Научная статья
УДК 551.515.4
DOI

З.М. Керефова

Анализ грозовых процессов на территории Ставропольского края в 2016 году

Залина Музариновна Керефова
Высокогорный геофизический институт, научный сотрудник, кандидат физ.-мат. наук, Нальчик, **zknyaz-kbsu@mail.ru**

Аннотация. *В работе приводятся результаты экспериментальных исследований грозовой активности на территории Ставропольского края на основе данных грозопеленгационной сети и радиолокаторов ДМРЛ-С. Представлен анализ динамики развития грозового процесса, прошедшего по Ставропольскому краю 14 и 15 мая 2016 г. Рассматриваемый грозовой процесс существенно отличался от среднестатистических, как по продолжительности, так и по параметрам молний. Получены распределения молниевых разрядов по территории Ставропольского края в 2016 г. при развитии градовых процессов. Анализ радиолокационных характеристик рассмотренных градовых облаков показал, что частота всех типов разрядов растет с увеличением радиолокационной отражаемости Zmax, высот верхней границы (HZi) и объемов (VZi) изолиний Zi – 45, 55, 65, 75 dBZ, а также с увеличением вертикально интегрированного (VIL) и объемно интегрального (MZi) водосодержания облаков. В работе использовалась грозопеленгационная сеть ФГБУ «ВГИ» LS8000/7002 совместно с доплеровским метеорадиолокатором ДМРЛ-С Ставропольского ЦГМС.*
Ключевые слова: *град, молния, градовое облако, грозозащита, радиолокатор.*
Для цитирования: *Керефова З.М. Анализ грозовых процессов на территории Ставропольского края в 2016 году // Вестник Владикавказского научного центра РАН. 2026. Т. 26. №. 2. С. 77–82. DOI 10.46698/VNC.2026.50.51.001*

Analysis of thunderstorm processes in the territory of Stavropol krai in 2016

Zalina M. Kerefova
High-Mountain Geophysical Institute, Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Nalchik, **zknyaz-kbsu@mail.ru**

Abstract. *The paper presents the results of experimental studies of thunderstorm activity in Stavropol Krai based on the data of the lightning direction finding network and DMRL-S radars. The article presents an analysis of the dynamics of the thunderstorm process that occurred in the Stavropol territory on May 14 and 15, 2016. The thunderstorm process under consideration differed significantly from typical thunderstorms, both in duration and in lightning parameters. The distributions of lightning discharges over the territory of the Stavropol Territory in 2016 during the development of hail processes were obtained. An analysis of the radar characteristics of the hail clouds under consideration showed that the frequency of all types of discharges increases with an increase in radar reflectivity Zmax, the heights of the upper boundary (HZi) and volumes (VZi) of the isolines Zi - 45, 55, 65, 75 dBZ, as well as with an increase in the vertically integrated (VIL) and volumetrically integral (MZi) water content of clouds. The work used the lightning direction finding network of the Federal State Budgetary Institution "VGI" LS8000/7002 together with the Doppler weather radar DMRL-S of the Stavropol Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.*
Keywords: *hail, lightning, hail cloud, lightning protection, radar*
For citation: *Kerefova Z.M. Analysis of thunderstorm processes in the territory of Stavropol krai in 2016 // Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2026. V. 26. No. 2. .P. 77–82. DOI 10.46698/VNC.2026.50.51.001*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время общепризнанным является факт активизации на Северном Кавказе России особо опасных стихийных явлений, которые вызваны потеплением климата [1]. Интенсивные грозоградовые процессы и связанные с ними наводнения, сели, градобития, повреждения электрических систем и оборудования приводят к большим экономическим потерям [2]. Поэтому проблема снижения риска чрезвычайных ситуаций, вызванных стихийными явлениями погоды, является достаточно актуальной, как в нашей стране, так и за рубежом.

Безопасность жизнедеятельности человека и защита различных объектов от воздействия стихийных явлений во многом определяются своевременным обнаружением местоположения опасных явлений и контролем их состояния.

Большое значение для своевременного обнаружения и идентификации опасных природных явле-

ний и принятия мер защиты от них (в том числе и методами активного воздействия), имеют системы раннего предупреждения и средства дистанционного зондирования облачной атмосферы.

Такие метеорологические явления, как грозы, ливни, град, развивающиеся на Северном Кавказе, характеризуются разнообразием условий их возникновения и развития.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования динамики грозовой активности грозоградовых конвективных облаков при их естественном развитии и активных воздействий с целью предотвращения градобитий в данной работе использованы:

- данные грозопеленгационной сети ФГБУ «ВГИ». Система аккредитована в Министерстве образования и науки РФ в составе уникальной научной установки (УНУ) ВГИ (https://ckp-rf.ru/catalog/usu/77736/);

- радиолокационные характеристики конвективных облаков, полученные с использованием метеорадиолокаторов ДМРЛ-С»;

- аппаратно-программный комплекс для совмещения координат разрядов молнии с радиоэхо конвективных облаков.

Система грозопеленгации, установленная впервые в России на Северном Кавказе в 2008 году [3], в настоящее время состоит из 6 датчиков, в том числе 4 датчика LS8000, 2 датчика LS7002 и центрального сервера. Грозопеленгатор LS8000 состоит из двух датчиков – LF и VHF. VHF-датчик регистрирует только облачные молниевые разряды, а LF-датчик регистрирует в основном молниевые разряды «облако – земля».

Грозопеленгатор LS7002 имеет только один сенсор, но за счет совершенствования аппаратной и программной части грозопеленгатора этот сенсор фиксирует как наземные, так и облачные молниевые разряды. Также грозопеленгатор LS7002 гораздо компактнее, что облегчает установку и обслуживание этого грозопеленгатора.

В процессе работы комплекс регистрирует большое количество параметров, среди основных: дата и время, широта и долгота, сила и полярность сигнала. Классифицирует разряды на положительные и отрицательные, а также на типы «облако – земля» (LF молнии) или внутриоблачный.

Таблица 1

Количество дней с грозой на территории Ставропольского края за 2016 год

Месяцы	Кол-во дней с грозой
апрель	10
май	20
июнь	18
июль	15
август	17
сентябрь	5

Рис. 1. **Зоны обзора LF сенсоров ГПС «ВГИ» и ГПС «Планета»**

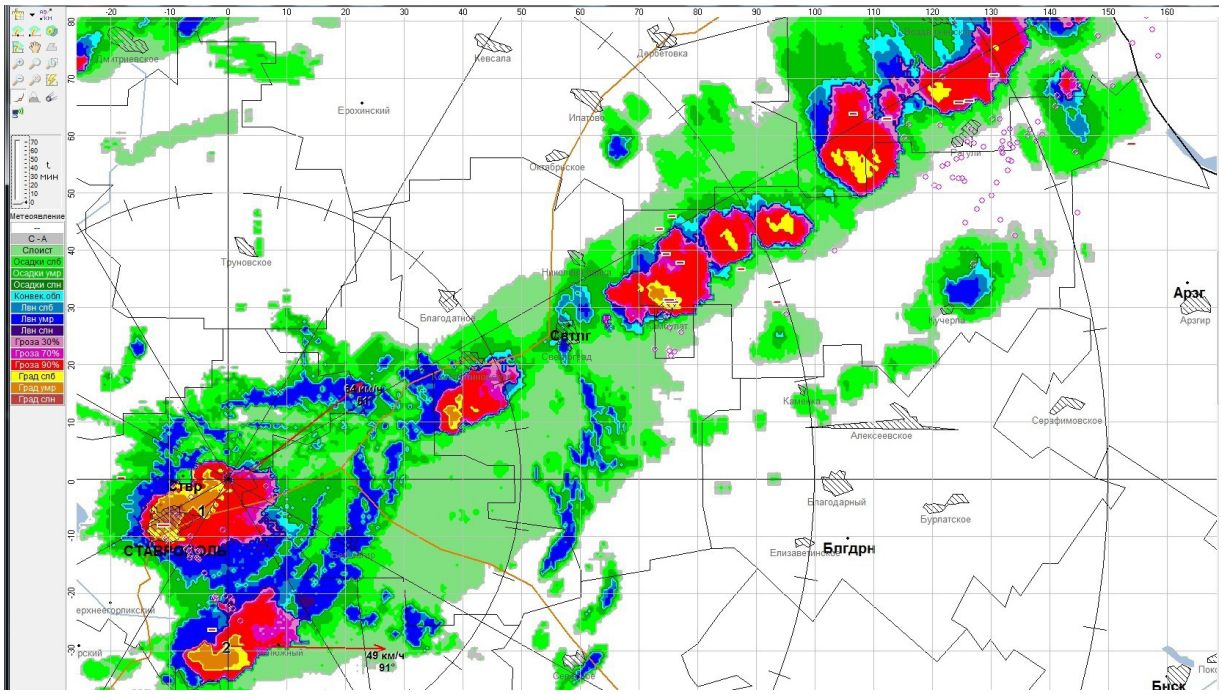

Рис. 2. **Карта метеоявлений на 14.05.2016 г. с совмещенными молниевыми разрядами различной полярности**

Обозначения:

«-» – отрицательные молниевые разряды; «+» – положительные молниевые разряды; «о» – облачные разряды.

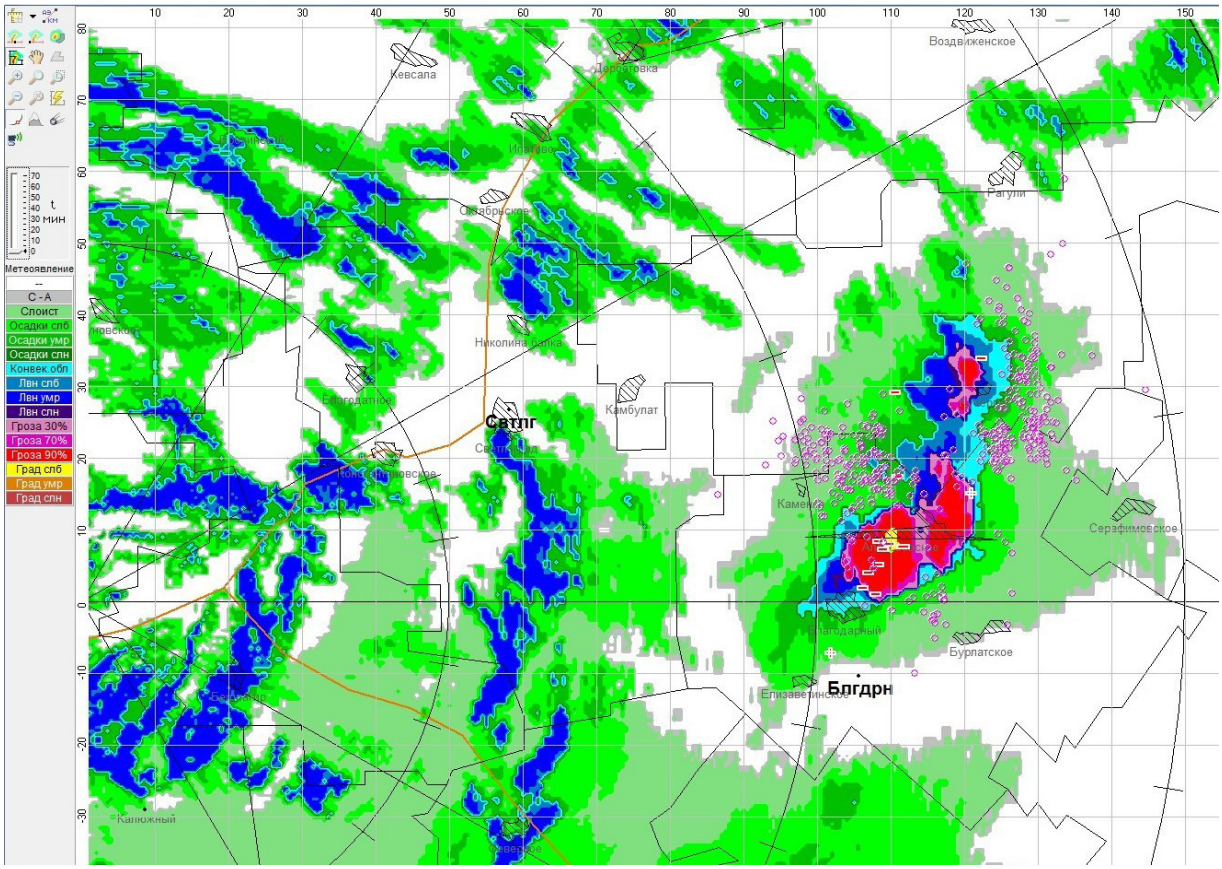

Рис. 3. **Карта метеоявлений на 15.05.2016 г. с совмещенными молниевыми разрядами различной полярности**

Обозначения:

«-» – отрицательные молниевые разряды; «+» – положительные молниевые разряды; «о» – облачные разряды.

Центральный пункт приема и обработки информации – это аппаратно-программный комплекс, состоящий из 6 компьютеров, программного обеспечения фирмы Vaisala и оборудования для спутниковой связи с грозопеленгаторами LS8000.

На территории Российской Федерации Росгидрометом развернуты три сети грозопеленгаторов на базе датчиков LS фирмы Vaisala, Финляндия: на Северном Кавказе, в Московской области и на Дальном Востоке.

В настоящее время система грозопеленгации Росгидромета охватывает всю территорию Европейской части России, Дальнего Востока (Хабаровский край, Амурская область, Еврейская автономная область) и о. Сахалин.

Грозопеленгационная сеть состоит из 30 датчиков LS8000 и LS7002. Европейский сегмент, включающий 14 датчиков, объединен в единую сеть из 6 датчиков (4 датчика LS8000 и 2 датчика LS7002) и сеть в Московской области из 8 датчиков (*рис. 1*). Балансодержателем Северокавказского сегмента ГПС Росгидромета с 2008 г. является ФГБУ «ВГИ». Московский сегмент ГПС Росгидромета эксплуатирует ФГБУ «НИЦ» Планета».

Схема размещения датчиков и граница области приема грозоразрядной информации в европейской части России представлена на *рис. 1*.

Мониторинг радиолокационных характеристик конвективных облаков проведен по данным наблюдений программно-технического комплекса ДМРЛ-С, который обеспечивал синхронное получение и обработку данных 10 см канала радиолокатора МРЛ-5. Программно-технический комплекс ДМРЛ-С [4] обеспечивал:

- радиолокационный обзор пространства через каждые 3,5 минуты;
- обработку радиолокационной информации об облаках и осадках в радиусе 250 км;
- формирование и отображение карт максимальной отражаемости, горизонтальных сечений на любой высоте, вертикальных сечений в любом азимуте, карт размера и кинетической энергии гра-

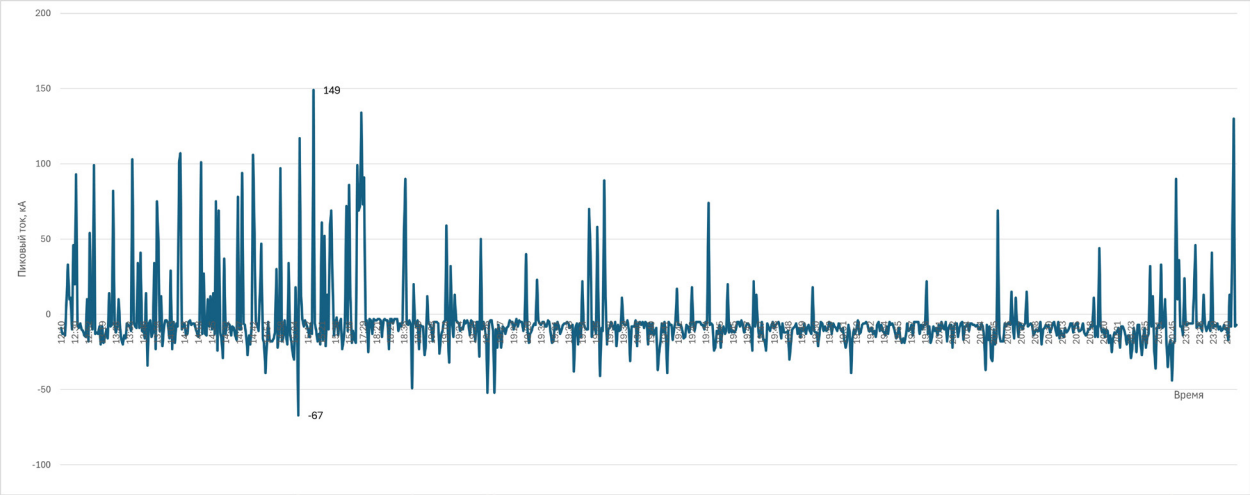

Рис. 4. **Положительные и отрицательные наземные разряды молнии 14.05.2016 г.**

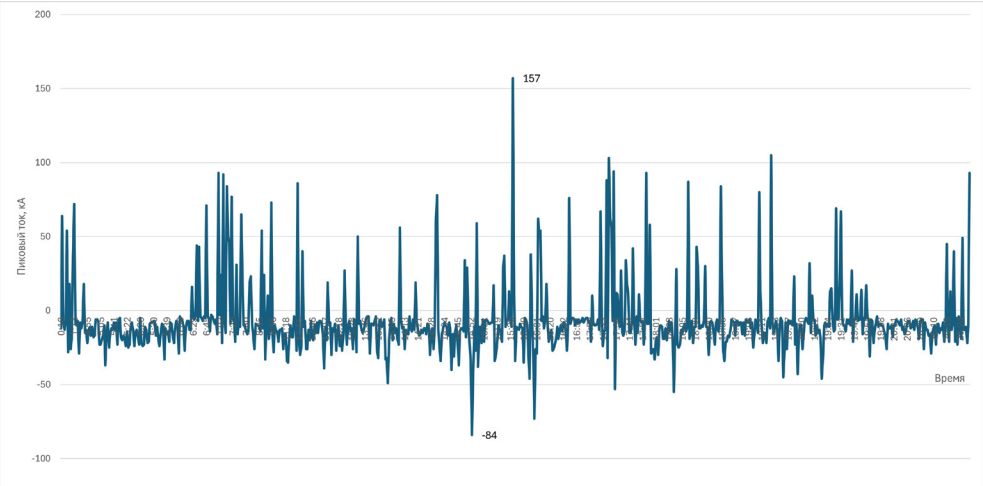

Рис. 5. **Положительные и отрицательные наземные разряды молнии 15.05.2016 г.**

да, интенсивности и количества осадков, вертикально интегрированное водосодержание (VIL) и т. д. (около 30 различных карт);

- измерение более 50 одномерных, двумерных и трехмерных параметров облачной системы и ее отдельных ячеек;

- управление активными воздействиями на облака с целью предотвращения града и искусственного увеличения осадков;

- ввод данных сети грозопеленгаторов LS8000 и визуализацию пеленгов грозовых разрядов на фоне карты максимальной отражаемости, на фоне карты VIL или любой другой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В представленной статье в качестве примера рассмотрены дни с сильным градом на территории Ставропольского края 14 и 15 мая 2016 г. Отражаемость в эти дни достигала 75 dBz. Град прошел в 13 регионах, около 2,5 % посевной площади, 900 частных домов и большое количество автомобилей Ставропольского края пострадало в связи с выпадением обильных осадков и градом, прошедшим в эти дни. Размер градин достигал 4 см.

За 2016 год было зафиксировано 52 588 молниевых разрядов, количество грозовых дней составило в теплый период года 85 дней (*табл. 1*).

В работе были совмещены молниевые разряды различной полярности и радиолокационной информации. На *рис. 2* и *3* показаны карты метеоявлений от Ставропольского ЦГМС (ДМРЛ-С) с совмещенными молниевыми разрядами на даты 14.05.2016 г. в 11:19 и 15.05.2016 г. в 04:00.

Количество молниевых разрядов за 14.05.2016 г. составило 858, из них 107 положительной полярности и 751 отрицательной полярности.

Количество молниевых разрядов за 15.05.2016 г. составило 757, из них 95 положительной полярности и 662 отрицательной полярности.

Продолжительность грозового процесса за 14.05.2016 г. составила 12 ч., за 15.05.2016 г. – 16 ч.

Результаты анализа экспериментального материала показали, что в развивающихся грозо-градовых конвективных облаках вначале происходят облачные разряды, затем наряду с облачными молниями фиксируются и наземные молнии. Облачные молнии в развивающихся конвективных облаках Северного Кавказа начинаются после достижения радиолокационной отражаемости около 35 dBZ. По мере дальнейшего развития облака и усиления процесса осадко-градобразования частота внутриоблачных разрядов растет, достигая около 300 молний в минуту при отражаемости облака около 75 dBZ.

Это объясняется тем, что процессы роста дождевых капель, их разбрызгивание, образование и деление кристаллов, зарождение и рост града, приводят к электризации облачных частиц [5]. Пространственный разнос вертикальными потоками и мелких и крупных частиц, имеющих разноименные заряды, приводит к формированию разноименно заряженных зон в облаке и росту напряженности электрического поля до пробойных значений. Развитие молниевых разрядов в облаках обусловлено разделением электрических зарядов и формированием разноименно заряженных зон в облаке. В настоящее время общепризнана реализация в облаке до 20 механизмов электризации облачных частиц. Наиболее интенсивные разделения электрических зарядов связаны с замерзанием капель воды и выпадением осадков. При замерзании капель воды, на границе разных фаз – воды и льда – возникает значительная разность потенциалов – 200 вольт [7], а процесс замерзания сопровождается раскалыванием на несколько частей замерзающей капли или выбросом микрочастиц. В работе [6] показано, что интенсивность разделения электрических зарядов прямо пропорциональна замерзающей массе воды. При этом крупные фракции заряжаются отрицательным зарядом, а мелкие частицы льда – положительным зарядом.

Анализ радиолокационных характеристик исследованных градовых облаков показал, что частота всех типов разрядов растет с увеличением радиолокационной отражаемости Zmax, высот верхней границы (HZi) и объемов (VZi) изолиний Zi – 45, 55, 65, 75 dBZ, а также с увеличением вертикально интегрированного (VIL) и объемно интегрального (MZi) водосодержания облаков.

По данным ГПС ФГБУ «ВГИ» LS8000/7002 были получены значения пикового тока молний в периоды воздействия на град (*рис. 4 и 5*).

Наибольшее значение отрицательного пикового тока составило -67 кА, наибольшее значение положительного пикового тока – 149 кА.

Наибольшее значение отрицательного пикового тока составило -84 кА, наибольшее значение положительного пикового тока составило 157 кА.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены распределения грозовых разрядов различной полярности, зафиксированных на территории Ставропольского края в течение 2016 года. Отмечены наибольшие положительные и отрицательные значения пикового тока. За 2016 год было зафиксировано 52 588 молниевых разрядов, количество грозовых дней составило в теплый период года 85 дней.

Получены карты метеоявлений с ДМРЛ-С с совмещенными молниевыми разрядами различной полярности. Отмечено, что по территории Северного Кавказа облачные молнии в развивающихся конвективных облаках начинаются после достижения радиолокационной отражаемости около 35 dBZ. По мере дальнейшего развития облака и усиления процесса осадко-градобразования частота внутриоблачных разрядов растет при отражаемости облака около 75 dBZ.

Засев градовых облаков кристаллизующими реагентами приводит к повышению частоты молниевых разрядов всех типов (особенно внутриоблачных), что, по-видимому, связано с интенсификацией процесса кристаллизации облачных капель и формирования кристаллов. Косвенным подтверждением действия реагента в облаке может служить реакция на засев характеристик грозовой активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Обнаружение изменений климата: состояние, изменчивость и экстремальность климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 4. С. 50–66.
2. Коршунов А.А., Шаймарданов В.М., Шаймарданов М.З., Шамин С.И. Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, нанесших социально-экономический ущерб в 1998–2017 гг. // Метеорология и гидрология. 2019. № 11. С. 13–19.
3. Аджиев А.Х., Стасенко В.Н., Тапасханов В.О. Система грозопеленгации на Северном Кавказе // «Метеорология и гидрология», 2013. № 1. С. 5–11.
4. Временные методические указания по использованию информации доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С в синоптической практике. – М.: Росгидромет, 2014. — URL: http:// map.meteorad.ru/static/VMU-DMRL-140701.pdf
5. Мазин И.П., Хргиан А.Х. Облака и облачная атмосфера. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 279 с.
6. Качурин Л.Г. Электрический потенциал, возникающий при кристаллизации жидкости. В сб.: Поверхностные явления в жидкостях. – Л.: Издательство ЛГУ, 1975. 262 с.
7. Аджиев А.Х., Тамазов С.Т. Разделение электрических зарядов при кристаллизации капель воды // Метеорология и гидрология. 1987. № 8. С. 57–62.

REFERENCES

1. Gruza G.V., Ran'kova Eh.Ya. Obnaruzhenie izmenenij klimata: sostoyanie, izmenchivost' i ehkstremal'nost' klimata // Meteorologiya i gidrologiya. 2004. № 4. S. 50–66.
2. Korshunov A.A., Shajmardanov V.M., Shajmardanov M.Z., Shamin S.I. Povtoryaemost' opasnyh gidrometeorologicheskih yavlenij, nanesshih social'no-ehkonomicheskij ushcherb v 1998–2017 gg. // Meteorologiya i gidrologiya. 2019. № 11. S. 13–19.
3. Adzhiev A.H., Stasenko V.N., Tapashanov V.O. Sistema grozopelengacii na Severnom Kavkaze // «Meteorologiya i gidrologiya», 2013. № 1. S. 5–11.
4. Vremennye metodicheskie ukazaniya po ispol'zovaniyu informacii doplerovskogo meteorologicheskogo radiolokatora DMRL-S v sinopticheskoj praktike. – M.: Rosgidromet, 2014. — URL: http:// map.meteorad.ru/static/VMU-DMRL-140701.pdf
5. Mazin I.P., Hrgian A.H. Oblaka i oblachnaya atmosfera. – L.: Gidrometeoizdat, 1983. 279 s.
6. Kachurin L.G. Ehlektricheskij potencial, voznikayushchij pri kristallizacii zhidkosti. V sb.: Poverhnostnye yavleniya v zhidkostyah. – L.: Izdatel'stvo LGU, 1975. 262 s.
7. Adzhiev A.H., Tamazov S.T. Razdelenie ehlektricheskih zaryadov pri kristallizacii kapel' vody // Meteorologiya i gidrologiya. 1987. № 8. S. 57–62.