НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 551.515.4
DOI 10.46698/VNC.2024.46.26.001

Грозовое электричество и молниевые разряды на Северном Кавказе

Анатолий Хабасович Аджиев
Высокогорный геофизический институт, заведующий отделом стихийных явлений, профессор, доктор физико-математических наук, Россия, Нальчик, adessa1@yandex.ru

Залина Музариновна Керефова
Высокогорный геофизический институт, научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, Россия, Нальчик, zknyaz-kbsu@mail.ru

Владимир Аркадьевич Кузьмин
Высокогорный геофизический институт, научный сотрудник, Россия, Нальчик, vl.kuzmin1992@gmail.com

А.Х. Аджиев

З.М. Керефова

В.А. Кузьмин

Аннотация. *В работе рассмотрены грозовые процессы, происходившие на Северном Кавказе за 2009-2019 гг. Рассматриваемый регион характеризуется резко выраженной неоднородностью рельефа. В ходе работы было подсчитано количество зарегистрированных в течение суток наземных положительных и отрицательных молний за период 2009–2019 гг. по всем субъектам РФ на Северном Кавказе. На рассматриваемой территории наибольшее количество наземных молний приходится на время с 12 по 18 ч., когда она составляет 60 %, и несколько меньше – 26–30 % – на время с 18 по 24 ч.*

Ключевые слова: *грозовая деятельность, молнии, продолжительность гроз, интенсивность разрядов, полярность разряда*

Для цитирования: *Аджиев А.Х., Керефова З.М., Кузьмин В.А. Грозовое электричество и молниевые разряды на Северном Кавказе // Вестник Владикавказского научного центра РАН. 2024. Том 24. № 3. С. 68–72. DOI 10.46698/VNC.2024.46.26.001.*

Thunderstorm electricity and lightning discharges in the North Caucasus

Anatoly Kh. Adzhiev
High Mountain Geophysical Institute, Professor, Dr., Russia, Nalchik, adessa1@yandex.ru

Zalina M. Kerefova
High Mountain Geophysical Institute, Researcher, PhD, Nalchik, zknyaz-kbsu@mail.ru

Vladimir A. Kuzmin
High Mountain Geophysical Institute, Researcher, Russia, Nalchik, vl.kuzmin1992@gmail.com

Abstract. *The work examines the thunderstorm processes that occurred in the North Caucasus in 2009-2019. The region under consideration is characterized by pronounced relief heterogeneity. During the work, the number of ground-based positive and negative lightning registered during the day for the period 2009–2019 was calculated. for all subjects of the Russian Federation in the North Caucasus. In the territory under consideration, the largest number of ground lightning occurs from 12 to 18 hours, when it is 60% and slightly less – 26–30 %, from 18 to 24 hours.*

Keywords: *thunderstorm activity, lightning, duration of thunderstorms, discharge intensity, discharge polarity*

For citation: *Adzhiev A.Kh., Kerefova Z.M., Kuzmin V.A. Thunderstorm electricity and lightning discharges in the North Caucasus // Bulletin of the Vladikavkaz Center of the Russian Academy of Sciences. 2024. Vol. 24. No. 3. P. 68–72. DOI 10.46698/VNC.2024.46.26.001.*

ВВЕДЕНИЕ

При исследовании грозовых процессов на территории Северного Кавказа большее внимание уделялось числу дней с грозой в году и продолжительности гроз. Продолжительность гроз определяли за сутки, за месяц и за год. Другие характеристики, такие как число разрядов молний, удельная поражаемость земной поверхности и другие параметры, авторы оценивали по продолжительности гроз.

Об интенсивности грозовой деятельности в различных районах Земли судят по повторяемости и продолжительности гроз, регистрируемых на метеостанциях в днях или часах за год по слышимому грому в начале и в конце грозы [1]. Однако одним из важных характеристик при оценке вероятного числа поражений объектов молнией является плотность ударов молнии в землю на квадратный километр [2].

Все молниевые разряды подразделяются на два основных вида: наземные и внутриоблачные.

Наземные разряды молнии характеризуются наличием в своей структуре обратных ударов и развиваются между землей и облаком. Внутриоблачные или межоблачные включают разрядные процессы, которые развиваются внутри грозового облака или между облаками. Соотношение числа разрядов различных видов зависит от ряда факторов: вида грозы, структуры грозового очага, характера и фазы его развития, орографии местности (наличия речных долин, возвышенностей, горных склонов).

Потребителями грозоразрядной информации является ряд отраслей хозяйственной деятельности. В частности авиация, энергетика, лесное хозяйство и др.

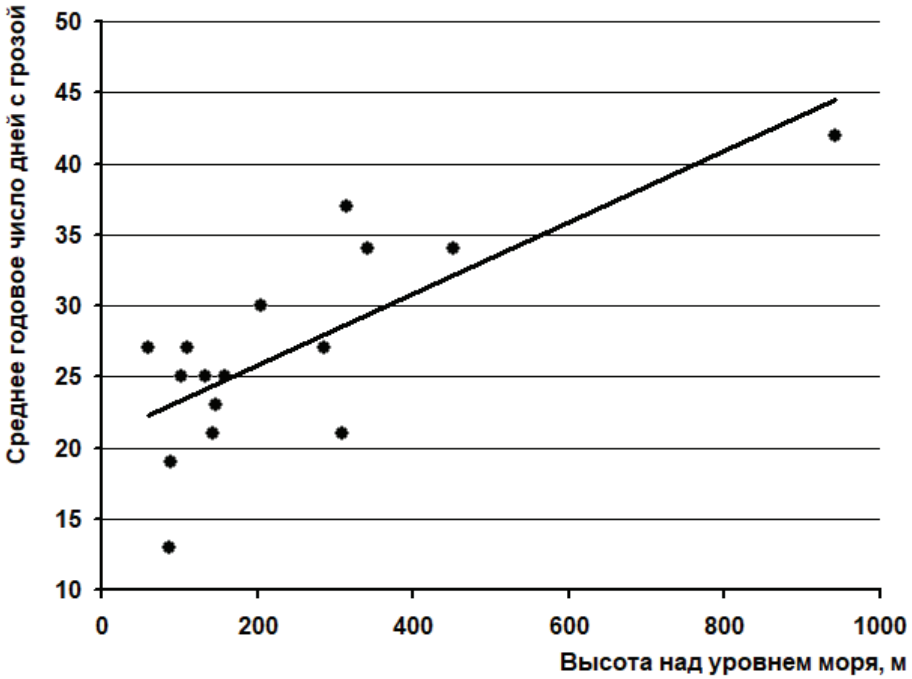

Рис. 1. **Зависимость среднего годового числа дней с грозой от высоты местности для Центрального Предкавказья, территория Ставропольского края**

Одним из показателей надежности воздушных линий электропередач, зданий и сооружений и других объектов является их грозоупорность (грозозащищенность). Воздушные линии электропередачи, в силу большой протяженности и высоты, являются уязвимыми объектами для воздействия молнии.

Для проведения молниезащитных мероприятий требуются точные знания параметров грозовой активности и молний на территориях расположения защищаемых объектов. Работа посвящена исследованию грозового электричества и параметров молниевых разрядов на Северном Кавказе.

АППАРАТУРА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сочетание данных метеорологических радаров с данными грозопеленгаторов перспективно для изучения грозо-градовых облаков. Добавление параметров молний к радиоэху облаков, принимаемых метеорологическими радарами, позволяет лучше понять процессы, происходящие в облаках во время образования облаков и осадков.

Несмотря на большую погрешность по сравнению с методами прямых измерений, наиболее приемлемым для мониторинга грозового электричества и молний является дистанционный радиотехнический метод, позволяющий за короткое время собрать достаточный экспериментальный материал по параметрам молнии для статистического анализа.

Полевые исследования, такие как измерения амплитуды тока молнии с помощью ферромагнитных регистраторов [3], осциллографические исследования [4], которые широко проводились в прошлом веке, показали, что существуют различия в распределении тока молнии $J_м$ в разных регионах. Эффективность молниезащиты энергетических объектов зависит от точного знания величины $J_м$ и частоты ударов молнии в поверхность земли в данном районе.

Наличие достоверных статистических данных об интенсивности гроз в районе эксплуатационных и проектных объектов (ЛЭП, зданий и сооружений) повышает их молниезащиту. Учет статистических данных об интенсивности грозовой деятельности в районе проектирования на этапе проектирования, при выборе трассы воздушных линий электропередачи и прокладке объектов, позволяет снизить риск эксплуатационных повреждений объектов от ударов молнии.

В настоящее время интенсивность грозовой деятельности в Российской Федерации определяется по региональным картам среднегодовой продолжительности (в часах) гроз, составленным визуально и устно по данным многолетних наблюдений на метеорологических станциях [5].

В работе для определения характеристик грозовой активности и параметров молний на Северном Кавказе использованы данные с грозопеленгационной сети LS 8000 (LS 7002) ФГБУ «Высокогорный геофизический институт» [3]. В этой системе грозопеленгации для определения координат местоположения молнии и времени разряда применяются следующие методы: разностно-дальномерный и магнитно-пеленгационный.

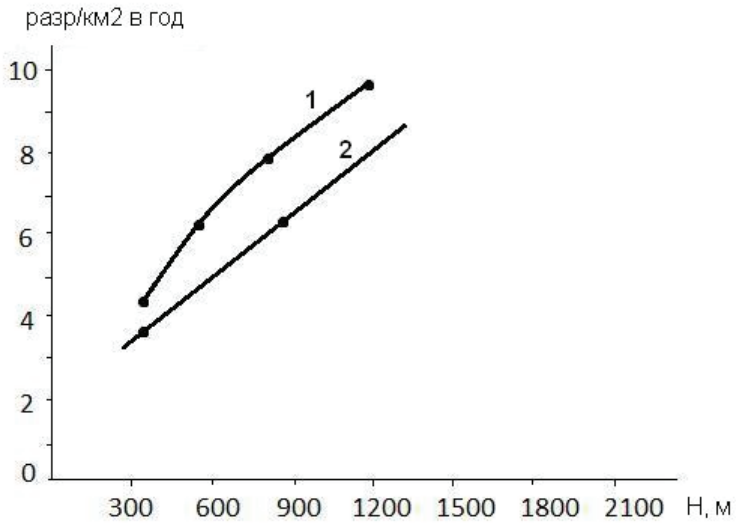

Рис. 2. **Зависимость среднегодовой удельной поражаемости молниями земли по данным ГПС LS 8000 (2) и расчетные данные по дням с грозой на метеостанциях (1) по территории Ставропольского края**

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В существующих нормативных документах по молниезащите различных объектов рассчитываются параметры молниезащиты по среднегодовой поражаемости земной поверхности молниями территории размещения объекта. В этой связи важной задачей является определение особенностей распределения по территории Северного Кавказа среднегодовой поражаемости земной поверхности молниями. Для рассматриваемой территории определяющими являются:

- уменьшения среднегодовой удельной поражаемости молниями земли с юга на север [6];
- наибольшая среднегодовая удельная поражаемость молниями земли до 12 разр/км^2*год часов по инструментальным измерениям ГПС LS 8000 в районе черноморского побережья России и наименьшая поражаемость 1 разр/км^2*год на северо-востоке. При этом данные обоих методов по северо-восточной части исследуемой территории совпадают [6].

При этом различия в уровне грозовой активности над низменной, равнинной, возвышенной и предгорной частями региона достаточно велики. В предгорьях дней с грозой отмечается за теплый период года вдвое больше, чем над центральной, возвышенной частью региона, и втрое больше, чем над северной, равнинной низменной частью.

Рассчитанное среднее многолетнее значение годового числа дней с грозой по всем станциям региона [7] за период 1961–2000 гг. позволило определить его зависимость от высоты местности в условиях Центрального Предкавказья *(рис. 1)*. Указанный период авторами был выбран для сравнения результатов с данными расчетов за этот же период для другого района Северного Кавказа.

Рассматриваемый регион характеризуется резко выраженной неоднородностью рельефа. Рассчитанное по формуле (1) среднее многолетнее значение удельной поражаемости молниями земли представлено на *рис. 2.*

$$n = a*b*D/100. \quad (1)$$

В формуле (1) численные коэффициенты *a* и *b* равны:

a = 2 час/день; *b* = 6,7 разр/час*км^2*год;

D – число дней с грозой по данным на *рис. 2.*

По данным числа дней с грозой метеостанций, расположенных на различных высотах Ставропольского края (данные на *рис. 1)*, а также данные ГПС LS 8000 построены среднегодовые распределения удельной поражаемости молниями земли на различных высотах над уровнем земли, *рис. 2*.

Получены уравнения, в целом хорошо согласующиеся с ранее выведенными закономерностями для этого же периода в [8].

$$n = 0.0045H + 2.35, \quad (2)$$

$$n = 0.00044H + 4.86. \quad (3)$$

В выражениях (2) и (3) численные коэффициенты имеют размерности разр/м*км^2*год и разр/км^2*год, соответственно. *H* – высота местности над уровнем моря. Из этих формул и *рис. 2* следует:

1. Суммарное среднегодовое распределение удельной поражаемости молниями земли, как и ожидалось, возрастает по мере увеличения абсолютной высоты местности – от 3,6 разр/км^2*год, по данным метеостанций северной части Ставропольского края, до 7,0 разр/м*км^2*год в верхней части Ставропольской возвышенности и в предгорьях Кавказа. По данным ГПС LS 8000 – от 5 разр/м*км^2*год до 9 разр/м*км^2*год для указанных территорий.

2. Среднегодовые распределения удельной поражаемости молниями земли по данным ГПС LS 8000 превышают на 22 % расчетные значения удельной поражаемости молниями земли по данным метеостанций.

В ходе работы было подсчитано количество зарегистрированных в течение суток наземных положительных и отрицательных молний за период 2009–2019 гг., используя данные грозорегистратора LS 8000 по всем субъектам РФ на Северном Кавказе. На рассматриваемой территории наибольшее

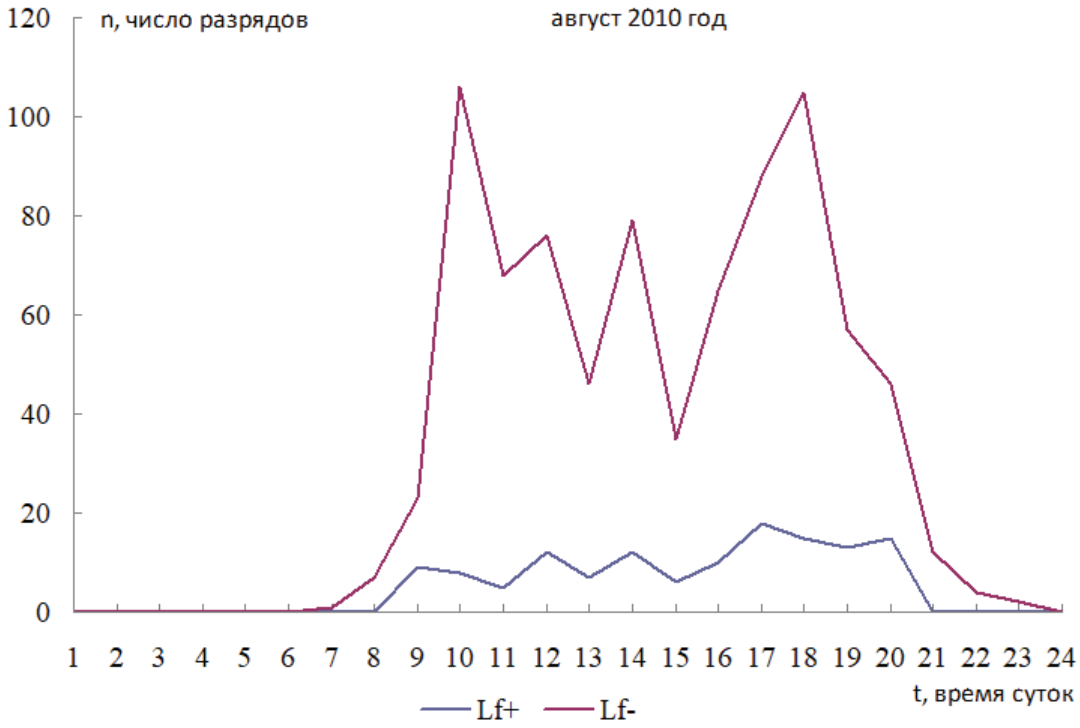

Рис. 3. **Суточная динамика наземных молний различной полярности по территории КБР в августе 2010 года**

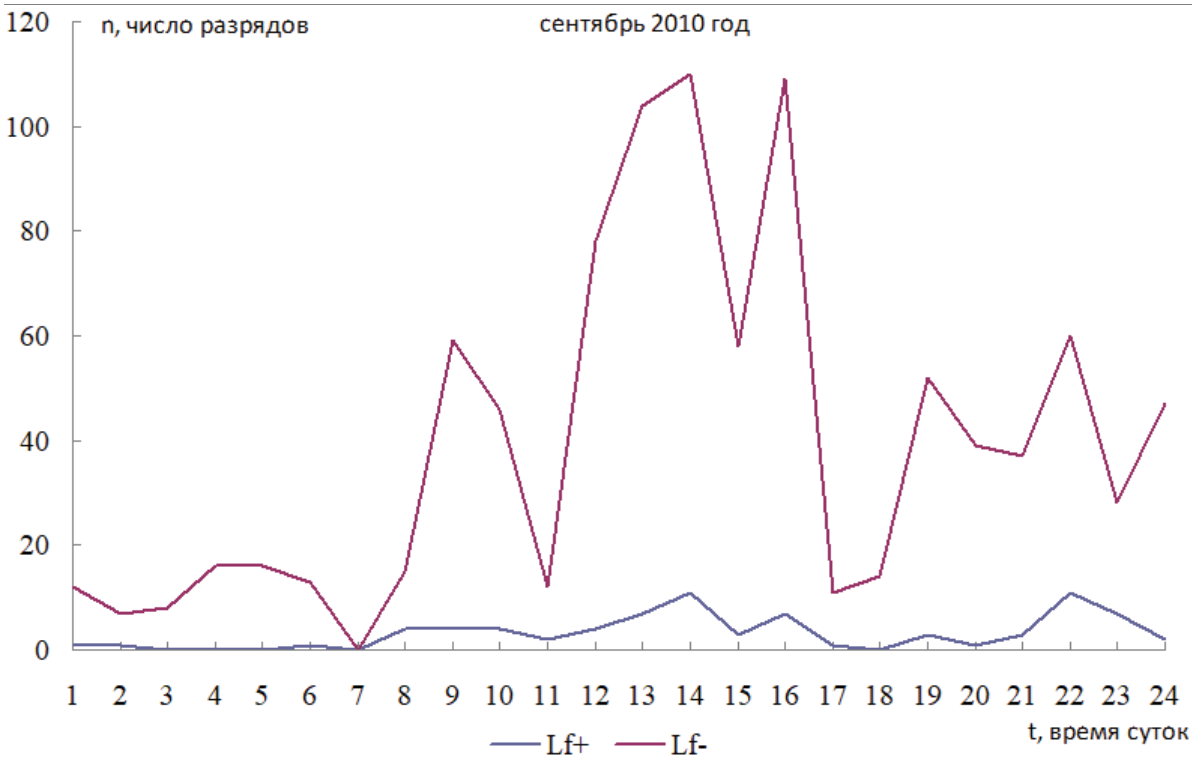

Рис. 4. **Суточная динамика наземных молний различной полярности по территории КБР в сентябре 2010 года**

количество наземных молний приходится на время с 12 до 18 ч. – 60 %, и несколько меньше, 26–30 %, – на время с 18 до 24 ч.

В 2009 году по территории Кабардино-Балкарской республики грозопеленгационная сеть LS 8000 зарегистрировала 9 512 наземных молний. Следовательно, если предположить, что они равномерно распределены по территории КБР, площадь 12 500 км^2, поражаемость составляет 0,8 разр/км^{2}год. В 2012 году поражаемость территории Ставропольского края составила 0,95 разр/км^2 год.

Соотношение наземных положительных и отрицательных молний хорошо иллюстрируют *рис. 3* и *4*, где представлена суточная динамика наземных молний различной полярности. Как видно из этих рисунков, имеет место синхронный ход во времени положительных и отрицательных молний. Кроме этого, количество отрицательных молний значительно больше, чем количество положительных молний, примерно в 4 раза. При этом сравнение *рис. 3* и *4* показывает, что в летний период утренние грозы достаточно редки, а к осени (в сентябре) на исследуемой территории возможны грозы и в утренние часы.

При раздельном рассмотрении параметров молниевых разрядов над горной местностью (высота более 1 км) и равнинной местностями (высота менее 1 км) были получены следующие результаты.

ВЫВОДЫ

В работе показано, что среднегодовое распределение плотности грозовых разрядов возрастает с высотой. По данным грозорегистратора LS 8000, плотность ударов молнии на 1 км^2 земной поверхности составляет от 5 до 9 разр/м*км^2 в год. Среднегодовые распределения удельной поражаемости молниями земли по данным ГПС LS 8000 превышают на 22 % расчетные значения удельной поражаемости молниями земли по данным метеостанций.

С использованием ГПС LS 8000 в работе подсчитывалось количество разрядов различной полярности за период с 2009 по 2019 гг. На рассматриваемой территории наибольшее количество молний типа облако-земля приходится на время с 12 до 18 ч., когда оно составляет 60 %, и несколько меньше, 26–30 %, – на время с 18 до 24 ч.

Среднее значение амплитуды тока молниевых разрядов, без разделения по полярности молниевых разрядов, на равнинной территории Северного Кавказа составляет около 9,29 кА, в горной зоне 11,24 кА, а медианное значение амплитуды тока на равнинной территории составляет около 6,56 кА, в горной части 7,99 кА. Такую особенность необходимо учитывать при разработке рекомендаций по грозозащите конкретных высоковольтных линий, зданий и сооружений в указанных районах.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

2. Аджиев А.Х., Богаченко Е.М. Применение радиотехнических средств для оценки используемых в грозозащите параметров разряда молнии // Элек¬тричество. 1990. № 7. С. 18–20.

3. Аджиев А.Х. и др. Особенности грозозащиты ВЛ в горных условиях: параметры разрядов молнии; влияние структуры грунтов и рельефа местности; схемы грозозащиты // «Проектирование и технология электронных средств». 2004. С. 50–54.

4. Бадахова Г.Х., Лашманов Ю.К., Шмигельский В.А. Динамика и современный режим грозовой активности над Центральным Предкавказьем // Наука. Инновация. Технология. 2018. Вып. № 4. С. 117–130.

5. Аджиев А.Х., Черкесов А.А., Керефова З.М. Региональные особенности грозовой активности (на примере территории Кабардино-Балкарской Республики) // Наука. Инновации. Технологии. 2023. № 4. С. 83–102.

6. Аджиева А.А., Керефова З.М., Гятов Р.А. Поражаемость территории и объектов Северного Кавказа молниями // Наука. Инновации. Технологии. 2020. № 3. С. 107–122.

7. Керефова З.М., Аджиева А.А., Кортиев А.Л., Гятов Р.А. Современные методы и средства мониторинга грозовой деятельности // Успехи современного естествознания. 2024. № 1. С. 64–73.

8. Beck H.E., Zimmermann N.E., McVicar T.R., Vergopolan N., Berg A., Wood E.F. (2018). Present and future 374 Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution // Sci. Data. № 5. P. 180–214.

REFERENCES

1. Adzhiev A.Kh., Kuliev D.D. (2018). Characteristics of thunderstorm activity and parameters of lightning discharges in the south of the European part of Russia // Izvestia RAS. Physics of the atmosphere and ocean. T. 54. No. 4. P. 437–445.

2. Adzhiev A.Kh., Bogachenko E.M. Application of radio engineering means to evaluate lightning discharge parameters used in lightning protection. // Electricity. 1990. No. 7.s. 18–20.

3. Adzhiev A.Kh.. et al. Features of lightning protection of overhead lines in mountain conditions: parameters of lightning discharges; influence of soil structure and terrain; lightning protection schemes // "Design and technology of electronic means". 2004. p. 50–54.

4. Badakhova G.Kh. Lashmanov Yu.K. Shmigelsky V.A. Dynamics and modern regime of thunderstorm activity over the Central Ciscaucasia. The science. Innovation. Technology. 2018. Vol. No. 4. P. 117–130.

5. Adzhiev A.Kh., Cherkesov A.A., Kerefova Z.M. Regional features of thunderstorm activity (using the example of the territory of the Kabardino-Balkarian Republic) // Science. Innovation. Technologies. 2023. No. 4. P. 83–102.

6. Adzhieva A.A., Kerefova Z.M., Gyatov R.A. Damage to the territory and objects of the North Caucasus by lightning // Science. Innovation. Technologies. 2020. No. 3. P. 107–122.

7. Kerefova Z.M., Adzhieva A.A., Kortiev A.L., Gyatov R.A. Modern methods and means of monitoring thunderstorm activity // Advances in modern science. 2024. No. 1. P. 64–73.

8. Beck H.E., Zimmermann N.E., McVicar T.R., Vergopolan N., Berg A., Wood E.F. (2018). Present and future 374 Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution // Sci. Data. No. 5. P. 180–214.