

УДК 551:509

**СИНОПТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ГРОЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ
НАД ЦЕНТРАЛЬНЫМ ПРЕДКАВКАЗЬЕМ****Галина Хамзатовна Бадахова**

доцент

Валентина Ивановна Волкова

канд. физ-мат. наук, доцент

Фотима Алихоновна Мамадсолиева

студент

Северо-Кавказский федеральный университет

г. Ставрополь

Аннотация

Рассмотрены синоптические условия развития грозовых процессов в Центральном Предкавказье. Выделены наиболее типичные макро- и мезомасштабные факторы, влияющие на их развитие. Показано, что при развитии грозоградовых процессов в тропосфере имеют место оптимальный макроциркуляционный режим и типичная структура термобарического поля, определяющие как интенсивность процесса, так и его тип.

В статье также освещена временная динамика изменения основных характеристик режима грозовой активности в регионе.

Ключевые слова: гроза, атмосфера, циркуляция, циклон, синоптическая ситуация, повторяемость гроз, продолжительность гроз.

**SYNOPTICAL CONDITIONS FOR THUNDERSTORMS GROWTH ABOVE
CENTRAL REGION OF PRE-CAUCASUS****Galina Kh. Badakhova**

Associate Professor

Valentina I. Volkova

Cand. of Phys.-Math. Sciences, Docent

Fotima A. Mamadsolieva

Student

North Caucasian Federal University

Stavropol

ABSTRACT

The development analysis of thunderstorms above central region of Pre-Caucasus is conducted. The most typical macro- and mesoscale factors contributing to their development of mean troposphere condition are identified. It is shown, that at the development of hail processes in troposphere the optimal macro-circulating regime and typical structure of synoptic situation are appeared, determining just as intensity of process so its pattern. The article also describes the temporal dynamics of the change of major thunderstorm characteristics at the region.

Keywords: thunderstorm, atmosphere, circulating, cyclone, synoptic situation, thunderstorm frequency, thunderstorm duration.

В связи с происходящим изменением климата планеты изучению вопросов погоды и климата, физических процессов в атмосфере уделяется все большее внимание. В системе Росгидромета завершается создание системы мониторинга опасных геофизических явлений и процессов над территорией РФ, основанной на распределенной сети геофизических наблюдений, включающей единые сети метеорологических радиолокаторов, грозорегистраторов и других средств дистанционного зондирования атмосферы. Для обнаружения быстроразвивающихся опасных явлений погоды, в частности, используется новый отечественный доплеровский метеорадиолокатор ДМРЛ-С, дающий возможность получения большого объема информации о погодных условиях, в том числе и о грозовых процессах [8]. Однако в целях обеспечения сравнимости результатов, лежащих в основе анализа, в настоящей статье информационной базой исследования являются материалы наблюдений 16 метеорологических станций Ставропольского края и синоптические карты.

Сложный рельеф Центрального Предкавказья в сочетании с географическим положением и особенностями господствующих здесь циркуляционных процессов обусловили в целом по территории достаточно высокую грозовую активность. Определяющую роль в территориальном распределении грозоградных процессов и их интенсивности в условиях Северного Кавказа играют характер термобарического поля средней тропосферы и направление перемещения воздушной массы в приземном двухкилометровом слое. Усиление или ослабление грозовых процессов существенно зависит от высоты местности, орографической защищенности и направления склонов. На наветренных склонах гор грозы образуются чаще, чем на подветренных склонах. С возрастанием степени расчлененности рельефа резко сказывается влияние его форм на грозовую активность. Даже сравнительно небольшие возвышенности отличаются повышенной грозовой деятельностью по сравнению с равниной, что объясняется усилением вертикальных движений над пересеченной местностью. В предгорных и горных районах орографический эффект усиливается, так как развитие восходящих движений перед препятствиями создает динамический импульс для развития конвективной облачности.

Под влиянием рельефа изменяется не только скорость, но и направление движения. Так, согласно исследованиям Л.М. Федченко, над Северным Кавказом северо-западное перемещение часто трансформируется в северное, поскольку юго-западный

участок атмосферного фронта достигает горных препятствий раньше центральной части, а тем более северо-восточной периферии. При этом юго-западный участок фронта начнет деформироваться, в то время как его центральная и северо-восточная части будут перемещаться над равниной, не претерпевая изменений [15].

В результате проведенного анализа синоптических карт и данных аэрологического зондирования в дни с грозами над регионом была проведена типизация наиболее частых синоптических ситуаций, обуславливающих как распределение грозовых процессов по территории Предкавказья, так и их интенсивность с учетом ранее проведенных исследований [3,6]. По алгоритму [9], на картах приземного анализа и на АТ₅₀₀ наносились положения центров всех циклонов, затем прослеживались траектории перемещения этих циклонов и далее выделялись те, которые привели к формированию грозовых процессов на территории Центрального Предкавказья. Выявлялось наличие или отсутствие связи основного циклона с высотной макроложбиной и его местоположение в этой ложбине.

1. Перенос воздушных масс с северо-запада на юго-восток. Он обусловлен наличием высотной ложбины, ориентированной с севера (из районов Прибалтики) на центральную или восточную часть Черного моря. В ложбине отмечается замкнутый очаг низкого давления над акваторией Черного моря. У поверхности земли циклоническая деятельность охватывает не только всю территорию Центрального Предкавказья, но и практически всего Юга России. Примерно по широте 46 – 47°, захватывая северную половину рассматриваемой территории, с запада на восток смещаются невысокие циклоны смещаются, при этом в приземном двухкилометровом слое смещение воздушных масс происходит с северо-запада. При северо-западном вторжении формируется около 32 % всего количества гроз Центрального Предкавказья.

2. Перенос воздушных масс с запада на восток. При западном вторжении строение термобарического поля аналогично первому. Отличие состоит в том, что в приземном слое холодный фронт смещается не с северо-запада, как в первом случае, а с запада и огибает Кавказский хребет одновременно с севера и с юга. При этом над западными отрогами Ставропольского плато развиваются достаточно мощные грозовые процессы, в то время как над его восточной половиной они практически полностью отсутствуют. При западном переносе отмечается около 24 % всех грозовых процессов Центрального Предкавказья.

3. Перенос воздушных масс с севера. При северном вторжении высотное термобарическое поле неоднородно: на абсолютной карте АТ₅₀₀ отмечается юго-западный поток 500 мб, а на соответствующей карте относительной барической топографии прослеживается ложбина холода с северо-востока с ультраполярной осью. В приземном слое на юге ЕТС формируется область повышенного давления, гребень от которой распространяется к югу и постепенно охватывает районы Северного Кавказа [3]. Область повышенного давления является невысоким образованием и на синоптических картах чаще всего прослеживается только на поверхности 850 мб, а на поверхности 700 мб совершенно не выражена. Грозовые процессы при этом охватывают большие территории. При северном вторжении отмечается примерно 26 % от общего числа гроз Центрального Предкавказья.

4. Малоградиентное барическое поле в средней тропосфере. При таком термобарическом поле над центральной частью территории Северного Кавказа располагается ложбина или очаг холода. При этом грозы наблюдаются над всей территорией Центрального Предкавказья отдельными очагами, носят внутримассовый характер и развиваются, как правило, во второй половине дня. Процессы такого типа составляют около 18 % от общего числа гроз в регионе.

Анализ многолетнего ряда данных о случаях градобития в регионе показал, что при развитии мощных грозоградовых процессов мезомасштабная адвекция холодного

воздуха в средней тропосфере осуществляется в системе термической мезоложбины термобарической ложбины или при наличии очага холода над районом развития градового процесса. При развитии катастрофических градовых процессов наиболее часто мезомасштабная адвекция холодного воздуха в средней тропосфере осуществляется в системе термической мезоложбины.

Около 60 % всех гроз в Центрально Предкавказье формируются при прохождении холодных фронтов. Эти результаты показывают хорошее соответствие данным, полученным для других регионов. Аналогичный результат получен в [2] для Кабардино-Балкарии с оговоркой, что в отдельных районах доля фронтальных процессов достигает 90 %. В [10, 11] получено, что на территории Казахстана, кроме восточных районов, фронтальные грозы составляют около 60 % от числа всех гроз, а на юго-востоке Западной Сибири – 50 % от общего количества.

При анализе грозоопасности конкретных синоптических ситуаций весьма показательным и информативным оказался параметр конвекции K , предложенный Г.Г. Гораль и др. [16], являющийся одновременно функцией энергии неустойчивости и влажности в слое потенциальной неустойчивости и рассчитываемый с помощью консервативных характеристик атмосферы по формуле

$$K = (\Theta'_{p\text{ обл}} - \Theta'_{p2}) / (\Theta'_{p\text{ обл}} - \Theta'_{p1}),$$

где Θ'_{p1} – минимальная псевдопотенциальная температура смоченного термометра на уровне верхней границы слоя H_p , Θ'_{p2} – условная псевдопотенциальная температура смоченного термометра на уровне верхней границы слоя H_p при 100 %-ном насыщении воздуха. Значение $K \geq 0.5$ свидетельствует об активизации конвекции, а при наличии фронта создает благоприятные условия для развития градового процесса. Так, именно учет значения $K = 0.6$ наряду с другими прогностическими признаками позволил прогнозировать небывало поздний, мощный градовый процесс 1 октября 2004 года.

Исследования Института географии РАН [12] показали, что к росту повторяемости грозоградовых процессов привели изменения атмосферной циркуляции, необычайно высокая активность южных циклонов, связанная с повышенной теплоотдачей океана в атмосферу в тропических широтах. В 90-х годах произошел резкий скачок продолжительности меридиональных южных процессов. При этом продолжительность меридиональной северной группы осталась по-прежнему высокой, а все остальные группы циркуляций заметно сократились. В результате характер современной макроциркуляции атмосферы в основном определяется сочетанием двух меридиональных групп, обеспечивая высокую степень макротурбулентности атмосферы над всем Северным полушарием и, следовательно, высокую повторяемость и интенсивность экстремальных погодных явлений, в том числе и в Центральном Предкавказье.

Рассчитанное среднее многолетнее значение годового числа дней с грозой по всем станциям региона за период 1961-2000 гг. [6] позволило определить его зависимость от высоты местности в условиях Центрального Предкавказья. Указанный период был выбран для того, чтобы сравнить полученные результаты с результатами, полученными по расчетам за этот же период для предгорной и среднегорной зоны Северного Кавказа.

Получено уравнение $y = 0.0251x + 20.788$, в целом достаточно хорошо согласующееся с полученным для этого же периода в [1] для предгорной зоны Северного Кавказа (x – высота в метрах, y – количество дней с грозой).

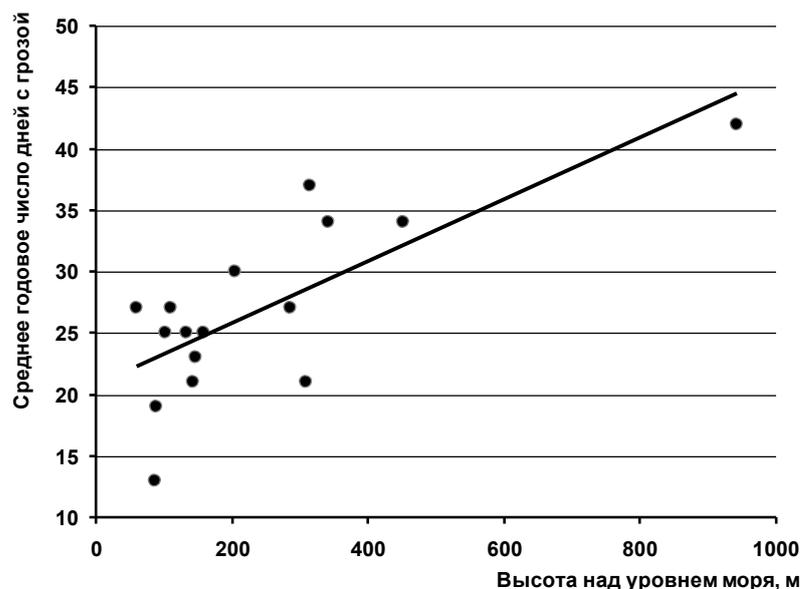


Рисунок 1. Зависимость среднего годового числа дней с грозой от высоты местности для Центрального Предкавказья

Анализ динамики грозовой активности региона за последние полвека (в сравнении с многолетними данными до 1966 г. [14]) показал, что на фоне наличия значительной межгодовой изменчивости грозовой активности можно все же выделить некоторые общие тенденции [6,7].

Повторяемость гроз за последние 50 лет снизилась на севере региона, в центральных районах практически не изменилась, а на юге, в предгорьях, заметно увеличилась (рис. 2, табл. 1), что хорошо согласуется с [2, с. 83]).

Во избежание излишней громоздкости материала в статье представлены результаты анализа для трех метеостанций региона, максимально разнесенных по широте на территории края, но находящихся примерно на одном меридиане и располагающихся на наиболее характерных для территории Центрального Предкавказья высотах над уровнем моря: Дивное (45°55′ с.ш., 43°21′ в.д.; 86 м), Благодарный (45°06′ с.ш., 43°28′ в.д.; 161 м), Кисловодск (43°53′ с.ш., 42°46′ в.д.; 943 м). Такой выбор метеостанций позволил выявить широтно-высотную зависимость грозовой активности в регионе и увидеть согласование результата с [13].

За первые 18 лет нового века в Дивном отмечено 379, в Благодарном – 533, в Кисловодске – 1014 дней с грозой.

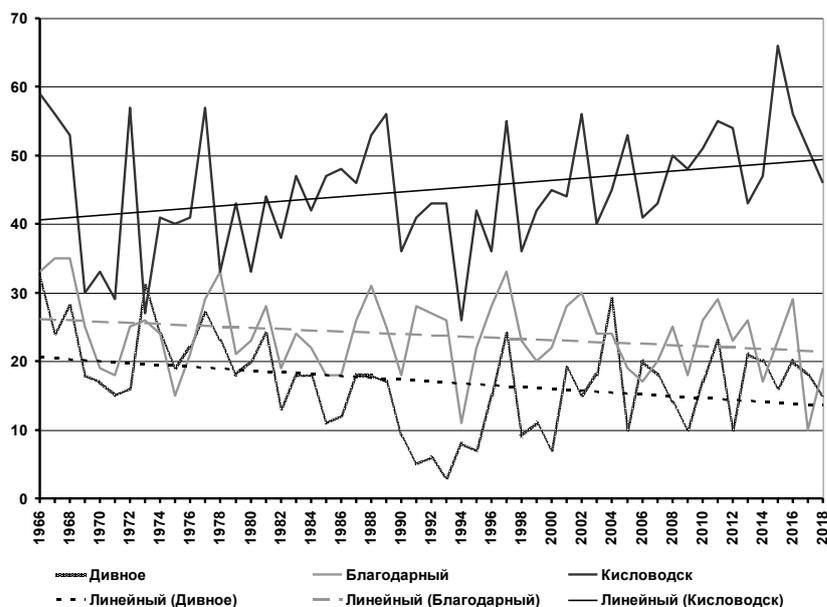


Рисунок 2. Полувековой ход годового числа дней с грозой

На основе анализа многолетнего хода годового числа дней с грозой получены уравнения трендов:

для Дивного

$$y = -0.1164x + 20.295;$$

для Благодарного

$$y = -0.09x + 26.165;$$

для Кисловодска

$$y = 0.1685x + 40.488.$$

Таблица 1. Динамика годового числа дней с грозой по 10-летиям

Период	Дивное			Благодарный			Кисловодск		
	ср.	макс	мин	ср.	макс	мин	ср.	макс	мин
До 1966	20	30		25	36		34	49	
1966-1975	22	32	15	24	34	17	38	52	28
1976-1985	19	27	11	24	33	18	43	57	33
1986-1995	10	18	3	23	31	11	43	56	26
1996-2005	16	29	7	25	33	19	45	56	36
2006-2015	17	32	10	25	29	17	50	66	31

Из приведенных данных видно, что различия в уровне грозовой активности над низменной, равнинной, возвышенной и предгорной частями региона достаточно велики. В предгорьях дней с грозой отмечается за теплый период (ТП) года вдвое больше, чем над центральной, возвышенной частью региона, и втрое больше, чем над северной, равнинной низменной частью (табл.2).

Таблица 2. Помесячное распределение числа дней с грозой

Станция	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	ТП
Дивное	1	3	4	4	3	2	0	17
Благодарный	1	5	7	5	5	2	*	25
Кисловодск	2.5	9	13	10	10	5	0.5	50

Суммарная продолжительность гроз также ожидаемо возрастает по мере увеличения абсолютной высоты местности (табл. 3), от 25-30 часов за теплый сезон по разным метеостанциям северной части края до 100 часов в верхней части Ставропольской возвышенности и в предгорьях Кавказа.

Таблица 3. Помесячное распределение суммарной продолжительности гроз (час)

Станция	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	ТП
Дивное	1	5	8	6	5	3	0	28
Благодарный	1	7	10	8	8	3	*	37
Кисловодск	2.5	19	30	21	19	8	0.5	100

В регионе отмечаются как одиночные дни с грозой, так и достаточно длительные периоды с ежедневными грозами (табл. 4). В равнинной зоне на одиночные дни приходится более 60 % всех гроз, в возвышенной части – менее половины, а в предгорной зоне – чуть более четверти.

Таблица 4. Доля дней с грозой (%), входящих в n-дневные периоды

Станция	Продолжительность периода n, дней						
	1	2	3	4	5	6	7
Дивное	60.8	24.6	11.5	3.1	-	-	-
Благодарный	43.5	27.1	18.6	6.8	-	-	4.0
Кисловодск	26.9	27.4	18.3	8.1	12.7	3.0	3.6

На рассматриваемой территории следствием изменения режима циркуляции стало никогда ранее не отмечавшееся возрастание продолжительности грозовых процессов в сухостепной зоне Центрального Предкавказья, причем нарастание идет с юго-запада на северо-восток от 30 часов в Зеленокумске до 60 ч в Арзгире [4].

Поскольку грозоградовые процессы сопровождаются ливневыми осадками, то следствием изменения режима циркуляции и повторяемости синоптических ситуаций стало также увеличение числа дней с интенсивными осадками [5], вплоть до того, что 16 июля 2018 года в Арзгире, находящемся на границе сухостепной и полупустынной зон, выпало 100.1 мм осадков. До этого абсолютный максимум суточного количества осадков в восточной зоне края составлял 61.0 мм.

Список литературы

1. Аджиев А.Х. Климатологические и физико-статистические характеристики гроз на Кавказе // Тр. ВГИ. 1999. Вып. 90. С. 64-70.
2. Аджиев А.Х., Богаченко Е.М. Грозы Северного Кавказа. Нальчик, 2011. 152 с.
3. Бадахова Г.Х., Бареева М.В. Особенности атмосферной циркуляции и режима грозоградовых процессов в Центральном Предкавказье в условиях глобального изменения климата // Материалы Всероссийской конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы. Нальчик: «Эльбрус», 2013. С. 214-219.
4. Бадахова Г.Х., Бареева М.В., Каплан Г.Л. Особенности изменчивости регионального климата сухостепных ландшафтов Ставропольского края. Известия вузов Северного Кавказа. № 2, 2014. С. 81-85.

5. Бадахова Г.Х., Каплан Г.Л. Вековой мониторинг режима осадков в Ставропольском крае//«Вопросы физической географии», вып. 47. Изд-во Ставроп. гос. ун-та, Ставрополь, 2003. С.54-63.
6. Бадахова Г.Х., Кнутас А.В. Ставропольский край: современные климатические условия. Ставрополь: Краевые сети связи, 2007. 272 с.
7. Бадахова Г.Х., Лашманов Ю.К., Шмигельский В.А. Динамика и современный режим грозовой активности над Центральным Предкавказьем. Наука. Инновации. Технологии. 2018. № 4. С. 117-130.
8. Бухаров М.В., Стасенко В.Н., Шаповалов А.В. Развитие технологий мониторинга гроз путем интегрирования радиолокационных, грозорегистрационных и спутниковых данных// Материалы II межд. научной конф. «Инновационные методы и средства исследований в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата». Ставрополь, 2015. С. 273-277.
9. Гораль Г.Г., Барекова М.В. Характеристика циклонов, обуславливающих развитие интенсивных градовых процессов// Тр. ВГИ. 1987. Вып.69. С. 37-47.
10. Горбатенко В.П. Синоптические условия образования и развития гроз над территориями Западной Сибири и Казахстана// [Вестник Томского гос. ун-та](#), 2001. Вып. 274. С.148-154.
11. Дульзон А.А., Горбатенко В.П. Результаты исследования грозовой активности над территорией Томской области//Изв. Томского политехн. ун-та, 2006. Т. 309. № 2. С. 126-130.
12. Кононова Н.К. Исследования многолетних колебаний циркуляции атмосферы Северного полушария и их применение в гляциологии// Мат. гляциологических исследований. М., 2003. № 95. С. 45-65.
13. Раков В.А., Дульзон А.А. О широтных особенностях грозовой деятельности // Метеорология и гидрология. 1984. № 1. С. 52-57.
14. Справочник по климату СССР. Вып. 13. Ч. 5. Облачность и атмосферные явления. Л.: Гидрометеиздат, 1968.
15. Федченко Л.М. Влияние рельефа Северного Кавказа на трансформацию метеорологических элементов и локализацию конвективных процессов // Метеорология и гидрология. 1987. № 6. С. 55-64.
16. Федченко Л.М., Гораль Г.Г., Беленцова В.А., Мальбахова Н.М. Опасные конвективные явления и их прогноз в условиях сложного рельефа. М: Гидрометеиздат, 1991. 424 с.

References

1. Adzhiev A.H. Klimatologicheskie i fiziko-statisticheskie harakteristiki groz na Kavkaze // Tr. VGI. 1999. Vyp. 90. S. 64-70 [in Russian].
2. Adzhiev A.H., Bogachenko E.M. Grozy Severnogo Kavkaza. Nal'chik, 2011. 152 s. [in Russian].
3. Badahova G.H., Barekova M.V. Osobennosti atmosfernoj cirkulyacii i rezhima grozogradovyh processov v Central'nom Predkavkaz'e v usloviyah global'nogo izmeneniya klimata// Materialy Vserossijskoj konferencii po fizike oblakov i aktivnym vozdeystviyam na gidrometeorologicheskie processy. Nal'chik: «El'brus», 2013. S. 214-219 [in Russian].
4. Badahova G.H., Barekova M.V., Kaplan G.L. Osobennosti izmenchivosti regional'nogo klimata suhostepnyh landshaftov Stavropol'skogo kraja. Izvestiya vuzov Severnogo Kavkaza. № 2, 2014. S. 81-85 [in Russian].

5. Badahova G.H., Kaplan G.L. Vekovoj monitoring rezhima osadkov v Stavropol'skom krae// «Voprosy fizicheskoj geografii», vyp. 47. Izd-vo Stavropol'skogo gos. un-ta, Stavropol', 2003. S.54-63 [in Russian].
6. Badahova G.H., Knutas A.V. Stavropol'skij kraj: sovremennye klimaticheskie usloviya. Stavropol': Kraevye seti svyazi, 2007. 272 s. [in Russian].
7. Badahova G.H., Lashmanov YU.K., SHmigel'skij V.A. Dinamika i sovremennyy rezhim grozovoj aktivnosti nad Central'nym Predkavkaz'em. Nauka. Innovacii. Tekhnologii. 2018. № 4. S. 117-130 [in Russian].
8. Buharov M.V., Stasenko V.N., SHapovalov A.V. Razvitie tekhnologij monitoringa groz putem integrirovaniya radiolokacionnyh, grozoregistracionnyh i sputnikovyh dannyh// Materialy II mezhd. nauchnoj konf. «Innovacionnye metody i sredstva issledovanij v oblasti fiziki atmosfery, gidrometeorologii, ekologii i izmeneniya klimata». Stavropol', 2015. S. 273-277 [in Russian].
9. Goral' G.G., Barekova M.V. Harakteristika ciklonov, obuslovlivayushchih razvitie intensivnyh gradovyh processov// Tr. VGI. 1987. Vyp. 69. S. 37-47 [in Russian].
10. Gorbatenko V.P. Sinopticheskie usloviya obrazovaniya i razvitiya groz nad territoriyami Zapadnoj Sibiri i Kazahstana// Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2001. Vyp. 274. S.148-154 [in Russian].
11. Dul'zon A.A., Gorbatenko V.P. Rezul'taty issledovaniya grozovoj aktivnosti nad territoriej Tomskoj oblasti//Izv. Tomskogo politekhn. Un-ta, 2006. T. 309. № 2. S. 126-130 [in Russian].
12. Kononova N.K. Issledovaniya mnogoletnih kolebanij cirkulyacii atmosfery Severnogo polushariya i ih primenenie v glyaciologii// Mat. glyaciologicheskikh issledovanij. M., 2003. – № 95. – S. 45-65 [in Russian].
13. Rakov B.A., Dul'zon A.A. O shirotnyh osobennostyah grozovoj deyatel'nosti // Meteorologiya i gidrologiya. 1984. № 1. S. 52-57 [in Russian].
14. Spravochnik po klimatu SSSR. Vyp. 13. CH. 5. Oblachnost' i atmosferynye yavleniya. L.: Gidrometeoizdat, 1968 [in Russian].
15. Fedchenko L.M. Vliyanie rel'efa Severnogo Kavkaza na transformaciyu meteorologicheskikh elementov i lokalizaciyu konvektivnyh processov // Meteorologiya i gidrologiya. 1987. № 6. S. 55-64 [in Russian].
16. Fedchenko L.M., Goral' G.G., Belencova V.A., Mal'bahova N.M. Opasnye konvektivnye yavleniya i ih prognoz v usloviyah slozhnogo rel'efa. M: Gidrometeoizdat, 1991. 424 s. [in Russian].