sdb/goes>.
11. Adzhiev A.Kh., Tapaskhanov V.O., Stasenko V.N. The system of lightning direction finding in the North Caucasus// Meteorology and Hydrology No. 1, 2013. P. 5–11.
12. Shamin S.I., Bukhonova L.K., Sanina A.T. «Information about dangerous and unfavorable hydrometeorological phenomena that caused material and social damage on the territory of Russia». Certificate of state registration of the database No2019621326. URL: <http://meteo.ru/data>.

Поступило в редакцию 17.08.2021,
принято к публикации 06.09.2021.

Об авторах

Аджиева Аида Анатольевна. Профессор кафедры Высшей математики и информатики ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, доцент, доктор физико-математических наук.
Адрес: 360030, КБР, г. Нальчик, ул. Тарчокова, 1а.
Телефон: +7 (960) 427-96-86. E-mail: aida-adzhieva@mail.ru.

Черкесов Аслан Артурович. Аспирант при ФГБУ «Высокогорный геофизический институт». Адрес: 360002, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина 2. Телефон: +7(988) 932-32-27.
E-mail: cherkesov2018@yandex.ru.

About the authors

Adzhieva Aida Anatolyevna. Professor of the Department of Higher Mathematics and Informatics of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University. Address: 360002, KBR, Nalchik, Tarchokov Ave. 1a. Phone: +7 (960) 427-96-86.
E-mail: aida-adzhieva@mail.ru.

Cherkesov Aslan Arturovich. Graduate student. «High-Mountain Geophysical Institute». Address: 360002, KBR, Nalchik, Lenin Ave. 2. Phone: +7 (988) 932-32-27.
E-mail: cherkesov2018@yandex.ru.