

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.66>

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ОБЛАЧНЫХ РАЗРЯДОВ МОЛНИИ

Научная статья

Аджиев А.Х.¹, Аджиева А.А.², Кереева З.М.^{3,*}, Тумгоева Х.А.⁴³ORCID : 000002001803759;^{1,3}Высокогорный геофизический институт, Нальчик, Российская Федерация²Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, Нальчик, Российская Федерация⁴Ингушский государственный университет, Магас, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (zknyaz-kbsu[at]mail.ru)

Аннотация

Приведены результаты инструментальных исследований пространственно-временной динамики облачных разрядов молний на территории Северного Кавказа. В работе использована система сбора данных о местоположении молнии – Earth Networks Total Lightning Network (TLN), позволяющая определять высоту формирования облачного разряда молнии. Система грозопеленгации TLN разработана фирмой Earth Networks (США). В 2023 году система грозопеленгации зарегистрировала 2 265 613 облачных молний, что составляет около 80% от общего числа молний всех типов.

Анализ полученных результатов показал, что в развивающихся грозовых облаках Северного Кавказа грозовая деятельность начинается облачными молниевыми разрядами, когда их максимальная радиолокационная отражаемость достигает Z_{\max}^{340} dBZ. Частота разрядов увеличивается по мере увеличения отражаемости конвективного облака, интегрального водосодержания и усиления процесса осадкообразования.

Больше половины облачных молний происходит в облаке на уровнях от 3 км до 5 км (на изотермах от 0°C до минус 10°C), где по современным представлениям сосредоточен основной отрицательный электрический заряд облака.

Ключевые слова: гроза, молния, грозопеленгация, грозовые процессы, отражаемость облака, ветер.

SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMICS OF CLOUD LIGHTNING DISCHARGES

Research article

Adzhiev A.K.¹, Adzhieva A.A.², Kerreeva Z.M.^{3,*}, Tumgoeva K.A.⁴³ORCID : 000002001803759;^{1,3}High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, Russian Federation²Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Nalchik, Russian Federation⁴Ingush State University, Magas, Russian Federation

* Corresponding author (zknyaz-kbsu[at]mail.ru)

Abstract

The results of instrumental studies of spatial and temporal dynamics of cloud lightning discharges on the territory of the North Caucasus are presented. Earth Networks Total Lightning Network (TLN), a system of data collection on lightning location, which allows to determine the height of cloud lightning discharge formation, was used in this work. The TLN lightning location system was developed by Earth Networks (USA). In 2023, the lightning location system registered 2,265,613 cloud lightning discharges, which is about 80% of the total number of lightning discharges of all types.

The analysis of the obtained results showed that in developing thunderstorm clouds of the North Caucasus, thunderstorm activity starts with cloud lightning discharges when their maximum radar reflectivity reaches Z_{\max}^{340} dBZ. The frequency of discharges increases with increasing convective cloud reflectivity, integral water content and intensification of precipitation formation.

More than half of cloud lightning occurs in the cloud at levels from 3 km to 5 km (on isotherms from 0°C to minus 10°C), where according to modern ideas the main negative electric charge of the cloud is concentrated.

Keywords: thunderstorm, lightning, lightning detection, thunderstorm processes, cloud reflectivity, wind.

Введение

Гроза – опасное природное явление, оказывающее негативные воздействия на объекты жизнедеятельности и людей. Основными опасными факторами грозы являются разряды молнии и сильный ветер. Проблема электромагнитной совместимости с молнией актуальна в настоящее время, когда имеет место широкое использование цифровых технологий в промышленности и в объектах жизнедеятельности. Наблюдаемый переход к цифровым управляющим системам, основанным на smart-технике, требует принципиального повышения надежности функционирования при грозах не только силового электрооборудования, но и управляющего оборудования.

Молния – мощный электрический разряд в атмосфере. Разряды между заряженной областью в облаке и землей принято именовать наземными молниями. Они подразделяются на положительные, если нейтрализуется положительный электрический заряд в облаке и на отрицательные, если в облаке нейтрализуется отрицательный электрический заряд. Если происходит искровой разряд между электрически разноименно заряженными зонами в облаке или соседними облаками их именуют облачными молниями.

Наземные молниевые разряды изучены достаточно полно [1], [2], [3], [4]. Получены значения токов молнии [2], [4], продолжительность разряда молнии (время нарастания волны тока, время её спада) [3], пространственное расположение молнии относительно конвективного облака [4]. Исследования параметров наземных молний позволили разработать методы и средства защиты от воздействия наземных молний на объекты жизнедеятельности [5], [6], [7].

В отличие от наземных молний, облачные молнии исследованы не в полной мере. Не получены данные нейтрализуемых, при разрядах, токов молнии, продолжительности разрядов и другие параметры. Хотя облачные молнии, как и наземные, являются факторами негативного воздействия на радиотехнические средства, в частности на летательные аппараты. При этом доля облачных молний в общем количестве всех разрядов составляет около 88% [4], данные для территории Северного Кавказа.

Данная работа посвящена исследованию статистических и пространственно-временных распределений облачных молний.

Методы и принципы исследования

Облачные разряды и разряды облако-земля излучают радиоволны в широком диапазоне частот. Стримеры – элементы наземных молний, прокладывающие электропроводящие каналы в атмосфере, создают сильные излучения в VHF (Very High Frequency) диапазоне. Во время прохождения больших токов по ранее созданным каналам (возвратные удары), наиболее сильные излучения происходят в LF (Low Frequency) и VLF (Very Low Frequency) диапазонах. В LF и VLF диапазонах излучения разрядов молнии облако-земля наиболее сильное [2], [3], [7]. На закономерностях указанных электромагнитных излучений разрядов молний разработаны методы и средства измерения характеристик разрядов молний, включающие время разряда молнии, ее координаты, длительность разряда, полярность наземных молний, сила тока и др. [8].

К настоящему времени в России и за рубежом широко используют грозопеленгационные сети (ГПС) для мониторинга молниевых разрядов и измерения параметров молний [8], [9].

Их использование позволили получить широкий спектр характеристик наземных разрядов молний. В частности для территории Северного Кавказа получены следующие данные [8], [9]:

- Динамика сезонной грозовой активности характеризуется максимумом в летний период до 22 дней в июне и минимумом 2–3 дня в декабре.

- Соотношение между количеством облачных, наземных, наземных положительных и отрицательных молний характеризуются следующими значениями:

- Доли наземных и облачных в общем количестве всех разрядов составляют 12 и 88% соответственно.

- Доли положительных и отрицательных в общем количестве наземных разрядов составляют 23 и 77% соответственно.

- Среднее значение силы тока положительных молний равняется +10.6 кА. Медианное значение равно +7.6 кА.

- Среднее значение силы тока отрицательных молний составляет –13.5 кА. Медианное значение равно –9.8 кА.

В отличие от наземных молний, характеристики облачных разрядов молний не столь изучены. Это обусловлено отсутствием технических возможностей определения ряда параметров облачных разрядов: полярности, силы тока и др. Фирмой Earth Networks (США) разработана глобальная система сбора данных о местоположении молнии – Earth Networks Total Lightning Network (TLN) позволяет определять высоту формирования облачного разряда [8].

В других широко используемых ГПС [10] такая возможность отсутствует. В данной работе использована система Earth Networks Total Lightning Network для исследования пространственно-временной динамики облачных молний. Пример такого датчика, установленного в пункте Черкесск, приведён на рисунке 1.



Рисунок 1 - Датчик грозорегистратора Total Lightning Network фирмы Earth Networks, установленный в пункте Черкесск

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.66.1>

Координаты мест установок грозопеленгаторов ГПС Total Lightning Network на Северном Кавказе приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Координаты мест установок грозопеленгаторов Total Lightning Network

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.66.2>

№	Населенный пункт	Координаты		
		широта	долгота	высота
1	Черкесск	44.2874 °	42.2404 °	901
2	Зеленокумск	44.4337 °	43.9036 °	172
3	Ставрополь	45.1136 °	42.1012 °	483
4	Кызбурун	43.6787 °	43.4048 °	747
5	Лабинск	44.6546 °	40.7470 °	121
6	Туапсе	44.1031 °	39.0371	118
7	Кореновск	45.48	39.47	69
8	Гигант	46.5166	41.3500	65

На рисунке 2 показаны места установок этих датчиков на карте местности. Территория расположения датчиков ГРС составляет около 500 000 км² и охватывает равнинную, предгорную и горные части Северного Кавказа. Согласно архивным данным ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», на указанной территории часты опасные быстразвивающиеся явления погоды: шквалы, ливни, грозы, град и др. Здесь наблюдаются аномальные грозы. В частности, на рассматриваемой территории в 2023 году 27 июня имело место грозовой процесс, продолжительностью более 1,5 суток.

В течение года на территории исследования наблюдается более 30 дней с градовыми процессами. Суточный максимум осадков, согласно нормативному документу: СП Строительная климатология превышает более 100 мм.

Исходя из этих факторов, можно сделать вывод, что имело место хорошая возможность для исследования грозовых процессов.

Инновационный метод компании Earth Networks основан на получении данных с большего количества широкополосных датчиков, которые по ряду параметров не уступают более дорогим и сложным системам и позволяют осуществлять пространственно-временную динамику облачных разрядов молний. Число сенсоров Earth Networks, участвующих в определении параметров молниевых разрядов, составляло 8 штук, в то время как минимально необходимое количество датчиков для фиксации молниевых разрядов в системе — 5 штук.



Рисунок 2 - Места установок датчиков ENTLS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.66.3>

Основные результаты

В таблице 2 и на рисунке 3 представлены распределения количества облачных молний на различных высотах по месяцам в 2023 году. Всего, как видно из таблицы, система грозопеленгации зарегистрировала 2 265 613 облачных

молний. Всего зарегистрированы 2 832 016 молний, из них 566 403 классифицированы как наземные молнии. Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. По высоте облака наибольшую плотность облачных молний имеет место на высоте 3 км – в зимний период от 70 молний/км до 1993 молний/км, в весенне-осенний период от 179 молний/км до 123720 молний/км и в летний период от 104 703 молний/км до 217 106 молний/км.

2. Наибольшее количество облачных молний в течение года наблюдалось в июне месяце – 720 879 молний. Сезонный ход распределения количества облачных разрядов молний представлен на рисунке 4. Как видно из рисунка 4, на Северном Кавказе даже в зимний период наблюдаются грозы слабой интенсивности.

3. Больше половины облачных молний происходит в облаке на уровнях от 3 км до 5 км, где по современным представлениям сосредоточен основной отрицательный электрический заряд [11].

Таблица 2 - Распределение количества облачных разрядов по высоте в различные месяцы за 2023 год

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.66.4>

Н, км	Количество облачных молний (шт) по месяцам											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	70	409	179	1749 5	1237 20	2171 06	1315 73	1047 03	3787 2	8431	1663	1993
4	38	190	84	9937	6657 8	1105 12	7018 2	5556 6	1750 4	3945	748	1060
5	22	142	99	8136	5227 3	9360 0	6268 0	5037 9	1618 7	3641	545	1003
6	23	109	94	7720	4286 5	7956 1	5804 0	4589 1	1504 1	3416	531	889
7	26	90	90	7319	3633 8	6901 2	5149 9	4449 9	1428 8	3565	510	727
8	12	38	48	3857	2062 6	3821 8	2986 4	2724 5	7275	1196	266	444
9	10	25	64	3594	1550 3	3247 3	2489 7	2441 7	7542	1309	232	325
10	10	39	73	3301	1308 4	2918 1	2284 0	2185 5	7501	1447	146	223
11	7	21	98	2849	1083 0	2616 1	2062 4	2091 8	7027	1442	157	196
12	6	26	67	2652	9228	2505 5	1859 4	1964 0	6552	1574	145	156
Всего	224	1089	896	6686 0	3910 45	7208 79	4907 93	4151 13	1367 89	2996 6	4943	7016

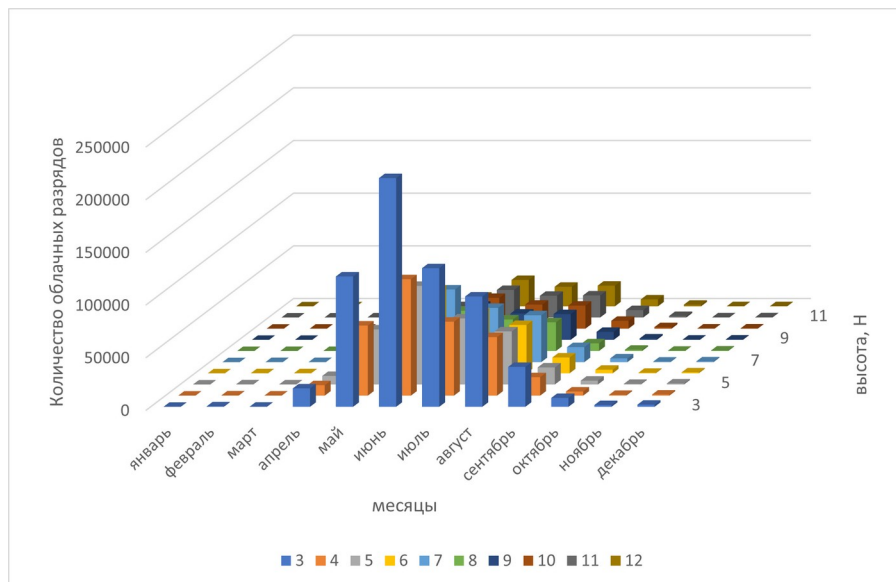


Рисунок 3 - Распределение количество облачных разрядов молний в зависимости от высоты (км) и сезона года
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.66.5>

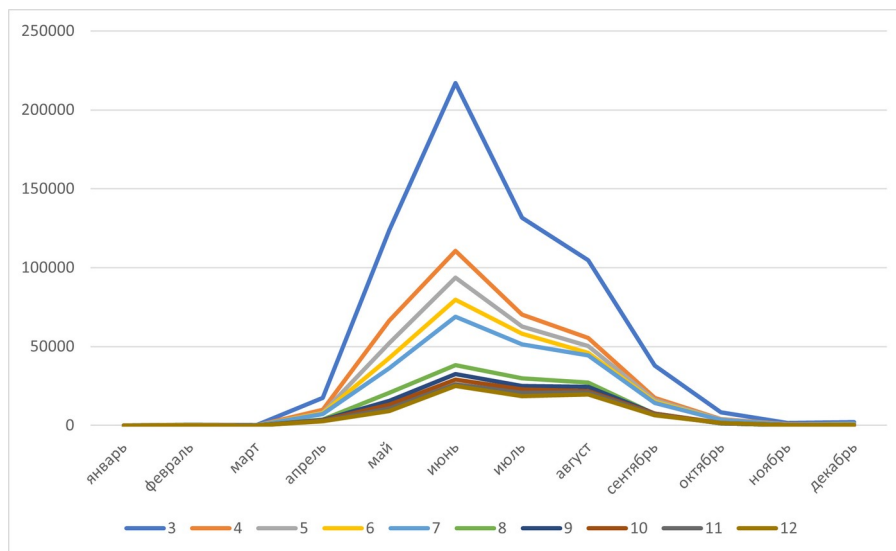


Рисунок 4 - Сезонные распределения количества облачных разрядов молний в зависимости от высоты (км)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.66.6>

Обсуждение

Выполнен анализ пространственно-временной динамики облачных молниевых разрядов на Северном Кавказе за 2023 год по данным выше указанной грозопеленгационной сети компании Earth Networks. В течение 2023 года на территории исследования наблюдались 117 дней с грозовыми процессами. Более 80% гроз были связаны с фронтальными вторжениями воздушных масс, остальные были вызваны развитием внутримассовых процессов. При прогнозе гроз отмечалось, что в осенние и весенние периоды высота нулевой изотермы находилась на уровне от 1 км до 1,5 км. В летний период высота нулевой изотермы находилась на уровне от 3 км до 3,5 км. По данным радиолокационных станций МРЛ5 (ФГБУ «ВГИ») и ДМРЛ-С (Минеральные воды) вертикальные границы конвективных, грозовых облаков в весенние и осенние периоды находились на уровне от 1 км до 8 км. Вертикальные границы конвективных, грозовых облаков в летний период находились на уровне от 2 км до 12 км.

Заключение

Анализ экспериментального материала показал, что электрические внутриоблачные молниевые разряды в конвективных облаках Северного Кавказа начинаются после достижения радиолокационной отражаемости около 40 dBZ. По мере дальнейшего развития облака и усиления процесса осадко-градобразования частота внутри облачных разрядов VHF. Это объясняется тем, что процессы роста дождевых капель, их разбрызгивание, образования и деления кристаллов, зарождение и рост града, приводят к электризации облачных частиц, пространственному разному

вертикальными потоками и мелких и крупных частиц, имеющих разноименные заряды, и росту зарядов напряженности электрического поля до пробойных значений.

Доли наземных и облачных в общем количестве всех разрядов составляют 12% и 88% соответственно. Основное количество облачных разрядов молний происходит в облаке на высотах от 3 км до 5 км в температурном интервале от 0°C до минус 10 °C, где формируется основной отрицательный электрический заряд за счет микрофизических и динамических процессов. Можно полагать, что подъем легких кристаллов и мелких частиц в верхнюю часть облака, где они попадают в сильный горизонтальный поток и выносятся на подветренный фланг, где отмечаются высокие микрофизические и динамические неоднородности и повышенная турбулентность способствуют образованию положительно заряженных зон. Чем интенсивнее микрофизические и динамические процессы, тем больше частота молниевых разрядов между разноименно заряженными областями облака.

Сезонный ход распределения количества облачных разрядов молний на Северном Кавказе свидетельствует, что наибольшее месячное их количество имеет место в июне месяце. Даже в зимний период наблюдаются грозы слабой интенсивности.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Арзаманов Д.Н., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова», Санкт-Петербург, Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.66.7>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Arzamanov D.N., Saint-Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshall of aviation A.A. Novikov, Saint-Petersburg, Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.149.66.7>

Список литературы / References

1. Базелян Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер. — Москва: Физматлит, 2001. — 320 с.
2. Степаненко В.Д. Радиотехнические методы исследования гроз / В.Д. Степаненко, С.М. Гальперин — Ленинград: Гидрометеоздат, 1983. — 204 с.
3. Аджиев А.Х. Характеристики грозовой активности и параметры молниевых разрядов на территории юга европейской части России / А.Х. Аджиев, Д.Д. Кулиев // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. — 2018. — № 4. — С. 437–445.
4. Аджиев А.Х. Грозы Северного Кавказа / А.Х. Аджиев, Е.М. Богаченко. — Нальчик: Полиграфсервис и Т, 2011. — 151 с.
5. СО -153-34.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. Утверждено приказом министерства энергетики России от 30 июня 2003 г. N 280.
6. ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010 Защита от молний. Часть 1. Общие принципы.
7. ГОСТ Р МЭК 62305-2-2010 Защита от молний. Часть 2. Оценка риска.
8. Liu C. The application of total lightning detection and cell tracking for severe weather prediction / C. Liu, S. Heckman. — AWS/WeatherBug, 2011. — P. 1–10.
9. Аджиев А.Х. Система грозопеленгации на Северном Кавказе / А.Х. Аджиев, В.Н. Стасенко, В.О. Тапасханов // Метеорология и гидрология. — 2013. — № 1. — С. 5–11.
10. Аджиев А.Х. Оценка параметров работоспособности грозопеленгационных систем LS8000 и ENTLS в регионе Северного Кавказа / А.Х. Аджиев, Д.Д. Кулиев, В.Н. Стасенко // Метеорология и гидрология. — 2022. — № 4. — С. 117–126.
11. Тарасов Л.В. Ветры и грозы в атмосфере земли / Л.В. Тарасов. — Долгопрудный: Интеллект, 2011. — 277 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bazeljan E.M. Fizika molnii i molniezaschity [Physics of lightning and lightning protection] / E.M. Bazeljan, Ju.P. Rajzer. — Moskva: Fizmatlit, 2001. — 320 p. [in Russian]
2. Stepanenko V.D. Radiotekhnicheskie metody issledovaniya groz [Radiotechnical methods of thunderstorm research] / V.D. Stepanenko, S.M. Gal'perin — Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983. — 204 p. [in Russian]
3. Adzhiev A.H. Harakteristiki grozovoj aktivnosti i parametry molnievyh razrjadov na territorii juga evropejskoj chasti Rossii [Characteristics of thunderstorm activity and parameters of lightning discharges in the territory of the southern European part of Russia] / A.H. Adzhiev, D.D. Kuliev // Izvestija RAN. Fizika atmosfery i okeana [News of the Russian Academy of Sciences. Atmospheric and ocean Physics]. — 2018. — № 4. — P. 437–445. [in Russian]
4. Adzhiev A.H. Grozy Severnogo Kavkaza [Thunderstorms of the North Caucasus] / A.H. Adzhiev, E.M. Bogachenko. — Nal'chik: Poligrafservis i T, 2011. — 151 p. [in Russian]
5. SO -153-34.21.122-2003. Instrukcija po ustrojstvu molniezashhity zdanij, sooruzhenij i promyshlennyh kommunikacij. Utverzhdeno prikazom ministerstva jenergetiki Rossii ot 30 ijunja 2003 g. N 280 [CO -153-34.21.122-2003. Instructions for

the installation of lightning protection for buildings, structures and industrial communications. Approved by order of the Ministry of Energy of Russia dated June 30, 2003 N 280]. [in Russian]

6. GOST R MJeK 62305-1-2010 Zashhita ot molnij. Chast' 1. Obshhie principy [GOST R IEC 62305-1-2010 Protection against lightning. Part 1. General principles]. [in Russian]

7. GOST R MJeK 62305-2-2010 Zashhita ot molnij. Chast' 2. Ocenka riska [GOST R IEC 62305-2-2010 Protection against lightning. Part 2. Risk assessment]. [in Russian]

8. Liu C. The application of total lightning detection and cell tracking for severe weather prediction / C. Liu, S. Heckman. — AWS/WeatherBug, 2011. — P. 1–10.

9. Adzhiev A.H. Sistema grozopelengatsii na Severnom Kavkaze [Lightning detection system in the North Caucasus] / A.H. Adzhiev, V.N. Stasenko, V.O. Tapashanov // Meteorologija i gidrologija [Meteorology and Hydrology]. — 2013. — № 1. — P. 5–11. [in Russian]

10. Adzhiev A.H. Otsenka parametrov rabotosposobnosti grozopelengatsionnyh sistem LS8000 i ENTLS v regione Severnogo Kavkaza [Evaluation of the performance parameters of lightning detection systems LS8000 and ENTLS in the North Caucasus region] / A.H. Adzhiev, D.D. Kuliev, V.N. Stasenko // Meteorologija i gidrologija [Meteorology and Hydrology]. — 2022. — № 4. — P. 117–126. [in Russian]

11. Tarasov L.V. Vetry i grozy v atmosfere zemli [Winds and thunderstorms in the earth's atmosphere] / L.V. Tarasov. — Dolgoprudnyj: Intelekt, 2011. — 277 p. [in Russian]