НАУКА. ИННОВАЦИИ. ТЕХНОЛОГИИ. 2024. №2. С. 187–203
SCIENCE. INNOVATIONS. TECHNOLOGIES. 2024;(2): 187–203
КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ
1.6.18. Науки об атмосфере и климате (физико-математические науки)

Краткое сообщение
УДК 551.515.4
https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.8

АНОМАЛЬНЫЙ ГРОЗОВОЙ ПРОЦЕСС НА ТЕРРИТОРИИ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Залина Музариновна Керефова[1*], Наталья Владимировна Юрченко[2], Аида Анатольевна Аджиева[3]

[1,2] Высокогорный геофизический институт (д. 2, ул. Ленина, Нальчик, 360030, Российская Федерация)
[3] Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова (д. 1, ул. Ленина, Нальчик, 360030, Российская Федерация)
[1] zknyaz-kbsu@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-0180-3759
[2] ynatalya64@mail.ru; https://orcid.org/0009-0008-4891-8220
[3] aida-adzhieva@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-1047-8417
* Автор, ответственный за переписку

Аннотация. В данной работе представлен анализ динамики развития такого аномального погодного явления, как гроза. Рассмотрен грозовой процесс, прошедший на Северном Кавказе 27 июня 2023 года. Рассматриваемый грозовой процесс существенно отличался от среднестатистических, как по продолжительности, так и по параметрам молний. Анализ выполнен на примере Ставропольского края, хотя аномальные грозы 27 июня 2023 года имели место и на территории других субъектов Северного Кавказа.

В работе использована грозопеленгационная сеть ФГБУ «ВГИ» с пространственно разнесенными датчиками LS8000 и LS7002. Для определения характеристик грозовой деятельности в работе использованы многолетние данные указанной грозопеленгационной сети. Исследования грозовой активности выполнены во взаимосвязи с характеристиками конвективных облаков, определяемыми метеорадиолокаторами МРЛ-5. В ФГБУ «ВГИ» организовано получение, обработка, архивирование и передача в сеть АСПД Росгидромета радиолокационной информации со всех метеорадиолокаторов МРЛ-5 противоградовых служб Северного Кавказа.

За сутки по данной территории ГПС ФГБУ «ВГИ» зафиксировано около 30 000 молний. Из них 3713 были разряды на землю. Из зарегистрированных 3713 наземных разрядов молний по Ставропольскому краю отрицательные молнии составили 2901, а положительные – 812. Доля отрицательных разрядов молнии от

© Керефова З.М., Юрченко Н.В., Аджиева А.А., 2024

общего числа наземных разрядов на указанной территории составила 78 %.
Наибольшее количество отрицательных молний (более 70 %) имели значения до 20 кА. Более 40 % положительных молниевых разрядов имели значения от 21 до 40 кА. Среднее значение токов отрицательной полярности составило – 18,6 кА, а положительной полярности +53,2 кА.

Ключевые слова: гроза, молния, грозовая активность, молниевые разряды, аномальные погодные явления, потепление климата

Для цитирования: Керефова З. М., Юрченко Н. В., Аджиева А. А. Аномальный грозовой процесс на территории Ставропольского края // Наука. Инновации. Технологии. 2024. № 2. С. 191–203. https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.8

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 04.04.2024;
одобрена после рецензирования 22.05.2024;
принята к публикации 20.06.2024.

1.6.18. **Atmospheric and Climate Sciences (Physical and Mathematical Sciences)**

Brief report

Anomalous thunderstorm process in the Stavropol Krai

Zalina M. Kerefova[1*], Natalya V. Yurchenko[2], Aida A. Adzhieva[3]

[1,2] High-Mountain Geophysical Institute (2, Lenina St., Nalchik, 360030, Russian Federation)
[3] Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokova (1, Lenina St., Nalchik, 360030, Russian Federation)

[1] zknyaz-kbsu@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-0180-3759
[2] ynatalya64@mail.ru; https://orcid.org/0009-0008-4891-8220
[3] aida-adzhieva@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-1047-8417
* Corresponding author

Abstract. The paper analyzes the dynamics of such anomalous weather phenomenon as a thunderstorm. The thunderstorm process that took place in the North Caucasus on June 27, 2023 is considered. The thunderstorm process under consideration differed significantly from the statistical average, both in duration and in lightning parameters. The analysis was carried out using the example of the Stavropol Krai, although anomalous thunderstorms on June 27, 2023 also occurred in other regions of the North Caucasus.

The work used the lightning direction network of the Federal State Budgetary Institution VGI with spatially separated sensors LS8000 and LS7002. To determine the characteristics of thunderstorm activity, the work used long-term data from the specified lightning direction network. Studies of thunderstorm activity were carried out in conjunction with the characteristics of convective clouds determined by MRL-5 weather radars. The Federal State Budgetary Institution VGI has organized the uptake, processing, archiving and transmission to the ASPD network of Roshydromet of radar information from all MRL-5 weather radars of the anti-hail services of the North Caucasus.

During the day, about 30,000 lightning strikes were recorded by VGI in this territory. Of these, 3,713 were ground discharges. Of the registered 3,713 ground-based lightning discharges in the Stavropol Krai, negative lightning amounted to 2,901, and the positive one – 812. The share of negative lightning discharges from the total number of ground-based lightning discharges in the specified territory was 78%. The largest number of negative lightning (more than 70%) had values up to 20 kA. More than 40% of positive lightning discharges had values from 21 to 40 kA. The average value of currents of negative polarity was -18.6 kA, and that of positive polarity was +53.2 kA.

Keywords: thunderstorm, lightning, thunderstorm activity, lightning discharges, anomalous weather phenomena, climate warming

For citation: Kerefova ZM, Yurchenko NV, Adzhieva AA. Anomalous thunderstorm process in the Stavropol Krai. Science. Innovations. Technologies. 2024;(2):191-203. (In Russ.). https://doi.org/10.37493/2308-4758.2024.2.8

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.
The article was submitted 04.04.2024;
approved after reviewing 22.05.2024;
accepted for publication 20.06.2024.

Введение

За последние годы одной из важнейших проблем, ставшей перед мировым сообществом являются глобальные и локальные изменения климата. Наличие такого изменения является общепризнанным [1, 2]. Климат на Земле заметно меняется: одни страны страдают от аномальной жары, другие от слишком суровых и снежных зим, непривычных для этих мест. По данным ученых среднегодовая температура на Земле оказалась на 1,02 °С выше той, которую фиксировали в прошлом столетии (когда обратили внимание на изменения глобальной температуры). Порог в один градус был превышен впервые в современной истории. Нет единого мнения ученых о причинах потепления. Утверждается, что именно деятельность человека – сжигание нефти, газа и угля – приводит к парниковому эффекту, который вызывает повышение средней температуры. Эксперты отмечают, что в период с 2000 по 2020 годы наблюдался самый мощный рост выбросов парниковых газов за последние 100 лет [3].

Исследования отечественных ученых свидетельствуют, что в России также наблюдается заметное изменение климата [4]. Для России характерно увеличение количества экстремальных погодных явлений, региональными последствиями которых являются рост повторяемости опасных грозоградовых процессов, наводнений, деградации горного оледенения и др. Наблюдается положительная динамика числа случаев проявления на территории России опасных гидрометеорологических явлений и неблагоприятных условий погоды, наносящих социально-экономический ущерб [5]. В среднем ежегодный прирост составляет более 10 явлений в год.

В данной работе представлен анализ динамики развития такого аномального погодного явления, как гроза. Рассмотрен грозовой процесс, прошедший на Северном Кавказе 27 июня 2023 года. Рассматриваемый грозовой процесс существенно отличался от среднестатистических, как по продолжительности, так и по параметрам молний. Анализ выполнен на примере Ставропольского края, хотя аномальные грозы 27 июня 2023 года имели место и на территории других субъектов Северного Кавказа.

Оперативный мониторинг местоположения грозовой активности, параметров молниевых разрядов имеет большое практическое значение для хозяйственной деятельности. В последние годы параметры грозовой активности используют для наукастинга (прогнозирования) погодных явлений.

Материалы и методы исследований

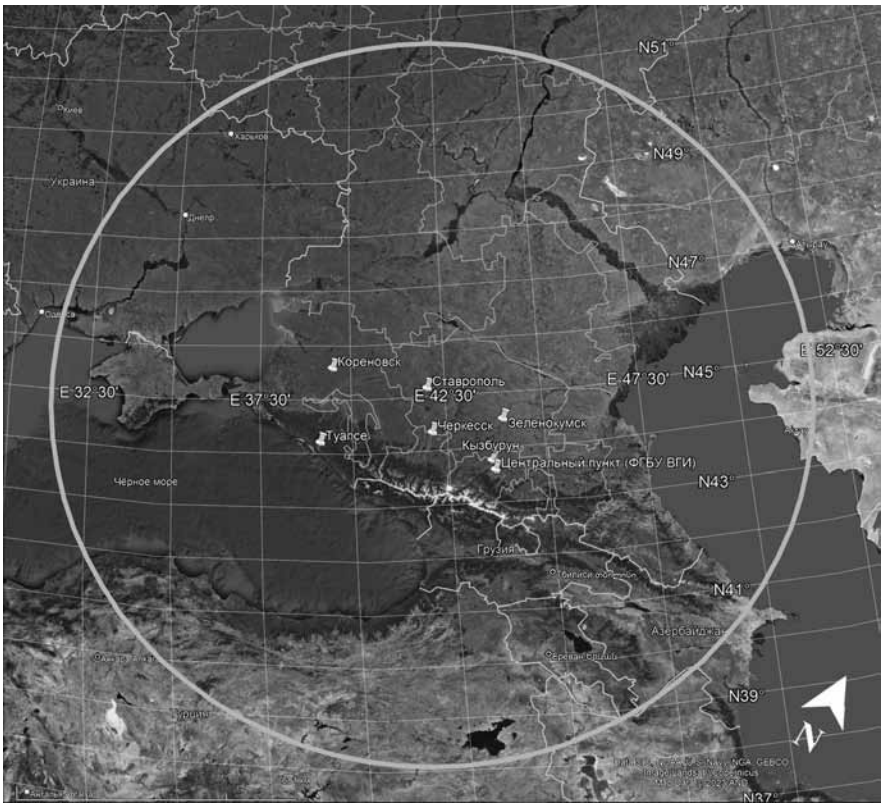
Анализ грозовой активности выполнен по данным грозопеленгационной сети (ГПС) ФГБУ «ВГИ». В настоящее время ГПС ФГБУ «ВГИ» принимает данные разрядов молний из двух грозопеленгационных сетей: ГПС «ВГИ» и ГПС «Планета» [6].

В состав ГПС «ВГИ» и ГПС «Планета» входят датчики двух моделей LS8000 и LS7002 производства фирмы Vaisala. Оба датчика оснащены низкочастотным LF (low frequency) сенсором. Более ранняя модель LS8000 обладает расширенным функционалом за счет дополнительного высокочастотного VHF (very high frequency) сенсора. Низкочастотный сенсор LF фиксирует, в основном, молниевые разряды типа «Облако-Земля». Высокочастотный датчик VHF фиксирует молниевые разряды только типа «Облако-Облако».

Зоны обзора для разных типов молниевых разрядов различные. Для молниевых разрядов «Облако-Земля» радиус области обзора составляет 625 км от центра сети, а разрядов «Облако-Облако» 325 км. Зона обзора LF сенсоров ГПС «ВГИ» приведена на рисунке 1.

Для анализа грозовой активности в настоящей работе используются характеристики наземных молниевых разрядов. Для наземных молниевых разрядов ГПС определяет следующие основные характеристики: дату и время с точностью до 100 наносекунд, координаты разряда молнии, значения тока в канале разряда, деление разрядов молнии на типы – положительные и отрицательные, длительность нарастания волны тока в канале молнии до максимального значения и длительность его спада тока до нуля, в мкс.

Для анализа грозовой активности по Ставропольскому краю за 27 июня 2023 года отобрано количество разрядов «Облако-Земля» положительной и отрицательной полярности, а также значения токов молнии.



Условные обозначения

Обзор ГПС «ВГИ»

Пункты LS8000

Рис. 1. **Зоны обзора LF сенсоров ГПС «ВГИ».**
Fig. 1. Viewing areas of LF sensors of the GPS “VGI”.

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Исследования грозовой активности выполнены во взаимосвязи с характеристиками конвективных облаков, определяемыми метеорадиолокаторами МРЛ-5. В ФГБУ «ВГИ» организовано получение, обработка, архивирование и передача в сеть АСПД Росгидромета радиолокационной информации со всех метеорадиолокаторов МРЛ-5 противоградовых служб Северного Кавказа.

Результаты исследований и их обсуждение

Впервые за весь период наблюдения за грозами, с 60-х годов прошлого столетия по настоящее время, на Северном Кавказе 27 июня 2023 года имел место аномальный грозовой процесс, при котором гроза продолжалась более 24 часов.

Большая интенсивность грозовой деятельности наблюдалась на территории Ставропольского края. На данной территории гроза продолжалась более суток. По информации Ставропольского гидрометцентра на территории края на этот день прогнозировался сильный дождь, в сочетании с грозой, градом и шквалистым ветром 20-23 м/с.

В Ставропольском крае 27 июня 2023 года ночью была значительная облачность, гроза без осадков, зарница, гроза с осадками, ливневые осадки, пасмурно. Температура воздуха +17…+18 °С. Ветер в переменных направлениях умеренный, 3-4 м/с, с порывами до 12 м/с. Днем характер погоды был таким: облачно, гроза с осадками или без них, ливневые осадки. Давление было ниже нормы. Температура воздуха +20…+26 °С. Ветер западный сильный, 2-7 м/с, порывами до 18 м/с.

Грозовая деятельность 27.06.2023 на территории Ставропольского края была вызвана прохождением фронтального процесса. На рисунке 2 представлено радиоэхо МРЛ-5 ночью в 00 ч 11 мин, днем в 11 ч 01 мин и вечером в 16 ч 56 мин. На рисунке представлено радиоэхо облаков на территории Ставропольского края в период максимальной грозовой активности (рисунок 2 а, в) и в период наименьшей грозовой активности (рисунок 2, б). Периоды грозовой активности характеризовались наибольшей площадью радиоэха, а период наименьшей грозовой активности соответствовал минимальной площади радиоэха облаков. По радиолокационным данным в период наибольшей грозовой активности выпадали ин-

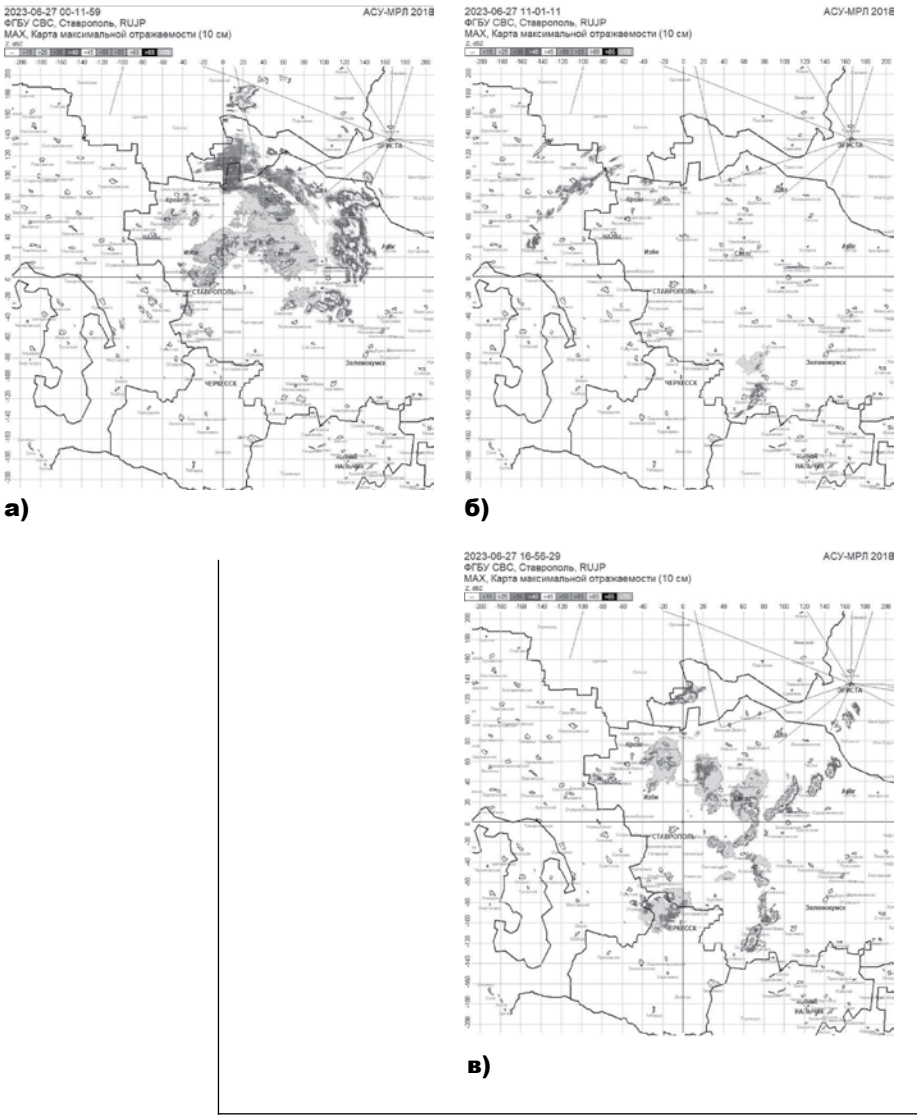


Рис. 2. **Радиоэхо грозового фронта на территории Ставропольского края 27.06.2023 в различные периоды времени:**
а) период времени 00 ч 11 мин;
б) 11 ч 01 мин;
в) 16 ч 56 мин

Fig. 2. Radio echo of a thunderstorm front on the territory of the Stavropol Krai on June 27, 2023 at various time periods: a) time period 00 hours 11 minutes; b) 11 hours 01 minutes; c) 16 hours 56 minutes

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

тенсивные осадки. Грозовой фронт перемещался с северо-запада на юго-восток со средней скоростью около 40 км/ч.

На рисунке 3 представлено распределение в течение суток 27.06.2023 наземных молниевых разрядов по данным ГПС ФГБУ «ВГИ». Анализируемый грозовой процесс, характеризовался циклическим развитием. Количество циклов рассматриваемого грозового процесса составило 5 циклов (рисунок 3). Продолжительность отдельных периодов грозовой активности (циклов) составляла от 3 до 5 часов. Самый продолжительный цикл был в вечернее время с 16:00 до 21:00.

Как видно из рисунка 3 грозовой процесс, сформировавшийся над Ставропольским краем 26 июня 2023 года, в ночь на 27 июня 2023 года имел максимальную активность до 250 разрядов на землю в течение получаса. За сутки территория Ставропольского края поражена молниями 3 713 раз. Учитывая, что площадь Ставропольского края составляет 66 160 км^2 суточная удельная поражаемость составила 0,056 кол/км^2, что является аномальным явлением. Ночные грозы, как правило, являются редким явлением погоды.

Также из рисунка 3 видно, что максимальная грозовая активность по данной территории имела место в ночное время с 00.00 ч. до 00.30 ч., в утреннее время с 03:30 до 05:00 и в вечернее время с 16:00 до 18:00. Минимальное значение грозовая активность имела в дневное время.

Из зарегистрированных 3713 наземных разрядов молний по Ставропольскому краю отрицательные молнии составили 2901, а положительные – 812. Доля наземных молниевых разрядов (положительных и отрицательных) составила примерно 13 % от общего числа зарегистрированных молний, что достаточно хорошо согласуется с ранее выполненными исследованиями на территории Северного Кавказа [7]. Общее количество зарегистрированных молний всех типов за сутки (27.06.2023) на территории Ставропольского края составило около 30 000.

Доля отрицательных разрядов молнии от общего числа наземных разрядов на указанной территории составила 78 %, что также соответствует данным, полученным по многолетним наблюдениям на территории Северного Кавказа [6].

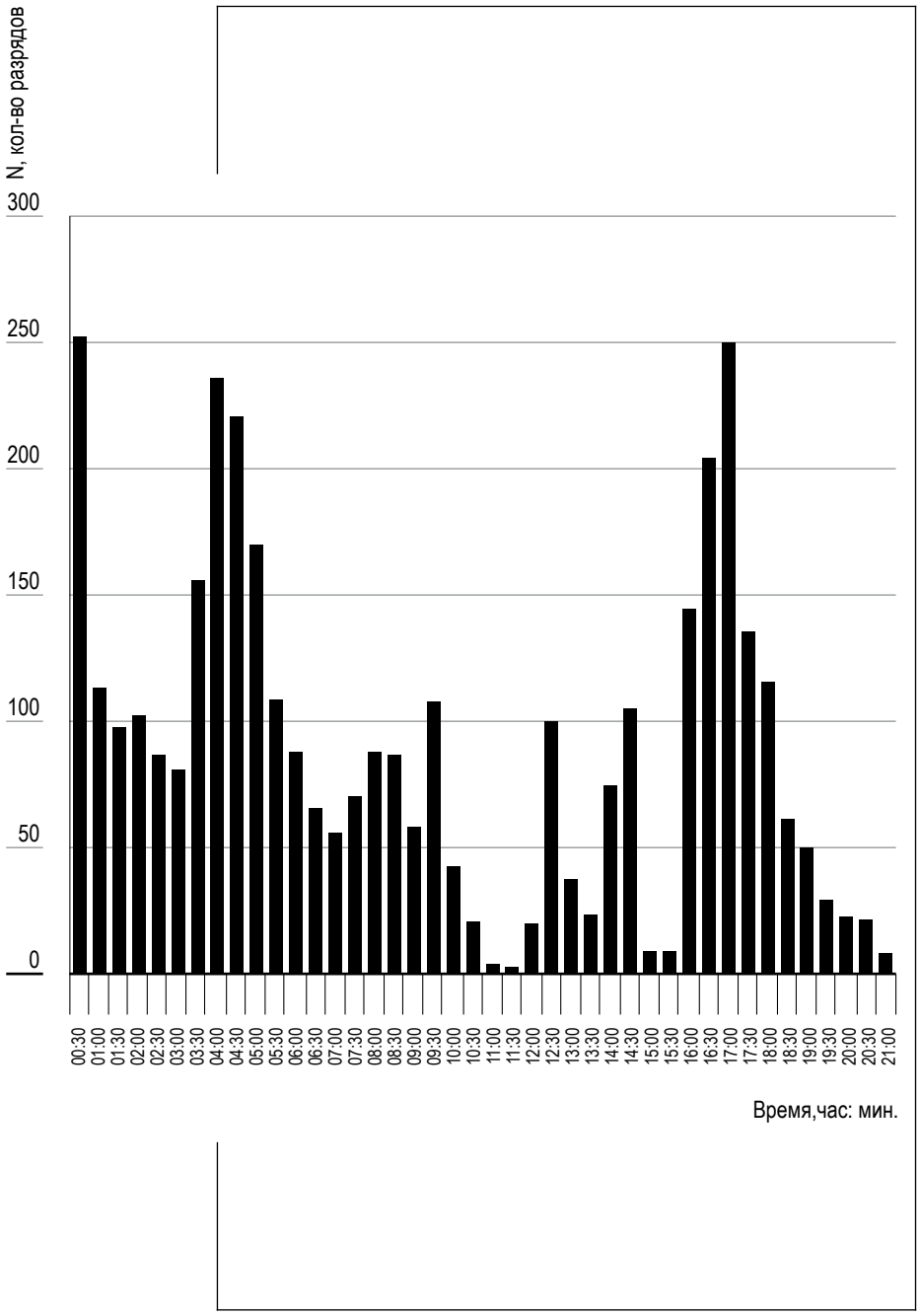


Рис. 3. **Временной ход количества молниевых разрядов на землю по Ставропольскому краю за 27.06.2023 г.**

Fig. 3. Time course of the number of lightning discharges to the ground in the Stavropol Krai for June 27, 2023.

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

В таблице 1 и на рисунках 4, 5 приведены распределения молний токов положительной и отрицательной полярности. Как видно из таблицы 1, наибольшее количество отрицательных молний (более 70%) имеют значения до 20 кА, а наибольшее количество положительных молниевых разрядов (более 40%) имеют значения от 21 до 40 кА.

Среднее значение токов отрицательной полярности составило –18,6 кА, а положительной полярности +53,2 кА.

Таблица 1. КОЛИЧЕСТВО И ЗНАЧЕНИЯ ТОКОВ МОЛНИЙ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ И ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ПОЛЯРНОСТИ
Table 1. Number and values of lightning currents of positive and negative polarity

Диапазон значений токов, кА	количество токов «+», шт	количество токов «-», шт
0–20	80	2051
21–40	347	650
41–60	146	133
61–80	112	43
81–100	38	15
101–120	24	3
121–140	23	1
141–160	18	2
161–180	10	2

Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

Согласно исследованиям, представленным в работе [4] за более 50-летний период наблюдений среднегодовая продолжительность гроз по территории Ставропольского края составляет 55,7 часов, а среднее число дней с грозой – около 25 дней. Следовательно, средняя продолжительность одного грозового процесса составляет 2,2 часа. Таким образом, имевший место грозовой процесс 27.06.2023 года существенно превышал по продолжительности обычные грозовые процессы, проходившие на территории Ставропольского края.

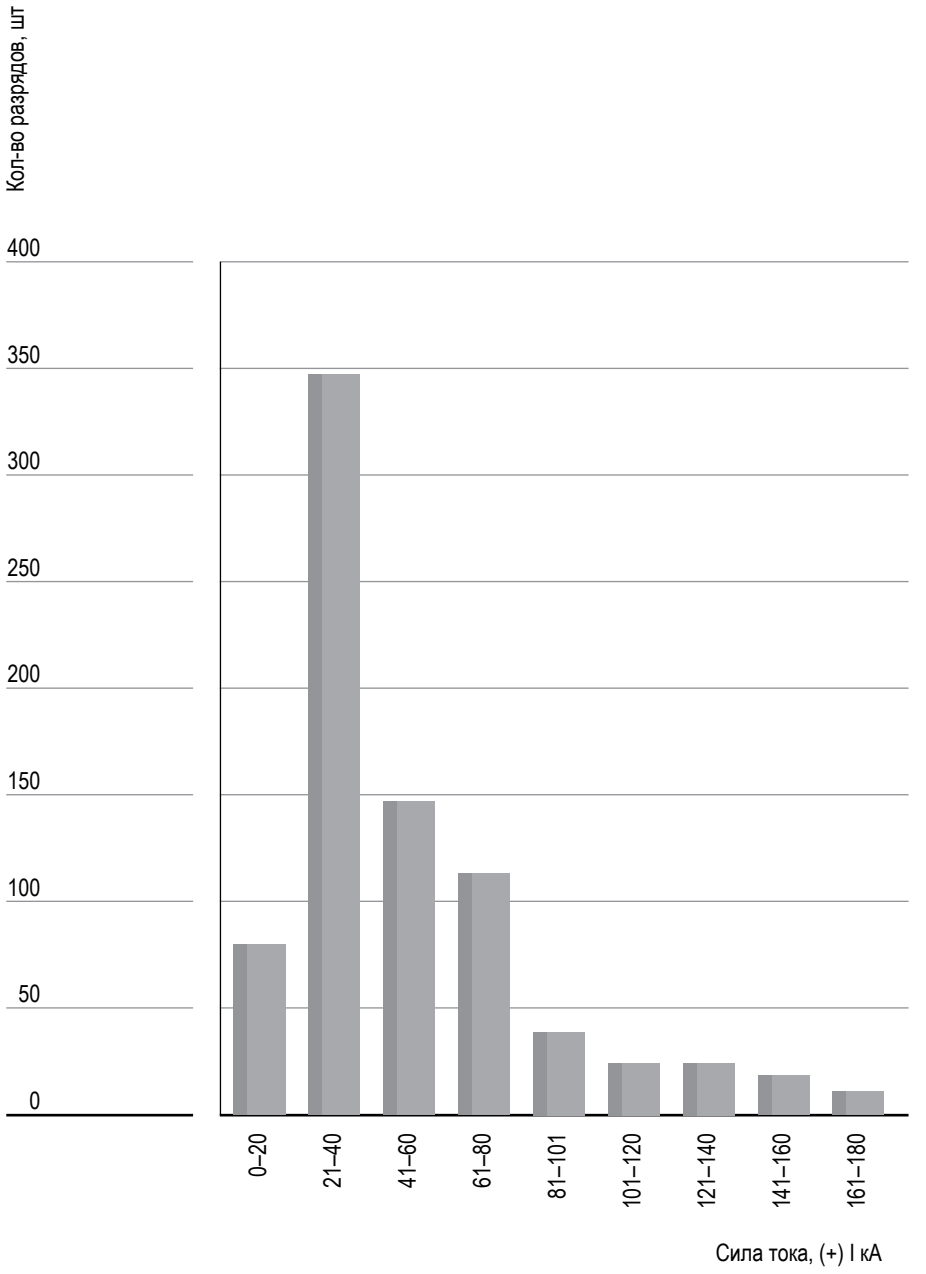


Рис. 4. **Распределение значений токов положительной полярности.**
Fig. 4. Distribution of current values of positive polarity.
Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors.

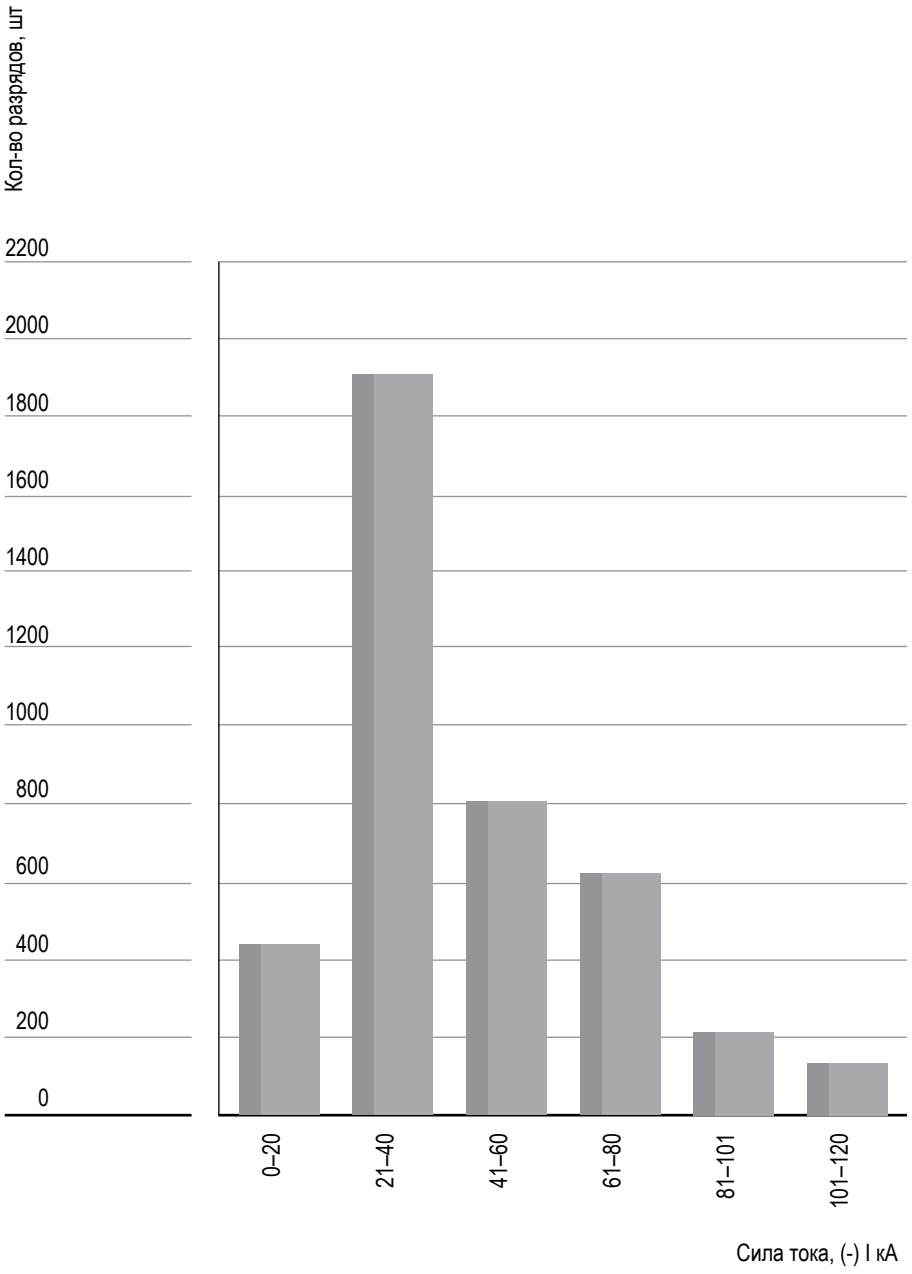


Рис. 5. **Распределение значений токов отрицательной полярности.**
Fig. 5. Distribution of current values of negative polarity.
Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Заключение

В 2023 году 27 июня на территории Ставропольского края наблюдался аномальный грозовой процесс. Наибольшая грозовая активность наблюдалась ночью 00 ч 11 мин и вечером в 16 ч 56 мин, а наименьшая днем в 11 ч 01 мин. По радиолокационным данным в период наибольшей грозовой активности выпадали интенсивные осадки. Грозовой фронт перемещался с северо-запада на юго-восток со средней скоростью около 40 км/ч.

За сутки по данной территории ГПС ФГБУ «ВГИ» зафиксировано около 30 000 молний. Из них 3 713 были разряды на землю. Из зарегистрированных 3 713 наземных разрядов молний по Ставропольскому краю отрицательные молнии составили 2901, а положительные – 812. Доля отрицательных разрядов молнии от общего числа наземных разрядов на указанной территории составила 78 %.

Наибольшее количество отрицательных молний (более 70 %) имели значения до 20 кА. Более 40 % положительных молниевых разрядов имели значения от 21 до 40 кА.

Среднее значение токов отрицательной полярности составило -18,6 кА, а положительной полярности +53,2 кА.

По мнению авторов, рассмотренный грозовой процесс на территории Ставропольского края является следствием регионального изменения климата. При проведении молниезащитных мероприятий для объектов хозяйственной деятельности по территории Ставропольского края рекомендуется учесть аномальные значения грозовой активности.

Список источников

1. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 50–66.
2. Аджиев А. Х., Кулиев Д. Д., Стасенко В. Н. Оценка параметров работоспособности грозопеленгационных систем LS8000 и ENTLS в регионе Северного Кавказа // Метеорология и гидрология. 2022. № 4. С. 117–126.
3. Аджиев А. Х., Кулиев Д. Д. Характеристики грозовой активности и параметры молниевых разрядов на территории юга европейской части России // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2018. Т. 54. № 4. С. 437–445.
4. Аджиева А. А., Керефова З. М., Гятов Р. А. Поражаемость территории и объектов Северного Кавказа молниями // Наука. Инновации. Технологии. 2020. № 3. С. 107–122. https://doi.org/10.37493/2308-4758.2020.3.6
5. Кузьмин В. А., Черкесов А. А. Вариации локального электрического поля атмосферы под влиянием грозовых явлений // Наука. Инновации. Технологии. 2021. № 2. С. 109–124. https://doi.org/10.37493/2308-4758.2021.2.6
6. Синькевич А. А., Боу Б., Павар С. Д., Михайловский Ю. П., Куров А. Б., Гопалакришнан В. Исследование радиолокационных и электрических характеристик грозовых облаков при воздействии на них кристаллизующим реагентом (штат Карнатака, Индия) // Метеорология и гидрология. 2021. № 8. С. 112–122. https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-8-112-122
7. Аджиева А. А., Керефова З. М., Гятов Р. А., Тумгоева Х. А. Исследование числа дней с грозой и продолжительности гроз в году на территории Северного Кавказа // Успехи современного естествознания. 2020. № 8. С. 32–36. https://doi.org/10.17513/use.37454

References

1. Gruza GV, Rankova EYa. Climate change detection: climate status, variability and extremes. *Meteorologiya i gidrologiya* = Russian meteorology and hydrology. 2004;(4):50-66. (In Russ.).

2. Adzhiev AKh, Kuliev DD, Stasenko VN. Assessing the performance parameters of lightning direction finding systems LS8000 and ENTLS in the North Caucasus region. *Meteorologiya i gidrologiya* = Russian meteorology and hydrology. 2022;(4):117-126. (In Russ.).
3. Adzhiev AKh, Kuliev DD. Characteristics of thunderstorm activity and parameters of lightning discharges in the south of the European part of Russia. *Izvestiya RAN. Fizika atmosferi i okeana* = Izvestiya RAS. Physics of atmosphere and ocean. 2018;54(4):437-445. (In Russ.).
4. Adzhieva AA, Kerefova ZM, Gyatov RA. Damage to the territory and objects of the North Caucasus by lightning. *Science. Innovations. Technologies.* 2020;3:107-122. (In Russ.). https://doi.org/10.37493/2308-4758.2020.3.6
5. Kuzmin VA, Cherkesov AA. Variations of the local electric field of the atmosphere under the influence of thunderstorm phenomena. Science. Innovations. Technologies. 2021;2:109-124. (In Russ.). https://doi.org/10.37493/2308-4758.2021.2.6
6. Sinkevich AA, Bou B, Pawar SD, Mikhailovsky YuP, Kurov AB, Gopalakrishnan V. Study of radar and electrical characteristics of thunderclouds when exposed to a crystallizing reagent (Karnataka state, India). *Meteorologiya i gidrologiya* = Russian meteorology and hydrology. 2021;(8):112-122. (In Russ.). https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-8-112-122
7. Adzhieva AA, Kerefova ZM, Gyatov RA, Tumgoeva KhA. Study of the number of days with thunderstorms and the duration of thunderstorms per year in the North Caucasus. *Advances in modern natural science.* 2020;(8):32-36. (In Russ.). https://doi.org/10.17513/use.37454

Информация об авторах

Залина Музариновна Керефова – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Высокогорного геофизического института, Scopus ID: 57219271959.

Наталья Владимировна Юрченко – младший научный сотрудник Высокогорного геофизического института,
Scopus ID: 57214144970.

Аида Анатольевна Аджиева – доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета, Scopus ID: 36130004800.

Вклад авторов: все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

Information about the authors

Zalina M. Kerefova – Cand. Sci. (Phys. - Math.), Researcher at the High-Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57219271959.

Natalya V. Yurchenko – Junior Researcher at the High Mountain Geophysical Institute, Scopus ID: 57214144970.

Aida A. Adzhieva – Dr. Sci. (Phys. - Math.), Professor of the Department of Higher Mathematics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Scopus ID: 36130004800.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.