

Раздел IV. Физика атмосферы

УДК 504

А.Х. Аджиев, А.М. Абшаев, Х.А. Тумгоева, Ж.М. Геккиева

ИССЛЕДОВАНИЯ БЫСТРОРАЗВИВАЮЩИХСЯ ОПАСНЫХ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИХ МОНИТОРИНГА В ИНТЕРЕСАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Проблема комплексной оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций, вызванных экстремальными погодными явлениями, является крайне актуальной для Северного Кавказа. Настоящая работа посвящена разработке методов и научно-технических средств прогнозирования особо опасных стихийных явлений на основе интегрированной радиолокационной, грозопеленгационной, спутниковой и СВЧ-радиометрической информации, а также разработке методик краткосрочного прогноза развития опасных и быстроразвивающихся процессов в атмосфере. Для этой цели предложен аппаратно-программный комплекс (АПК), предназначенный для приема-стыковки и обработки радиолокационной разнородной метеорологической информации о погодных явлениях. Областью использования комплекса являются исследования облачных процессов, электрических и микрофизических процессов в атмосфере, мониторинг и оповещение об опасных явлениях погоды (град, гроза, ливень, шквал, смерч), краткосрочный прогноз погоды на территории юга России, активные воздействия на облачные процессы с целью защиты от градобитий и искусственного увеличения осадков. На основе разработанного АПК, в частности получено, что наиболее интенсивная генерация электрических зарядов в облаке происходит при формировании в нем градовых частиц. Подтверждением этого является увеличение количества молний различных типов в период индикации града в облаке с помощью метеорадиолокатора МРЛ-5. Выявлены закономерности изменений молниевой активности конвективного облака при образовании и выпадении града. Впервые, на основе передовых перечисленных инструментальных средств и разработанного АПК получено, что внесение искусственных льдообразующих частиц при активном воздействии на градовые процессы, приводит к модификации электрической активности облака, усиливая ее в начальный период и изменяя пространственное распределение грозовых разрядов.

Природные процессы; прогнозирование; опасные явления; грозопеленгационная сеть; электрическое поле.

A.H. Adzhiev, A.M. Abshaev, H.A. Tumgoeva, G.M. Gekkieva

RESEARCHES OF FAST DEVELOPING DANGEROUS ATMOSPHERIC PHENOMENA AND DEVELOPMENT OF THEIR MONITORING SYSTEM FOR THE PURPOSE OF HUMAN ACTIVITY SAFETY

The problem is a complex estimation of the risk of emergencies caused by extreme weather events, is highly relevant for the North Caucasus. This work is devoted to development of methods of forecasting of especially dangerous natural phenomena on the basis of an integrated satellite and registrar of thunderstorms information as well as the development of methods of short-term forecasting of dangerous and fast processes in the atmosphere. For this purpose, there is provided a hardware-software complex for receiving, processing and docking radar (Doppler) the registrar of thunderstorms and satellite information on weather phenomena. The scope of use of the complex is the study of electrical and microphysical processes in the atmosphere, monitoring and warning of severe weather (hail, thunder, rain, squall, tornado), short-term weather forecast for

the south of Russia, the active influence on cloud processes to protect against hail and artificial precipitation enhancement. It is shown that the most intense generation of electric charges in the cloud formation occurs when the particles therein hail. Proof of this is the increase in the number of different types of lightning during the display of hail in the cloud using weather radar MRL-5. On the base of state-of-the-art instruments and developed software-technical system it is first time received that entering of artificial ice-forming particles into the thunderstorm according to Russian hail suppression technology promotes to intensification of lightning activity during short period after seeding and transforms volumetric distribution of lightning flashes.

Natural processes; forecasting; hazard; the registrar of thunderstorms; the electric field.

Введение. Опасные стихийные природные процессы и явления распространены на поверхности Земли практически повсеместно [1–4]. Опасными они становятся тогда, когда в зоне их прямого или косвенного воздействия оказывается человек или объекты, им созданные [5–7].

К этим процессам относятся экстремальные погодные явления, которые могут нанести значительный ущерб отдельным отраслям народного хозяйства региона и представляют угрозу безопасности жизнедеятельности [8–10].

Таким образом, проблема комплексной оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций, вызванных экстремальными погодными явлениями, является крайне актуальной для Северного Кавказа.

Развитие методов комплексного мониторинга окружающей среды с целью поиска предвестника атмосферных явлений, предполагает наращивание геофизических исследований, создание стационарных и мобильных пунктов наблюдений. Международный опыт работ в данной области подтверждает, что получение достоверной информации о развитии опасного быстроразвивающегося атмосферного явления, его типе и масштабах возможно только в случае привлечения всех современных методов исследований [11, 12].

Настоящая работа посвящена:

- ◆ разработке методов прогнозирования особо опасных стихийных явлений (грозы и молнии, град и ливни) на основе интегрированной спутниковой и грозопеленгационной информации;
- ◆ разработке методик краткосрочного прогноза развития опасных и быстроразвивающихся процессов в атмосфере.

Для этого проведены систематические наблюдения за развитием опасных атмосферных явлений на Северном Кавказе, сопровождающих грозовые явления с использованием спутниковых метеорологических наблюдений и грозопеленгационной сети с привлечением сети МРЛ на Северном Кавказе и метеорологических станций (рис. 1).

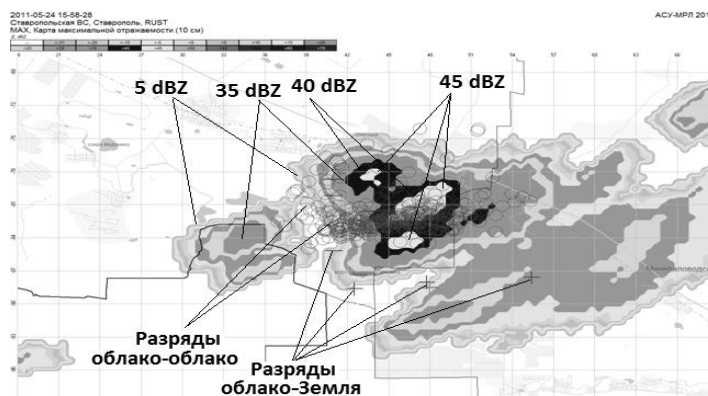


Рис. 1. Синтезированная карта радиолокационной отражаемости и пеленгов грозовых разрядов

Широко исследовались особенности развития грозо-градовых процессов и параметров молний на юге европейской части России с использованием грозорегистратора LS8000, а также региональной сети МРЛ.

В данной статье рассмотрены некоторые результаты анализа влияния засева кристаллизующими реагентами на электрическую активность градовых и градоопасных облаков, выполненного на основе совмещения в реальном масштабе времени данных грозопеленгационной сети, автоматизированного метеорологического радиолокационного комплекса АМРК «АСУ-МРЛ» и места внесения кристаллизующего реагента с помощью противоградовых ракет.

Технические средства метеорологических измерений. Грозорегистратор LS-8000, производства фирмы Vaisala (Финляндия), предназначен для автоматического обнаружения и регистрации координат грозных разрядов как в автономном режиме, так и в составе региональной системы из нескольких аналогичных комплексов, объединяемых специальной системой связи, или через Интернет.

Грозорегистратор состоит из четырех пеленгаторов и центрального пункта приема и обработки информации [13, 14]. Пеленгаторы расположены у населенных пунктов: Черкесск (Карачаево-Черкесская Республика), Кзыбурун (Кабардино-Балкарская Республика), Ставрополь и Зеленокумск (Ставропольский Край). Данные этих сенсоров посредством спутниковой связи передаются на центральный процессор (СР), расположенный в Нальчике в ФГБУ "ВГИ" и состоящий из 6 компьютеров, программного обеспечения и оборудования для связи с пеленгаторами. Схема расположения пеленгаторов и СР показана на рис. 2.

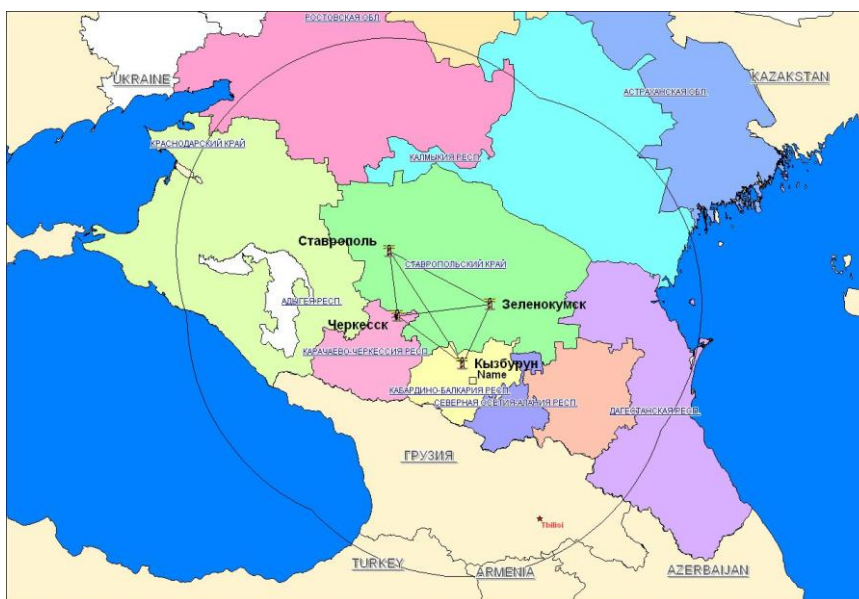


Рис. 2. Схема грозорегистрационной сети LS 8000.

Обозначения: _____ – границы уверенного приема; – различными цветами разделены республики Северного Кавказа; – местоположение датчиков грозорегистратора.

Каждый пеленгатор имеет два датчика – низкочастотный (LF) и высокочастотный (VHF). LF-датчик регистрирует разряды облако-земля (CG) и внутриоблачные (IC), а VHF-датчик – внутриоблачные.

Также в программно-аппаратный комплекс входят антенны GPS, для получения точного времени со спутников, что, в свою очередь, позволяет синхронизировать все измерения, производимые сенсорами, со временем на центральном пункте.

Время измеряется с точностью 100 наносекунд. Каждый датчик определяет азимут, время прихода сигнала и силу сигнала.

CP определяет местоположение каждого разряда, используя сигналы с максимально возможного числа сенсоров. В оптимальном случае используется информация со всех 4-х пеленгаторов, при условии, что эти данные удовлетворяют условиям корректности. Местоположение разряда определяется при получении корректных данных минимум с двух сенсоров.

По данным LF и VHF датчиков CP выдает следующую информацию о разряде:

- ◆ Дата и время с точностью 100 наносекунд;
- ◆ Широта, долгота (WGS-84);
- ◆ Сила и полярность сигнала (тока в канале разряда), в кА;
- ◆ Количество датчиков, использованных при определении местоположения;
- ◆ Классификация разрядов на типы (CG или IC);
- ◆ Классификация разрядов на положительные и отрицательные;
- ◆ Позиционная уверенность (χ^2 -квадрат);
- ◆ Время роста сигнала до пикового значения, в мкс;
- ◆ Время спада сигнала от пикового значения до нуля, в мкс.

Для отображения данных о молниевых разрядах на карте местности в состав LS-8000 входит приложение LTS-2005, которое позволяет делать это в режиме реального времени (рис. 3).

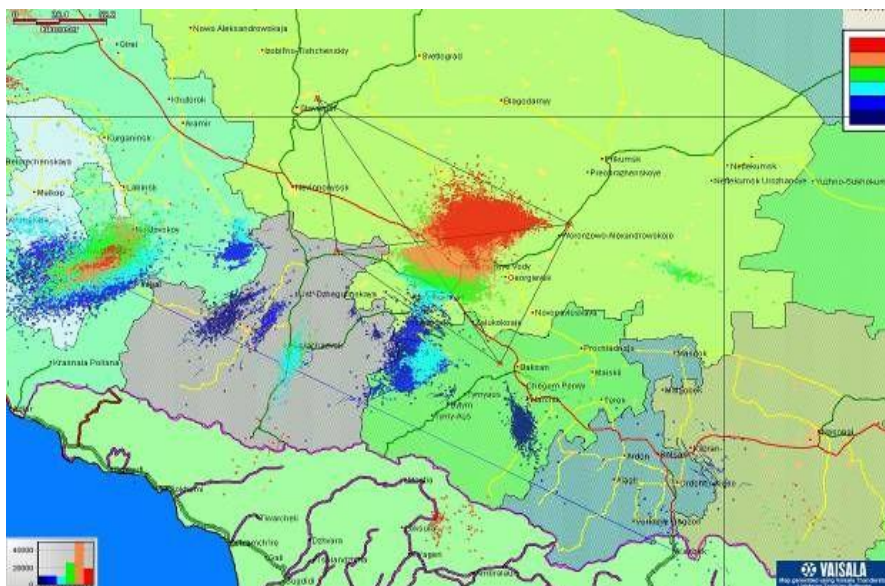


Рис. 3. Пример отображения грозового процесса на карте местности

Цвет разрядов обозначает временной (30 минутный) интервал, когда произошел разряд.

Для подготовки данных о молниях в формате, необходимом для совмещения с данными метеорологических радиолокаторов была создана программа DataClient. Она извлекает по локальной сети из CP информацию о параметрах молниевых разрядов, преобразует их в необходимый вид и записывает на жесткий

диск с формированием заранее определенной структуры представления информации. Программа DataClient в оперативном режиме отслеживает все молниевые разряды, разбивает данные по типам (CG или IC), группирует их по минутным и часовым интервалам и записывает на жесткий диск компьютера.

Для измерения напряженности электрического поля атмосферы при различных метеоусловиях был разработан аппаратно-программный комплекс [15], включающий в себя:

- ◆ измерители электрического поля атмосферы EFM 550 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. 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.

С помощью системы измерителя электрического поля получен ход напряженности при развитии грозо-градовых процессов и на них были наложены количество разрядов облако-земля и облако-облако, полученных при помощи грозопеленгатора LS 8000.

По их результатам выполнен поиск взаимосвязанных и взаимоопределяющих предикторов развития опасных атмосферных явлений и на их основе разработаны методы контроля тенденций их развития и их распознавание на основе данных грозопеленгационной сети.

Получено, что наиболее значительные искажения в естественный ход напряженности поля атмосферы вносят грозовые процессы, связанные с генерацией объемного заряда в облаках и зонах осадков. Реакцией напряженности поля на молниевые разряды является значительное ее возрастание до значений более 10 кВ/м даже у поверхности земли и резкие скачки от нормального значения от +130 В/м до значений от "минус" 10 кВ/м до "плюс" 10 кВ/м после каждого разряда. Как правило, грозовые разряды в облаке фиксируются через 20–30 минут после превышения напряженности поля под облаком значений 5кВ/м.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что электрические проявления облака свидетельствуют не только о его существенной микрофизической перестройке, но и предшествуют появлению опасных атмосферных явлений, т.е. они фактически являются их предикторами.

Для комплексной обработки данных грозовых разрядов совместно с данными радиолокационных измерений использовалась система АМРК «АСУ-МРЛ» [16], предназначенная для целей штормооповещения и управления активными воздействиями на облачные процессы, позволяющая получать около 30 карт метеоинформации, измерять более 40 одномерных, двумерных и трехмерных параметров облачных ячеек, строить диаграммы эволюции любых параметров, распознавать явления погоды и категории объектов воздействия, отображать на фоне структуры облаков место внесения реагента, пеленги грозовых разрядов по данным сети датчиков LS-8000 (рис. 4), и рассчитывать их грозовые характеристики.

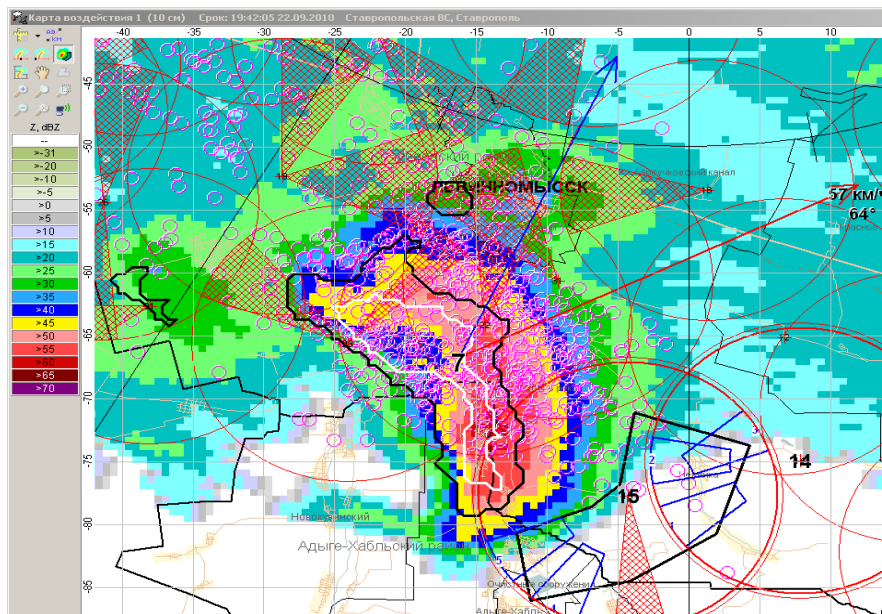


Рис. 4. Пример синтезированной карты радиолокационной структуры суперячейкового градового облака 22.09.2010 г. с местом внесения противоградовых изделий (ПГИ) и пленгами грозовых разрядов

Обозначения:

- Внутриоблачные грозовые разряды;
- + Разряды облако-земля положительной полярности;
- Разряды облако-земля отрицательной полярности;



Место внесения ПГИ в виде усеченных трапеций, ограничивающих начало и конец трассы эффективного засева ракет;

Красные круги – радиусы действия ракетных пунктов воздействия; Замкнутый черный многоугольник ниже основного радиозеха – площадка засева;

Замкнутый контур черного цвета на фоне радиозеха – мощные осадки у земли;

Замкнутый контур белого цвета на фоне радиозеха – градовые и ливневые осадки у земли;

Синий вектор из центра грозоградовой ячейки – направление ведущего потока или среднего ветра в атмосфере на уровне 700–500 миллибар;

Красный вектор из центра грозоградовой ячейки – направление перемещения ячейки.

В данной работе рассматривается эволюция трех мощных грозоградовых процессов (22.09.2010 г., 29.05.2012 г. и 19.07.2012 г.), на которые проводилось воздействие с целью предотвращения града Ставропольской и Краснодарской Военизированными службами Росгидромета с помощью ПГИ с реагентом AgI.

На синтезированные карты структуры облаков, получаемых на «АСУ-МРЛ» через каждые 3 мин 40 сек, отображались места грозовых разрядов и вносимых ПГИ именно в этом интервале времени. Для отсека ложных гроз осуществлена фильтрация разрядов, отмечавшихся за границами радиозеха с $Z < 5$ dBZ. Места внесения ракет нанесены с упреждением на перемещение облаков.

На рис. 5 представлена эволюция мощного суперячейкового градового облака (22.09.2010 г.), из которого по радиолокационным и наземным данным выпадал крупный град.

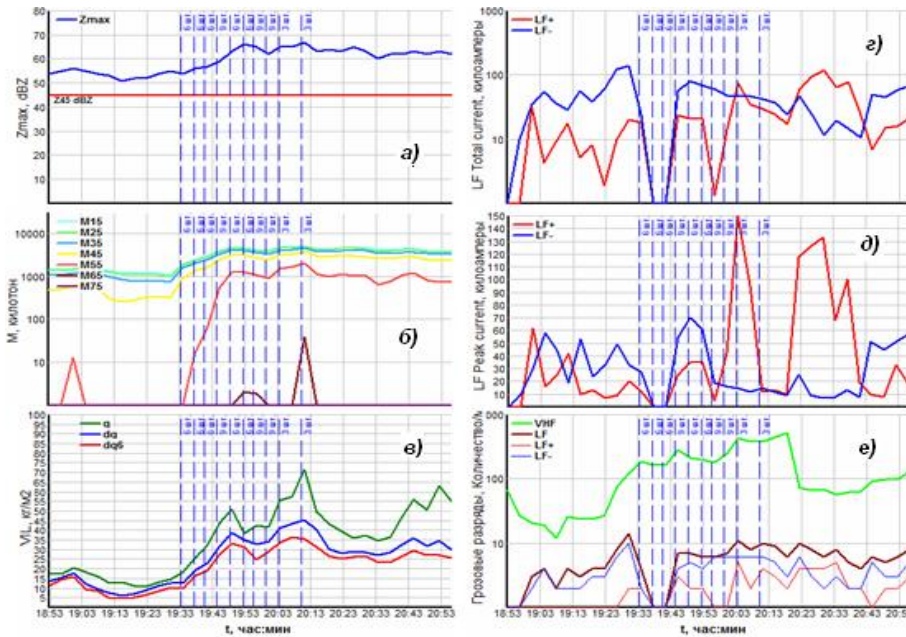


Рис. 5. Эволюция во времени параметров суперячейкового градового облака, наблюдавшегося 22.09.2010 г. в Ставропольском крае, в процессе засева кристаллизующим регентом AgI: а – максимальная радиолокационная отражаемость (Z , dBZ); б – суммарное водосодержание объемов, ограниченных изолиниями $Z = 15, 25, 35, 45, 55$ и 65 dBZ (M , килотонн); в – максимальное значение VIL ($\text{кг}/\text{м}^2$) всей толщи облака (q), слоя выше изотермы 0°C (dq) и слоя выше изотермы -6°C (dq_6); г – суммарный ток положительных (LF+) и отрицательных (LF-) разрядов облако-земля (килоампер); д – максимальный ток разрядов облако-земля (килоампер); е – частота разрядов облако-облако (VHF) и облако-земля (LF) в мин. Моменты внесения и количество ракет "Алазань-6" обозначены вертикальными пунктирными линиями

По мере его развития с 18:53 до 19:55 максимальная отражаемость увеличилась от 54 до 66 dBZ (рис. 5,а). В 18:53 появился и резко увеличивается во времени объем с отражаемостью 55 dBZ, а соответствующее ей интегральное водосодержание градовой компоненты осадков достигло значения $M_{55} \geq 1100$ килотонн, при общем водосодержании облака $M_{15} \geq 1600$ килотонн (рис. 5,б). Водосодержание вертикального столба (VIL) облака увеличилось за это время с 20 до $70 \text{ кг}/\text{м}^2$. Согласно российской технологии защиты от града [16, 17] облако, как объект воздействия (ОВ), достигло 4 категории. Воздействие на него проводилось с 19:33 и до 20:11, внесено 63 ПГИ "Алазань-6" с общим количеством кристаллизующего реагента 39,69 кг и общим выходом около $4,2 \cdot 10^{17}$ активных кристаллизующих частиц. Из-за недостатка ракет в течение всего времени воздействия отмечался недозасев. Только спустя полчаса от начала воздействия VIL резко уменьшилось с 70 до $40 \text{ кг}/\text{м}^2$.

Ход грозовых параметров облака показан на рис. 5,г–е, из которых следует, что:

- ♦ с началом воздействия сумма токов отрицательных разрядов типа облако-земля (рис. 5,г) резко уменьшается от 110 до 10 килоампер/мин;

- ◆ сумма токов положительные зарядов, напротив, увеличились с 30 до 80 килоампер/мин;
- ◆ пиковый ток разрядов облако-земля обоих полярностей вначале увеличивается после воздействия, а затем спустя 10–15 минут уменьшается (рис. 5,д);
- ◆ наиболее показательную реакцию на засев кристаллизующим реагентом демонстрирует количество межоблачных разрядов, увеличиваясь от 110 до 800 разрядов в минуту при средней мощности разрядов 20 килоампер. Количество же более энергетически сильных разрядов облако-земля, напротив, резко уменьшается вплоть до полного исчезновения, и далее плавно увеличивается.

Выводы. Опытная эксплуатация системы грозопеленгации в 2010–2012 гг. позволила выявить следующие особенности развития грозоградовых явлений на Северном Кавказе:

1) Наиболее интенсивная генерация электрических зарядов в облаке происходит при формировании в нем градовых частиц. Подтверждением этого является увеличение количества молний различных типов в период индикации града в облаке с помощью метеорадиолокатора МРЛ-5;

2) В зоне роста градовых частиц, как правило, совпадающей с отрицательно заряженной областью облака, имеет место интенсивное разделение электрических зарядов и формирование условий для возникновения отрицательных молний CG. В этот период имеет место рост высоты верхней границы облака и его отражаемости до 10 км и 65 dbZ соответственно;

3) Начало формирования града совпадает по времени с максимальным интегральным водосодержанием как облака в целом, так и его переохлажденной части;

4) Измерение числа грозовых разрядов в период зарождения и выпадения града показывает, что градовая стадия обычно сопровождается наибольшей грозовой активностью кучево-дождевых облаков. Появление градовых частиц в облаке увеличивает грозовую активность в 2–2,5 раза. В тоже время градообразование в конвективном облаке начинается после начала грозы, которая может продолжаться и после прекращения града. Это показывает, что процесс градообразования в облаке занимает значительно меньше времени, чем грозовая деятельность. При этом косвенным подтверждением перехода облака в градоопасную стадию является: рост интенсивности грозы до 5 и более разрядов в минуту; облако становится градовым, если число разрядов превысит 10 разрядов/мин.

5) Среднее значение тока отрицательной CG молнии составляет 16,8 кА. Для положительных CG молний среднее значение тока составило 22,9 кА;

6) С увеличением высоты местности над уровнем моря значение амплитуды тока уменьшается. Среднее значение тока в равнинной и степной зонах территории Северного Кавказа составляет около 23 кА, а в горной части – 14 кА.

7) Получены распределения токов различной полярности. Средние значения токов молнии в зрелой стадии развития грозового облака составляют 1...100 кА. В начале и завершении грозы грозовая активность определяется, в основном, внутриоблачными молниями.

8) Проведены работы по объединению радиолокационной и грозорегистрационной информации с учетом орографии местности, над которой развиваются облака для более точного распознавания гроз, града, вида осадков и т.д.

9) По предварительным данным получено, что пеленги грозовых разрядов относительно редки во фронтальных обновляющихся частях грозовых облаков (областях нового роста), куда вносится кристаллизующий реагент в соответствии с технологией противорадовой защиты. Засев областей нового роста аэрозолем AgI приводит через 3–6 минут к повышению частоты внутриоблачных грозовых раз-

рядов (VHF) и сокращению разрядов «облако-земля» (LF) положительной и отрицательной полярности. Повышение частоты грозовых разрядов наблюдается в областях повышенной отражаемости и на подветренном фланге градового облака. Это, по-видимому, связано с тем, что кристаллизующий реагент, вносимый в области слабых восходящих потоков, по мере стимулирования быстрой электризации облачных частиц за счет фазовых переходов, втягивается в мощный восходящий поток и в градовый очаг, и переносится на подветренный фланг, приводя к интенсификации разрядных процессов в этих областях. По мере засева разряды «облако-земля» практически исчезают, хотя из облака продолжает выпадать град. Грозовые характеристики облака реагируют на АВ более быстро, чем радиолокационные, но также быстро и возвращаются в первоначальное состояние, видимо, за счет быстрой регенерации объемного заряда в облаке.

10) За время эксплуатации грозопеленгационная сеть LS8000 зарегистрировало 1 366 628 положительных и 4 611 649 отрицательных молниевых разрядов типа Облако-Земля, и около 43 412 959 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 [18–21].

Так, в работе [22] 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.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безопасность России. Защита населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. – М.: МГФ Знание, 1999. – 588 с.
2. Разумов В.В., Аджиев А.Х., Разумова Н.В., Глушко А.Я., Шагин С.И., Кондратьева Н.В., Притворов А.П., Колычев А.Г., Шаповалов М.А. Опасные природные процессы Северного Кавказа. – М.: Изд-во Феория, 2013. – 320 с.
3. Mazur V. Physics of lightning-aircraft interaction // Res Lett Atmos Electr. – 1992. – No. 12. – P. 107-115.
4. Plumer J.A, Rasch N.O, Glynn M.S. Recent data from the airlines lightning strike reporting project // J Aircr. – 1985. – No. 22. – P. 429-33.
5. Murooka Y. A survey of lightning interaction with aircraft in Japan // Res Lett Atmos Electr. – 1992. – Vol. 12. – P. 101-106.
6. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации (НМОГА-73). – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 137 с.
7. Michimoto K. Statistics of lightning strikes to aircraft in winter around Komatsu airbase // Japan J Atmos Electr. – 1993. – No. 13. – P. 47-58.
8. Мазин И.П., Хргиан А.Х. Облака и облачная атмосфера. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 648 с.
9. Мазин И.П., Шметер С.М. Облака. Строение и физика образования. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 279 с.
10. Brook M., Holmes C.R., Moore C.B. Lightning and rockets: Some implication of the Appolo-12 lightning event // Nav.Res. – 1970. – No. 4. – P. 1-17.
11. Uman M.A., Rakov V.A. The interaction of lightning with airborne vehicles // Progress in Aerospace Sciences. – 2003. – No. 39. – P. 61-81.
12. Harrison L.P. Lightning discharges to aircraft and associated meteorological conditions. Technical Note No.1001, National Advisory Committee for Aeronautics, Washington, DC, 1946. – 149 p.

13. *Аджиев А.Х., Стасенко В.Н., Тапасханов В.О.* Система грозопеленгации на Северном Кавказе // *Метеорология и гидрология*. – 2013. – № 1. – С. 5-11.
14. *Аджиев А.Х., Аджиева А.А., Дорина А.Н.* Определение параметров молниевых разрядов с использованием грозорегистратора LS 8000 // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Физика атмосферы. Спец. выпуск*. – 2010. – С. 10-12.
15. *Аджиев А.Х., Куповых Г.В.* Вариации атмосферного электрического поля на высокогорных пунктах наблюдений // *Доклады Академии наук*. – 2015. – Т. 462, № 2. – С. 213-216.
16. *Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Котелевич А.Ф., Сирота Н.В.* Автоматизированная система управления противорадовыми операциями «АСУ-МРЛ» // *Труды научно-практ. конф, посвящ. 40-летию производств. работ по защите сельхозкультур от градобитий*. – Нальчик, 2011. – С. 211-225.
17. *Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Малкарова А.М., Пометельников В.А.* Руководящий документ РД 52.37.731-2010. Организация и проведение противорадовой защиты. – Нальчик, 2010. – 86 с.
18. *Аджиев А.Х., Аджиева А.А., Тумгоева Х.А.* Мониторинг грозовых явлений на Северном Кавказе // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. – 2008. – № 3. – С. 104-109.
19. *Adzhiev A.K., Tapaskhanov V.O., Stasenko V.N.* Lightning detection system in the North Caucasus // *Russian Meteorology and Hydrology*. – 2013. – Vol. 38, No. 1. – P. 1-5.
20. *Аджиев А. Х., Богаченко Е.М.* Грозы Северного Кавказа. – Нальчик: ООО «Полиградосервис и Т», 2011. – 151 с.
21. *Козлов В.И., Муллаярв 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.
22. *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. – P. 108-122.

REFERENCES

1. Bezopasnost' Rossii. Zashchita naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy prirodnogo i tekhnogennogo kharaktera [The Security of Russia. Protection of population and territories from emergency situations of natural and technogenic character]. Moscow: MGF Znanie, 1999, 588 p.
2. *Razumov V.V., Adzhiev A.Kh., Razumova N.V., Glushko A.Ya., Shagin S.I., Kondrat'eva N.V., Pritvorov A.P., Kolychev A.G., Shapovalov M.A.* Opasnye prirodnye protsessy Severnogo Kavkaza [Dangerous natural processes in the North Caucasus]. Moscow: Izd-vo Feoriya, 2013, 320 p.
3. *Mazur V.* Physics of lightning-aircraft interaction, *Res Lett Atmos Electr.*, 1992, No. 12, pp. 107-15.
4. *Plumer J.A., Rasch N.O., Glynn M.S.* Recent data from the airlines lightning strike reporting project, *J Aircr.*, 1985, No. 22, pp. 429-33.
5. *Murooka Y.* A survey of lightning interaction with aircraft in Japan, *Res Lett Atmos Electr.*, 1992, Vol. 12, pp. 101-106.
6. *Nastavlenie po meteorologicheskomu obespecheniyu grazhdanskoy aviatsii (NMOGA-73)* [The manual on meteorological support of civil aviation (NMOGA-73)]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973, 137 p.
7. *Michimoto K.* Statistics of lightning strikes to aircraft in winter around Komatsu airbase, *Japan J Atmos Electr.*, 1993, No. 13, pp. 47-58.
8. *Mazin I.P., Khrgian A.Kh.* Oblaka i oblachnaya atmosfera [Clouds and cloud atmosphere]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989, 648 p.
9. *Mazin I.P., Shmeter S.M.* Oblaka. Stroenie i fizika obrazovaniya [Clouds. Structure and physics of formation]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983, 279 p.
10. *Brook M., Holmes C.R., Moore C.B.* Lightning and rockets: Some implication of the Appolo-12 lightning event, *Nav.Res.*, 1970, No. 4, pp. 1-17.
11. *Uman M.A., Rakov V.A.* The interaction of lightning with airborne vehicles, *Progress in Aerospace Sciences*, 2003, No. 39, pp. 61-81.

12. *Harrison L.P.* Lightning discharges to aircraft and associated meteorological conditions. Technical Note No.1001, National Advisory Committee for Aeronautics, Washington, DC, 1946, 149 p.
13. *Adzhiev A.Kh., Stasenko V.N., Tapaskhanov V.O.* Sistema grozopelengatsii na Severnom Kavkaze [System grozoperevalki in the North Caucasus], *Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and Hydrology]*, 2013, No. 1, pp. 5-11.
14. *Adzhiev A.Kh., Adzhieva A.A., Dorina A.N.* Opredelenie parametrov molnievykh razryadov s ispol'zovaniem grozoregistratora LS 8000 [Determination of parameters of lightning strokes with the use of protractor LS 8000], *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennye nauki. Fizika atmosfery. Spets. Vypusk [Izvestiya vuzov. The North Caucasus region. Natural science. Physics of the atmosphere. Special edition]*, 2010, pp. 10-12.
15. *Adzhiev A.Kh., Kupovykh G.V.* Variatsii atmosfernogo elektricheskogo polya na vysokogornykh punktakh nablyudeniya [Variations of the atmospheric electric field at high altitude observation], *Doklady Akademii nauk [Reports of Academy of Sciences]*, 2015, Vol. 462, No. 2, pp. 213-216.
16. *Abshaev M.T., Abshaev A.M., Kotelevich A.F., Sirota N.V.* Avtomatizirovannaya sistema upravleniya protivogradovymi operatsiyami «ASU-MRL» [Automated control system of anti-hail operations "ASU-MRL"], *Trudy nauchno-prak. konf. posvyashch. 40-letiyu proizvodstv. rabot po zashchite sel'khozkul'tur ot gradobitiiy [Proceedings of scientific-practical conference, devoted to the 40th anniversary production of works for the protection of crops from gradaute]*. Nal'chik, 2011, pp. 211-225.
17. *Abshaev M.T., Abshaev A.M., Malkarova A.M., Pomel'nikov V.A.* Rukovodyashchiy dokument RD 52.37.731-2010. Organizatsiya i provedenie protivogradovoy zashchity [Guidance document RD 52.37.731-2010. Organization and conduct of anti-hail protection]. Nal'chik, 2010, 86 p.
18. *Adzhiev A.Kh., Adzhieva A.A., Tumgoeva Kh.A.* Monitoring grozovykh yavleniy na Severnom Kavkaze [Monitoring of thunderstorms in the North Caucasus], *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN [News of the Kabardino-Balkarian Scientific Centre of RAS]*, 2008, No. 3, pp. 104-109.
19. *Adzhiev A.K., Tapaskhanov V.O., Stasenko V.N.* Lightning detection system in the North Caucasus, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2013, Vol. 38, No. 1, pp. 1-5.
20. *Adzhiev A. Kh., Bogachenko E.M.* Grozy Severnogo Kavkaza [Thunderstorms In The North Caucasus]. Nal'chik: OOO «Poligrado-servis i T», 2011, 151 p.
21. *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 [Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics]*, 2014, Vol. 50, No. 3, pp. 365-372.
22. *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.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор Б.И. Кунижев.

Аджиев Анатолий Хабасович – Федеральное государственное бюджетное учреждение «Высокогорный геофизический институт»; e-mail: adessa1@yandex.ru; 360030, г. Нальчик, пр. Ленина, 2; тел.: 88662401619; зав. отделом стихийных явлений; д.ф.-м.н.; профессор.

Абшаев Али Магомедович – e-mail: abshaev@yahoo.com; зав. лабораторией; д.ф.-м.н.

Геккиева Жулдуз Магомедовна – e-mail: julduz_gekkieva@mail.ru; аспирантка.

Тумгоева Хадиджат Абукарвна – Чеченский государственный университет; e-mail: hadiga-71@mail.ru; Чеченская Республика, Грозный, ул. Киевская, 33; к.ф.-м.н.

Adzhiev Anatoly Habasovich – Federal State Institution "Mountain Geophysical Institute"; e-mail: adessa1@yandex.ru; 2, Lenin av., Nal'chik, 360030, Russia; phone: +78662401619; head of the department of natural phenomena; dr. of phys.-math. sc.; professor.

Abshaev Ali Magomedovich – e-mail: abshaev@yahoo.com; head of laboratory; dr. of phys.-math. sc.

Gekkieva Gulduz Magomedovna – e-mail: julduz_gekkieva@mail.ru; postgraduate student.

Tumgoeva Hadijat Abukarovna – Chechen State University; e-mail: hadiga-71@mail.ru; 33, Kiev street, Grozny, Chechen Republic, Russia; cand. of phys.-math. sc.