

УДК 551.594.221:[551.508:621.37](470.6)

doi: 10.33933/2713-3001-2021-64-531-543

Определение значений токов наземных молниевых разрядов на Северном Кавказе с использованием грозорегистратора LS 8000

А.Х. Аджиев, З.М. Керефова, В.А. Кузьмин

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт», г. Нальчик, adessa1@yandex.ru

В статье представлены результаты использования грозопеленгационной сети LS8000 для определения параметров разрядов молний «облако—земля» положительной и отрицательной полярности на территории Северного Кавказа, ограниченной 47° с.ш., большая часть которой относится к горным районам. Для данной территории получены средние значения амплитуды тока в каналах молнии «облако—земля» положительной и отрицательной полярности в зависимости от орорафии и высоты местности над уровнем моря. Показано, что пиковые значения тока понижаются с увеличением высоты местности. Рассматриваются длительности нарастания тока разряда молнии до пикового значения, полученные с использованием грозопеленгационной сети LS8000.

Ключевые слова: молния, крутизна тока, амплитуда тока, гроза, полярность молнии, импульс тока.

Definition of lightning parameters with the use of thunderstorm registry LS 8000

A.H. Adjiev, Z.M. Kerefova, V.A. Kuzmin

Federal state budgetary institution «High-mountainous geophysical institute», Nalchik, KBR, Russia

The article presents the results of using the LS8000 lightning direction finding network to determine the parameters of lightning discharges “cloud-to-ground” of positive and negative polarity in the North Caucasus, most of which belongs to mountainous regions. The peak current values are shown to decrease with the increased terrain height. The duration of the rise of the lightning discharge current to the peak value, obtained using the LS8000 lightning direction finding network, is considered. As a result of the experimental studies of the parameters of “cloud-to-ground” lightning, the features of the spatial distribution of the density of lightning discharges into the ground for the territory of the North Caucasus have been revealed. The greatest damage to the earth’s surface by lightning is observed on the Black Sea coast of Russia - up to 5 strikes / km² year. The smallest lightning strikes are observed in the northeast of the North Caucasus (up to 2 strikes / km² year). The obtained average statistical values of the “cloud-to-ground” lightning current are important information for lightning protection of the territories where objects are located in the areas of airfields and on the route of power lines. The proposed data are of particular value since they have been obtained by direct methods. In the course of the work, the values of lightning currents were revealed to change depending on the terrain elevation. To confirm this pattern, the results of instrumental observations were divided into two groups of data: data from territories with heights from 1.5 km to 5.5 km above sea level (mountainous part) and territories with heights from 0 to 1.5 km (steppe and foothill zone). This

division made it possible to identify important factors affecting the distribution of lightning currents — the orography and elevation of the area. For the territory of the North Caucasus, the average values of the “cloud-to-ground” lightning currents, amounting to 23 kA for the plain and steppe zone and 14 kA for the mountainous area, were obtained.

Keywords: lightning, current slope, current amplitude, thunderstorm, lightning polarity, current pulse.

For citation: *A.H. Adjiev, Z.M. Kerefova, V.A. Kuzmin.* Definition of lightning parameters with the use of thunderstorm registry LS 8000. *Gidrometeorologiya i Ekologiya*. Journal of Hydrometeorology and Ecology. 2021, 64: 531—543. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2021-64-531-543.

Введение

Для разработки проектов молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций для каждого уровня ответственности должны быть определены среднестатистические значения тока молнии «облако—земля» на участке проектирования. Степень механического и термического воздействия молниевых разрядов «облако—земля» определяется пиковым значением тока J_m , полным зарядом $Q_{\text{полн}}$, зарядом в импульсе $Q_{\text{имп}}$ и удельной энергией W/R . Положительные молнии «облако—земля» характеризуются наибольшими значениями этих параметров по сравнению с отрицательными. Несмотря на это, нормативные документы по молниезащите основаны на среднестатистических значениях отрицательных молниевых разрядов «облако—земля».

Повреждения промышленных коммуникаций, вызванные индуцированными перенапряжениями, определены крутизной тока молнии $J_m/\tau_{\text{ф}}$. Наибольшее значение этого параметра отмечается у отрицательных молний «облако—земля» по сравнению с положительными молниями.

При проектировании зданий и сооружений учитываются требования к выполнению молниезащиты в соответствии с действующими нормами, правилами, инструкциями, государственными стандартами [1, 2]. Действующие инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций основаны на точных значениях амплитуды (пиковых значениях) тока молнии для территорий местоположений объектов.

Полевые исследования по измерению амплитуды тока молнии с помощью ферромагнитных регистраторов [3], исследования токов молнии с использованием осциллографов [4, 5] и дистанционные измерения пассивными радиолокационными средствами [6, 7] показали, что имеются значительные различия в распределениях амплитуды тока молнии в различных регионах. Приведенные в данной работе материалы показывают, что даже для отдельного региона их значения меняются в зависимости от орографии и высоты местности.

Целью работы является определение средних значений параметров молний «облако—земля» на территории Северного Кавказа для нормирования средств защиты различных объектов от прямых ударов молний. Для этого использована грозопеленгационная система LS8000, обладающая высокой чувствительностью и точностью для регистрации параметров токов молний на значительной территории.

Состояние проблемы

В настоящее время особую значимость для исследования грозовой активности и параметров молний приобрела разработка многопунктовых грозопеленгационных систем (ГПС) [8]. В нашей стране в создании ГПС и систем грозорегистрации значительный вклад внесли ученые ГГО, ВГИ, РГГМУ, ВКА им. А.Ф. Можайского, НИЦ «Планета»: В.Д. Степаненко, С.М. Гальперин, В.А. Снегуров, А.Х. Аджиев, Л.И. Дивинский, Г.Г. Щукин, В.Н. Стасенко и др.

В конце прошлого столетия в ряде регионов России были выполнены экспериментальные исследования параметров молниевых разрядов «облако—земля» (количеством разрядов молнии в единицу времени на единице площади, токи молний и др.). Однако надежные данные о результатах непосредственного распределения амплитуды тока молнии (J_m), удельной поражаемости земли молниями в год (n) и длительности нарастания тока молнии до пикового значения (τ_ϕ) для территории Северного Кавказа не были получены, поскольку наблюдения были непродолжительными.

Сотрудниками Высокогорного геофизического института (ВГИ) в 1990-х гг. были проведены регистрации с помощью осциллографических методов, характеризовавшиеся значениями τ_ϕ от 2 до 10 мкс. При этом было получено среднее значение τ_ϕ , равное 6 мкс [8]. Данная работа является продолжением исследований в ВГИ [5—9].

Методика исследования

Для определения среднестатистических значений для территории Северного Кавказа — амплитуды тока молнии (J_m), удельной поражаемости земли молниями в год (n) и длительности нарастания тока молнии до пикового значения (τ_ϕ) — использовалась грозопеленгационная сеть LS8000 фирмы «Vaisala», США [10]. ГПС впервые в России была развернута на Северном Кавказе в 2008 г. Высокогорным геофизическим институтом. ГПС LS8000 является разностно-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) [11]. Грозопеленгационная сеть, установленная на Северном Кавказе, включает в себя шесть грозопеленгаторов (датчиков) и центральный пункт приема, обработки и архивирования информации.

Разнесенные на расстояния от 70 до 100 км датчики ГПС имеют по две антенны для приема электромагнитного излучения молниевых разрядов — в низкочастотном (LF) и высокочастотном (VHF) диапазонах длин волн.

Принимаемое датчиками ГПС электромагнитное излучение молнии передается по спутниковому каналу связи в центральный сервер, где после обработки программным обеспечением формирует следующую информацию о каждом молниевом разряде.

— Дата и время. Разницу времени прихода электромагнитного излучения молнии датчиками (грозопеленгаторами) ГПС определяет с точностью до 100 нс.

— Координаты места разряда (широту, долготу) в системе геодезических координат (WGS-84).

— Максимальное значение тока в канале разряда молнии «облако—земля», в кА.

— Классификация молний на виды: 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.

Система грозопеленгации вышеуказанную информацию о молниях принимает со всей территории Северного Кавказа, архивирует и передает ее потребителям. Для разрядов «облако—земля» радиус области обзора равен около 625 км от центра сети ГПС, а разрядов «облако—облако» — 325 км. Область охвата системы покрывает территории юга европейской части России и республик Закавказья. Пример отображения получаемых грозопеленгационных данных о молниевых разрядах на территории Северного Кавказа за грозовой день представлен на рис. 1. В ГПС предусмотрены комплексирование грозоразрядной информации с радиолокационной и спутниковой информацией и наложений координат разрядов молний на радиоэхо облаков и космоснимки.

Аналогичная ГПС развернута в 2011 г. в Московской области в НИЦ «Планета». В настоящее время обе ГПС объединены в сеть, причем зоны их обзора охватывают значительную часть европейской территории России и приграничных государств. Информация с ГПС приходит в виде сообщений с заданной периодичностью от 1 мин и больше, а также карт молниевых разрядов, в комплексе с данными радиоэха облачных образований, спутниковой информацией, прогнозом погоды и др. [11]. В ряде регионов России используется также отечественная грозопеленгационная сеть Главной геофизической обсерватории (ГГО) «Алвес» [12].

В табл. 1 представлены значения токов молний, полученные в разных регионах и рекомендованные для молниезащиты объектов. Из таблицы видно, что токи молний, используемые при проектировании молниезащиты различных объектов, отличаются. Такое различие можно объяснить тем, что:

— на территориях с разнообразной орографией и широтой имеются определенные особенности характеристик молний, что свидетельствует о необходимости изучения молний для отдельных районов, где намечаются молниезащитные мероприятия;

— у разных методов фиксации молний — свои особенности.

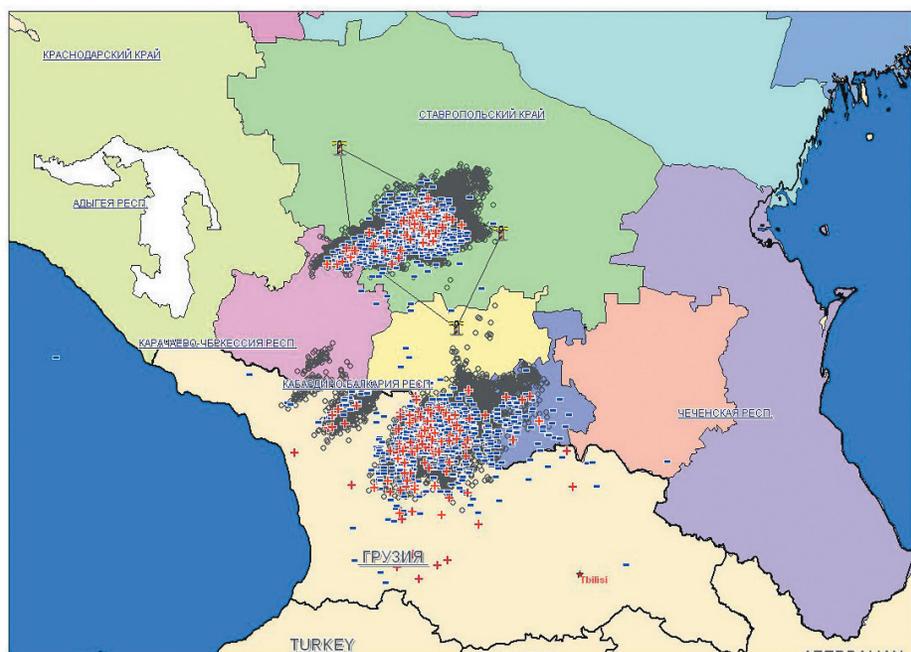


Рис. 1. Наложения разрядов молний с картосхемой Северного Кавказа:

- «+» — молнии на землю положительной полярности;
- «-» — молнии на землю отрицательной полярности; «o» — облачные разряды;
-  — пункты размещения гронопеленгаторов LS8000 на Северном Кавказе.

Fig. 1. Superposition of lightning discharges with a map of the North Caucasus:

- “+” — lightning to the ground of positive polarity;
- “-” — lightning to the ground of negative polarity; “o” — cloud discharges;
-  — placement points for LS8000 lightning direction finders in the North Caucasus.

Таблица 1

Значения токов молнии,
полученные в разных регионах и рекомендованные для молниезащиты объектов
Lightning current values obtained in different regions and recommended
for lightning protection of objects

Источник информации	Значение тока молнии	Источник сведений
Прямые и косвенные измерения преимущественно на башнях	33,3 кА (рекомендованное Международным Советом по большим электрическим системам высокого напряжения — CIGRE)	[13]
Руководство по защите электрических сетей 6—1150 кВ от грозových и внутренних перенапряжений. РД153-34.3-35.125-99 (СПб.: ПЭИПК, 1999)	20 кА (рекомендованные РАО ЕС)	

Источник информации	Значение тока молнии	Источник сведений
Полученное НИИ ПТ для северной части Карельского перешейка	13,5 кА (косвенные измерения КирНИОЭ на воздушные линии)	[10]
Измерения на Северном Кавказе	18,6 кА (дистанционные измерения пассивно-активными средствами)	[8]
Регистрация токов молний с использованием грозопеленгационной сети LS8000	13,5 кА	[9]

Данные, полученные методом прямого осциллографирования и магнитозаписи [5, 13], а также антенно-оптическим методом, и построенные по ним вероятностные распределения амплитуды тока молнии (J_m) будут отличаться от выборок и распределений, полученных антенно-радиолокационным методом.

Результаты исследований

В работе использованы результаты комплексного использования грозопеленгационной сети ГПС LS8000 для определения для территории Северного Кавказа среднестатистических характеристик молниевых разрядов «облако-земля», а также для выявления влияния орографии на их значения. Приведены результаты, полученные для части территории Северного Кавказа, ограниченной побережьем Черного моря и 47° с.ш. (г. Ростов-на-Дону). Большая часть исследуемой территории относится к горной части с высотой над уровнем моря более 1500 м.

В предыдущих исследованиях [9] грозовой активности с использованием грозорегистратора LS8000:

— территория сбора информации ограничена широтой местности 58° с.ш. (г. Воронеж) — исследуемая площадь составляла 1 200 000 км²;

— площадь горной части (территория высотой более 1500 м над уровнем моря) территории составляла менее 15 %.

В отличие от этих исследований в данной работе:

— территория ограничена 47° с.ш., а площадь сбора грозо-разрядной информации составляет около 400 000 км² (она включает территории Северо-Кавказских федеральных образований);

— для рассматриваемой территории больше половины площади имеют средние высоты над уровнем моря — более 1500 м.

В связи с интенсивным освоением горных районов, созданием горных и горнолыжных курортов актуальным является выявление особенностей распределения грозовой активности в горных районах.

Собранные данные показали, что для юга европейской части России свойственно значительное преобладание облачных (межоблачных) разрядов молний, которые достигают до 87 % от общего числа зарегистрированных грозорегистратором LS8000 молний за период с 2008 по 2020 г. При этом доля положительных разрядов молний от общего количества молний «облако—земля» составляет около 23 %, что соответствует принятым значениям для средних широт (20 %) и

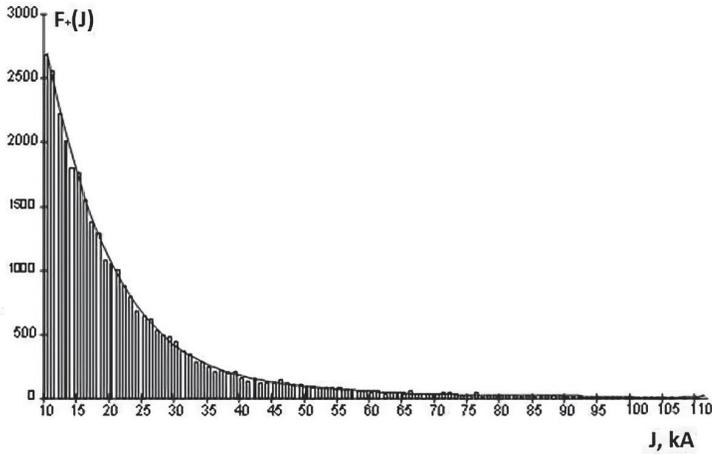


Рис. 2. Распределение значений токов молнии «облако—земля» положительной полярности.
 Fig. 2. Distribution of values of lightning currents “cloud-to-ground” of positive polarity.

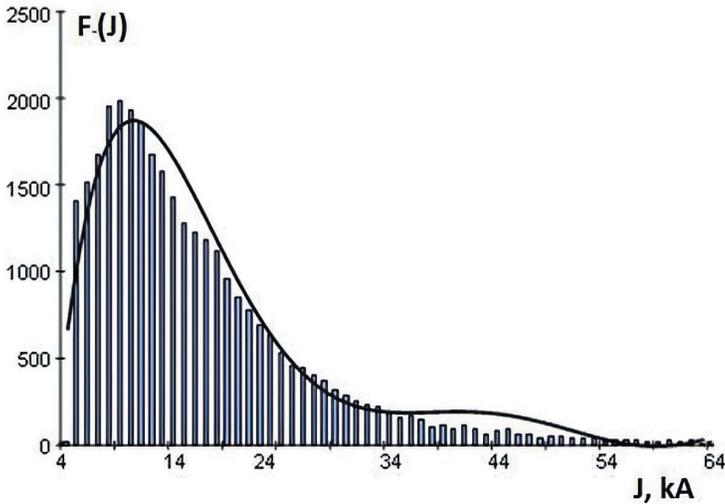


Рис. 3. Распределение значений токов молнии «облако—земля» отрицательной полярности.
 Fig. 3. Distribution of values of lightning currents “cloud-to-ground” of negative polarity.

подтверждает ранее полученные результаты в ФГБУ «ВГИ» для территории Северного Кавказа, ограниченной 58° с.ш. (Воронежская обл.) [10].

Статистические распределения токов положительных разрядов молний «облако—земля» $F_+(J)$ и отрицательных разрядов молнии «облако—земля» $F_-(J)$, а также линии тренда для Северного Кавказа, ограниченной 47° с.ш. (г. Ростов-на-Дону), показаны на рис. 2 и 3. На этих рисунках по осям отложены количество

зарегистрированных молний «облако—земля» и значения токов молний положительной и отрицательной полярности.

На рассматриваемой территории средние абсолютные значения токов молний по данным LS8000 за период 2008—2020 гг. варьируются от 14 до 34 кА. При этом значения положительных токов молний более чем на 40 % превышают значения отрицательных. Так, наименьшие средние значения отрицательных молний составляют –12,45 кА (для территории КБР). Наибольшие средние отрицательные значения токов молний «облако—земля» оценены для территории Республики Дагестан и составляют –29,5 кА. Для положительных молниевых разрядов наибольшие и наименьшие значения положительных токов составили 28,5 кА (КБР) и 47 кА (Дагестан).

За период работы грозорегистратора 2008—2020 гг. были получены следующие статистические характеристики разрядов молнии «облако—земля»:

Положительные разряды «облако—земля». В результате выполненных экспериментальных исследований из общего количества зарегистрированных молний «облако—земля» разряды положительной полярности составили 31376 штук. По этим экспериментальным данным получено распределение значений токов наземных молний положительной полярности в виде выражения (1):

$$F_+(J) = 1,01 \cdot 10^{-9} J^6 - 3,226 \cdot 10^{-6} J^5 + 1,122 \cdot 10^{-3} J^4 + 11,3J^2 - 396,5J + 5,702 \cdot 10^3, \quad (1)$$

где $F_+(J)$ — статистическое распределение частот возникновения положительных разрядов молнии; J — сила тока положительных молний, кА.

Численные коэффициенты J в (1) имеют размерности кА⁻⁶, кА⁻⁵, кА⁻⁴, кА⁻¹.

Наиболее часто регистрируемый импульс тока молнии в экспериментальных данных 10 кА встречается в собранных данных 2688 раза. Наибольший зарегистрированный ток положительной молнии «облако—земля» равен +110 кА. Наименьшее значение: +6 кА. Осредненное значение токов молний положительной полярности по субъектам Северо-Кавказского Федерального округа составляет +34,7 кА.

Отрицательные разряды «облако—земля». В результате выполненных экспериментальных исследований из общего количества зарегистрированных молний «облако—земля» разряды отрицательной полярности составили 104845 штук. По экспериментальным данным значений токов отрицательных молний «облако—земля» их распределение аппроксимировано в виде выражения (2):

$$F_-(J) = -2,3 \cdot 10^{-6} J^6 + 6,2 \cdot 10^{-4} J^5 - 0,066J^4 + 3,43J^3 - 90J^2 + 1,02 \cdot 10^3 J - 2,21 \cdot 10^3, \quad (2)$$

где $F_-(J)$ — статистическое распределение частот возникновения отрицательных разрядов молнии; J — сила тока отрицательных молний, кА.

Наиболее часто регистрируемый импульс тока молнии отрицательной полярности в экспериментальных данных –8 кА в собранных данных встречается более 10000 раз. Наибольший зарегистрированный ток отрицательной молнии

«облако—земля» равен -210 кА. Осредненное значение токов молний отрицательной полярности на территориях СКФО составило $-19,4$ кА. Погрешности аппроксимации распределений токов молний функциями (1) и (2) определялись по величине среднеквадратического отклонения:

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F(x_i) - (y_i))^2}{n+1}}, \quad (3)$$

где y_i — значение функции в точке x_i , полученное в результате измерений; $F(x_i)$ — значение аппроксимирующей функции в соответствующей точке x_i . Для функции (1) $\delta = 16,78$, для функции (2) $\delta = 28,65$.

Анализ собранных данных показывает, что грозовая активность (число дней с грозой в течение года) на юге европейской части России выше, чем на севере. Площадь мониторинга погодных явлений на метеостанциях определяется кругом с радиусом $10-15$ км. Вычисленное по данным ГПС количество дней с грозой в году на территории ограниченной таким радиусом действия на юге в районе г. Сочи составляет 70 , а в северной части территории (в районе г. Ростов-на-Дону) — 23 . Удельная поражаемость поверхности земли молниями «облако—земля» в год на юге территории исследования составляет 5 ударов на 1 км², а на севере — около 2 на 1 км².

В результате выполненных экспериментальных исследований параметров молний «облако—земля» выявлены особенности пространственного распределения плотности разрядов молнии в землю для территории Северного Кавказа. Наибольшие поражения земной поверхности молниями наблюдаются на Черноморском побережье России (до 5 разр./км² год). Наименьшие поражения молниями наблюдаются на северо-востоке Северного Кавказа (до 2 разр./км²год). Полученные среднестатистические значения тока молний «облако—земля» являются важной информацией для проведения молниезащиты территорий местоположения объектов в районах аэродромов и на трассе линий электропередач. Предлагаемые данные имеют особую ценность, поскольку были получены прямыми методами.

Выявлено, что в зависимости от высоты местности над уровнем моря меняются значения токов молний. Для подтверждения этой закономерности результаты инструментальных наблюдений были разделены на две группы данных: данные с территорий высотой от $1,5$ км до $5,5$ км над уровнем моря (горная часть) и территории с высотами от 0 до $1,5$ км (степная и предгорная зона). Такое разделение дало возможность выявить важные факторы, влияющие на распределения токов молний — орографию и высоту местности. Уменьшение амплитуды тока с высотой, возможно, связано с сокращением расстояния между облаком и землей, а также с особенностями развития конвекции и образованием кучево-дождевых облаков в горах.

Для территории Северного Кавказа были получены средние значения токов молний «облако—земля»: 23 кА — для равнинной и степной зоны, 14 кА — для горной местности.

В рамках настоящей работы также выполнены измерения длительности нарастания тока молнии до пикового значения (τ_{ϕ}) при разрядах молний «облако—земля» с помощью грозорегистратора LS8000. Результаты измерений и вероятности распределения τ_{ϕ} молний «облако—земля» различной полярности представлены на рис. 4 и 5. На этих рисунках по осям отложены количество зарегистрированных молниевых разрядов положительной и отрицательной полярности и время нарастания токов молнии.

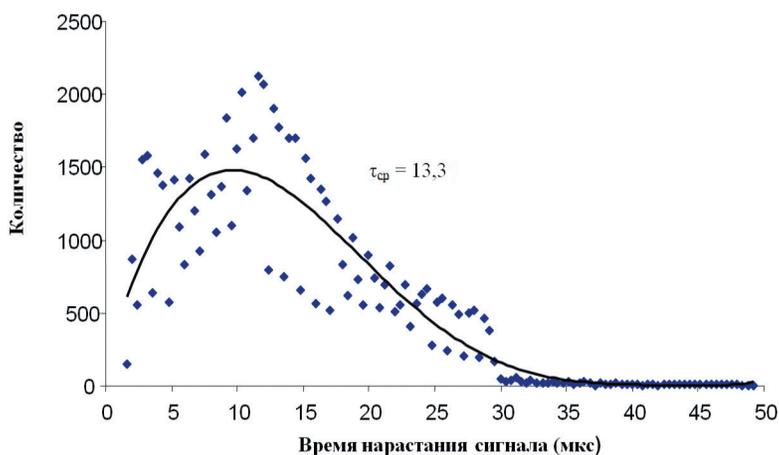


Рис. 4. Распределение длительности нарастания токов молнии положительной полярности.

Fig. 4. Distribution of the rise time of the lightning current of positive polarity.

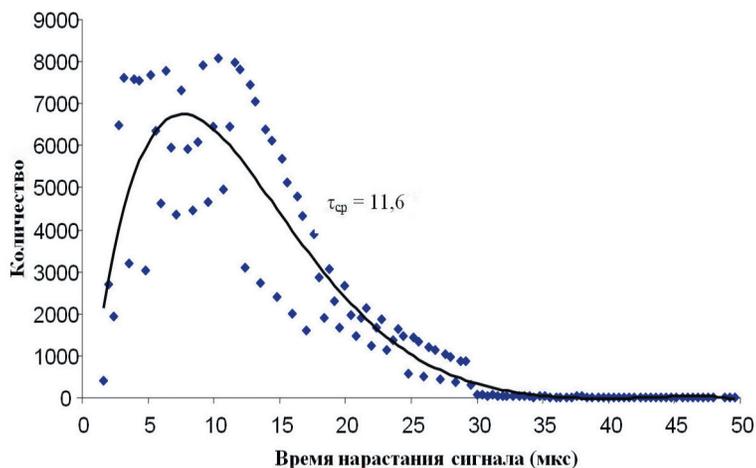


Рис. 5. Распределение длительности нарастания тока молнии отрицательной полярности.

Fig. 5. Distribution of the rise time of the lightning current of negative polarity.

Из рис. 4 и 5 видно, что длительность нарастания тока молнии до пикового значения варьирует от 1 до 50 мкс. Для территории Северного Кавказа это значение соответствует 8 мкс. Значения τ_{ϕ} зависят от знака разряда молнии. С использованием грозорегистратора LS8000 нами были измерены значения длительности фронта нарастания волны тока. И при этом обнаружено, что они лежат в пределах границ вариаций, установленных Бергером с помощью метода прямого осциллографирования [14, 15]. Сравнивая эти значения с сегодняшними с использованием высокоточной аппаратуры, наблюдаем хорошее совпадение. При этом отметим, что грозорегистратор фиксирует молниевые разряды с достаточно большими значениями длительности фронта — до 50 мкс.

Среднее значение τ_{ϕ} положительных разрядов молний «облако—земля» соответствует 13,3 мкс, а отрицательных разрядов молний «облако—земля» — 11,6 мкс.

Выводы

Получены распределения значения токов молний «облако—земля» положительной и отрицательной полярности, а их распределения аппроксимированы в виде аналитических выражений.

На основе выполненных экспериментальных исследований получены следующие результаты:

— для территории Северного Кавказа среднее значение импульса тока разряда молнии «облако—земля», доставляющего на землю отрицательный заряд, равно $-19,4$ кА, а положительный заряд — равно $+34,7$ кА;

— среднее время нарастания тока молнии «облако—земля» отрицательной и положительной полярности составила 11,6 и 13,3 мкс, соответственно.

Грозовая активность выше на юге европейской части России, чем на севере. На юге, в районе г. Сочи число дней с грозой соответствует 70 дням, а в северной части территории (в районе г. Ростов-на-Дону) — 23.

Список литературы

1. Устройство молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций: Сборник документов. Серия 17. Выпуск 27. М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2017. 144 с.
2. Базелян Э.М., Горин Б.Н., Левитов В.И. Физические и инженерные основы молниезащиты. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 223 с.
3. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащита. М.: Физматлит. 2001. 320 с.
4. Аджиев А.Х., Богаченко Е.М. Применение радиотехнических средств для оценки используемых в грозозащите параметров разряда молнии // Электричество. 1990. № 7. С. 18—20.
5. Аджиев А.Х., Галкова Л.И., Мезгин В.А., Новикова А.Н., Носова А.М., Чичинский М.И., Шмаруго О.В. Особенности грозозащиты ВЛ в горных условиях: параметры разрядов молнии; влияние структуры грунтов и рельефа местности; схемы грозозащиты // Проектирование и технологии электронных средств. 2004. № 4. С. 50—54.
6. Zhukov V.Y., Shchukin G.G. Current Problems of Meteorological Radiolocation // Journal of Communication Technology and Electronics. 2016. V. 61, No. 10. P. 1069—1080. doi: 10.1134/S1064226916100235.

7. Karavaev D.M., Shchukin G.G. Status and prospects of application of microwave radiometry of the atmosphere. *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2016. V. 29 (3). P. 308—313. doi: 10.1134/S1024856016030076.
8. Аджиев А.Х., Тапасханов В.О., Стасенко В.Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 1. С. 5—11.
9. 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.
10. Poelman R., Schulz W., Vergeiner Ch. Performance Characteristics of Distinct Lightning Detection Networks Covering Belgium. *Journal of atmospheric and oceanic technology*. 2013. P. 942—951. doi: 10.1175/jtech-d-12-00162.1
11. LPATS IV Installation, Operation, and Maintenance Manual. 40176 REV 9810. Global Atmospheric, Ins., USA, 1998. 76 p.
12. Снегуров В.С. Амплитудный электромагнитный метод определения дальности грозовых разрядов // *Труды НИЦ ДЗА (Филиал ГГО)*. 2005. Вып. 6 (554). С. 150—155.
13. Guide to procedures for estimating lightning performance of transmission lines. WC 01, SC 33, CIGRE, 1991.
14. Berger K. Methoden und resiltate der blitzforschung auf dem Monte San Salvatore bei Lugano in den jahren 1963—1971 // *Bull. SEV* 63. 1972. № 24. P. 1403—1422.
15. Lin Y.T., Uman M.A. Electric radiation fields of lightning return strokes in three isolated Florida thunder storms // *J. Geoph. Res.* 1973. V. 78, № 33. P. 7911—7915.

References

1. *Ustroistvo molniezashchity zdaniy, sooruzhenii i promyshlennykh kommunikatsii: Sbornik dokumentov. Seriya 17. Vypusk 27*. Device for lightning protection of buildings, structures and industrial communications: Collection of documents. Series 17. Issue 27. Moscow: Closed Joint Stock Company “Scientific and Technical Center for Research of Industrial Safety Problems”, 2017: 144. [In Russian].
2. Bazelyan E.M., Gorin B.N., Levitov V.I. *Fizicheskie i inzhenernye osnovy molniezashchity*. Physical and engineering foundations of lightning protection. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978: 223 p. [In Russian].
3. Bazelyan E.M., Raizer Yu.P. *Fizika molnii i molniezashchita*. Physics of lightning and lightning protection. Moscow: Fizmatlit, 2001: 320 p. [In Russian].
4. Adzhiev A.Kh., Bogachenko E.M. Application of radio-technical means to assess the parameters of a lightning discharge used in lightning protection. *Elektrichestvo*. Electricity. 1990, 7: 18—20. [In Russian].
5. Adzhiev A.Kh. Galkova L.I., Mezgin V.A., Novikova A.N., Nosova A.M., Chichinsky M.I., Shmarago O.V. Features of lightning protection of overhead lines in mountainous conditions: parameters of lightning discharges; the influence of soil structure and terrain; lightning protection schemes. *Proektirovanie i tekhnologii elektronnih sredstv*. Design and technology of electronic means. 2004, 4: 50—54. [In Russian].
6. Zhukov V.Y., Shchukin G.G. Current Problems of Meteorological Radiolocation // *Journal of Communication Technology and Electronics*. 2016. V. 61, No. 10. P. 1069—1080. doi: 10.1134/S1064226916100235.
7. Karavaev D.M., Shchukin G.G. Status and prospects of application of microwave radiometry of the atmosphere. *Atmospheric and Oceanic Optics*. 2016, 29(3): 308—313. doi: 10.1134/S1024856016030076.
8. Adzhiev A.Kh., Tapaskhanov V.O., Stasenko V.N. The system of lightning direction finding in the North Caucasus. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and Hydrology. 2013, 1: 5—11. [In Russian].
9. Adzhiev A.Kh., Kuliev D.D. Characteristics of thunderstorm activity and parameters of lightning discharges in the south of the European part of Russia. *Izvestia RAN. Phizika atmosferi i okeana*. News of the Russian Academy of Sciences. Physics of the atmosphere and ocean, 2018, 54, 4: 437—445. [In Russian].
10. Poelman R., Schulz W., Vergeiner Ch. Performance Characteristics of Distinct Lightning Detection Networks Covering Belgium. *Journal of atmospheric and oceanic technology*. 2013. P. 942—951.

11. LPATS IV Installation, Operation, and Maintenance Manual. 40176 REV 9810. Global Atmospheric, Ins., USA, 1998: 76 p.
12. *Snegurov B.C.* Amplitude electromagnetic method for determining the range of lightning discharges. *Trudi NITs DZA*. Proceedings of Research Center DZA. 2005, 6 (554): 150—155. [In Russian].
13. Guide to procedures for estimating the lightning performance of transmission lines. WC 01, SC 33, CIGRE, 1991.
14. *Berger K.* Methoden und resiltate der blitzforschung auf dem Monte San Salvatore bei Lugano in den jahren 1963—1971. Bull. SEV 63. 1972, 24: 1403—1422.
15. *Lin Y.T., Uman M.A.* Electric radiation fields of lightning return strokes in three isolated Florida thunder storms. J. Geoph. Res. 1973, 78, 33: 7911—7915.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 17.05.2021

Принята к публикации после доработки 24.08.2021

Сведения об авторах

Аджиев Анатолий Хабасович, д-р физ.-мат. наук, профессор, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», зав. отделом стихийных явлений, adessa1@yandex.ru.

Кереева Залина Музариновна, канд. физ.-мат. наук, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», научный сотрудник в лаборатории атмосферного электричества, zknyaz-kbsu@mail.ru.

Кузьмин Владимир Аркадьевич, аспирант, Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», vl.kuzmin1992@gmail.com.

Information about authors

Adjiev Anatoly Khabasovich, Grand PhD (Phys. and Math. Sci.), professor, Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute», head. department of natural phenomena.

Kerefova Zalina Muzarinovna, PhD (Phys. and Math. Sci.), Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Federal State Budgetary Institution «High-Mountain Geophysical Institute», Researcher at the Laboratory of Atmospheric Electricity.

Kuzmin Vladimir Arkadevich, postgraduate student, Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, FSBI «High Mountain Geophysical Institute».