

ОБЗОР НЕКОТОРЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРАДОВЫХ И ГРОЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГРУЗИИ

^{1,2}Бердзенишвили Н.М., ³Киркитадзе Д.Д.

¹Якоб Гогебашиვილი Телавский государственный университет, Телави, Грузия

²Академия экологических наук Грузии, Тбилиси, Грузия

nana.berdenishvili@tesau.edu.ge

³Институте геофизики им. М. Нодиа, ТГУ, Тбилиси, Грузия

Введение

К опасным метеорологическим явлениям (ОЯ) относятся явления погоды, которые интенсивностью, продолжительностью и временем возникновения представляют угрозу безопасности людей, а также могут нанести значительный ущерб отраслям экономики. К ним относятся ураганные ветры, смерчи (торнадо), шквалы, град, грозы, гололёд и изморозь, гололедица, метели, ливни, продолжительные дожди, снегопады, туманы, пыльные бури, аномальная жара, понижения горизонтальной и вертикальной дальности видимости. В Грузии, в той или иной степени, наблюдаются практически все перечисленные ОЯ погоды. В данной работе представлен обзор работ грузинских ученых по исследованиям града и гроз в последние десятилетия.

Град

Грузия является одним из градоопасных регионов мира. О градобитиях, как о чрезвычайно опасном явлении для Грузии, упоминают древние летописцы. В частности, упоминается о разрушении языческих идолов градом и ураганом в предхристианскую эпоху (IV век) в Грузии, которые были вызваны молитвами Святой Нино [https://ka.wikipedia.org/wiki/საქართველო_IV_საუკუნეში]. Вахушти Багратиони [1] упоминает частые градобития в местности от Хеви до Сванетии, существенно повреждавшие выращиваемые здесь пшеницу, ячмень, овес. Однако, в этом труде Вахушти Багратиони нет упоминаний о серьезном вреде от градобитий в других частях Грузии, в том числе в Кахетии, где в средние века выращивали зерновые культуры, виноград, фрукты, хлопок, рис и др. Причиной этого, по мнению авторов [2], могла быть то, что более 80% территории Кахетии в 1730-1740 гг. была покрыта лесом. Со временем площадь лесов здесь уменьшилась и усилились конвективные процессы, приводящие к градобитиям.

С середины XIX века грузинские газеты начали систематически публиковать сообщения о градобитиях и их последствиях. Так, в июле 1877 года газета «Иверия» сообщала о выпадении града с голубинное яйцо в Гурджаанском районе, который уничтожил посевы и виноградники [3].

Поэтому не удивительно, что исследованиям градовых процессов в Грузии уделялось и уделяется особое внимание [4-11], включая использование этих исследований для практических целей – борьбе с градобитиями [12-16]. В частности, в работе [12] предложена количественная характеристика интенсивности градобитий, названная степенью градоопасности, которая изменяется от 0 до 1. В соответствие с [12] Грузия относится к наиболее градоопасным районам бывшего СССР, где проводились противоградовые работы (степень градоопасности = 1).

В настоящее время в Грузии град выпадает повсеместно. Так, по данным работ [4-8, 17,18-21] меньше всего градобитий наблюдается на Черноморском побережье и в Колхидской низменности (среднее число дней с градом в год около 2, а наибольшее - достигает 9 в Поти). Град здесь выпадает круглогодично. В Восточной Грузии годовое число дней с градом в Кахетии составляет 2–3, на Южно-Грузинском нагорье – 7–10, в центральной части Большого Кавказа – более 6. Максимальное число дней с градом в течение года на Южно-Грузинском нагорье и в центральной части Большого Кавказа превышает 20. В этих регионах градовые процессы наблюдаются в теплое полугодие (в основном с апреля по октябрь), и наиболее активны весной и в первой половине лета.

В таблице 1 представлены статистические характеристики осредненного по климатическим районам (зонам) числа дней с градом в теплое полугодие (апрель-октябрь) для 123 метеостанций Грузии в 1941-1990 гг. [17].

Таблица 1. Статистические характеристики осредненного по климатическим зонам числа дней с градом в теплое полугодие (ЧДГ) для 123 метеостанций Грузии в 1941-1990 гг.

Регион, климатическая зона	Колич. станций	Площадь, км ²	Площадь на одну станцию, км ²	Макс.	Среднее
I. Южная часть Черноморского побережья.	4	900	225	2	0.30
II. Северная часть Черноморского побережья.	9	2000	220	4	0.37
III. Внутренняя равнинная часть Западной Грузии с предгорьями.	29	10900	375	6	0.32
IV. Имеретинская возвышенность.	10	3700	370	8	0.61
V. Верхнекартлийская и Нижнекартлийская равнины с предгорьями.	16	7000	440	10	1.4
VI. Алазанская долина с предгорьями.	5	4200	840	8	1.68
VII. Иорское плоскогорье с прилегающими степями.	4	5600	1400	7	1.06
VIII. Периферийная часть Западного Кавкасиони.	3	2900	970	12	1.47
IX. Внутренняя часть Внутреннего Кавкасиони.	13	9900	760	15	1.58
X. Предгорье и среднегорье Восточного Кавкасиони.	3	4400	1470	7	0.89
XI. Высокогорье Восточной Грузии.	4	2200	5500	15	2.03
XII. Северные склоны Кавкасиони.	2	2500	1250	8	1.17
XIII. Западная часть Южно-Грузинского нагорья.	4	2600	650	13	1.4
XIV. Южные склоны Месхетского и Триалетского хребтов.	10	5500	650	13	3.15
XV. Южная часть Южно-Грузинского нагорья.	7	5700	815	20	3.65

В этой же таблице представлены примерные площади климатических районов и значение площадей, приходящихся в среднем на одну метеостанцию в соответствующей зоне. К сожалению,

плотность метеостанций, имеющих 50-летний ряд наблюдений за числом дней с градом, в различных климатических районах различна. При средней плотности 1 метеостанция на 570 км² по всей территории Грузии в 1 и 2 климатических зонах эта плотность составляет соответственно, 1 метеостанция на 225-220 км², тогда как для районов 4 и 10 – 1 метеостанция на 1400 и 1470 км².

Из таблицы 1 также следует, что распределение ЧДГ по климатическим районам Грузии, как и для отдельных станций (диапазон изменения от 0 для всех станций до 20 для Ниноцминда, климатическая зона N 15, высота 2077 м над ур. моря; диапазон изменения средних значений от 0,2 – Сенаки и Ацана, зона N 3, высота 45 и 190 м над ур. моря соответственно до – 3,76 для Корулдаш, зона N 9, высота 1947 м над ур. моря), носит довольно неравномерный характер. В соответствие со статистическим анализом редких событий средние по метеостанциям числа дней с градом не отличаются друг от друга для следующих пар климатических зон: 1-2 и 3; 2 и 3; 5-6,8,9,12 и 13; 6-8,9,11 и 13; 7-10 и 12; 9 и 13; 10 и 12; 12 и 13; 14 и 15. Для остальных пар районов, с достоверностью не менее 90%, имеются различия.

По данным последних лет (2006-2021) для 41 пункта Грузии максимальное среднегодовое количество ЧДГ наблюдается в Ахалцихе (3.4), максимальное годовое количество дней с градом наблюдается в Мирвети (16). В 25 пунктах Грузии в холодный период года (ноябрь-март) градовых процессов не наблюдалось [22]. К сожалению, количество метеостанций в Грузии в последние годы существенно уменьшилось, что затрудняет иметь полную картину изменчивости числа дней с градом в результате изменения климата.

С высотой местности число дней с градом увеличивается примерно до 3000 м над уровнем моря, а затем – убывает [3, 4, 8, 17]. Это увеличение связано из-за развития восходящих потоков перед препятствиями, усиления турбулентности в приземном слое воздуха и, как следствие, увеличения конвективной облачности. В то же время, характер изменения числа дней с градом с высотой зависит от конкретного района, его климатических особенностей, экспозиции склона и других факторов.

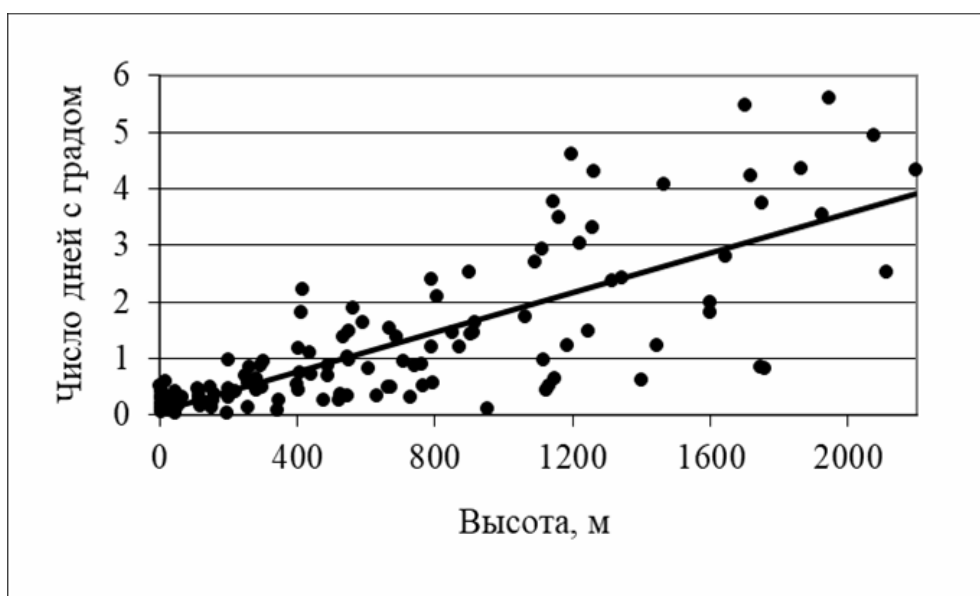


Рис. 1.

Вертикальное распределение среднего числа дней с градом в теплое полугодие для 122 метеостанций Грузии в период с 1941 по 1990 гг. [17].

Для примера на рис. 1 представлено распределение с высотой среднего ЧДГ в теплое полугодие для 122 метеостанций Грузии в период с 1941 по 1990 гг. в диапазоне высот от 2 до 2197 м над ур. моря (без станции Казбеги высокогорная, высота 3656 м над ур. моря где наблюдается резкое уменьшение среднего числа дней с градом – 1,5) [17]. Коэффициент корреляции в данном случае равен 0,77 (рис. 1), уравнение регрессии: $ЧДГ = 0,0018 \cdot H + 0,0698$. С учетом станции Казбеги высокогорная коэффициент корреляции между ЧДГ и H убывает составляет 0,71. Однако, это уменьшение не является значимым.

Максимальная активизация градовых процессов в Кахетии происходит, в основном, в мае и июне, а в Центральной части Большого Кавказа вторичный максимум выпадения града отмечается в сентябре. Интенсивность градобитий в существенно зависит от размеров градин и продолжительности градобития. Диаметр градин колеблется в широких пределах, от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Согласно В.М. Гигинеишвили [4] в Восточной Грузии максимальный диаметр выпавшего града составляет 4–5 см. В Самсарском районе Восточной Грузии отмечается выпадение градин диаметром 3 см [23], в Алазанской долине в основном выпадают градины диаметром 1.4–1.8 см [24,25]. В целом, для исследуемой территории в большинстве случаев характерно выпадение мелкого интенсивного града – около 70%. Повторяемость выпадения среднего (20-30 мм) и крупного (диаметром более 30 мм) града составляет 25-30%. Повторяемость града диаметром 30-50 мм доходит до 10%, в 4% случаев градобитий выпадает град диаметром более 50 мм [8, 20].

В последние годы, указанные выше данные о размерах выпавшего града существенно не изменились. Так, по данным работы [26] в 2014-2018 гг. на территории Кахетии размер выпавшего града варьировал в диапазоне от 8 до 20 мм. Во время интенсивного градового процесса 28 мая 2019 г. по данным радиолокационных измерений размера градин в облаках (с последующим пересчетом их диаметра у поверхности) на трассе Тбилиси – Рустави размер градин изменялся от 0 до 26.7 мм (средний диаметр – 13.5 мм); в Кварельском муниципалитете - от 0 до 26.5 мм (средний диаметр – 8.0 мм); в муниципалитете Сагареджо - от 0 до 35.3 мм (средний диаметр – 21.6 мм) [27]. В работе [28] представлены результаты статистического анализа таких параметров градовых процессов для отдельных муниципалитетов Кахетии в период с 2016 по 2019 гг., как: максимальная высота градовых облаков, максимальный диаметр градин в облаках, количество градовых облаков различных категорий, повторяемость градовых облаков различных категорий, средний относительный коэффициент градовой опасности. В частности, получено, что в градовых облаках средний максимальный размер градин над различными муниципалитетами Кахетии составлял: Ахмета – 16.2 мм, Гурджаани – 21.5 мм, Дедоплисцкаро – 16.0 мм, Телави – 18.3 мм, Лагодехи – 19.4 мм, Сагареджо – 17.3 мм, Сигнаги – 19.0 мм, Кварели – 17.4 мм.

В работах [29, 30] представлены результаты моделирования распределения градин по среднему максимальному диаметру (D) на территориях муниципалитетов Кахетии, а также зависимости D от высоты местности. Для моделирования были использованы данных об уровне нулевой изотермы и радиолокационных измерений максимальных размеров града в облаках в 2016-2019 гг. [28].

В отдельных муниципалитетах значения D в различные месяцы градового сезона следующие [29].

- Ахмета. Апрель: $0.63 \div 1.17$ см; май: $1.12 \div 1.69$ см; июнь: $1.31 \div 1.94$ см; июль: $1.13 \div 1.86$ см; август: $0 \div 1.11$ см; сентябрь: $1.13 \div 1.79$ см; апрель-сентябрь: 1.32 см.

- Дедоплисцкаро. Апрель: $0.52 \div 0.76$ см; май: $1.05 \div 1.22$ см; июнь: $1.24 \div 1.41$ см; июль: $1.04 \div 1.25$ см; август: $0 \div 0$ см; сентябрь: $1.05 \div 1.24$ см; апрель-сентябрь: 0.84 см.
- Гурджаани. Апрель: $0.57 \div 0.82$ см; май: $1.08 \div 1.27$ см; июнь: $1.27 \div 1.46$ см; июль: $1.08 \div 1.31$ см; август: $0 \div 0$ см; сентябрь: $1.08 \div 1.29$ см; апрель-сентябрь: 0.88 см.
- Кварели. Апрель: $0.57 \div 1.17$ см; май: $1.08 \div 1.55$ см; июнь: $1.27 \div 1.74$ см; июль: $1.08 \div 1.63$ см; август: $0 \div 0.76$ см; сентябрь: $1.09 \div 1.59$ см; апрель-сентябрь: 0.98 см.
- Лагодехи. Апрель: $0.56 \div 1.17$ см; май: $1.07 \div 1.59$ см; июнь: $1.26 \div 1.78$ см; июль: $1.07 \div 1.68$ см; август: $0 \div 0.83$ см; сентябрь: $1.07 \div 1.63$ см; апрель-сентябрь: 0.93 см.
- Сагареджо. Апрель: $0.63 \div 0.95$ см; май: $1.13 \div 1.38$ см; июнь: $1.31 \div 1.57$ см; июль: $1.13 \div 1.43$ см; август: $0 \div 0.30$ см; сентябрь: $1.13 \div 1.40$ см; апрель-сентябрь: 0.94 см.
- Сигнаги. Апрель: $0.55 \div 0.79$ см; май: $1.07 \div 1.25$ см; июнь: $1.26 \div 1.43$ см; июль: $1.06 \div 1.28$ см; август: $0 \div 0$ см; сентябрь: $1.07 \div 1.26$ см; апрель-сентябрь: 0.82 см.
- Телави. Апрель: $0.61 \div 1.17$ см; май: $1.11 \div 1.61$ см; июнь: $1.30 \div 1.80$ см; июль: $1.11 \div 1.70$ см; август: $0 \div 0.86$ см; сентябрь: $1.11 \div 1.65$ см; апрель-сентябрь: 1.03 см.

Значения D в диапазоне высот от 110 до 3840 м над уровнем моря в различные месяцы года меняются следующим образом [30]. Апрель: $0.52 \div 1.17$ см; май: $1.05 \div 1.69$ см; июнь: $1.24 \div 1.94$ см; июль: $1.04 \div 1.86$ см; август: $0 \div 1.11$ см; сентябрь: $1.05 \div 1.79$ см.

Эффект воздействия на внешнюю среду существенно зависит от размеров градин. Так, градины диаметром более 5 см оказывают очень сильный – катастрофический эффект. С уменьшением размеров градин эффект воздействия уменьшается и градины диаметром менее 5 мм ущерба практически не наносят. Выпавшие градины на поверхности земли образует градовые дорожки, которые исследовались многими авторами [4, 9]. По данным В.М. Гигинеишвили [4], в Восточной Грузии средняя длина градовых дорожек колеблется в пределах 20–30 км, а средняя ширина колеблется в пределах 5–7 км. Таким образом площадь занятая градобитием составляет в среднем 100–200 км². Максимальная длина градовых дорожек, также по данным В.М. Гигинеишвили, составляет 100 км, а максимальная ширина равна 10 км.

В работах [3, 11, 20, 21], с учетом анализа литературных данных, предложена шкала интенсивности градобитий с учетом размера выпавших градин, площадей 100% повреждения и возможного повреждения и ущерба.

Градобития интенсивностью 1 балл (диаметр градин ≤ 5 мм, площадь повреждения менее 100 га, эффект слабый). При таких градобитиях частично повреждаются посевы и листья деревьев.

Градобития интенсивностью 2 балла (диаметр градин 6-10 мм, площадь повреждения 100 - 500 га, эффект умеренный). Заметно повреждаются сады, виноградники, зерновые культуры и посевы.

Градобития интенсивностью 3 балла (диаметр градин 11-20 мм, площадь повреждения 600 - 1000 га, эффект средний). Повреждаются парники, окна зданий и транспортных средств, матерчатые перекрытия и навесы, частично повреждаются крыши зданий, сады, виноградники и посевы зерновых культур.

Градобития интенсивностью 4 балла (диаметр градин 21-50 мм, площадь повреждения 1100 - 5000 га, эффект сильный). Полностью уничтожаются посевы, пробиты крыши домов, разбиты стекла окон, побиты домашние птицы и мелкий скот. Повреждаются стены кирпичных зданий, разбиты стекла транспортных средств и повреждаются их корпуса. Существует риск повреждения корпусов легких самолетов.

Градобития интенсивностью 5 баллов (диаметр градин более 50 мм, площадь повреждения более 5000 га, эффект очень сильный). Полное уничтожение урожая сельскохозяйственных культур,

посевов и пастбищ. Разрушение деревянных зданий, серьезное повреждение кирпичных зданий, корпусов самолетов и автомобилей, разрушение крыш некоторых зданий. Имеются жертвы домашнего скота, наличие риска гибели людей.

Следует отметить, что указанная шкала градобитий имеет достаточно общий характер. При сопровождении градобитий сильным или ураганным ветром значительно повышается степень повреждения как растений, так и строений и транспортных средств. В этих случаях даже градины небольшого диаметра, характерные для интенсивности 1-2 балла, могут приводить к ущербу, присущему градобитиям 3 и более баллов, не говоря о выпадении более крупного града. Крупные градины, вкупе с сильным или ураганным ветром, могут приводить к катастрофическим последствиям как экономического, так и гуманитарного характера (разрушение домов, транспортных средств, электропередающих коммуникаций, гибель домашних животных и людей, и др.). Еще более тяжелые последствия могут быть при сопровождении указанных процессов интенсивными ливнями, приводящими, помимо сказанного выше, к наводнениям, селям, оползням.

В Восточной Грузии повторяемость продолжительности града следующая: менее 5 мин около 60% случаев менее 10 мин. - 80% случаев; более получаса - 3% случаев; более часа - менее 1% случаев. Средняя продолжительность градобития составляет 9–10 мин. В частности, наиболее продолжительные градобития отмечены 21 мая 1982 года в Кахетии (Сигнахи, Анага, Гурджаани, Тобаани - выпадение града длилось 240 минут), а также 8 июня 1986 года на Южно-Грузинском нагорье (Цалка - градобитие продолжалось 210 мин.) [3, 11].

Принимая во внимание, что градобития наносят существенный ущерб сельскохозяйственным культурам, в 1960-1989 годах (Кахетия, Южная Грузия) на общей площади около 1.2 млн гектаров проводились крупномасштабные опытные, опытно-производственные и производственные работы по воздействию на градовые процессы [31]. Положительный эффект этих работ изменялся в интервале 20 - 95% со средним значением 75 - 85%. В последующие четверть века, после прекращения этих работ, ущерб сельскому хозяйству от града возрос и вернулся к уровню, бывшему до начала противоградовых работ, который в среднем составлял 4.75 % по отношению к площади сельхозугодий [11, 32]. Учитывая это, правительством Грузии было принято решение о возобновлении противоградовых работ, для начала в Кахетии. Современная противоградовая служба в Кахетии начала функционировать в мае 2015 г. [32] с перспективой расширения в других регионах Грузии [16].

В годы работы противоградовой службы в советский период времени (1967-1989 гг.) оценка ущерба от градобитий проводилась органами государственного страхования, местными агропромышленными организациями (РАПО – районные агропромышленные объединения), а также специальным экономическим отделом Службы борьбы с градом. Обычно, размеры ущерба, определенные этими организациями, отличались друг от друга. Ниже представлена некоторая информация об ущербе от градобитий на основании анализа данных госстраха по обследованию поврежденных градом территорий в Кахетии в 1982, 1984-1989 гг. [11].

Так, в день с градобитием наиболее часто повреждались территории площадью менее 1, а также от 1 до 5 км² (соответственно в 46 и 37.9% случаев). Территории площадью 6-10 км² повреждались на 100% в менее 7% случаев, 11-50 км² – в 9% случаев, более 50 км² – в менее 1% случаев. В среднем в день с градом на 100% поврежденная территория составляла 4.0 км².

Наиболее часто в день с градом ущерб от градобитий составлял 100-500 тыс. долларов США (чуть более 41% случаев), ущерб до 100 тыс. долларов был в 32.3% случаев. В 9.7% случаев градобития в день с градом повреждали сельскохозяйственные культуры на сумму от 0.5 до 1 млн.

долларов, от 1.0 до 2.0, от 2.0 до 3.0, от 3.0 до 5.0, от 5.0 до 10.0 и более 10 млн. долларов соответственно в 6.5, 5.6, 1.6, 2.4 и 0.8 % случаев. В среднем в день с градом ущерб составлял 0.827 млн. долларов.

Наибольший ущерб в Кахетии приносили градобития интенсивностью 4 балла (площадь повреждения на 100 % 11-50 км², ущерб - 43.3% от общего экономического ущерба). Примерно одинаковый экономический ущерб приходился на градобития интенсивностью 2 и 5 баллов (соответственно, площади повреждения 1-5 км² и более 50 км², ущерб - 20.1 и 21.4% от общего экономического ущерба). Наименьший экономический ущерб приходился на градобития интенсивностью 1 балл (площади повреждения менее 1 км², ущерб - 4.0% от общего экономического ущерба). Градобития интенсивность 3 балла (площади повреждения 6-10 км²) приносили экономический ущерб в размере 11.2% от суммарного экономического ущерба [11].

За указанный промежуток времени всего пострадала сельхозугодия 123 населенных пунктов. При этом, наибольшее число этих населенных пунктов относилось к Телавскому и Гурджаанскому муниципалитетам (по 21 населенному пункту, наименьшее – к Кварельскому муниципалитету (11 населенных пунктов)). За этот период времени на 123 населенных пунктах всего было зафиксировано 547 случаев с градом (или, в среднем, 78 случаев с градом). Наибольшее число дней с градом было зафиксировано на территориях 21 населенного пункта Телавского муниципалитета (28.9 % случаев), наименьшее – территориях 15 населенных пунктов Лагодехского муниципалитете (6.6% случаев). Соответственно, наибольший ущерб от градобитий отмечался на территории Телавского муниципалитета (117 км² поврежденных на 100% сельхозугодий за 7 лет, или 16.7 км² в год, что составляло 23.6% от общей площади поврежденных на 100% площадей). Наименьшее - на территории Лагодехского муниципалитета (21 км² поврежденных на 100% сельхозугодий за 7 лет, или 3.0 км² в год, что составляло 5.1% от общей площади поврежденных на 100% площадей). Среднегодовой ущерб от градобитий на всей территории Кахетии за указанный период времени составлял 70.8 км² поврежденных на 100% площадей сельхозугодий.

Следует отметить, что в 1982, 1984-1989 гг. по данным [33], площадь защищаемой территории изменялась от 6700 до 7850 км² (среднее значение – 7664 км²), площадь сельхозугодий – от 2810 до 4810 км² (среднее значение – 4381 км²). Максимальная площадь, поврежденная градом на 100%, составляла 205.9 км², минимальная – 8.7 км², средняя – 62 км² (по данным табл. 5 [11] несколько выше - 70.8 км²). Максимально ожидаемая площадь сельхозкультур, поврежденных градом на 100% без воздействий на градовые облака, составляла 377 км², минимальная – 80 км², средняя – 208 км². Или, соответственно, по отношению к площади сельхозугодий, 8.6, 1.8 и 4.75 %. С учетом данных табл. 5 [11] среднегодовой ущерб от градобитий составлял 1.6% от средней площади сельхозугодий в то время, или меньше ожидаемого минимального и среднего ущерба в отсутствии противоградовых работ, несмотря на различие оценок площадей поврежденных градом сельхозкультур по данным госстраха и [32]. В среднем за указанные семь лет экономический эффект по данным госстраха составлял 66%, против 70% по данным [33], что не слишком отличается друг от друга.

Отметим, что в соответствии с [33] средняя экономическая эффективность противоградовых работ в Кахетии по данным о поврежденных на 100% территориях сельскохозяйственных угодий до начала работы противоградовой службы и в период ее деятельности с 1967 по 1989 гг. составляла около 75%. Средняя физическая эффективность (сопоставление данных об ожидаемых и реальных случаях града) – около 85% [11].

Наконец, в работе [34] представлены некоторые результаты противоградовых работ в Кахетии за 2016-2020 годы. Площадь защищаемой от града территории ~8000 км², в том числе общая площадь сельскохозяйственных угодий – 5600 км². В частности, среднегодовые значения некоторых характеристик градовых процессов и параметров активного воздействия на них следующие: количество дней воздействия на градовые процессы - 46; количество облаков, подвергнутых воздействию - 203; количество случаев града с ущербом - 12; количество использованных ракет - 3137; площадь территорий, поврежденных на 100% - 32.55 км²; эффективность противоградовых работ (по поврежденным территориям) - 88%, в том числе в 2020 г. - 86%.

Грозы

Как и в случае с градом, Грузия относится к одному из грозоопасных регионов мира. В связи с указанным исследованием этих процессов здесь всегда были актуальны и им уделялось и уделяется повышенное внимание. Изучение гроз в Грузии имеет многовековую историю [2]. Регулярные же метеорологические наблюдения за этим атмосферным явлением проводятся уже более 100 лет [35-38].

Негативные последствия гроз часто связаны с повреждением зданий, инженерных сооружений, транспортных средств, различных электро-коммуникаций, газо- и нефтепроводов, гибелью животных и людей и др. [20, 39-41].

В ранних, да и современных исследованиях важное внимание уделялось климатологии гроз, в связи с чем происходило изучение этого явления в различных климатических районах Грузии [35-38], 42-46]. При этом, главным образом, использовалась база данных до 1990 г.

Методы и приборы для исследования гроз условно можно разделить на две большие группы. 1 – исследование грозовой деятельности вообще, 2 – исследование отдельных грозовых очагов и разрядов.

К первой группе относится давно используемый на сети гидрометеорологических станций визуально-слуховой метод обнаружения гроз. При этом, относительно надежно число дней с грозами и продолжительность гроз на метеостанциях регистрируется в радиусе 15 км. Причем близкие грозы, когда наблюдатель видит вспышку молнии и слышит гром, регистрируются в радиусе 10 км. Данные визуально-слуховых наблюдений за грозами широко используются в климатологии гроз, особенно для решения задач, связанных с исследованием их долговременных вариаций, практических работах по грозозащите различных инженерных сооружений и др. [38, 39].

Ко второй группе относятся инструментальные исследования грозовых процессов с помощью регистраторов молниевых разрядов, радиолокационных и спутниковых измерений, сети регистраторов напряженности электрического поля грозовых облаков и их скачков при молниевых разрядах и др. В Грузии некоторые из этих инструментальных методов наблюдений за грозами были использованы для мониторинга грозовой активности облаков (счетчик грозовых разрядов в Душети [46]), а также при разработке опытной методики активных воздействий на грозы (радиолокационные измерения, наземная сеть грозорегистраторов и измерителей вертикальной составляющей напряженности электрического поля в Кахетии [48-50]).

Ранее было установлено, что для данной местности продолжительность гроз и число грозовых разрядов связаны линейной зависимостью [51, 52]. Поэтому, проводя в этой местности одновременно визуально-слуховые и инструментальные (например, регистрацию числа разрядов молний) исследования гроз, можно с достаточной надежностью реконструировать картину грозовой деятельности в данной местности также для периодов, когда инструментальные наблюдений не проводились. Исходя из вышеизложенного, этот метод регистрации гроз не теряет актуальность и в наше время [38].

В работе [45] представлены результаты исследования распределения числа дней с грозами $N_{зр}$ на территории Грузии по ее 15 климатическим зонам (таблица 1). Для исследования были использованы данные числа дней с грозой 115 метеостанций Грузии за теплый период года (апрель-октябрь) 1936-1990 гг. В частности, были получены следующие результаты.

I и II климатические зоны. В южной части самое высокое место – Чаква, и максимум средних значений $N_{зр}$ наблюдается именно там (~38). В северной части максимум наблюдается в Сухуми (~39) дней. Среднее число дней с грозой по всему грузинскому Черноморью составляет примерно 33 и изменяется от 15 до 60. Это район влажных субтропиков.

III зона. Наиболее высоко расположенная станция Диди Вани имеет максимальное среднее число с грозой около 39. Минимальное число дней с грозой (~18) в Мартвили. По этой зоне проходит линия основного перемещения гроз (Чаква – Анасеули – Даблацихе - Диди Вани). Среднее по зоне $N_{зр} = 29$, а пределы колебаний 13-53. Климат - субтропики с уменьшенной влажностью.

IV зона. Максимальное $N_{зр} \approx 37$, оно наблюдается на самой высокорасположенной станции – Саирме. Минимум $N_{зр}$ зафиксирован в Орпири – 17. Среднее $N_{зр} = 29$, а пределы изменения 10-47. Климат умеренно-субтропический.

Следует отметить уменьшение числа дней с грозой в направлении с запада на восток в среднем от 34 до 25. Между $N_{зр}$ и высотой местности существует линейная зависимость. Все четыре зоны расположены в Западной Грузии.

V климатическая зона. Высоты расположения метеостанций меняются от 403 до 1242 м над ур. моря, но линейной зависимости с $N_{зр}$ не наблюдается. Например, максимум среднего $N_{зр} = 48$ зафиксирован в Болниси, высота станции 534 м над ур. моря, а минимум $N_{зр} = 27$ Мта-Сабуети, высота которой 1242 м над ур. моря. На пути перемещения грозовых процессов в этой зоне расположены три станции – Хашури, Гори, Мухрани. Среднее число с грозами на них равно соответственно – 43, 35 и 46. В среднем в зоне $N_{зр} = 37$ и интервал изменения 18 – 60. Климат характеризуется умеренной влажностью и малым количеством осадков.

VI климатическая зона. Максимальное среднее $N_{зр}$ отмечено в Телави (~49), минимальное – в Цнори (~33). Очагами местных гроз здесь являются Триалетский и Цив-Гомборский хребты. Зависимость $N_{зр}$ от высоты местности нелинейная. Среднее в зоне $N_{зр} \sim 40$, интервал колебаний 21-60. Климат – слабоувлажненные субтропики.

VII климатическая зона. Максимум $N_{зр}$ наблюдается на станции Дедоплисцкаро (~38), минимум в Удабно (~19). В среднем на одну станцию приходится 31 день с грозой, а интервал изменения 16-48. Климат сухой с недостатком влаги. Среднее $N_{зр}$ по сравнению с V и VI зонами уменьшается.

VIII и IX климатические зоны. Это высокогорные зоны, которые разделяет Кодорский хребет. Число метеостанций невелико. В VIII зоне расположен очаг гроз – Псху. Здесь встречаются влажные воздушные массы с моря и холодные с севера. С Псху начинается перемещение грозовых процессов по всему грузинскому Черноморью. Максимум $N_{зр}$ в Псху (~86). В среднем по зоне $N_{зр} \approx 42$, интервал изменения 19-69. Климат горный влажный.

X климатическая зона характеризуется очень сложным горным рельефом. Высоты станций изменяются от 474 до 2854 м над ур. моря. Здесь господствуют восточные ветры. Максимум среднего $N_{зр}$ отмечается в Амбололаури (~43), минимум в Хаиши (~20). В этой зоне расположен еще один очаг грозовых процессов – Лечхумский хребет. В среднем на одну станцию приходится около 32 дней с грозой, а интервал изменения 14-57. Климат горный и умеренно влажный. Число дней с грозами меньше, чем в VIII зоне, т.е. так же, как и в равнинных областях, наблюдается уменьшение числа дней с грозой в направлении с запада на восток.

XI климатическая зона. Станции расположены на высотах больших 1000 м над ур. моря. В среднем на одну станцию приходится около 36 дней с грозой, интервал изменения 17-66. Климат среднегорный и умеренно влажный.

XII климатическая зона. Высоты расположения станций больше 1200 м над ур. моря. Максимум $N_{зр} = 47$ на станции Гудаури, минимум в Барисахо – около 32. В этой зоне расположен

местный очаг гроз – Гудаурский хребет. В среднем на одну станцию приходится примерно 36 дней с грозой, интервал изменения 17-66. Климат среднегорный и умеренно влажный.

XII климатическая зона. Высоты расположения станций изменяются от 1744 до 3650 м над ур. моря. В среднем на одну станцию приходится 27 дней с грозой, а интервал изменения 12-44. Климат горный со слабой увлажненностью и повышенной континентальностью.

XIII климатическая зона. Метеостанции расположены на высотах от 256 до 1925 м над ур. моря. В этой зоне также есть свой очаг гроз – западная часть Ахалцихского хребта. Характерным для района является убывание количества осадков с высотой. Число дней с грозой на трех станциях почти одинаково (35-37), только в Кеда (самая низкорасположенная станция) наблюдается около 19 дней с грозой. В среднем на одну станцию приходится 32 дня с грозой, пределы колебаний 16-60. Климат горный, избыточно увлажненный.

XIV климатическая зона. Высоты расположения метеостанций изменяются от 789 до 1665 м над ур. моря. Большинство расположено выше 1000 м. В этой зоне очагом местных гроз является Триалетский хребет и число дней с грозой здесь довольно большое. Максимум среднего $N_{гp}$ достигает 57 дней (Манглиси), а минимум 30 (Коджори). В среднем на одну станцию приходится около 45 дней с грозой, интервал изменения составляет 29-69. Климат горный, умеренно влажный.

XV климатическая зона. Высоты расположения метеостанций расположены в интервале 982-2112 м над ур. моря. Это самый грозоопасный регион Грузии. Максимум $N_{гp}$ достигает 60, минимум 34. Следует отметить, что в ряду наблюдений станции Карцахи и Ефремовка есть годы с $N_{гp}$, достигающих 95-96. В среднем на одну станцию приходится примерно 51 день с грозой, интервал их изменения 21-81. Эта зона защищена от вторжения восточных воздушных масс Самсарским и Джавахетским хребтами, а приходящие с запада воздушные массы, перевалив Арсианский хребет, в значительной степени иссушены. Поэтому климат в этом районе горный, сухой с резко выраженной континентальностью.

Таким образом, при изучении и оценке грозовой активности на территории Грузии необходимо учитывать, что значения ее параметров в различных географических регионах зависят от комбинаций, характерных для этого региона климатических элементов.

В работе [53] изучались корреляционные связи между числом дней с грозами в теплое полугодие и продолжительностью гроз в условиях Восточной Грузии. Были проанализированы двадцатилетние (1955-1974 гг.) данные визуально-слуховых наблюдений за числом грозовых дней ($N_{гp}$) и продолжительностью гроз ($P_{гp}$) для 35 метеостанций Восточной Грузии в теплое время года (апрель-октябрь). Станции расположены в шести различных климатических зонах (N 5, 6, 7, 10, 14 и 15).

Таблица 2. Статистические характеристики числа дней с грозами и продолжительностью гроз в теплое полугодие в 6 климатических зонах Восточной Грузии.

Климатические зоны	Число дней с грозами				Продолжительность гроз (час)			
	Max	Min	Mean	St. Dev	Max	Min	Mean	St. Dev
Зона 5	46	19	33	7	152	44	87	29
Зона 6	51	20	36	7	151	40	87	28
Зона 7	42	19	31	6	142	40	81	26
Зона 10	57	21	35	9	125	38	67	24
Зона 14	55	25	36	8	152	46	89	28
Зона 15	71	30	46	9	211	79	127	29
Среднее по всем зонам	54	22	36	8	156	48	90	28

В таблице 2 представлены статистические характеристики числа дней с грозами и продолжительностью гроз в теплое полугодие в 6 климатических зонах Восточной Грузии в 1955-1974 гг.

В целом, как показал анализ данных, максимальное количество грозных дней наблюдалось на станции Ефремовка (85 дней), а максимальная продолжительность грозной активности – на станции Ахалкалаки (317 часов). Минимальное количество грозных дней наблюдалось в Ахмете (8 дней), а минимальная продолжительность гроз – в Дманиси (8,5 часов).

По климатическим зонам (таблица 2) максимальные значения как числа грозных дней, так и продолжительности грозы отмечаются в зоне 15 (71 день с грозой и их продолжительность 211 часов), а минимальные значения обоих исследуемых параметров – в зонах 5-10 (19-21 дней с грозой и их продолжительность 38-44 часов) [53].

Соотношение между продолжительностью гроз и числом дней с грозами удовлетворительно описывается как линейной ($P_{gp} = a \cdot N_{gp} + b$), так и степенной ($P_{gp} = a \cdot N_{gp}^b$) зависимостью (таблица 3).

Таблица 3. Коэффициенты а и b в уравнениях линейной и степенной регрессии, связывающие продолжительность грозы с количеством грозных дней. R² – коэффициент детерминации.

Станция	$P_{gp} = a \cdot N_{gp} + b$			$P_{gp} = a \cdot N_{gp}^b$		
	a	b	R ²	a	b	R ²
Тбилиси	1.56	6.77	0.42	1.35	1.076	0.59
Болниси	2.85	35.1	0.18	5.87	0.866	0.21
Самгори	2.8	-32	0.71	0.23	1.556	0.72
Мухрани	3.46	23.5	0.48	7.53	0.828	0.52
Гори	4.63	-43.9	0.72	0.937	1.348	0.72
Хашури	3.5	4.13	0.62	4.325	0.946	0.59
Ахалгори	1.94	-1.97	0.41	1.735	0.997	0.42
Сагареджо	1.94	-2.825	0.50	1.603	1.035	0.50
Цхинвали	2.27	-5.61	0.49	2.015	1.061	0.58
Душети	2.68	-2.05	0.82	2.263	1.038	0.81
Гомбори	2.225	-14.4	0.46	0.369	1.437	0.56
Тианети	2.94	-16.2	0.58	2.069	1.048	0.53
Цнори	3.35	-29.1	0.74	0.876	1.29	0.69
Лагодехи	3.15	-8.65	0.59	2.142	1.081	0.64
Гурджаани	3.43	-12.6	0.53	2.047	1.109	0.61
Кварели	3.15	-39.8	0.67	0.133	1.753	0.76
Ахмета	3.1	-26.5	0.81	1.078	1.168	0.62
Телави	2.23	16.7	0.52	3.267	0.937	0.59
Сигнахи	3.1	-27.4	0.52	1.193	1.182	0.55
Гардабани	2.67	7.03	0.46	6.357	0.761	0.37
Шираки	3.27	-36.6	0.42	0.377	1.476	0.37
Дедоблис-Ццаро	3.24	-11.15	0.58	2.676	1.018	0.46
Пасанаури	3.15	-19.8	0.61	2.384	1.023	0.53
Джава	1.41	-17	0.90	0.085	1.66	0.88
Боржоми	1.24	-4.95	0.67	0.645	1.146	0.66
Тетри-Ццаро	3.7	-21.2	0.55	1.23	1.251	0.56
Манглиси	6.42	-116	0.84	0.159	1.828	0.85
Дманиси	1.23	-5.76	0.35	0.36	1.293	0.48
Абастумани	3	-36	0.62	0.507	1.376	0.58
Коджори	1.04	0.47	0.35	0.771	1.093	0.42
Бакуриани	3.065	9.25	0.71	7.025	0.8	0.64
Ахалцихе	3.23	-37.8	0.56	1.409	1.136	0.48

Цалка	2.2	-16.8	0.72	0.401	1.405	0.79
Ахалкалаки	3.77	15.1	0.62	7.303	0.849	0.58
Ефремовка	2.6	-9.1	0.76	2.871	0.955	0.72
Восточная Грузия	2.85	-11.2	0.81	2.016	1.063	0.79

Как следует из таблицы 3, на большинстве станций как для уравнения линейной, так для степенной регрессии получаются достаточно высокие значения коэффициента детерминации. Относительно низкие значения коэффициентов для линейного уравнения получены на станциях Дманиси и Коджори, а по степенным уравнениям – на станциях Шираки и Гардабани. По обоим уравнениям низкие значения коэффициента детерминации отмечаются на станции Дманиси.

Следует отметить, что данные таблицы 3 позволяют выбрать вид уравнения регрессии для каждой станции. Например, для станций Тбилиси и Гомбори связь между продолжительностью грозы и количеством грозовых дней лучше описывается степенным уравнением, а для станций Ахмета, Дедоплис-Цкаро и Ахалцихе – линейным уравнением.

Таким образом, в Восточной Грузии количество грозовых дней и продолжительность гроз сильно различаются по отдельным станциям. Связь между этими грозовыми параметрами удовлетворительно описывается как линейными, так и степенными уравнениями регрессии. Полученные результаты могут быть использованы при разработке региональных климатических моделей, при построении систем молниезащиты различных важных объектов региона и т.д.

При отсутствии инструментальных измерений оценку среднегодового числа ударов молний на 1 км² поверхности земли (удельная плотность ударов молнии на землю N_g) можно производить в соответствии с [52] по формуле:

$$N_g = 0.04 \cdot (N_{gp})^{1.25}$$

Таблица 4. Характеристики грозовой активности в различных регионах Грузии.

Регион (край)	Площадь, км ²	К-во станций	Высота Мин, м	Высота Макс, м	Ng, 95% Нижн. уров	Ng, 95% Верх. уров
Абхазия	8725	19	4	1644	2.0	6.2
Самегрело-Земо Сванети	7520	16	1	1491	1.1	4.2
Гурия	2057	9	7	1926	1.3	3.6
Аджария	2900	9	2	946	1.6	4.8
Рача-Лечхуми	5073	11	474	2854	1.7	4.7
Имерети	6515	17	28	1242	1.3	4.8
Месхети	6438	12	790	2112	3.0	7.0
Мцхета-Мтианети	6782	15	550	3653	1.4	4.9
Шида Картли	4705	9	607	2240	1.9	4.5
Квемо Картли	6446	10	300	1458	1.7	6.7
Кахети	11309	17	223	1870	1.2	5.4
Тбилиси	335	4	403	766	2.4	3.7

В результате анализа данных 148 метеорологических станций Грузии о числе дней с грозами в период с 1891 г. по 2006 г. получены значения среднего числа дней с грозами в год для каждой метеостанции и оценены значения числа молниевых разрядов на землю как для каждой метеостанции, так и для 12 административных регионов Грузии, изучена зависимость грозовой активности от высоты местности [38].

В таблице 4 представлены данные о пределах изменения нижнего и верхнего уровня 95%-го доверительного интервала среднегодового количества разрядов на землю для различных регионов Грузии. В этой же таблице представлена информация о площади территории регионов, количестве метеостанций в каждом регионе и диапазоне высот расположения этих метеостанций.

Как следует из этой таблицы с соответствие со значениями верхнего уровня 95%-го доверительного интервала для N_g наиболее высокие значения грозоопасности в отдельных местах регионов Грузии отмечаются в Абхазии, Квемо Картли, Кахети и Месхети (N_g больше 5.3).

Зависимость грозовой активности от высоты местности в целом для территории Грузии положительная, но слабая. Коэффициент линейной корреляции R между высотой местности H и N_g значимый и составляет 0.28 с достоверностью α не хуже 0.001. Уравнение линейной регрессии связи среднегодового числа дней с грозами и высоты местности H над уровнем моря имеет вид (H в м):

$$N_g = 0.0038 \cdot H + 31.3$$

Соответственно слабая положительная корреляция между N_g и H (коэффициент корреляции $R = 0.29$ с α не хуже 0.001). Связь между N_g и H описывается уравнением:

$$N_g = 0.00047 \cdot H + 2.98$$

В другой работе [54] по данным о максимальной высоте H_m конвективных облаков над территорией Кахетии в 1972-1976 гг., измеренных с помощью радиолокатора, и установленной связи между N_g и H_m по данным одновременных их измерений с помощью радиолокатора и сети электростатических флюксометров в Кахетии в 1978-1984 гг. ($N_g \approx 5.2 \cdot 10^{-4} \cdot H_m^{3.27} \text{ min}^{-1}$), авторы реконструировали распределение числа молниевых разрядов на землю для периода с 1972 по 1976 гг.

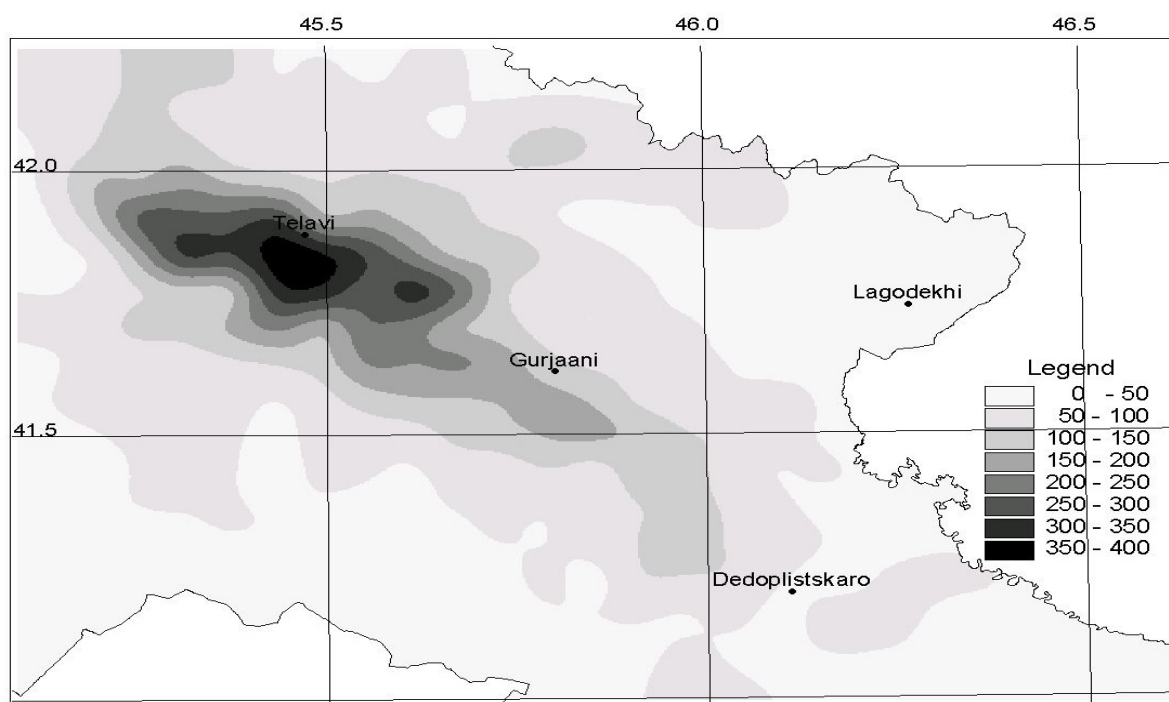


Рис. 2.

Распределение средне сезонного количества грозовых разрядов облако-земля (на 25 км²) для территории Кахетии [54].

Минимальное количество наземных грозовых разрядов за сезон в Кахетии составляет 13 (для высоты местности от 156 до 300 м), максимальное – 377 (для высоты местности от 1500 до 1700 м). При среднем значении N_g в зависимости от высоты местности изменяется от 47 (для высоты местности от 156 до 300 м) до 215 (для высоты местности от 1500 до 1700 м) и удовлетворительно описывается эмпирическим выражением: $N_g \approx 42.1 \cdot \exp(0.978 \cdot H)$. В среднем по территории Кахетии на 25 км² в теплый сезон приходится 90 грозовых разрядов (или 3.6 грозовых разрядов на 1 км²).

Основной вклад в грозовую активность Кахетии вносят облака с максимальным радиолокационным эхом от 8 до 12 км (около 87 %); более половины грозовых разрядов приходится на облака с H_m от 9 до 11 км.

Интересно отметить, что данные о N_g для Кахетии в таблице 4 и на рис. 2 достаточно хорошо согласуются друг с другом. В соответствие с рис. 2 среднее в теплое полугодие значение N_g составляет 3.6 грозовых разрядов на 1 км², что попадает в 95% доверительный интервал среднего значения количества наземных грозовых разрядов, рассчитанный по формуле связи между N_g и числом грозовых дней (диапазон от 1.2 до 5.6 разрядов на 1 км², таблица 4).

Авторы работы [38] отмечают, что в дальнейшем следует провести уточнение полученных результатов о плотности разрядов на землю, которые на проведенном этапе исследования являются предварительными, так как в этих оценках не была предусмотрена продолжительность гроз. Авторы также указывают на необходимость приобретения современной грозорегистрирующей аппаратуры, которая позволила бы определить связи имеющихся многолетних данных визуально-слуховых наблюдений за грозами с электрическими параметрами гроз (частоты внутриоблачных и наземных молниевых разрядов и др.).

В 1978-1983 гг. Институтом геофизики АН Груз. ССР, Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) и Ленинградским гидрометеорологическим институтом (ЛГМИ) были развернуты в Алазанской долине обширные полевые исследования и реализованы крупномасштабные эксперименты по комплексному изучению грозовых явлений и разработке средств и методов искусственного воздействия на них. Получено, что:

- в некоторых случаях регулирование электрической активности облаков кристаллизующими реагентами возможно, и оно наиболее эффективно на начальных стадиях развития кучево-дождевых облаков;

- воздействие, осуществляемое дозами меньше некоторого критического значения на начальных стадиях развития облаков, может приводить к усилению грозовой активности, а воздействие, осуществляемое дозами больше критических, ведет к кратковременному усилению электризации, в последующем сопровождаемое ослаблением или значительным уменьшением грозовой активности [48-50, 55, 56].

За указанный период было исследовано около 120 облаков. Из них, проанализированы данные о 106 облаках, из которых 18 естественного развития и 88 подвергнутых воздействию.

Для оценки эффекта воздействия были использованы как данные инструментальных измерений электрического состояния облаков, так и данные радиолокационных параметров, имеющих тесные связи с грозовой активностью облаков (радиолокационный параметр грозоопасности облаков R_p и H_m). Результат воздействия считался положительным, если время жизни подвергнутого воздействию облака с $R_p \geq 8$ и $H_m \geq 8$ км было менее 60 мин., что является средним временем жизни грозового облака, развивающегося в естественных условиях в исследуемом регионе.

Максимальная высота исследованных облаков колебалась в диапазоне от 6.1 до 12.8 км; максимальные значения коэффициентов грозоопасности изменялись от 5 до 34. Время наблюдения за облаками составляло от 7 до 152 мин.; продолжительность воздействия в различных опытах менялась от 1 до 105 мин.; количество противоградовых ракет "Алазани", введенных в облака – от 6 до 360.

Положительного эффекта воздействия удалось достичь в 53% случаев. Примерно в 22% случаев эффект был отрицательным – время жизни грозовых облаков было больше 60 мин. В 25% случаев результат получился неопределенным.

Важно отметить, что положительного эффекта удалось достичь и при подавлении грозовых облаков с высотой верхней границы в диапазоне от 10 до 12.8 км. Среднее время жизни грозы в этих облаках составило около 40 мин. и мало отличается (на 5 – 6 мин.) от среднего времени жизни грозы для всех облаков с положительным эффектом воздействия.

Во всех случаях существенное ослабление грозовой деятельности было при воздействии на облака с $8 < H_m < 10$ км. Для этих облаков время жизни грозы снижается до 22-29 мин., что почти в два раза меньше времени жизни грозы в облаках естественного развития аналогичной вертикальной мощности, составляющего 43 мин.

Воздействие на 19 облаков с вертикальной мощностью от 10 до 12,5 км дало отрицательный результат (продление грозовой деятельности), хотя в 26 случаях воздействие на облака такой же мощности привело к положительному эффекту. Примечательно, что в этих случаях положительного эффекта удалось добиться путем введения в облака меньшего количества реагента (81 ракета в среднем на облако против 125 ракет), но большей интенсивности воздействия: в среднем по облаку 4 ракеты в мин. за 20 мин. против 2,6 ракеты в мин. за 47 мин.

Таким образом, для существенного ослабления грозовой деятельности облаков в диапазоне $10 < H_m < 12,8$ км в среднем необходимо вводить в облака в течение не менее 20 мин. ракеты "Алазани" с интенсивностью не менее 4 ракет/мин. Для существенного подавления грозовой активности облаков с $8 < H_m < 10$ км достаточно в среднем вводить в облака не менее 2 ракет/мин. в течение не менее 13 мин.

Введение в облака реагента с меньшей интенсивностью, вероятно, приводит к появлению зон неоднородностей из-за характера рассеяния льдообразующих ядер от трасс полета ракет "Алазани", что приводит к увеличению времени жизни грозы [48-50].

В последние годы проведено исследование долговременных изменений атмосферных осадков, грозовых и градовых процессов в условиях Восточной Грузии и их связей с антропогенным загрязнением атмосферы. Разработаны статистические модели связи грозовой активности с аэрозольным загрязнением атмосферы. В частности, получено, что интенсивность грозовых и градовых процессов существенно зависит от аэрозольного загрязнения атмосферы (в том числе и радиоактивного), хотя эта зависимость имеет достаточно сложный характер [47,55].

Так, в работе [47] представлены некоторые эмпирические модели связи параметров грозовой активности с аэрозольным загрязнением атмосферы. Эта связь имеет достаточно сложный, часто нелинейный характер. Загрязнение атмосферы в зависимости от его характера и уровня может привести как к увеличению, так и к уменьшению интенсивности грозовых процессов. Установление возможных причин указанных связи является предметом будущих исследований.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Царевич Вахушти. География Грузии. Записки Кавказского отдела императорского русского географического общества, книга 24, вып. 5. Введение, перевод и примечания М.Г. Джанашвили, Тифлис, 1904, 289 с.
2. Давитая Ф.Ф., Таварткиладзе К.А. Проблема борьбы с градобитием, морозами в субтропиках и некоторыми другими стихийными процессами. Тб., "Мецниереба", 1982, 220 с.
3. Элизбарашвили Э. Ш., Амиранашвили А. Г., Варазанашвили О. Ш., Церетели Н. С., Элизбарашвили М. Э., Элизбарашвили Ш. Э., Пипия М. Г. Градобитие на территории Грузии. Европейские географические исследования, т. 2, № 2, ISSN: 2312-0029, DOI: 10.13187/egs.2014.2.55, www.ejournal9.com, 2014, с. 55-69.
4. Гигинеишвили В.М. Градобития в Восточной Грузии. Л., "Гидрометеиздат", 1960, 123 с.
5. Гигинеишвили В.М. О градобитиях в Восточной Грузии и о некоторых особенностях градовых процессов в Алазанской долине. Тр. Всесоюз. научн. совещ. по активным воздействиям на градовые процессы, Ин-т геофизики АН ГССР, Тб., 1964, с. 8-18.
6. Балабуев А.Г. Анализ данных о градовых явлениях в районе долин рек Иори и Алазани. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, Тб., "Мецниереба", 1967, с. 56-64.
7. Ахвледиани Я.Р., Ломая О.В., Саркисова Л.С. Градовые явления в Алазанской долине по данным метеорологических станций. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, Тб., "Мецниереба", 1967, с. 65-74.
8. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. Под ред. Сванидзе Г.Г. и Цуцкиридзе Я.А., Л., "Гидрометеиздат", 1980, 288 с.
9. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. Л., "Гидрометеиздат", 1967, 412 с.
10. Элизбарашвили Э.Ш., Элизбарашвили М.Э. Стихийные метеорологические явления на территории Грузии. Тбилиси, Зеон, 2012, 104 с.
11. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тб., 2015, с.77-100.
12. Бурцев И.И. Разработка научно-методических основ создания системы противорадовой защиты СССР. Дисс. на соиск. уч. степ. доктора физ.-мат. наук, Л., 1990, 297 с.
13. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противорадовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, "Печатный двор", 2014, 508 с.
14. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Берадзе Н.И., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Рухадзе Н.П. О возобновлении работ по регулированию осадков в Восточной Грузии. Тр. Института гидрометеорологии, т. 108, ISSN 1512-0902, Тб., 2002, с. 249-260.
15. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, т.119, ISSN 1512 – 0902, Тб., 2013, с. 144 - 152
16. Amiranashvili A., Chikhladze V., Dzodzuashvili U., Ghlonti N., Sauri I., Telia Sh., Tsintsadze T. Weather Modification in Georgia: Past, Present, Prospects for Development. International Scientific Conference "Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation". Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 216-222, <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8613>
17. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Некоторые статистические характеристики числа дней с градом в теплое полугодие в Грузии в 1941-1990 гг. Тр. Института геофизики АН Грузии, т. 58, ISSN 1512-1135, Тб., 2004, с.133-141.
18. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Nodia A.G., Khurodze T.V., Toronjadze A.F., Bibilashvili T.N. Spatial-temporary characteristics of number of days with a hails in the warm period of year in Georgia. Proc. 14th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-July 2004, pp. 2_2_215.1-2_2_215.2.
19. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Нодия А.Г., Церетели Н.С., Хуродзе Т.В. Статистические характеристики числа дней с градом в год в Грузии. Материалы межд. конф. "Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе", Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тб., 18-19 ноября, 2008, с. 427-433.
20. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. Natural Hazards, Vol. 64, Number 3 (2012), pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>. 2013.

21. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Пипия М.Г., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Э.Ш. Некоторые данные о градобитиях в Восточной Грузии и экономическом ущербе от них. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тб., 2014, с. 145-150.
22. Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Elizbarashvili E., Gaprindashvili G., Varazanashvili O. Statistical Analysis of the Number of Days with Hail in Georgia According to Meteorological Stations Data in 2006-2021. Int. Conf. of Young Scientists “Modern Problems of Earth Sciences”. Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 164-168.
23. Бартишвили И.Т., Надибаидзе Г.А., Бегалишвили Н.А., Гудушаури Ш.Л. К физическим основам метода ЗакНИГМИ борьбы с градом. Тр. ЗакНИГМИ, вып.67(73), 1978, с. 73-82.
24. Махарашвили П.И., Дореули Р.И. Исследование градовых явлений в районах Кахетии. Отчет по теме 074.081 "Изучение процессов образования и развития сложных метеорологических условий и опасных явлений погоды (град, грозы, туманы) и разработка методов воздействия на эти явления. Изучение водных ресурсов облаков и изыскание новых реагентов для искусственного воздействия на облака и туманы", часть 3, Ин-т геофизики АН ГССР, Тб., 1975, 209 с.
25. Годовые отчеты о производственной деятельности ВС Грузинской УГКС. Тб., 1980, 1982, 1984-1989.
26. Beglarashvili N., Janelidze I., Pipia M., Varamashvili N. Hail Storms in Kakheti (Georgia) in 2014-2018. Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 176-179.
27. Amiranashvili A., Bliadze T., Jamrishvili N., Kekenadze E., Tavidashvili Kh., Mitin M. Some Characteristics of Hail Process in Georgia and Azerbaijan on May 28, 2019. Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 22(2), 2019, pp. 40–54, <http://openjournals.gela.org.ge/index.php/GGS/>
28. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kveselava N., Kvilitaia N., Sauri I., Shavlakadze Sh. Some Characteristics of Hail Processes in Kakheti (Georgia) According to Radar Observations into 2016-2019. Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 23(2), 2020, pp. 50 – 56. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2320202729>
29. Amiranashvili A., Bolashvili N., Gulashvili Z., Jamrishvili N., Suknidze N., Tavidashvili Kh. Distribution of Hail by Mean Max Size on the Territories of Municipalities of the Kakheti Region of Georgia. International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 84 - 87.
30. Amiranashvili A.G., Bolashvili N.R., Gulashvili Z.M., Jamrishvili N.K., Suknidze N.E., Tavidashvili Kh.Z. Modeling the Distribution of Hailstones by Mean Max Sizes on the Territory of Kakheti (Georgia) using Data of the Freezing Level in the Atmosphere and Radar Measurements. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 24(1), 2021, pp. 25-36. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420212881>
31. Amiranashvili A.G. History of Active Effects on Atmospheric Processes in Georgia. In the book: Essays of the History of Weather Modification in the USSR and the Post-Soviet Territory, ISBN 978-5-86813-450-0, St. Petersburg, RSHMU, 2017, 352 pp., ill., pp. 234-254, (in Russian), <http://mig-journal.ru/toauthor?id=4644>.
32. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghlonti N.Ya., Sauri I.P. Reconstruction of Anti-Hail System in Kakheti (Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, Tbilisi, 2015, pp. 92-106.
33. სეტყვა და მასთან ბრძოლა. ჰიდრომეტეოროლოგებზე აქტიური ზემოქმედების სამსახურის 1967-1989 წწ. მუშაობის ძირითადი შედეგები. თბ., 1990, 15 გვ.
34. Amiranashvili A., Kveselava N., Kvilitaia N., Sauri I., Shavlakadze Sh., Chikhladze V. Some Results of Anti-Hail Works in Kakheti into 2016-2020. Trans. of M. Nodia Institute of Geophisics, ISSN 1512-1135, vol. LXXII, Tbilisi, 2020, pp. 123-128. (in Georgian). http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8934/1/15_Tr_72_-_2020.pdf
35. Курдиани И.Г. О грозах и градобитиях в Кахетии, Тбилиси, Груз. геогр. общ., 1935.
36. Балабуев А.Г. Грозы Закавказья, Тр. Тбил. Геоф. Ин-та, т.4, 1939.
37. Гуния С.У. Грозовые процессы в условиях Закавказья, Л., Гидрометеоиздат, 1960, 123 с.
38. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Нодия А.Г., Церетели Н.С., Мкурналидзе И.П. Характеристики грозовой активности в Грузии. Материалы межд. конф. «Климат, природные ресурсы, стихийные

- კატასტროფი ნა იუჟნომ კავკაზე», ტრ. ინ-თა ჰიდრომეტეოროლოგიი, თომ № 115, ISSN 1512-0902, ტბილისი, 18-19 ნოებრა, 2008, ს. 284–290.
39. ტატიშვილი მ., ქართველიშვილი ლ., მკურნალიძე ი. ელვის ზემოქმედება სხვადასხვა შენობა-ნაგებობაზე. მეცნიერება და ტექნოლოგიები 1(724), ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2017, გვ. 62-69.
 40. Amiranashvili A.G. Increasing Public Awareness of Different Types of Geophysical Catastrophes, Possibilities of Their Initiation as a Result of Terrorist Activity, Methods of Protection and Fight with Their Negative Consequences. // Engaging the Public to Fight Consequences of Terrorism and Disasters. NATO Science for Peace and Security Series E: Human and Societal Dynamics, vol. 120. IOS Press, Amsterdam•Berlin•Tokyo•Washington, DC, ISSN 1874-6276, 2015, pp. 155-164. <http://www.nato.int/science>; <http://www.springer.com>; <http://www.iospress.nl>
 41. Mkurnalidze I., Kapanadze N., Khutsishvili E. Lightning and its Effects on Humans. Int. Conf. of Young Scientists “Modern Problems of Earth Sciences”. Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 151-153.
 42. Элизбарашвили Э.Ш., Гонгладзе Н.Ш., Власова С.В., Алборова Б.Г., Попов А.А. О грозовой деятельности в Восточной Грузии, Изв. АН СССР, сер. Геогр., No 1,1983, с.104-110.
 43. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Beritashvili B.Sh., Mkurnalidze I.P., Chumburidze Z.A. Some Characteristics of a Thunderstorm Activity in Georgia, Proc. 12th Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Versailles, France, 9-13 June , vol.1, 2003, pp. 711-714.
 44. ამირანაშვილი ა., ბერიტაშვილი ბ., მკურნალიძე ი. აღმოსავლეთ საქართველოში ელქვიქიან დღეთა რიცხვის მრავალწლიური ვარიაციები, საქ. მეცნ. აკად. ვახუშტი ბაგრატიონის სახ. გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომები, ტომი № 21, USSN 1512-1224, თბილისი, 2003, გვ. 134–149.
 45. Бериташвили Б.Ш., Мкурналидзе И.П., Амиранашвили А.Г. Исследование пространственно-временных изменений числа дней с грозой на территории Грузии, Сб. статей, Вопросы физики облаков, Облака, осадки и грозовое электричество, ГГО им. А.И.Воейкова, Гидрометеиздат, Санкт-Петербург, 2004, 155-168
 46. Mkurnalidze I., Kapanadze N. Seasonal Distribution of Thunderstorms in Georgia. Int. Sc. Conf. “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”. Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, 2019, pp. 105-108, (in Georgian).
 47. Amiranashvili A. Statistical Models of Connection of Lightning Activity with Aerosol Pollution of Atmosphere, Proc. of X Int. Symposium on Lightning Protection, Curitiba, Brazil, 9-13 November 2009, pp.261-266.
 48. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Nekhotina L.M., Trofimenko L.T., Bogachuk V.S. Investigation of the Variations of Electrical and Radar Parameters of Thunderclouds. Proc. 8th Int. Conf. On Atmospheric Electricity, Uppsala, Sweden, 13-16 June, 1988, pp. 388-391.
 49. Амиранашвили А.Г., Богачук В.С., Гзиришвили Т.Г., Нехотина Л.М., Трофименко Л.Т. Исследование взаимосвязей между радиолокационными и электрическими параметрами грозовых облаков и оценка эффективности воздействия на них. Сб. Атмосферное электричество, Тр. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, Л., Гидрометеиздат, 1988, с. 116-119.
 50. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Nekhotina L.M., Trofimenko L.T., Bogachuk V.S. Variation of thunderclouds electrical and radar parameters as a result of artificial modification, Pap. Subm. to the 5th WMO Sc. Conf. on Weather Modification and Appl. Cloud Physics, Beijing, China, vol.1, WMO/TD-No 269, 8-12 May 1989, 357-358.
 51. Базелян Э.М., Горин Б.Н., Левитов В.И. Физические и инженерные основы молниезащиты, Л., Гидрометеиздат, 1978, 223 с.
 52. МЭК 61024–1. Защита объектов от молнии. Часть 1. Общие принципы, 1990.
 53. Amiranashvili A.G., Beritashvili B.Sh., Mkurnalidze I.P. Correlation Between Number of Thunder-Days and Duration of Thunderstorm Activity in Eastern Georgia, Proc. 14th International Conference on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-23 July 2004, 2_1_214.1-2_1_214.4.
 54. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Bibilashvili T., Chumburidze Z., Gzirishvili T., Doreuli R., Nodia A., Khorguani F., Kolesnikov Yu. Distribution of Convective Clouds and Lightning Discharges of the Earth Surface in Kakheti Region of Georgia, Proc.13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno, Nevada, USA, August 14-18, vol. 2, 2000,1050-1052.
 55. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Chumburidze Z.A. On the role of artificial iceforming reagents and radioactive intermixtures in the variation of convective clouds thunderstorm and hail activity, Proc. 12th Int. Conf. on Clouds and Pricipitation, Zurich, Switzerland, August 19-23, vol. 1, 1996, 267-270.
 56. Amiranashvili A., Nodia A., Khurodze T., Kartvelishvili L., Chumburidze Z., Mkurnalidze I., Chikhradze N. Variability of Number of Hail and Thunderstorm Days in the Regions of Georgia with Active Influence on Atmospheric Processes. Bull. of the Georgian Acad. of Sciences, 172, N3, 2005, 484-486.

ОБЗОР НЕКОТОРЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРАДОВЫХ И ГРОЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГРУЗИИ

Бердзенишвили Н.М., Киркитадзе Д.Д.

Реферат

В работе представлен обзор некоторых исследований градовых и грозовых процессов в Грузии, проведенных в последние десятилетия.

Ключевые слова: град, гроза.

საქართველოში სეტყვისა და ჭექა-ქუხილის პროცესების ზოგიერთი კვლევების მიმოხილვა

ბერძენიშვილი ნ., კირკიტაძე დ.

რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილია ბოლო ათწლეულების განმავლობაში საქართველოში ჩატარებული სეტყვისა და ჭექა-ქუხილის პროცესების ზოგიერთი კვლევების მიმოხილვა.

საკვანძო სიტყვები: სეტყვა, ელჭექი.

REVIEW OF SOME STUDIES OF HAIL AND THUNDERSTORM PROCESSES IN GEORGIA

Berdzenishvili N., Kirkitadze D.

Abstract

The paper presents an overview of some studies of hail and thunderstorm processes in Georgia conducted in recent decades.

Key words: hail, thunderstorm.