

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-3-165-174>

УДК 551.578.7

Характеристики градовых процессов на северо-восточном склоне Малого Кавказа

Дж.С. Гусейнов¹, З.Г. Гулиев¹, И.Т. Ибрагимова²

*¹ ЗАО «Азербайджан Хава Йоллары», УВД «Азераэронавигация»,
г. Баку, Азербайджан;*

*² Министерство экологии и природных ресурсов Азербайджана,
Национальная Гидрометеорологическая Служба, г. Баку, Азербайджан
camal_huseynov_88@mail.ru; zakir956@mail.ru; ilashka04@gmail.com*

Проанализированы особенности активных конвективных процессов с образованием и выпадением града на северо-восточном склоне Малого Кавказа, расположенном на территории Азербайджана, в период 1979–2020 гг. Анализ проведен с использованием математико-статистических и картографических методов. Приведена повторяемость градовых процессов и карта-схема высотного распределения среднегодовых показателей количества градовых дней. Показано, что в горной части территории наблюдается рост повторяемости градовых процессов, однако на равнинных участках отмечено снижение их количества. Исследованы последствия региональных климатических изменений и многолетняя тенденция показателей градовых процессов. В результате проведенных исследований установлено, что в последние годы в регионе градовые процессы наблюдаются чаще, повторяемость их больше во второй половине дня.

Ключевые слова: конвективные процессы, опасные атмосферные явления, градовые процессы, повторяемость, изменение климата, тенденция, радиолокационная информация МРЛ-5

Characteristics of Hail Processes on the Northeastern Slope of the Lesser Caucasus

Dzh.S. Guseinov¹, Z.G. Guliev¹, I.T. Ibragimova²

*¹ "Azerbaijan Airlines" Closed Joint-Stock Company,
Azeraeronavigation Air Traffic Control, Baku, Azerbaijan;*

*² Ministry of Ecology and Natural Resources of Azerbaijan,
National Hydrometeorological Service, Baku, Azerbaijan
camal_huseynov_88@mail.ru; zakir956@mail.ru; ilashka04@gmail.com*

Features of active convective processes with the formation and fall of hail on the northeastern slope of the Lesser Caucasus located on the territory of Azerbaijan during 1979–2020 are analyzed. The analysis was carried out using mathematical, statistical, and cartographic methods. The frequency of hail processes and the schematic map of the vertical distribution of average annual parameters of the number of hail days is presented. It is shown for the mountain part of the territory that there is an increasing frequency of hail processes, while their reduced number was registered in flat areas. The consequences of regional climate change and a long-term trend in the parameters of hail processes are investigated. It was found that hail processes in the region in the recent years have been more frequent, the frequency is higher in the afternoon.

Keywords: convective processes, severe atmospheric events, hail processes, frequency, climate change, trend, MRL-5 radar data

Введение

Для территории Азербайджанской Республики характерен сложный рельеф, что выделяет ее по физико-географическим условиям в регионе Южного Кавказа [1]. Поэтому опасные атмосферные явления здесь не являются редкостью, что негативно сказывается на различных сферах экономики. В результате глобальных климатических изменений происходит увеличение количества опасных гидрометеорологических явлений, таких как наводнения, паводки, лавины, засухи, грозы, град, ливневые дожди, а также растет их продолжительность [4]. На сегодняшний день изучение опасных атмосферных явлений является одной из актуальнейших задач, так как до сих пор остается проблема точности их прогнозирования.

Одним из опасных атмосферных явлений, часто повторяющихся в Азербайджане, является град, вызванный активными конвективными процессами [5]. На территории страны наиболее подверженным градобитиям районом являются северо-восточные склоны гор Малого Кавказа [9].

В Азербайджане климатологией градовых процессов занимались С.Г. Сафаров [6, 7], Р.Н. Махмудов [4], Н.Ш. Гусейнов [2] и другие ученые. Они исследовали повторяемость града в отдельных регионах, прибрежных районах, аэропортах, а также изучали синоптические условия конвективных процессов, обуславливающих образование града, и меры борьбы с градобитиями. В последние годы увеличивается число зафиксированных случаев, однако исследованиям последствий изменения климата внимания уделяется мало.

Цель исследования

Основная цель исследований – изучить градовые процессы в период 1979–2020 гг., уделив особое внимание их повторяемости и распространению по территории, особенно с детализацией внутри суток.

Используемые данные и методы

В статье использованы данные наблюдений радиолокатора МРЛ-5 Агстафинской радиометеостанции Центра радиометеорологии и аэрологии Национальной гидрометеорологической службы, расположенной в регионе Малого Кавказа, а также гидрометеостанций Шамкир, Товуз, Гянджа, Кедабек и Дашкесан за период 1979–2020 гг. Изучение процессов проводилось математико-статистическим и картографическим методами с использованием радиолокационной информации. При исследовании повторяемости града с детализацией внутри суток по месяцам

использовались данные наблюдений за 1991–2020 гг., для подсчета количества дней с градом – за 2000–2020 гг., а для изучения климатических особенностей – за весь рассматриваемый период (1979–2020 гг.). Результаты исследования представлены в графическом и табличном виде, а также подготовлена карта-схема (с использованием программного обеспечения ArcGIS).

Обсуждение результатов исследования

Территория Азербайджана, особенно северо-восточный склон Малого Кавказа, является одним из градоопасных районов Южного Кавказа. Причиной этого является сложная орография, резкие контрасты температуры воздуха по высоте, экспозиции горных склонов [7]. Синоптические условия в регионе круглогодично формирует взаимодействие континентальных, морских арктических и влажных воздушных масс умеренных широт (Азорский максимум) [2].

Использование метеорологических радиолокационных данных при анализе градовых явлений имеет большое практическое значение. Преимуществом радиолокационного метода является возможность ведения наблюдений в районах, где отсутствуют наземные метеостанции. Это непрерывное наблюдение за процессом от стадии образования градообразующих кучево-дождевых облаков до их рассеивания, определение траектории движения и скорости перемещения, оценка вероятности образования града, определение размера градин. Также данные метеорологического радара МРЛ-5 позволяют анализировать другие важные метеорологические параметры, такие как высота верхней границы градообразующего конвективного облака N_v (км), площадь поперечного сечения облака и ядра града, радиолокационная отражательная способность Z (dbz) от облака и др. [6]. Комплексы автоматизированного контроля, созданные на базе метеорологических радиолокаторов МРЛ-5, позволяют определять общую облачность и отдельные облака, осадки, опасные атмосферные явления, связанные с конвективной облачностью, а также наблюдать за градом и степенью опасности градобития.

Обычно на практике для определения состояния градоопасных облаков при радиолокационной оценке в двухполяриметрических радарах (dual polarization weather radar) используют несколько критериев (табл. 1).

Для анализа градовых процессов использовались 946 случаев, произошедших в 1979–2020 гг. в северо-восточной части Малого Кавказа, где эти явления наблюдаются чаще всего. В ходе исследований рассмотрена повторяемость града в суточном разрешении (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что максимальная фаза повторяемости града в течение суток приходится на дневные часы, а минимальная – на утренние [10]. Более 80 % случаев града в этом регионе произошло с 14 до 22 часов. Причиной этого является максимальный прогрев почвы днем и усиление конвекции.

Таблица 1. Радарные параметры для определения атмосферных явлений
Table 1. The radar parameters for the identification of atmospheric events

Атмосферное явление	Z _h (dBZ)	Z _{DR} (dB)	P _{hv}	K _{DP} (°км ⁻¹)	LDR(dB)
Снег	35	0–5	> 0,97	0–1	от -25 до -34
Мокрый снег	<45	0–3	0.8–0,95	0–2	от -13 до -18
Град <2 см	50–60	-0.5–0.5	> 0.95	-0.5–0.5	< -27
Град >2 см	55–70	< -0.5	> 0.96	-1–1	от -10 до -15

Примечание. Z_h(dBZ) – отражение горизонтальной поляризации; Z_{DR}(dB) – дифференциальное отражение; P_{hv} – полярометрический коэффициент корреляции; K_{DP}(°км⁻¹) – удельная дифференциальная фаза; LDR(dB) – уровень линейной деполяризации [6].

Таблица 2. Распределение случаев града по часам суток, %
Table 2. The distribution of hail cases for different hours of the day, %

Административный район	Часы суток											
	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
Агстафа	1	3	2	1	0	0	3	14	28	20	20	8
Газах	2	5	1	0	0	0	1	16	27	20	19	9
Кедабек	1	1	0	0	1	2	8	24	30	18	10	5
Дашкесан	1	0	1	1	1	1	4	26	32	16	13	4
Товуз	1	1	0	0	0	0	6	19	25	27	14	7
Шамкир	4	1	0	0	0	1	5	11	25	19	29	5

Максимальная повторяемость града наблюдалось в Газахском, Агстафинском, Кедабекском и Дашкесанском районах в 16–18 часов, в Товузе в 18–20 часов, в Шамкирском районе в 20–22 часов. Кроме того, 55–58 % града в Кедабекском и Дашкесанском районах приходится на период с 14 до 18 часов, в Агстафинском, Газахском и Товузском районах – 40–43%, в Шамкирском районе – 36 %. Этому способствуют конвективные процессы, активизирующиеся в ранние часы в горных районах, и параметры траекторий фронтальных градовых процессов с воздушными потоками.

В ходе исследования также был проанализирован характер распределения случаев града по месяцам. Здесь не случайно использованы данные о случаях возникновения града, а не число дней с градом. Считается, что возникновение града является более информативным показателем II градовой активности.

Согласно табл. 3, активизация градовых процессов в исследуемом районе начинается с начала теплого сезона, т. е. с апреля, но повторяемость градообразования в этом месяце слабая и составляет 1–5 % от общего числа случаев.

Таблица 3. Распределение градовых явлений по месяцам, %
Table 3. The distribution of hail events for different months, %

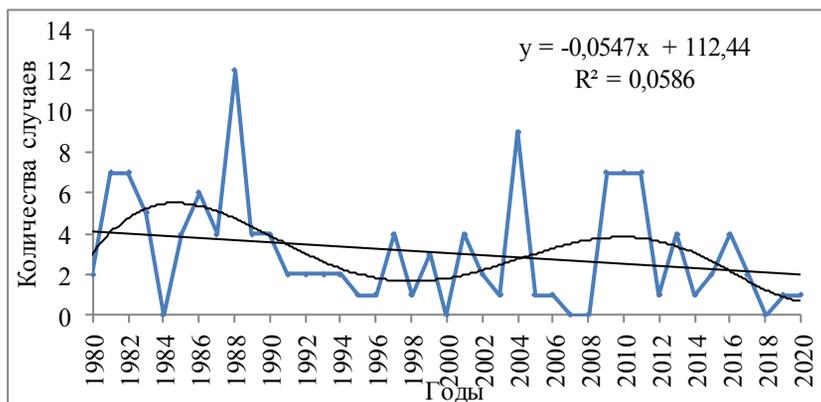
Административный район	Месяц								Кол-во явлений
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Агстафа	0	3	26	35	15	18	4	0	131
Газах	0	3	24	31	20	17	5	0	123
Кедабек	1	2	22	39	21	7	7	2	234
Дашкесан	0	1	28	35	17	7	8	5	179
Товуз	0	5	23	41	14	6	6	6	195
Шамкир	1	1	31	39	13	8	7	0	84
Регион	0	2	24	38	17	10	6	2	946

В период 1979–2020 гг. 75–85 % градовых процессов в регионе приходится на май–июль, но активность градовых процессов в Газахе и Агстафе в августе также была достаточно высокой (см. табл. 3). Максимум градовой активности приходится на июнь.

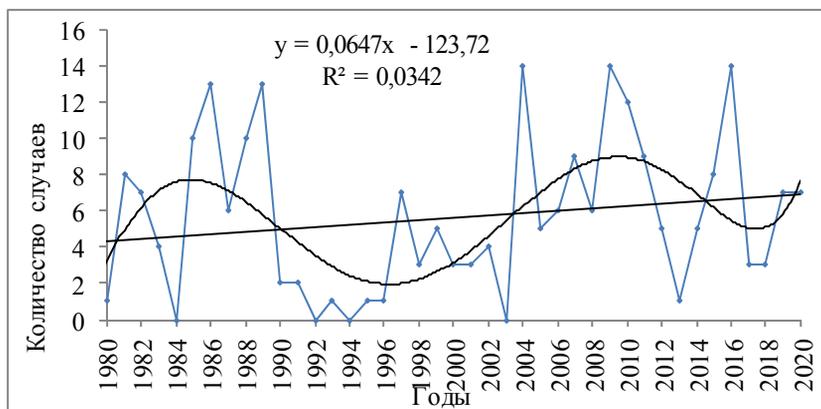
При исследовании также обращалось внимание на многолетние тенденции возникновения града на северо-востоке Малого Кавказа. На рис. 1 представлена многолетняя динамика, линейный и полиномиальный тренды градовых явлений в Агстафинском, Кедабекском и Дашкесанском районах. Как видно, количество случаев града наблюдается с резкими колебаниями от года к году. На графиках можно видеть небольшое снижение линейных трендов в Агстафе, но заметный рост в Кедабекском и Дашкесанском районах. Однако это заметно отличается от линейных тенденций с 1979 по 2020 год.

На рис. 1 видно, что градовая активность постепенно снижалась с начала 1980-х гг. и достигла минимальных значений в период с 1991 по 2000 год. Начиная с 2001 г. наблюдается усиление активности конвективных процессов, а в 2007–2009 гг. она достигла максимального уровня.

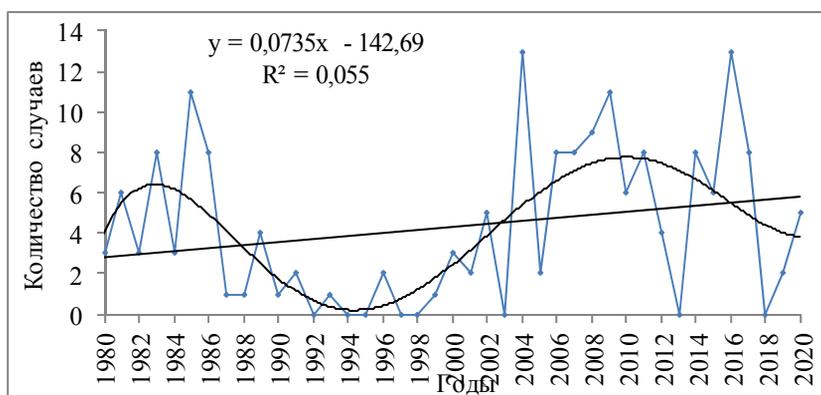
Хотя линейные тренды на графиках отражают общую тенденцию изменений за рассматриваемый период, характер таких изменений в отдельные годы весьма различен. Для определения этих периодов были построены соответствующие кривые с применением 6-летних фильтров полиномиального тренда. Эти кривые можно рассматривать как изменяющиеся с определенным периодом временные ряды многолетних изменений общего количества градовых явлений, исключая отклонения, возникающие в небольшие периоды времени. Как видно из кривых Кедабекского и Дашкесанского районов, где градовые процессы более активны, полный период этих изменений составляет около 22–24 лет.



а)



б)



в)

Рис. 1. Повторяемость случаев с градом в Агстафинском (а), Кедабекском (б) и Дашкесанском (в) районах в 1979–2020 гг.

Fig. 1. The frequency of cases with hail in (a) the Agstafa, (б) Gadabay, and (в) Dashkasan districts in 1979–2020.

В последние годы хотя и наблюдается относительное снижение градовой активности, амплитуда изменений повторяемости выше, чем в предыдущие периоды. Такие показатели не исключают регистрации достаточно большого количества случаев града и в этот период. Поэтому возникает особая потребность в детальном изучении опасных атмосферных явлений, связанных с конвективной облачностью, а также в разработке надежных методов прогнозирования, связанных с градовыми процессами, и проведении мероприятий по борьбе с градобитиями [11]. С помощью программного обеспечения ArcGIS составлена карта-схема высотного распределения среднегодовых показателей количества градовых дней за 2000–2020 гг. на северо-восточном склоне Малого Кавказа (рис. 2). На карте видно, что в исследуемом регионе наименее градоопасные территории в течение всего года – это равнины. Среднегодовая величина этого показателя несколько увеличивается по мере подъема в высокогорную местность, а в высокогорье град наблюдается более 5 дней в году.

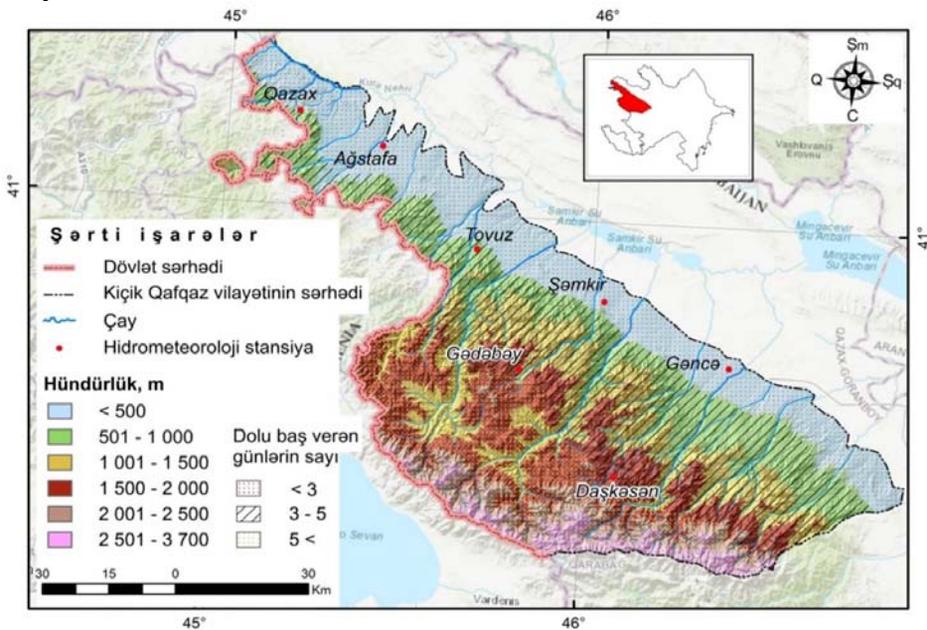


Рис. 2. Среднегодовое количество дней с градом в 2000–2020 гг. на северо-восточном склоне Малого Кавказа.

Fig. 2. The average annual number of days with hail on the northeastern slope of the Lesser Caucasus in 2000–2020.

Последствия климатических изменений, связанных с глобальным потеплением, в последние десятилетия усиливаются на территории Азербайджанской Республики [12]. Результаты исследований, проведенных в этой связи в последние годы, показали, что северо-восточная часть Малого Кавказа является одной из территорий страны, где в 1991–2020 гг.

наблюдался самый высокий рост температуры по сравнению с 1961–1990 гг.: на 1,0 °С в период 1991–2005 гг., 1,3 °С – в 2006–2020 гг. Значительно уменьшилось количество осадков в 1991–2020 гг. по сравнению с 1961–1990 гг. – на 6 %, или на 23 мм [3, 8].

Особое значение имеет изучение влияния региональных климатических изменений на опасные атмосферные процессы, в том числе градовые, от которых серьезно страдают сельское хозяйство и инфраструктура. Проведен сравнительный анализ градовых явлений в 2001–2020 гг. по сравнению с 1979–2000 гг. (табл. 4).

Таблица 4. Аномалии градовых явлений за 2001–2020 гг., %
Table 4. The anomalies of hail events during 2001–2020, %

Административный район	Месяц								Год
	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	
Газах	-10	0	0	30	40	0	20	0	80
Кедабек	2	-4	-7	-4	1	-3	2	1	-12
Дашкесан	0	4	35	35	8	8	12	4	104
Шамкир	-4	-4	-4	7	4	-4	-4	-4	-14
Гёйгёль	0	4	-8	15	15	-15	0	4	15
Регион	-2	0	3	17	14	-3	6	1	35

Анализ показал, что в период с 2001 по 2020 год в регионе увеличилась повторяемость случаев града в июне и июле. Этот показатель вырос в Газахе, расположенном в низкогорье, и в Дашкесане и Гёйгёле, расположенных в среднегорье. За исследуемый период увеличение числа случаев града составляет 35 %. Только на станциях Шамкир и Кедабек наблюдается уменьшение повторяемости града, что связано с небольшим смещением вверх конвективных процессов и изменениями, связанными с географическим положением.

Выводы

На основании анализа данных наблюдений за градовыми процессами на северо-восточном склоне Малого Кавказа в 1979–2020 гг. получены следующие результаты.

1. В 1979–2020 гг. повторяемость градовых процессов увеличилась в высокогорных районах и уменьшилась в равнинных районах.
2. Повторяемость града чаще всего наблюдалась в мае.
3. 80 % случаев града приходится на вторую половину дня (около 14–22 часов).
4. Количество дней с градом в течение года увеличивается от равнинных к горным районам региона.

5. Активность градовых процессов увеличилась в июне и июле в связи с изменением климата.

Изучение случаев возникновения града по регионам позволяет в дальнейшем расширить знания об этом явлении и разработать меры борьбы с ним. Выявление новых особенностей климата и составление атласов Газах-Товузского, Гянджа-Дашкесанского, Карабахского и Восточно-Зангезурского экономических районов, сформировавшихся на территории гор Малого Кавказа, необходимо при создании инфраструктуры и объектов, связанных с туризмом, сельским хозяйством, пищевой промышленностью и др.

Благодарность. Авторы выражают благодарность Севиндж Гусейновой за поддержку в сборе и обработке статистических материалов исследования, Гюльзар Байрамовой за решение технических вопросов, Магомеду Рагимову и Рагифу Ахмедову за сбор первичных данных.

Список литературы

1. География Азербайджанской Республики. Физическая география. Том I. Баку: Европа, 2015. 530 с. [на азербайджанском].
2. Гусейнов Н.Ш., Агаева А.Н. Энергия неустойчивости атмосферы и ее оценка // I International scientific conference of young researchers. Dedicated to the 90th Anniversary of the National leader of Azerbaijan, ГейдарАлиев, Баку, 26–27 апреля 2013 г. С. 261-262.
3. Гусейнов Д.С. Оценка влияния климатических изменений на режим осадков в северо-восточной части Малого Кавказа // Материалы научно-практической конференции «Организация и управление природно-хозяйственными системами Карабахского и Восточно-Зангезурского экономических районов», 26 апреля 2022 г., Баку. С. 477-488.
4. Махмудов Р.Н. Региональные изменения климата и опасные гидрометеорологические явления в Азербайджане. Баку: Национальная авиационная академия, 2022. С. 210.
5. Сафаров С.Х. Краткосрочный прогноз градовых и ливневых процессов // Гидрометеорология и мониторинг окружающей среды. Баку, 2006. № 3. С. 106-114.
6. Сафаров С.Х. Радарная метеорология. Баку: Национальная авиационная академия, 2016. 148 с.
7. Сафаров С.Х., Насибли А.А. Анализ градовых явлений в западных районах Азербайджана по радиолокационным данным за многолетний период // Материалы Республиканской научно-практической конференции «Глобальные экономические условия и экономико-географическое положение Азербайджана», Баку, 2017 г. С. 295-296.
8. Сафаров С.Х., Гусейнов Д.С., Ибрагимова И.В. Характеристика многолетних изменений температуры в западных районах Азербайджанской Республики. Баку: Научные труды Национальной авиационной академии, 2018. № 1. С. 101-108.
9. Сафаров С.Г. Особенности грозоградовых процессов на территории Азербайджана // Известия НАН Азербайджана. Серия науки о земле. 2005. № 1. С. 101-109.
10. Сафаров С.Г., Кулиев З.Г. Грозоградовый процесс 10 июня 2014 г. в западных регионах Азербайджана // Межд. научная конференция «Инновационные методы и ср. исследования в области физики атмосферы, гидрометеорологии, экологии и изменения климата», 21-25 сентября 2015 г., г. Ставрополь. С. 111-113.
11. Safarov S.H., Nasibli A.N., Huseynov J.S., Ibrahimova I.V. Influence of climate warming on hail events in the western part of Azerbaijan // Proceedings of International Scientific Conference on Sustainable Development Goals. Transforming our world: The role of Science to foster the integration and the implementation of the sustainable development goals (SDGs), 24-25 November 2017, Baku. P. 83-89.

12. Huseynov N.Sh., Huseynov J.S. Distribution of the Contemporary Precipitation Regime and the Impact of Climate Change on It Within the Territory of Azerbaijan // *Journal of Geography & Natural Disasters*. August 2022. Is. 4. P. 1-15. DOI:10.21203/rs.3.rs-1958992/v1

References

1. Geografiya Azerbaydzhanskoj Respubliki. Fizicheskaya geografiya. Tom I. Baku: Evropa publ., 2015, 530 p. [in Azerbaijani]
2. Guseynov N.Sh., Agaeva A.N. Energiya neustoychivosti atmosfery i ee ocenka. I International scientific conference of young researchers. *Dedicated to the 90th Anniversary of the National leader of Azerbaijan*, GeydarAliev, Baku, 26–27 april 2013, pp. 261-262 [in Azerbaijani]
3. Guseynov D.S. Ocenka vliyaniya klimaticheskikh izmeneniy na rezhim osadkov v severo-vostochnoy chasti Malogo Kavkaza. Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii «Organizatsiya i upravlenie prirodno-hozyaystvennymi sistemami Karabahskogo i Vostochno-Zangezurskogo ekonomicheskikh rayonov», 26 april 2022, Baku, pp. 477-488 [in Azerbaijani]
4. Mahmudov R.N. Regional'nye izmeneniya klimata i opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya v Azerbaydzhane. Baku: Nacional'naya aviacionnaya akademiya publ., 2022, 210 p. [in Azerbaijani]
5. Safarov S.H. Kratkosrochnnyy prognoz gradovyh i livnevnyh processov // *Gidrometeorologiya i monitoring okruzhayushchey sredy*. Baku, 2006, no 3, pp. 106-114. [in Azerbaijani]
6. Safarov S.H. Radarnaya meteorologiya. Baku: Nacional'naya aviacionnaya akademiya publ., 2016, 148 p. [in Azerbaijani]
7. Safarov S.H., Nasibli A.A. Analiz gradovyh yavleniy v zapadnyh rayonah Azerbaydzhana po radiolokacionnym dannym za mnogoletniy period. Materialy Respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Global'nye ekonomicheskie usloviya i ekonomiko-geograficheskoe polozhenie Azerbaydzhana», Baku, 2017, pp. 295-296 [in Azerbaijani]
8. Safarov S.H., Guseynov D.S., Ibragimova I.V. Harakteristika mnogoletnih izmeneniy temperatury v zapadnyh rayonah Azerbaydzhanskoj Respubliki. Baku: Nauchnye trudy Nacional'noy aviacionnoy akademii publ., 2018, no. 1, pp. 101-108 [in Azerbaijani]
9. Safarov S.G. Osobennosti grozogradovyh processov na territorii Azerbaydzhana // *Izvestiya NAN Azerbaydzhana. Seriya nauki o zemle*. 2005, no. 1, pp. 101-109 [in Azerbaijani]
10. Safarov S.G., Kuliev Z.G. Grozogradovyy process 10 iyunya 2014 g. v zapadnyh regionah Azerbaydzhana. Mezhd. nauchnaya konferenciya «Innovatsionnye metody i sr. issledovaniya v oblasti fiziki atmosfery, gidrometeorologii, ekologii i izmeneniya klimata», 21-25 sentyabrya 2015, Stavropol', pp. 111-113 [in Azerbaijani]
11. Safarov S.H., Nasibli A.N., Huseynov J.S., Ibrahimova I.V. Influence of climate warming on hail events in the western part of Azerbaijan. *Proceedings of International Scientific Conference on Sustainable Development Goals. Transforming our world: The role of Science to foster the integration and the implementation of the sustainable development goals (SDGs)*, 24-25 November 2017, Baku, pp. 83-89.
12. Huseynov N.Sh., Huseynov J.S. Distribution of the Contemporary Precipitation Regime and the Impact of Climate Change on It Within the Territory of Azerbaijan. *Journal of Geography & Natural Disasters*, August 2022, no. 4, pp. 1-15. DOI:10.21203/rs.3.rs-1958992/v1.

*Поступила 27.12.2022; одобрена после рецензирования 20.09.2023;
принята в печать 06.10.2023.
Submitted 27.12.2022; approved after reviewing 20.09.2023;
accepted for publication 06.10.2023.*