

## Дистанционное зондирование сред

УДК 551.5

### АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ГРОЗОВЫХ ЯВЛЕНИЙ В АТМОСФЕРЕ

**Аджиев Анатолий Хабасович**

доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующий отделом ФГБУ «Высокогорный геофизический институт».

*E-mail:* adessa1@yandex.ru.

**Беккиев Мухтар Юсубович**

доктор технических наук, профессор,  
директор ФГБУ «Высокогорный геофизический институт».

*E-mail:* vgikbr@yandex.ru.

**Кулиев Далхат Даниялович**

старший научный сотрудник ФГБУ «Высокогорный геофизический институт».

*E-mail:* kouliev\_dal@hotmail.com.

**Казакова Саня Тахировна**

младший научный сотрудник ФГБУ «Высокогорный геофизический институт».

*E-mail:* saniya\_07@mail.ru.

**Кузьмин Владимир Аркадьевич**

аспирант ФГБУ «Высокогорный геофизический институт».

*E-mail:* adessa1@yandex.ru.

*Адрес:* 360030, Россия, Кабардино-Балкарская республика, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2.

*Аннотация:* Разработан и испытан аппаратно-программный комплекс (АПК) для сравнительного анализа динамики напряжённости электрического поля атмосферы и параметров молниевых разрядов. Комплекс включает измеритель напряжённости электрического поля приземной атмосферы EFM550, грозопеленгационную систему LS8000, специальное программное обеспечение для совмещения данных грозопеленгационной системы и данных измерителя напряжённости электрического поля атмосферы для сравнительного анализа и визуализации получаемой информации. Представлены результаты измерения напряжённости электрического поля атмосферы, данные о молниевых разрядах, полученных грозопеленгационной сетью в дни с грозами и без гроз.

*Ключевые слова:* грозопеленгационная сеть, грозопеленгатор, измеритель напряжённости электрического поля атмосферы, электрическое поле, метеорологические явления, молниевые разряды.

Вариации напряжённости электрического поля в приземном слое атмосферы в течение суток обусловлены как глобальными, так и локальными факторами [1, 2]. Глобальная составляющая проявляется в существовании унитарной суточной вариации атмосферного электрического поля над океанами и полярными областями Земли (кривая Карнеги) [1]. Локальными факторами, влияющими на напряжённость электрического поля атмосферы, являются природные явления (облачность, осадки, ветер,

грозы и т.д.) и антропогенное воздействие. В данной работе проведён сравнительный анализ напряжённости электрического поля атмосферы и грозовой активности.

В ряде работ [2–4] отмечается, что при грозовых процессах имеет место значительный рост значений напряжённости электрического поля по сравнению со значениями в ясную погоду. С целью более детального пространственно-временного анализа изменений электрического поля атмосферы в данной работе



Рис. 1. Суточный ход напряженности электрического поля атмосферы за 20–21 сентября 2019

проведены совместные исследования суточных вариаций напряженности электрического поля атмосферы при грозах и параметров разрядов молний в зоне репрезентативной регистрации датчиками электрического поля.

#### Методика измерений и состав аппаратуры

Методика измерений и состав аппаратуры выбирались с учётом 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;
- грозорегистратор LS8000, также фирмы Vaisala;
- программное обеспечение для решения задач измерения, передачи и визуализации значений напряженности электрического поля атмосферы и параметров молниевых разрядов.

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 [4]. Измеренные значения сохраняются на жёстком 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. 1 приведён суточный ход напряженности электрического поля атмосферы за 20–21 сентября 2019 г.

Сенсор измерителя напряженности электрического поля атмосферы EFM550 (Vaisala, Финляндия) [5] установлен на крыше здания ФГБУ «ВГИ» и имеет координаты: широта –  $43,4694^\circ$ , долгота –  $43,5861^\circ$ , высота над уровнем моря – 540 метров.

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

Для определения местоположения и параметров молниевых разрядов в работе используется грозопеленгационная сеть LS8000 [6], установленная на Северном Кавказе [3]. Для совместного исследования данных грозопеленгатора LS8000 и измерителя напряженности электрического поля EFM550 был выбран участок территории радиусом 10 км, с центром в точке установки датчика EFM550 в г. Нальчик (на крыше здания ВГИ), как показано на рис. 2.

#### Результаты измерений и их анализ

Для анализа были выбраны дни, как с грозами, так и без гроз, в заданной области по данным

грозопеленгационной сети. Данные о молниевых разрядах для выбранных дней (за каждый час) приведены в таблице 1 (LF – молниевые разряды облако–земля; «VHF» – молниевые разряды облако–облако).

С помощью системы измерителя электрического поля получен ход напряжённости за эти дни 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. 3–4 показаны совмещённые данные напряжённости электрического поля атмосферы с данными количества молниевых разрядов для дней с грозами над выбранной территорией. На рисунках показаны графики значений напряжённости электрического поля атмосферы (соответствующая ось с левой стороны). В виде гистограммных столбиков показано количество молниевых разрядов над выбранной территорией (соответствующая ось с правой стороны) [7, 8].

Всего за исследуемые дни (17 июля 2015, 28 июля 2016, 18 августа 2016 года) в зоне действия измерителя (территория ограничена окружностью радиусом 10 км в точке установки EFM 550) зарегистрировано около 1392 разряда. Из них «VHF» – 1308, LF – 84.

Реакцией напряжённости 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 таблицы 1 мы видим, что в момент резких скачков напряжённости электрического поля атмосферы наблюдается грозовая активность [9, 10].

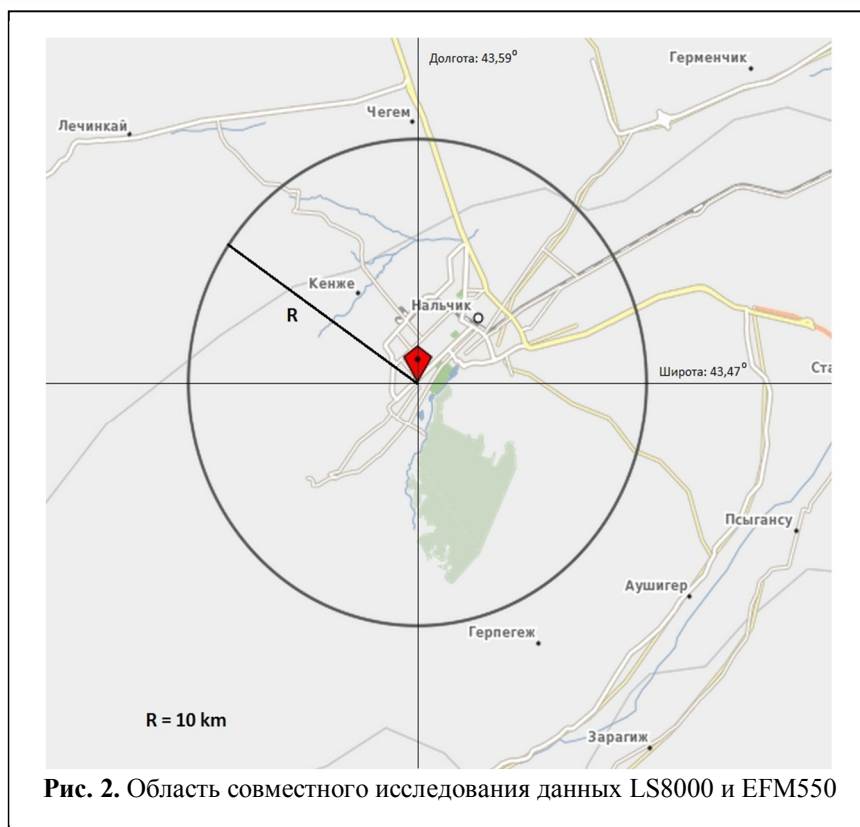


Рис. 2. Область совместного исследования данных LS8000 и EFM550

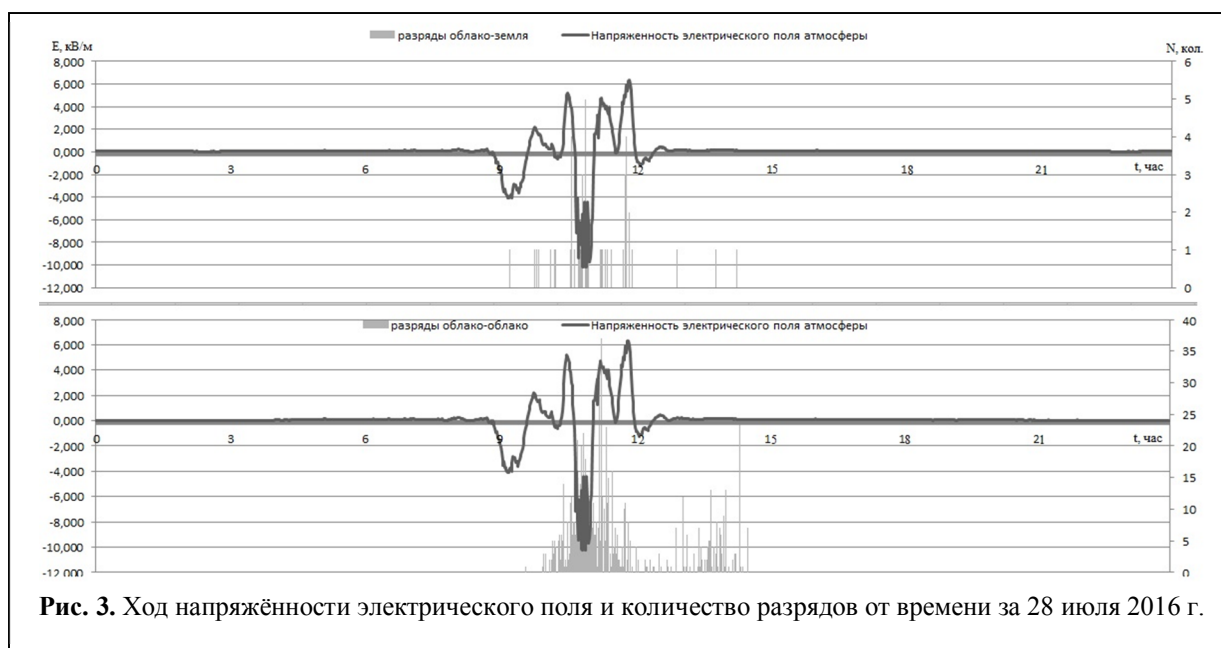
### Заключение

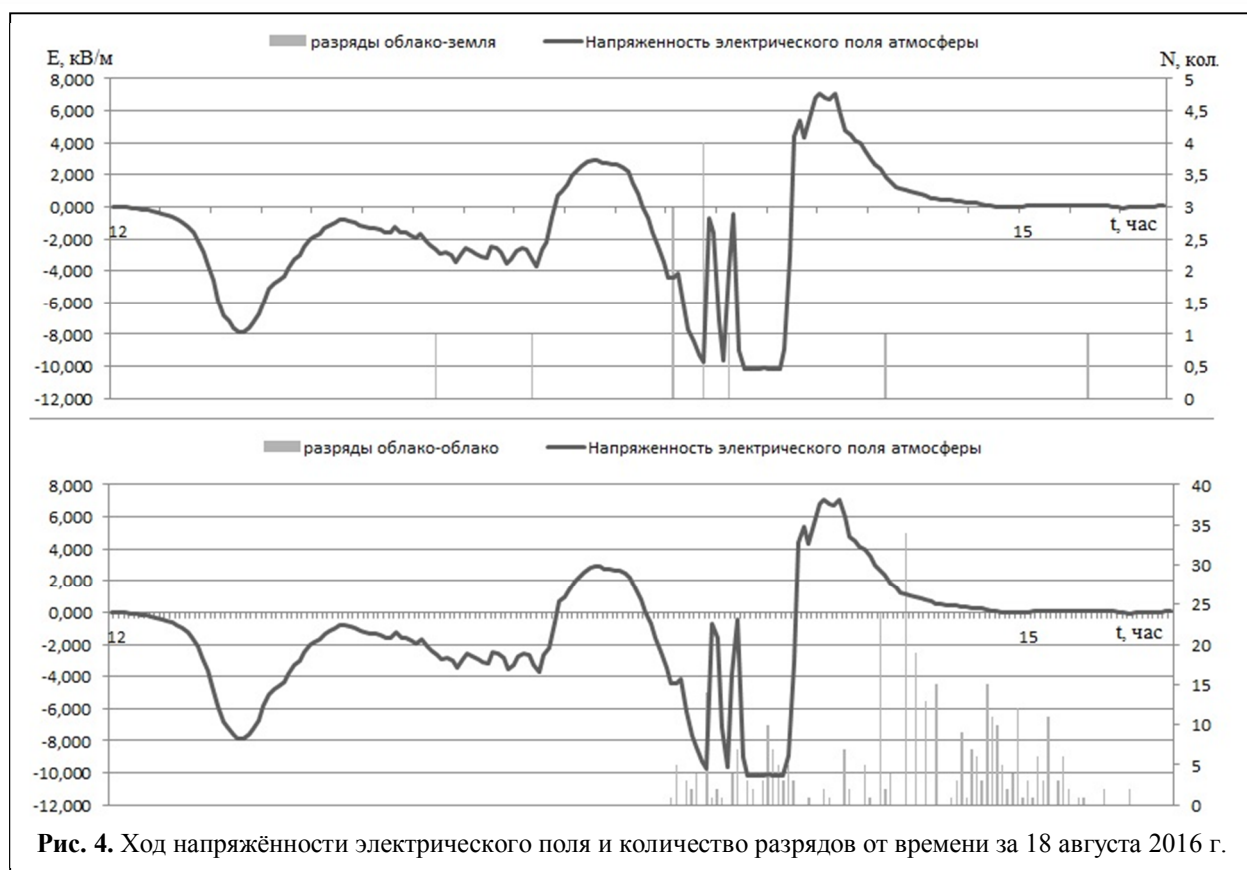
Анализ полученных данных показывает:

1. Хорошую согласуемость данных грозопеленгационной сети LS8000 с данными измерителя напряжённости электрического поля атмосферы EFM550, в особенности для молниевых разрядов Облако–Земля.
2. Из рис. 3 можно заметить, что часть облачных молниевых разрядов EFM550 «не видит». Это можно объяснить двумя причинами:
  - облачный разряд настолько слабый и на таком расстоянии, что до EFM550 доходит слишком слабое возмущение электрического поля, ниже порога чувствительности датчика;
  - облачный разряд был направлен горизонтально, поэтому направление вектора напряжённости электрического поля в облаке перед этим разрядом было горизонтальным. А измеритель поля EFM550 замеряет вертикальную составляющую напряжённости электрического поля атмосферы.
3. На рис. 4 мы видим, что после грозы напряжённость электрического поля продолжает меняться в большом диапазоне.

Таблица 1. Информация о количествах и типов разрядов молний в различные дни на территории регистрации электрического поля

| Дата         | 17.07.2015 |           | 28.07.2016 |            | 18.08.2016 |            |
|--------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| Время        | LF         | VHF       | LF         | VHF        | LF         | VHF        |
| 00.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 01.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 02.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 03.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 04.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 05.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 06.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 07.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 08.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 09.00        | 0          | 0         | 4          | 2          | 0          | 0          |
| 10.00        | 1          | 0         | 24         | 343        | 0          | 0          |
| 11.00        | 10         | 15        | 18         | 351        | 0          | 0          |
| 12.00        | 13         | 41        | 1          | 30         | 0          | 0          |
| 13.00        | 0          | 0         | 1          | 115        | 1          | 0          |
| 14.00        | 0          | 0         | 1          | 74         | 9          | 219        |
| 15.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 1          | 127        |
| 16.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 17.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 18.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 19.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 20.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 21.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 22.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| 23.00        | 0          | 0         | 0          | 0          | 0          | 0          |
| <b>Всего</b> | <b>24</b>  | <b>56</b> | <b>49</b>  | <b>913</b> | <b>11</b>  | <b>339</b> |





Это тоже можно объяснить несколькими причинами:

- выпадением осадков в районе установки измерителя напряжённости электрического поля атмосферы. Так как частицы осадков могут иметь различные заряды разных знаков, это может влиять на показания измерителя напряжённости;

- для наблюдений нами была выбрана территория радиусом 10 км, а на напряжённость поля могли оказывать влияние грозы, происходящие за пределами данной территории.

#### Литература

1. Имянитов И.М., Шифрин К.С. Современное состояние исследований атмосферного электричества // Успехи физических наук. 1962. Т. 76. В. 4. С. 593–642.
2. Тверской П.Н. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 1949. 252 с.
3. Имянитов И.М., Чубрина Е.В. Электричество свободной атмосферы. Л.: Гидрометиздат, 1965. 240 с.
4. Аджиев А.Х., Тапасханов В.О., Стасенко В.Н. Система грозопеленгации на Северном Кавказе //

Метеорология и гидрология. 2013. №1. С. 5–11.

5. Измеритель электрического поля EFM550 [Электронный ресурс] / сайт фирмы Vaisala. Режим доступа: <https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/weather-stations-and-sensors/efm550> (дата доступа 1.10.2019).

6. Vaisala Thunderstorm. Total Lightning Sensor LS8000 [Электронный ресурс] / сайт фирмы Vaisala. Режим доступа: [https://www.vaisala.com/en/file/7716/download?token=V\\_BkKVq6](https://www.vaisala.com/en/file/7716/download?token=V_BkKVq6) (дата доступа 1.10.2019).

7. Аджиев А.Х., Куповых Г.В., Вариации атмосферного электрического поля на высокогорных пунктах наблюдений // Доклады Академии наук. 2015. Т. 462, № 2. С. 213–216.

8. Кулиев Д.Д., Болгов Ю.В., Аджиев А.Х., Казакова С.Т. Программа визуализации результатов измерения напряженности электрического поля атмосферы с учетом суточного изменения параметров «АПК-04-ВГИ» / Реестр программ для электронно-вычислительных машин. Заявл. 16.04.2018; зарег. 16.07.2018.

9. Аджиев А.Х., Кулиев Д.Д., Аджиева А.А., Куповых Г.В., Тумгоева Х.А. Определение параметров молниевых разрядов с использованием грозорегистратора LS8000 // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2018. Том 3(199). С. 55–62.

10. Шаповалов А.В. Моделирование эволюции процессов // Математическое моделирование. Т. 15. Конвективных облаков с учетом электрических процессов // Математическое моделирование. Т. 15. № 4. 2003. С. 65–76.

Поступила 2 октября 2019 г.

English

## HARDWARE AND SOFTWARE PACKAGE FOR MONITORING ELECTRICAL AND THUNDERSTORM ATMOSPHERIC PHENOMENA

**Anatoliy Abasovich Adzhiev** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department Head; Federal State-funded High-Mountain Geophysical Institute.

*E-mail:* adessa1@yandex.ru.

**Mukhtar Yusubovich Bekkiev** – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Director of Federal State-funded High-Mountain Geophysical Institute.

*E-mail:* vgikbr@yandex.ru.

**Dalkhat Daniyalovich Kuliyeu** – Senior Researcher; Federal State-funded High-Mountain Geophysical Institute.

*E-mail:* kouliev\_dal@hotmail.com.

**Sania Takhirovna Kazakova** – Junior Researcher; Federal State-funded High-Mountain Geophysical Institute.

*E-mail:* saniya\_07@mail.ru.

**Vladimir Arkadyevich Kuzmin** – Post-graduate Student, Federal State-funded High-Mountain Geophysical Institute.

*E-mail:* adessa1@yandex.ru.

*Address:* 360030, Russian Federation, Kabardino-Balkar Republic, Nalchik, Lenin Ave, 2.

**Abstract:** Hardware and software package (HSP) was developed and tested for comparative dynamic analysis of atmospheric electric field intensity and lightning discharge parameters. The package includes EFM550 electric-field meter for surface atmosphere, LS8000 lightning-direction finding system, special software for matching data of lightning-direction finding system and electric-field meter of atmosphere for comparative analysis and visualization of the obtained information. To identify the role of thunderstorm activities in daily variations of atmospheric field intensity there were performed synchronous recordings of surface atmosphere electric field and lightning discharge parameters that occurred within a radius of up to 10 kilometers from HSP installation site. The conducted research shows a good matching between data of LS8000 lightning-direction finding network and data of EFM550 electric-field meter for atmosphere, especially for Cloud-Earth lightning discharges. There are recorded cases on information loss about parts of lightning discharges, which can be explained, firstly, by cloud discharge weakness and big distances from the source to HSP sensor with the result that electric field perturbation in the point of sensor installation is below its sensitivity threshold. Secondly, it is due to possible mismatch of E-field vector horizontal direction in the cloud with EFM550 meter properties, which is targeted at vertical intensity of atmospheric electric field. There are identified cases of changing electric field intensity with no lightning discharges, which can be explained by precipitation in the installation area of atmospheric electric field meter as precipitation particles can have different charges of different signs and this can affect values of field-tensity meter. It is also can be due to possible ongoing thunderstorm activity beyond HSP operation range.

**Keywords:** lightning-direction finding network, LS8000 lightning-direction finder, electric field intensity meter of atmosphere, EFM550, electric field, meteorological phenomena, lightning discharges.

### References

1. *Imyanitov I.M., Shifrin K.S.* Current status of research in atmospheric electricity. *Uspekhi fizicheskikh nauk.* 1962. Vol. 76. No. 4. Pp. 593–642.
2. *Tverskoy P.N.* Atmospheric electricity. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1949. 252 p.
3. *Imyanitov I.M., Chumarina E.V.* Electricity of the free atmosphere. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1965. 240 p.
4. *Adzhiev A.Kh., Tapaskhanov V.O., Stasenkov V.N.* The system of thunder-direction finding in the North Caucasus. *Meteorologiya i Gidrologiya.* 2013. No. 1. Pp. 5–11.

5. Electric field meter EFM550 [Electronic source]. Website of Vaisala. URL: <https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/weather-stations-and-sensors/efm550> (access date 1.10.2019).
6. Vaisala Thunderstorm. Total Lightning Sensor LS8000 [Electronic source]. Website of Vaisala. URL: [https://www.vaisala.com/en/file/7716/download?token=V\\_BkKVq6](https://www.vaisala.com/en/file/7716/download?token=V_BkKVq6) (access date 1.10.2019).
7. *Adzhiev A.H., Kupovykh G.V.* Variations of the atmospheric electric field at high-altitude observation points. *Doklady Akademii Nauk*. 2015. Vol. 462. No. 2. Pp. 213–216.
8. *Kuliyev D.D., Bolgov Yu.V., Adzhiev A.H., Kazakova S.T.* Program of visualization of results of measurement of intensity of an electric field of atmosphere taking into account daily change of parameters "APK-04-vgi". Register of computer programs. Appl. 16.04.2018; reg. 16.07.2018.
9. *Adzhiev A.H., Kuliyev D.D., Adzhieva A.A., Kupovykh G.V., Tumgoeva H.A.* Determination of the parameters of lightning discharges using the ls8000 thunderstorm recorder. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. North-Caucasus region. Series: Natural Sciences*. 2018. Vol. 3(199). Pp. 55–62.
10. *Shapovalov A.V.* Modeling the evolution of convective clouds taking into account electrical processes. *Matematicheskoe modelirovanie*. Vol. 15. No. 4. 2003. Pp. 65–76.