

Раздел IV. Электроника и управление

УДК 551.594.21

**А.Х. Аджиев, Г.В. Куповых, В.Ю. Андриевская, Н.В. Юрченко,
Т.В. Кудринская, А.А. Редин**

МОНИТОРИНГ ХАРАКТЕРИСТИК ГРОЗОВОЙ АКТИВНОСТИ НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Приведены результаты инструментальных исследований грозовой деятельности на территории юга европейской части Российской Федерации. Использованный грозорегистратор LS8000 имеет в своем составе восемь грозопеленгаторов и центральный пункт приема и обработки информации. Каждый грозопеленгатор имеет по два датчика – низкочастотный и высокочастотный. Низкочастотный датчик фиксирует молниевые разряды типа Облако-Земля. Высокочастотный датчик фиксирует молниевые разряды только типа Облако-Облако и внутри облачные. Зоны обзора для разных типов молниевых разрядов следующие: для молниевых разрядов Облако-Земля радиус области обзора составляет 625 км от центров сети, а разрядов Облако-Облако - 325 км. Для отображения данных о молниевых разрядах на карте местности в состав грозопеленгационной сети входит программное приложение LTS-2005, которое позволяет реализацию визуальной информации в режиме реального времени. Для измерения напряженности электрического поля атмосферы при грозовых процессах использован аппаратно-программный комплекс, включающий в себя измерители электрического поля атмосферы EFM550 (фирма Vaisala), а также программное обеспечение для решения задач измерения, передачи и визуализации значений напряженности электрического поля атмосферы и параметров молниевых разрядов. Аппаратно-программный комплекс EFM550 обеспечивает измерение значения напряженности электрического поля атмосферы с частотой 2 Гц. Максимальные и минимальные значения при измерении напряженности электрического поля составляют $\pm 10\,000$ В/м. Выявлены особенности пространственно-временных изменений грозовой активности на территории радиусом 650 000 км вокруг центра грозопеленгационной сети ФГБУ «ВГИ», г. Нальчик, охватывающей Северный Кавказ и побережье Черного моря. Общее количество грозовых дней в году на рассматриваемой территории составляет около 240. Доля наземных разрядов молний (положительных и отрицательных) на территории составляет 13 % от общего их количества молний, а облачных и меж облачных – 88 %. Согласно полученным данным, доля положительных разрядов составляет около 23 % от общего количества разрядов облако-земля. Среднее значение токов в отрицательных молниях составляет 13,5 кА, в положительных – 10,6 кА.

Гроза; молния; токи молнии; грозопоражаемость; грозопеленгация; грозовые процессы, электрическое поле.

**A.K. Adzhiev, G.V. Kupovykh, V.Y. Andrievska, N.V. Yurchenko,
T.V. Kudrinskaya, A.A. Redin**

MONITORING OF THE STORM ACTIVITY CHARACTERISTICS IN THE SOUTH OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

The results of instrumental studies of storm activity in the south of the European part of the Russian Federation are obtained. The thunder Registrar LS8000 consists of eight thunderstorm seekers and a central point for receiving and processing information. Each lightning finder has two sensors - low-frequency and high-frequency. The low-frequency sensor captures, mainly,

lightning discharges of the Cloud-Earth type. The high-frequency sensor fixes lightning discharges only of Cloud-Cloud type and inside of the cloud. The survey areas for different types of lightning discharges are as follows: for Cloud-Earth lightning discharges, the radius of the field of view is 625 km from the centers of the network, while the Cloud-Cloud radius is 325 km. To display data on lightning discharges on a terrain map, the LTS-2005 software application is included in the lightning-routing network, which allows a real-time visual information implementation. To measure the intensity of the electric field of the atmosphere during thunderstorms, a hardware-software complex including the electric field field meters EFM550 (Vaisala) was used, and software was used to solve problems of measuring, transmitting and visualizing the values of the electric field strength of the atmosphere and the parameters of lightning discharges. The hardware-software complex EFM550 provides measurement of the electric field strength of the atmosphere at a frequency of 2 Hz. The maximum and minimum values for measuring the electric field strength are $\pm 10,000$ V/m. The features of spatial and temporal variations of thunderstorm activity within a radius of 650 000 km around the center of storm DF network in the city of Nalchik, covering the North Caucasus and the Black Sea coast are found. Total number of thunderstorm days per year on the territory in question is about 240. The share of terrestrial lightning discharges (positive and negative) on the territory equal to 13 % of the total number of lightning, and the proportion of cloud and intercloud discharge is 88 %. According to the study, the proportion of positive discharge is about 23 % of the total number of cloud-to-ground discharges. The average value of the currents in the negative lightning is 13.5 kA, in the positive – 10.6 kA.

Storm; lightning; lightning currents; storm susceptibility; storm direction finding; thunderstorm processes, electric field.

1. Введение. Грозы относятся к числу наиболее опасных явлений погоды. С ними нередко связаны возникновения пожаров, разрушения зданий, повреждение линий электропередач, нарушения движения самолетов и поездов и др. Прямое попадание молнии в человека обычно приводит к летальному исходу. В целом гроза – это комплексное атмосферное явление, признаками которого являются многократные электрические разряды (молнии) между разноименно заряженными областями облака - облачные разряды, разными облаками – меж облачные разряды или между облаками и землей – наземные разряды. Как правило, очень часто грозы сопровождаются сильным шквалистым ветром, ливневыми осадками и градом.

Грозы также рассматриваются основным генератором энергии в глобальной атмосферной электрической цепи [1–3]. Суточный ход значения напряженности электрического поля атмосферы служит объектом разделения глобальных и локальных факторов атмосферного электричества. Поэтому он наиболее изучен из всех закономерностей атмосферного электричества [4–6]. Наиболее значительные искажения в естественный ход напряженности поля атмосферы вносят грозовые процессы, связанные с генерацией объемного заряда в облаках, туманах и зонах осадков.

Оперативное определение местоположения гроз, интенсивности, направления и скорости перемещения и среднестатистических параметров молний имеет большое практическое значение для многих отраслей хозяйственной деятельности человека. В частности, для метеообеспечения авиации, молниезащиты энергетических объектов и др. [7]. А знание среднестатистических параметров молний и удельной поражаемости территории молниями способствуют разработке молниезащитных мероприятий различных объектов [8, 9].

До сих пор основным источником информации о грозах в России являются визуально-слуховые наблюдения, которые проводятся на метеорологических станциях, входящих в состав служб штормового оповещения [10]. Днем с грозой считается день, в течение которого отмечается хотя бы одна гроза любой продолжительности. Радиус сбора информации о грозах на таких станциях составляет от 10 до 20 км, в зависимости от их местоположения и интенсивности грозовых процессов.

В настоящее время происходит переход от визуально-слуховых наблюдений за грозами к инструментальному мониторингу. В данной работе представлены результаты инструментальных измерений атмосферно – электрических характеристик. С целью более детального пространственно-временного анализа изменений электрического поля атмосферы в данной работе проведены совместные исследования суточных вариаций напряженности электрического поля атмосферы при грозах и параметров разрядов молний в зоне репрезентативной регистрации датчиками электрического поля.

2. Экспериментальное оборудование. Грозорегистратор LS8000, установленный на Северном Кавказе в 2008 году состоит из восьми грозопеленгаторов (датчиков) и центрального пункта приема и обработки информации.

Координаты местоположений грозопеленгаторов и центрального пункта приведены в табл. 1.

Каждый грозопеленгатор имеет по два датчика – низкочастотный (LF) и высокочастотный (VHF). Низкочастотный датчик LF фиксирует, в основном, молниевые разряды типа Облако-Земля. Высокочастотный датчик VHF фиксирует молниевые разряды только типа Облако-Облако и внутри облачные.

Зоны обзора для разных типов молниевых разрядов различные. Для молниевых разрядов Облако-Земля радиус области обзора составляет 625 км от центров сети, а разрядов Облако-Облако - 325 км. Зона обзора грозопеленгационной сети приведена на рис. 1. Как видно из рисунка зона обзора перекрывает территории юга европейской части России и республик Закавказья.

Таблица 1

Координаты местоположений грозопеленгаторов и центрального пункта

Место расположения	Координаты		
	Широта	Долгота	Высота, м
Черкесск	44,2874 °	42,2404 °	901
Зеленокумск	44,4337 °	43,9036 °	172
Ставрополь	45,1136 °	42,1012 °	483
Кызбурун	43,6787 °	43,4048 °	747
Пуличев	48,1103 °	41,1489 °	113
Весёлый	47,7238 °	40,0822 °	145
Подгоренская	47,5595 °	42,3670 °	87
Комаров	47,2797 °	41,2740 °	58
Центральный пункт (ВГИ), г.Нальчик	43,4694 °	43,5861 °	540

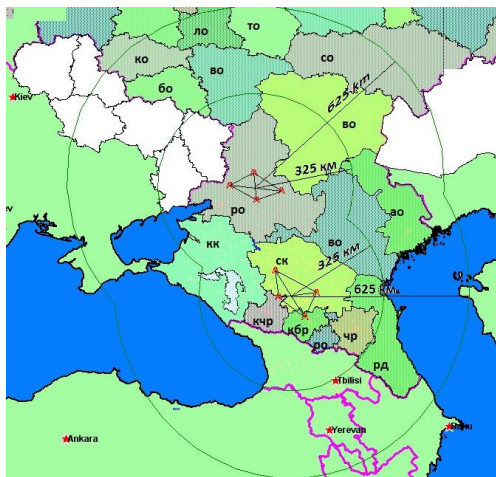
По данным, полученным с LF и VHF датчиков, центральные процессоры (CP8000), расположенные в центрах приема и обработки информации, выдают до 25 параметров по каждому молниевому разряду. Основные параметры следующие:

для молниевых разрядов Облако-Земля:

- ◆ Дата и время с точностью до 100 наносекунд.
- ◆ Широта, долгота (WGS-84) (координаты разряда).
- ◆ Сила и полярность сигнала (тока в канале разряда), в кА.
- ◆ Классификация разрядов на положительные и отрицательные.
- ◆ Время роста сигнала до пикового значения, в мкс.
- ◆ Время спада сигнала от пикового значения до нуля, в мкс.

для молниевых разрядов Облако-Облако и внутри облачные:

- ◆ Дата и время с точностью до 100 наносекунд.
- ◆ Широта, долгота (WGS-84) (координаты разряда).



(Обозначения: КК, РО, ... - Краснодарский край, Ростовская область и т.д.)

Рис. 1. Зона обзора гронопеленгационной сети LS8000

Благодаря таким инструментальным измерениям можно достаточно точно определять:

- ◆ начало, окончание и продолжительность грозовых явлений на юге европейской части России, а также динамику их развития и траекторию перемещения;
- ◆ пространственное местоположение разрядов молний, их классификация по типам и полярностям (знак переносимого молнией на землю электрического заряда);
- ◆ значения амплитуды токов в каналах наземных разрядов молний и временные характеристики нарастания и спада импульсов токов.

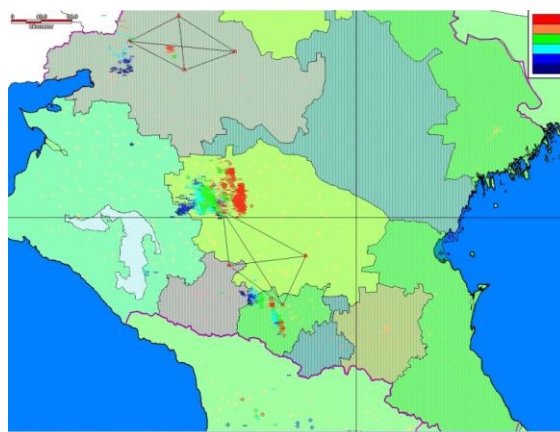
Система позволяет автоматическую регистрацию указанной информации, их архивирование и визуализацию информации в различных форматах: в виде табличных данных, в виде точек координат молний, наложенных на карты местности (рис. 2), в виде цветовой индикацией на различных картосхемах и др.

Для отображения данных о молниевых разрядах на карте местности в состав гронопеленгационной сети LS 8000 входит программное приложение LTS-2005, которое позволяет его реализацию в режиме реального времени (рис. 2). Цвет разрядов показывает временной диапазон, в течение которого произошли эти разряды. Красный цвет показывает разряды, которые произошли в последние 30 минут. Знаки «+» и «-» показывают полярности молниевых разрядов.

Методика измерений напряженности электрического поля атмосферы и состав аппаратуры выбирались с учетом возможности их работы без обслуживания длительное время, что позволяет собрать за короткий период времени достаточное количество измерений.

Для измерения напряженности электрического поля атмосферы при грозовых процессах был разработан аппаратно-программный комплекс, включающий в себя:

- ◆ измерители электрического поля атмосферы EFM550 фирмы Vaisala;
- ◆ программное обеспечение для решения задач измерения, передачи и визуализации значений напряженности электрического поля атмосферы и параметров молниевых разрядов.



Обозначения:

«+» - разряды «облако-земля» положительной полярности; «-» - разряды «облако-земля» отрицательной полярности; O – межоблачные и внутриоблачные разряды;
 ▲ - местоположение датчиков грозопеленгационной сети.

Рис. 2. Пример отображения грозового процесса на карте местности

Аппаратно-программный комплекс EFM550 производит измерение значения напряженности электрического поля атмосферы с частотой 2 Гц, т.е. каждые 0,5 секунды. Максимальные и минимальные значения напряженности, которые может измерить EFM550, составляют $\pm 10\,000$ В/м [11, 12]. Измеренные значения сохраняются на жестком диске компьютера. По этим данным можно изучать суточные и сезонные вариации напряженности электрического поля атмосферы с помощью программного обеспечения аппаратно-программного комплекса EFM550. На рис. 3 приведен суточный ход напряженности электрического поля атмосферы за 26.05.2013.

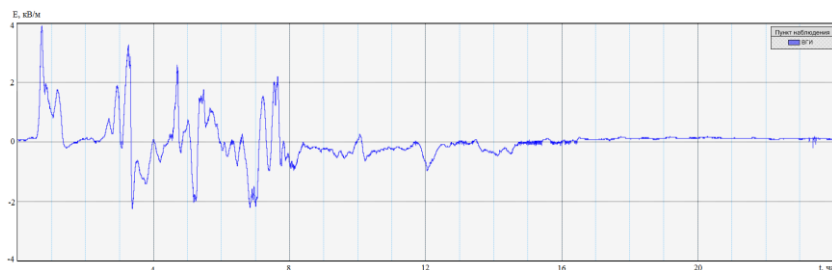


Рис. 3. Суточный ход напряженности электрического поля атмосферы за 26.05.2013

В данной работе для отслеживания вариации напряженности электрического поля атмосферы используется аппаратно-программный комплекс на основе измерителя напряженности электрического поля атмосферы EFM550 (Vaisala, Финляндия) [13].

С целью выявления роли грозовых явлений в суточных вариациях напряженности поля атмосферы нами были проведены синхронные регистрации электрического поля и характеристик грозы.

3. Результаты и обсуждения

3.1. Грозовая активность. В целом на территории юга европейской части России наблюдается достаточно стабильная грозовая активность. Всего за годы работы с 2008 по 2015 гг. система зарегистрировала около 1800 дней с грозой. Из них 192 дня характеризуются как интенсивные грозы с количеством наземных молний в грозовой период более 10 000 разрядов в день.

Наибольшее число дней с грозой отмечено в 2009 г. – 308 дня, и наименьшее – 219 дня в 2014 г. Средняя грозовая активность на рассматриваемой территории за указанный период составляет 239 дня с грозой в год.

За рассматриваемый период над территорией обзора зафиксировано более 6 600 000 молниевых разрядов Облако-Земля и более 48 000 000 молниевых разрядов Облако-Облако.

Наиболее интенсивным по количеству грозовых разрядов был 2012 год, когда было зафиксировано 1 383 872 молниевых разрядов Облако-Земля и 9 677 760 молниевых разрядов Облако-Облако. Рекордный день по числу молниевых разрядов пришелся на день в этом году, а именно 21 мая 2012 года, когда за сутки произошло более 82 000 наземных и более 330 000 внутриоблачных разрядов.

Сезонный ход грозовой активности (число наземных молниевых разрядов в месяц) представлен на рис. 4.

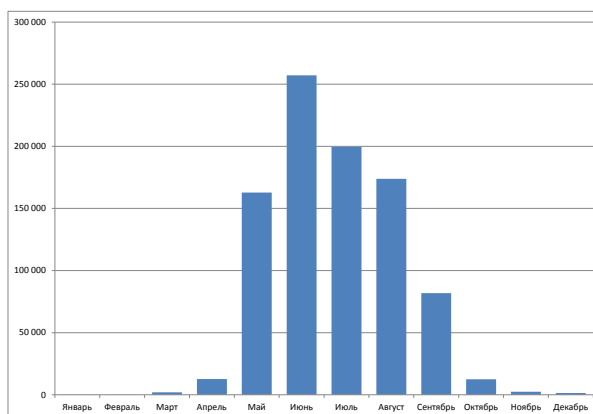


Рис. 4. Среднее количество наземных молниевых разрядов по месяцам за период 2008–2015 года

3.2. Исследования параметров молниевых разрядов на юге европейской части России. За время эксплуатации, с августа 2008 года до 1 января 2016 года, грозопеленгационная сеть LS8000 зарегистрировало 1 511 461 положительных и 5 140 336 отрицательных молниевых разрядов типа Облако-Земля, и около 48 000 000 внутри облачных разрядов. Согласно этим данным, количество положительных разрядов составляет около 23% от общего количества разрядов Облако-Земля.

Следует отметить, что соотношение количества грозовых разрядов различных типов для отдельного грозового явления или за период наблюдений значительно варьируется в зависимости от широты местности, высоты над уровнем моря рассматриваемой территории и чувствительности используемой аппаратуры [14-17].

Так, в работе [18] для континентальной части США (от 25° до 49° N) среднее значение доли разрядов «облако-земля» приводится равным 25,4-27,5 %, с высокими значениями > 50% для горной местности и низкими 20-10 % для равнинной.

По результатам обработки данных стационарного грозорегистратора для территории центральной Якутии в [19] получено, что соотношение количества разрядов типа «облако-земля» варьируется от года к году от 40 до 60%, что является довольно завышенной величиной по сравнению с вышеуказанными литературными источниками. Усредненные за сезон значения процентной доли разрядов «облако-земля» в день составляет 45...59 %.

Для юга европейской части России доля наземных разрядов от общего количества зарегистрированных грозопеленгационной сетью ФГБУ «ВГИ» за период с 2008 по 2016 годы составляет около 13 %, что близко к значениям, полученным аналогичной аппаратурой для равнинной части территории США [18].

Молнии в землю принято классифицировать и по знаку переносимого электрического заряда – на положительные и отрицательные. Согласно полученным данным на юге европейской части России в наземных разрядах доминируют молнии отрицательной полярности, средняя доля которых за 7-ми летний период наблюдений составляет около 77 %.

Эти результаты хорошо согласуются с исследованиями в различных регионах. Так в исследованиях в Якутии [19] за 4-х летний период с 2009 по 2012 гг. доля отрицательных разрядов молний за один грозовой день составила от 75 % (2012 г.) до 92 % (2009 г.).

В десятилетних наблюдениях грозовой деятельности на территории Германии [20] доля положительных разрядов составила в среднем в год 17 % с наибольшим среднегодовым значением более 21 % в 2001 и 2006 гг.

Таким образом, для юга европейской части России характерно значительное преобладание облачных (меж облачных) разрядов молний до 88 % от общего числа регистрируемых грозорегистратором LS8000 молний. При этом доля положительных разрядов от общего числа наземных молний составляет около 23 %, что соответствует принятым значениям для средних широт (20 %).

На рис. 5 приводятся статистические распределения значений токов отрицательных и положительных разрядов молний характерных для всей территории европейской части России.

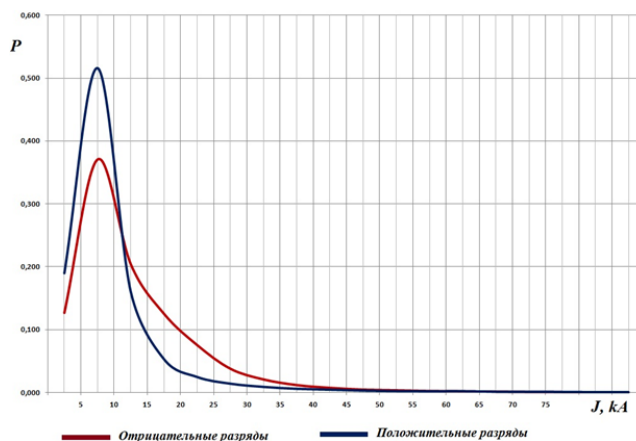


Рис. 5. Распределение значений токов молнии отрицательной и положительной полярности

Для положительных разрядов самый слабый зафиксированный импульс измеренной силы тока составляет +2,1 кА. Самый большой импульс +311 кА. Среднее значение силы тока равняется +10,6 кА. Медианное значение равно +7,6 кА.

Для отрицательных разрядов самый слабый импульс измеренной силы тока составляет -2,1 кА. Самый сильный -326 кА. Среднее значение силы тока составляет -13,5 кА. Медианное значение равно -9,8 кА.

3.3. Влияния гроз на вариации градиента потенциала напряженности электрического поля атмосферы. С помощью системы измерителя электрического поля получен ход напряженности в дни с грозами и на них были наложены данные о количестве разрядов облако-земля и облако-облако, полученные при помощи грозопеленгатора LS8000. В результате таких исследований получено следующее.

На рис. 6–7 показаны совмещенные данные напряженности электрического поля атмосферы с данными количества молниевых разрядов для дней с грозами над выбранной территорией. На рисунках показаны графики значений напряженности электрического поля атмосферы (соответствующая ось с левой стороны). В виде гистограммных столбиков показано количество молниевых разрядов над выбранной территорией (соответствующая ось с правой стороны).

Всего за исследуемые дни (6, 13, 16 и 17 мая 2013 года) в зоне действия измерителя (территория ограничена окружностью радиусом 10 км в точке установки EFM 550) зарегистрировано около 3928 разрядов. Из них «VHF» - 3610, «LF+» - 64, «LF-» - 254.



Рис. 6. Ход напряженности электрического поля и количество разрядов облако-земля от времени, за 17 мая 2013 года (— количество положительных разрядов, — количество отрицательных разрядов)

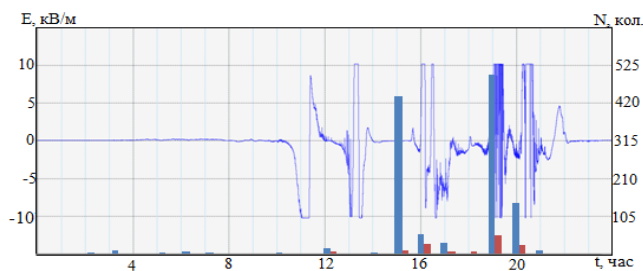


Рис. 7. Ход напряженности электрического поля и количество разрядов облако-облако и облако-земля (сумма положительных и отрицательных) от времени, за 17 мая 2013 года (— количество разрядов облако-облако, — количество разрядов облако-земля)

Реакцией напряженности поля на молниевые разряды являются резкие скачки от нормального значения +130 В/м до значений от -10 кВ/м до +10 кВ/м после каждого разряда. Из табл. 2 мы видим, что в момент резких скачков напряженности электрического поля атмосферы наблюдается грозовая активность.

Таблица 2

Информация о количествах и типов разрядов молний в различные дни на территории регистрации электрического поля

Время\ Дата	06.05.2013			13.05.2013			16.05.2013			17.05.2013		
	LF-	LF+	VHF	LF-	LF+	VHF	LF-	LF+	VHF	LF-	LF+	VHF
00.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
01.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02.00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
03.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
04.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05.00	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	5
06.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
07.00	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4
08.00	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10.00	0	0	0	0	0	1	2	1	28	0	0	5
11.00	0	0	0	1	0	0	5	2	75	0	0	1
12.00	0	0	0	7	2	103	30	7	57	7	1	16
13.00	0	0	0	69	13	1373	0	0	0	1	0	0
14.00	2	0	5	0	0	39	0	0	0	0	0	3
15.00	16	4	291	0	0	7	0	0	0	10	1	436
16.00	12	4	107	0	0	0	0	0	0	18	11	55
17.00	0	0	252	0	0	0	0	0	0	5	1	31
18.00	0	0	9	0	0	0	0	0	0	8	0	1
19.00	0	0	20	0	0	0	0	0	0	39	13	496
20.00	0	0	11	0	0	0	0	0	0	22	4	141
21.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
22.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Всего	30	8	700	77	15	1526	37	10	160	110	31	1224

Анализ полученных данных показывает:

- Хорошую согласуемость данных гронопеленгационной сети LS8000 с данными измерителя напряженности электрического поля атмосферы EFM 550, в особенности для молниевых разрядов Облако-Земля.
- Из рис. 7 можно заметить, что часть облачных молниевых разрядов EFM 550 «не видит». Это можно объяснить двумя причинами:
 - ♦ облачный разряд настолько слабый и на таком расстоянии, что до EFM 550 доходит слишком слабое возмущение электрического поля, ниже порога чувствительности датчика;
 - ♦ облачный разряд был направлен горизонтально, поэтому направление вектора напряженности электрического поля в облаке перед этим разрядом было горизонтальным. А измеритель поля EFM 550 замеряет вертикальную составляющую напряженности электрического поля атмосферы.
- На рис. 7 мы видим, что после грозы напряженность электрического поля продолжает меняться в большом диапазоне. Это тоже можно объяснить несколькими причинами:
 - ♦ выпадением осадков в районе установки измерителя напряженности электрического поля атмосферы. Так как частицы осадков могут иметь различные заряды разных знаков, это может влиять на показания измерителя напряженности;
 - ♦ для наблюдений нами была выбрана территория радиусом 10 км, а на напряженность поля могли оказывать влияние грозы, происходящие за пределами данной территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Электрическое взаимодействие геосферных оболочек: Сб. статей / под ред. Моргунова В.А., Троицкая В.А., Анисимова С.В. – М.: Изд-во ОИФЗ РАН, 2000. – 209 с.
2. *Volland H.* Atmospherik Electrodynamics. – Heidelberg: Springer, 1984. – P. 128-136.
3. *Despiau S.* Electric field and ionic concentration variations observed at ground level in storm conditions // *Ann. Geophys.* – 1992. – No. 10. – P. 75-81.
4. *Имянитов И.М., Чубрина Е.В.* Электричество свободной атмосферы. – Л.: Гидрометиздат, 1965. – 240 с.
5. *Чалмерс Дж.А.* Атмосферное электричество. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 420 с.
6. *Имянитов И.М., Шифрин Н.С.* Современное состояние исследований атмосферного электричества // *Успехи физических наук.* – 1962. – Т. LXXVI. – Вып. 4. – С. 593-642.
7. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМОГА-73). – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 137 с.
8. *Базелян Э.М., Райзер Ю.П.* Физика молнии и молниезащиты. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
9. *Мучник В.М.* Физика грозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 362 с.
10. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. 1. Метеорологические наблюдения на станциях. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 300 с.
11. Измеритель электрического поля EFM 550. Руководство пользователя. <http://www.vaisala.com.2004>.
12. *Редин А.А., Кудринская Т.В., Куповых Г.В.* Vaisala data processing. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2014661070. Заявка №2014615501. Дата поступления 05.06.2014. Дата гос. регистрации в реестре программ для ЭВМ от 22.10.2014.
13. *Аджиев А.Х., Кулиев Д.Д., Абшаев А.М., Болгов Ю.В., Машиуков Х.Х.* Программно-аппаратный комплекс мониторинга электрической напряженности приземного слоя атмосферы // *Известия КБНЦ РАН.* – 2013. – № 2 (52). – С. 49-56.
14. *Аджиев А.Х., Тапасханов В.О., Стасенко В.Н.* Система грозопеленгации на Северном Кавказе // *Метеорология и гидрология.* – 2013. – № 1. – С. 5-11.
15. *Аджиев А.Х., Богаченко Е.М.* Импульсно-временные характеристики излучения грозовых облаков в дециметровом диапазоне // *Известия АН СССР. Сер. Физика атмосферы и океана.* – 1988. – № 8. – С. 973-979.
16. *Аджиев А.Х., Богаченко Е.М.* Грозы Северного Кавказа. – Нальчик: ООО «Полиградсервис и Т», 2011. – 151 с.
17. *Аджиев А.Х., Куповых Г.В.* Атмосферно-электрические явления на Северном Кавказе: монография. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2004. – 137 с.
18. *Voccippio D.J., Cummins K.L., Christian H.J., Goodman S.J.* Combined Satellite- and Surface-Based Estimation of the Intracloud-Cloud-to-Ground Lightning Ratio over the Continental United States // *Mon. Weather Rev.* - 2001. - Vol. 129. - P. 108-122.
19. *Козлов В.И., Муллаяров В.А., Григорьев Ю.М., Тарабукина Л.Д.* Параметры грозовой активности и молниевых разрядов на территории центральной Якутии в 2009-2012 гг. // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана.* – 2014. - Т. 50, № 3. - С. 365-372.
20. *Ершова Т.В., Горбатенко В.П.* Параметры молниевой активности по инструментальным измерениям // *Вести ТГПУ.* – 2011. – Вып. 5 (107). - С. 151-154.

REFERENCES

1. Elektricheskoe vzaimodeystvie geosfernykh obolochek: Sb. statey [Electric interaction between geospheric shells: collected articles], ed. by Morgunova V.A., Troitskaya V.A., Anisimova S.V. Moscow: Izd-vo OIFZ RAN, 2000, 209 p.
2. *Volland H.* Atmospherik Electrodynamics. Heidelberg: Springer, 1984, pp. 128-136.
3. *Despiau S.* Electric field and ionic concentration variations observed at ground level in storm conditions, *Ann. Geophys.*, 1992, No. 10, pp. 75-81.
4. *Imyanitov I.M., Chubrina E.V.* Elektrichestvo svobodnoy atmosfery [Electricity of the free atmosphere]. Leningrad: Gidrometizdat, 196, 240 p.
5. *Chalmers Dzh.A.* Atmosfernoe elektrichestvo [Atmospheric electricity]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 420 p.

6. *Imyanitov I.M., Shifrin N.S.* Sovremennoe sostoyanie issledovaniy atmosfernogo elektrichestva [The current status of research in atmospheric electricity], *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Successes of physical Sciences], 1962, T. LXXVI, Issue 4, pp. 593-642.
7. *Nastavlenie po meteorologicheskomu obespecheniyu grazhdanskoj aviatsii (NMOGA-73)* [Instruction on meteorological support of civil aviation (NMOGA-73)]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973, 137 p.
8. *Bazelyan E.M., Rayzer Yu.P.* Fizika molnii i molniezashchity [Physics of lightning and lightning protection]. Moscow: Fizmatlit, 2001, 320 p.
9. *Muchnik V.M.* Fizika grozy [Physics of the thunderstorm]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1974, 362 p.
10. *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam* [Manual for hydrometeorological stations and posts]. Issue 3. Part 1. Meteorologicheskie nablyudeniya na stantsiyakh [Meteorological observations at stations]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985, 300 p.
11. *Izmeritel' elektricheskogo polya EFM 550.* Rukovodstvo pol'zovatelya [Electric field meter EFM 550. User manual]. Available at: <http://www.vaisala.com.2004>.
12. *Redin A.A., Kudrinskaya T.V., Kupovykh G.V.* Vaisala data processing. Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM №2014661070. Zayavka №2014615501. Data postupleniya 05.06.2014. Data gos. registratsii v reestre programm dlya EVM ot 22.10.2014 [Vaisala data processing. The certificate of state registration of computer programs No.2014661070. Application No. 2014615501. Date of receipt 05.06.2014. Date of state registration in the register of computer programs from 22.10.2014].
13. *Adzhiev A.Kh., Kuliev D.D., Abshaev A.M., Bolgov Yu.V., Mashukov Kh.Kh.* Programmnoparadnyy kompleks monitoringa elektricheskoy napryazhennosti prizemnogo sloya atmosfery [Hardware-software complex of monitoring of electrical intensity in the atmospheric surface layer], *Izvestiya KBNTs RAN* [Izvestiya of Kabardino-Balkar Scientific Centre of the RAS], 2013, No. 2 (52), pp. 49-56.
14. *Adzhiev A.Kh., Tapaskhanov V.O., Stasenko V.N.* Sistema grozopelengatsii na Severnom Kavkaze [System of thunderstorm activity monitoring in the North Caucasus], *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and hydrology], 2013, No. 1, pp. 5-11.
15. *Adzhiev A.Kh., Bogachenko E.M.* Impul'sno-vremennyye kharakteristiki izlucheniya grozovykh oblakov v detsimetrovom diapazone [Pulse-time characteristics of radiation of thunderstorm clouds in the UHF range], *Izvestiya AN SSSR. Ser. Fizika atmosfery i okeana* [Izvestiya an SSSR. Series. Physics of atmosphere and ocean], 1988, No. 8, pp. 973-979.
16. *Adzhiev A.Kh., Bogachenko E.M.* Grozy Severnogo Kavkaza [Thunderstorms in the North Caucasus]. Nal'chik: OOO «Poligradoservis i T», 2011, 151 p.
17. *Adzhiev A.Kh., Kupovykh G.V.* Atmosferno-elektricheskie yavleniya na Severnom Kavkaze: monografiya [Atmospheric-electric phenomena in the North Caucasus: the monograph]. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2004, 137 p.
18. *Boccippio D.J., Cummins K.L., Christian H.J., Goodman S.J.* Combined Satellite- and Surface-Based Estimation of the Intracloud-Cloud-to-Ground Lightning Ratio over the Continental United States, *Mon. Weather Rev.*, 2001, Vol. 129, pp. 108-122.
19. *Kozlov V.I., Mullayarov V.A., Grigor'ev Yu.M., Tarabukina L.D.* Parametry grozovoy aktivnosti i molnievykh razryadov na territorii tsentral'noy Yakutii v 2009-2012 gg. [The parameters of thunderstorm activity and lightning discharges in the territory of the Central Yakutia in 2009-2012], *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana* [Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics of atmosphere and ocean], 2014, Vol. 50, No. 3, pp. 365-372.
20. *Ershova T.V., Gorbatenko V.P.* Parametry molnievoy aktivnosti po instrumental'nym izmereniyam [The parameters of the lightning activity based on instrumental measurements], *Vesti TGPU* [News of Tomsk state pedagogical University], 2011, Issue 5 (107), pp. 151-154.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.П. Тарасов.

Аджиев Анатолий Хабасович – Высокогорный геофизический институт; e-mail: adessa1@yandex.ru; 360030, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 2; тел.: 88662401916; д.ф.-м.н.; профессор; зав. отделом стихийных явлений.

Юрченко Наталья Владимировна – младший научный сотрудник отдела стихийных явлений.

Куповых Геннадий Владимирович – Южный федеральный университет; e-mail: kupovykh@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634271636; кафедра высшей математики; зав. кафедрой; д.ф.-м.н.; профессор.

Кудринская Татьяна Владимировна – e-mail: tvkudrinskaya@sfedu.ru; тел.: 88634371663; кафедра физики; ассистент; к.ф.-м.н.

Редин Александр Александрович – e-mail: redinaa@sfedu.ru; тел.: 88634371663; кафедра физики; к.ф.-м.н.; доцент.

Андриевская Виктория Юрьевна – Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского; e-mail: vika75_07@mail.ru; 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13; тел.: 88122371021, к.ф.-м.н.; старший научный сотрудник 162 лаборатории.

Adzhiev Anatoli Khabasovich – High-mountain Geophysical Institute; e-mail: adessa1@yandex.ru; 2, Lenin's avenue, Nalchik, 360030, KBR; phone: +78662401916; dr. of phys.-math. sc.; professor; the head of natural phenomena department.

Yurchenko Natalia Vladimirovna – e-mail: adessa1@yandex.ru; junior researcher at the department of natural phenomena.

Kupovykh Gennady Vladimirovich – Southern Federal University; e-mail: kupovykh@sfedu.ru; 44, Nekrasovsky street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634271636; the department of higher mathematics; head of department; dr. of phys.-math. sc.; professor.

Kudrinskaya Tatiana Vladimirovna – e-mail: tvkudrinskaya@sfedu.ru; phone: +78634371663; the department of physics; cand. of phys.-math. sc.

Redin Alexander Alexandrovich – e-mail: redinaa@sfedu.ru; phone: +78634371663; the department of physics; cand. of phys.-math. sc.; associate professor.

Andrievskaya Victoria Yur'evna – Military Space Academy named after AF Mozhaiskogo; e-mail: vika75_07@mail.ru; 13, Zhdanov street, St. Petersburg, 197198, Russia; phone: +78122371021; cand. of phys.-math. sc.; senior researcher 162 laboratory.

УДК 621.3.049.77

И.Е.Лысенко, О.А. Ежова

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ МИКРОМЕХАНИЧЕСКОГО СЕНСОРА ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ*

Микросистемная техника — быстро развивающееся научно-техническое направление, целью которого является создание систем на основе микрооптикоэлектромеханических устройств с уникальным набором свойств, недоступных при их реализации в виде обычных макросистем. Устройства микросистемной техники (сенсоры линейных ускорений, сенсоры угловых скоростей, актюаторы и т.д.) широко применяются в космической промышленности, медицинской технике, играх нового поколения, автомобилестроении и во многих других областях. Известные на сегодняшний день микромеханические сенсоры позволяют измерять линейные ускорения и угловые скорости по одной или двум осям. Производятся данные устройства в виде гибридных или интегральных микросистем. Изготовление двухосных и одноосных сенсоров на одной подложке, расположенных по трем взаимно ортогональным осям чувствительности, приводит к увеличению занимаемой ими площади подложки. Решить данную проблему — улучшить массогабаритные и энергетические характеристики микросистем, обеспечить возможность регистрации параметров движения подвижного объекта по трем осям чувствительности одним сенсорным элементом

* Работа выполнена при поддержке “Программы развития Южного федерального университета до 2021 года” проект ВнГр -07/2017-10.