

Научная статья

УДК 539.3

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.10.58.018

## Климатические нормы повторяемости гроз над городами Сибири для месяцев пожароопасного сезона при современном потеплении климата

Александр Вадимович Холопцев<sup>1</sup>

Дмитрий Владимирович Седов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9757-5219>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0001-8234-3810>

**Автор ответственный за переписку:** Холопцев Александр Вадимович, [knd@sibpsa.ru](mailto:knd@sibpsa.ru)

**Аннотация.** Современные климатические нормы (среднегодовое значение) метеорологических показателей, определяющих пожароопасность на тех или иных территориях России, как правило, учитывают при планировании на предстоящий год основных мероприятий соответствующих подразделений Государственной противопожарной службы и Лесной охраны. Поэтому оценка для месяцев пожароопасного сезона их значений, соответствующих такому показателю, как повторяемость на различных ее территориях гроз, а также тенденций их вариаций за период современного потепления климата, является актуальной проблемой пожарной безопасности и безопасности при чрезвычайных ситуациях. В данной работе упомянутые характеристики определены для населенных пунктов России, расположенных в Сибири, в которых, на протяжении всего периода современного потепления климата, систематически производился мониторинг грозовой активности. Выявлены пункты, где современные климатические нормы повторяемости гроз для того или иного месяца пожароопасного сезона являются повышенными, а также значительно возросли за рассматриваемый период. Выдвинуто предположение о том, что при дальнейшем потеплении климата Сибири, количество чрезвычайных ситуаций, обусловленных ландшафтными пожарами, причинами которых будут признаны грозы, в окрестностях этих населенных пунктов может увеличиться.

**Ключевые слова:** Сибирь, репрезентативный пункт, чрезвычайная ситуация, повторяемость гроз, современное потепление климата, климатическая норма, тенденция

**Для цитирования:** Холопцев А.В., Седов Д.В. Климатические нормы повторяемости гроз над городами Сибири для месяцев пожароопасного сезона при современном потеплении климата // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 1 (32). С. 169-182. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.10.58.018>

Original article

## Climatic norms of thunderstorms recurrence over Siberian cities for the months of the fire-dangerous season under modern climate warming

Alexander V. Kholoptsev<sup>1</sup>

Dmitry V. Sedov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9757-5219>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0009-0001-8234-3810>

**Corresponding author:** Alexander V. Kholoptsev, [knd@sibpsa.ru](mailto:knd@sibpsa.ru)

**Abstract.** Current climatic norms (average annual values) of meteorological indicators that determine the fire danger in certain territories of Russia, as a rule, are taken into account when planning for the coming year the main activities of the relevant units of the State Fire Service and Forest Protection. Therefore, the assessment for the months of the fire-dangerous season their values corresponding to such an indicator as the recurrence of thunderstorms in its different territories, as well as trends in their variations for the period of modern climate warming, is an urgent problem of safety in emergencies. In this paper, the mentioned characteristics are determined for Russian settlements located in Siberia, where thunderstorm activity was systematically monitored throughout the period of modern climate warming. The points where modern climatic norms of thunderstorms recurrence for one or another month of the fire danger season are elevated and also significantly increased for the period under consideration were identified. It is suggested that with further warming of the Siberian climate, the number of emergencies caused by landscape fires, the causes of which will be recognized as thunderstorms, in the vicinity of these settlements may increase.

**Keywords:** Siberia, representative point, emergency situation, recurrence of thunderstorms, modern climate warming, climatic norm, trend

**For citation:** Kholoptsev A.V., Sedov D.V. Climatic norms of thunderstorms recurrence over Siberian cities for the months of the fire-hazardous season under modern climate warming // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2024. № 1 (32). P. 169-182. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.10.58.018>

## Введение

Одним из метеорологических показателей, определяющих риск возникновения лесного пожара, а также вызванной им чрезвычайной ситуации (далее ЧС), является повторяемость гроз (далее ПГ). Поэтому оценка современных значений тех или иных характеристик его временной изменчивости на территориях различных регионов России, является актуальной проблемой не только метеорологии и климатологии, но также пожарной безопасности и безопасности при ЧС.

Основной причиной возникновения на каких-либо территориях России лесных пожаров является жизнедеятельность их населения. Поэтому решение указанной проблемы представляет наибольший интерес для окрестностей населенных пунктов, относящихся к регионам, обладающим значительными лесными ресурсами. Большую их часть составляют регионы Сибири, расположение которых показано на Рис. 1. [1].

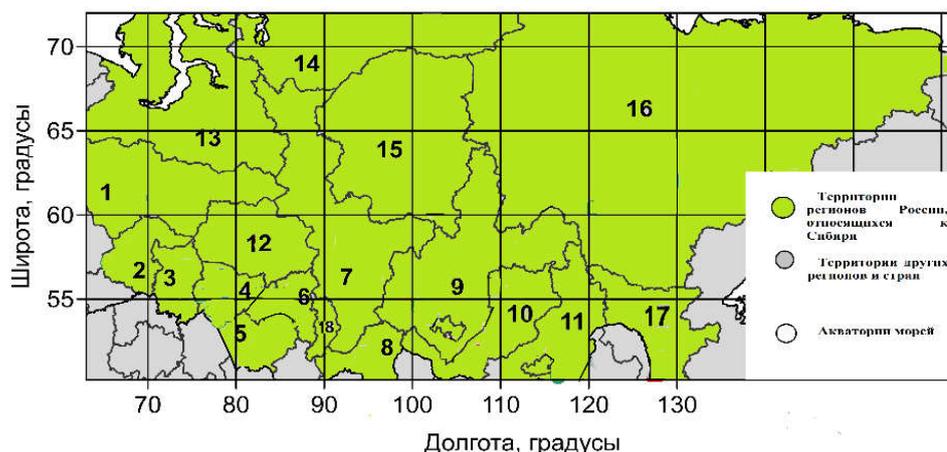


Рис. 1. Регионы России, относящиеся к Сибири, в том числе: 1. – Ханты-Мансийский Автономный округ; 2. – Тюменская область; 3. – Омская область; 4. – Новосибирская область; 5. – Алтайский край; 6. – Кемеровская область; 7. – Красноярский край; 8. – Республика Тыва; 9. – Иркутская область; 10. – Республика Бурятия; 11. – Забайкальский край; 12. – Томская область; 13. – Ямало-Ненецкий Автономный округ; 14 – Таймырский (Долгано-Ненецкий) Автономный округ (Красноярского края); 15 – Эвенкийский автономный округ (Красноярского края); 16 – Республика Саха (Якутия); 17. – Амурская область; 18. – Республика Хакасия

На территории Сибири расположено более 57% всех лесных ресурсов России. Площадь земель лесного фонда ее регионов, относящихся к Сибирскому федеральному округу, равна 371,9 млн. га. Площадь территории округа, покрытой лесом, – 273,6 млн. га.

Значения лесистости участков территории Сибири увеличиваются с запада на восток. На территориях Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов, а также Тюменской области, эти показатели составляют соответственно 52%, 21,1% и 30%. Наибольшей является лесистость территории Иркутской области (82,6 %) [2].

Поэтому ущерб населению, экосистемам и экономике упомянутых регионов Сибири, который ежегодно причиняют возникающие на их территориях лесные пожары, весьма значителен [3, 4, 5].

В XXI веке наибольший ущерб лесные пожары наносили населению, экосистемам и лесному хозяйству Республик Саха (Якутия) и Бурятия, Красноярского и Забайкальского края, а также Иркутской области [6].

Существенную роль в их возникновении в некоторых регионах Сибири играли грозы. Об этом свидетельствует Табл. 1, где указаны части от общего количества лесных пожаров, произошедших за 2005 – 2023 гг. в тех или иных ее регионах, которые составляли пожары, вызванные грозами.

Из Табл. 1 видно, что большая доля ЛП в XXI веке, вызванных грозами, приходится на Ханты-Мансийский автономный округ - 34,2%, несколько меньше ее значение для Ямало-Ненецкого Автономного округа - 13,5%.

В Красноярском крае, Иркутской области и Республике Саха (Якутия) грозы вызывали несколько более 2% от общих количеств лесных пожаров [6].

**Табл. 1. Доля лесных пожаров, вызванных грозами, произошедших за 2005 – 2023 гг. в сибирских регионах**

Регион	Часть (%)	Регион	Часть (%)	Регион	Часть (%)
Тюменская область	0,6	Алтайский край	0,4	Иркутская область	2,4
Ханты-Мансийский Автономный округ	34,2	Ямало-Ненецкий Автономный округ	13,5	Республика Саха (Якутия)	2,2
Забайкальский край	1,1	Кемеровская область	0,2	Новосибирская область	0,2
Красноярский край	2,7	Омская область	0,2	Республика Алтай	0,4
Республика Бурятия	1,3	Республика Тыва	1,6	Республика Хакасия	0,3
Томская область	2,3	Амурская область	1,1	-	-

В тоже время на территории Республик Алтай и Хакасия, Кемеровской, Новосибирской и Омской области, а также Алтайского края лесных пожаров, вызванных грозами, в XXI веке практически не зафиксировано.

Следует отметить, что не менее 50% всех территорий Республики Саха (Якутия) и Красноярского края, Катангский район Иркутской области, а также Северо-Байкальский, Муйский, Баунтовский, Эвенкийский районы Красноярского края и Курумканский районы Республики Бурятия относятся к зоне контроля, в которой информация о причинах возникновения лесных пожаров не всегда точна. Поэтому фактические значения соотношения между количествами всех лесных пожаров и лесных пожаров, которые в 2005 – 2023 гг. были вызваны грозами, для указанных регионов России, могут существенно отличаться от оценок, представленных в Табл. 1. Тем не менее, очевидно, что влияние гроз на образование лесных пожаров в некоторых регионах Сибири в XXI веке существенно.

Выявлению закономерностей образования гроз посвящены работы многих отечественных [7-15] и зарубежных [16, 17] ученых. Ими установлено, что на территории Сибири грозы наблюдаются в месяцы с мая по сентябрь.

Как известно [12, 15, 18], одним из последствий глобального потепления климата является активизация конвективных процессов в земной атмосфере, приводящих к образованию

конвективных облаков, в которых образуются грозы. Поэтому и над территориями регионов Сибири, где происходит потепление их климата [19, 20], значения ПГ могут повышаться.

Изменчивость характеристик гроз, возникавших над территорией Республики Саха (Якутия) в конце XX века, исследовалась в [8, 9]. Установлено, что средняя продолжительность мощных гроз над указанной территорией в те годы достигала 5 часов.

Грозы, как правило, перемещались со средней скоростью 50 – 100 км/час, поэтому каждая из них могла вызывать лесные пожары не только на территории того лесничества, над которым, она была обнаружена, но и на территориях других лесничеств, расположенных в полосе, протяженностью 250 – 500 км. Последнее, при формировании [6] не учитывается, в результате чего оценки, содержащиеся в Табл. 1 могут являться заниженными.

На территории Республики Саха (Якутия) выявлены три района, в которых грозовая активность, в конце XX века была повышена. Один из них был расположен на Алданском нагорье, второй находился к западу от Якутска, на Приленском плато, а третий в юго-западных предгорьях Верхоянского хребта. На северо-востоке Якутии (на Колымской низменности) грозы, напротив, были очень редки [8, 9].

Аналогичных исследований для этого и других регионов Сибири, основанных на результатах наблюдений в XX – XXI веке (включая последние годы) не проводилось. Тем не менее, результаты, опубликованные в [7-15], указывают на то, что значения характеристик изменений в указанном периоде грозовой активности над их территориями могут существенно различаться.

Важнейшей среди таких характеристик является современная климатическая норма (далее КН) (или среднемноголетнее значение) ПГ для того или иного месяца, над рассматриваемой территорией. Эта характеристика, согласно [21], вычисляется как среднее значение ПГ для рассматриваемого месяца за современный климатический период (1991 – 2020 гг.)

Упомянутую характеристику ПГ для той или иной местности (как и любого другого метеорологического фактора пожароопасности), принято учитывать при планировании на предстоящий год основных мероприятий соответствующих подразделений ГПС МЧС России и Лесной охраны. При этом КН ПГ для рассматриваемой местности принимается за наиболее вероятное для нее значение ПГ, так как различия между ними, как правило, не выходят за пределы, допустимые для практики.

Изменения КН ПГ обладают значительной инерционностью. Вследствие этого отличия КН ПГ для современного и предыдущих климатических периодов, как правило, невелики. Тем не менее, учет при разработке упомянутых планов тенденции таких изменений мог бы способствовать повышению их реалистичности.

Мониторинг изменений метеоусловий в Сибири уже десятки лет осуществляют многочисленные гидрометеорологические станции Росгидромета, которые расположены на территориях всех находящихся здесь регионов России (в основном в городах).

Некоторые из таких станций ведут систематические наблюдения за грозовой активностью на протяжении всего периода современного потепления регионального климата, что позволяет оценить для них и современные значения КН ПГ, и тенденцию их изменения. Это, а также их расположение позволяет рассматривать их как репрезентативные гидрометеорологические станции (далее РГМС). Тем не менее, значения изучаемых характеристик для таких станций ранее определены не были.

Целью данной работы являлась оценка современных КН ПГ и тенденций их изменений за период современного потепления климата для всех РГМС, расположенных в Сибири.

Для ее достижения решены задачи:

1. Оценка для всех рассматриваемых РГМС значений современных КН ПГ для различных месяцев пожароопасного сезона.
2. Выявление тенденций, проявившихся в изменениях изучаемых показателей за период современного потепления климата.

## **Материалы и методы**

Для решения указанных задач необходимо располагать временными рядами, которые отражают изменения ПГ над пунктами территории Сибири, где расположены ее РГМС. Одним из источников информации о датах, в которые над такими пунктами Сибири были выявлены грозы, является [22]. В указанном источнике упомянутая информация представлена за период 01.05.1970 – 30.09.2023 гг.

На территории Сибири наблюдения за грозами в период современного потепления климата (1970 – 2023 гг.) производились на 60 РГМС, которые расположены во всех ее природных зонах и на территориях всех рассматриваемых регионов России (кроме Республики Алтай).

Упомянутая информация, для периода 1970 – 2023 гг., не содержит пропусков, что позволяет ее использовать при решении поставленных задач в качестве фактического материала.

При разработке методики исследования учитывалось, что значение ПГ принято определять, как отношение количества суток, принадлежащих к изучаемому отрезку времени, в течение которых над рассматриваемой территорией были выявлены грозы, к его общей продолжительности [23].

В данной работе значения ПГ оценивались для месяцев май – сентябрь, для которых грозы над Сибирью возможны [11, 12].

КН ПГ для современного климатического периода вычислялось для каждого из этих месяцев, как среднее за период 1991 – 2020 гг. [21].

В качестве характеристики современной тенденции изменений КН ПГ для каждой РГМС рассматривалась разность значений этих показателей для современного климатического периода (1991 – 2020 гг.) и для базового периода (1971 – 2000 гг.), соответствующего началу современного потепления глобального климата [18].

Решение о значимости выявленных тенденций принималось, если достоверность такого статистического вывода составляла не менее 0,95.

## **Результаты исследований и их анализ**

С применением изложенной методики, для каждой РГМС Сибири вычислены значения КН ПГ для современного климатического периода. Полученные при этом результаты для всех весенне-летних месяцев представлены на Рис. 2, где показано расположение учитываемых РГМС и для каждой из них указан диапазон, к которому относится соответствующее значение КН ПГ.

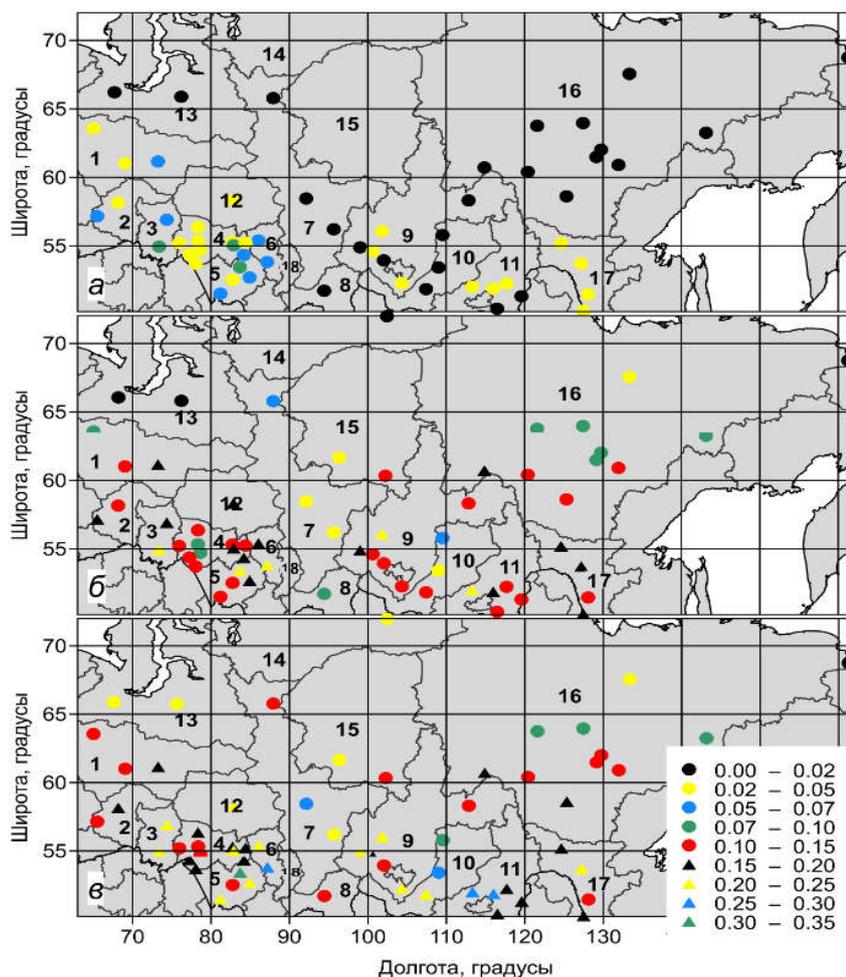


Рис. 2. Распределения по территории Сибири КН ПГ (1991 – 2020 гг.) ПГ для весенне-летних месяцев: а) май; б) июнь; в) июль

Как следует из Рис. 2а, для мая значения КН ПГ для современного климатического периода распределены по территории Сибири неравномерно. Их значения достигают наибольших уровней над РГМС, которые расположены в юго-западной части этой территории, и убывают по мере увеличения, как их широты, так и их долготы. Самая северная РГМС, для которой КН ПГ относятся к диапазону 0,05 – 0,07, расположена на территории Ханты-Мансийского автономного округа (г. Сургут, 61,15° с.ш., 73,26° в.д.). Самая восточная из таких РГМС находится в пределах Кемеровской области (г. Новокузнецк, 53,81° с.ш., 87,18° в.д.). Среднее значение КН ПГ для мая равно 0,028.

Рис. 2б показывает, что для июня значения рассматриваемых показателей для большинства РГМС существенно увеличились (наибольшие значения КН ПГ относятся к диапазону 0,15 – 0,2).

Характер их распределения по территории Сибири не изменился. Крайним северным пунктом Сибири, где КН ПГ относится к указанному диапазону, является г. Сургут, а крайним восточным – г. Зея (53,70° с.ш., 127,23° в.д.) Амурской области.

Всего к указанному диапазону относятся значения КН ПГ для 12 РГМС Сибири. РГМС, для которых КН ПГ принадлежат диапазону 0,1 – 0,15, находятся южнее параллели 61° с.ш.

К диапазону 0,2 – 0,25 относятся значения КН ПГ для пунктов, расположенных южнее параллели 56° с.ш. (всего таких пунктов 5).

Среднее значение КН ПГ по всем РГМС Сибири для июня увеличилось до 0,123.

Рис. 2в свидетельствует о том, что для июля распределение по территории Сибири значений КН ПГ в целом подобно их распределению для июня. При этом количество РГМС, для КН ПГ относятся к диапазону 0,15 – 0,2, увеличилось до 15.

Самая северная из таких РГМС находится в г. Сургут, а самая восточная – в г. Благовещенск (50,25° с.ш., 127,50° в.д.) – столица Амурской области.

К диапазону 0,2 – 0,25 относятся значения КН ПГ для пунктов, которые, как и для июня, находятся южнее параллели 56° с.ш. (всего таких пунктов 11).

Среднее значение КН ПГ для июля достигло уровня 0,157.

Из сравнения рис 2а-2в следует, что пространственное распределение по территории Сибири значений КН ПГ для весенне-летних месяцев носит субзональный характер, а в среднем эти показатели достигают наибольших уровней в июле.

Распределения по территории Сибири КН (1991 – 2020 гг.) ПГ, соответствующие месяцам август и сентябрь, показаны на Рис.3.

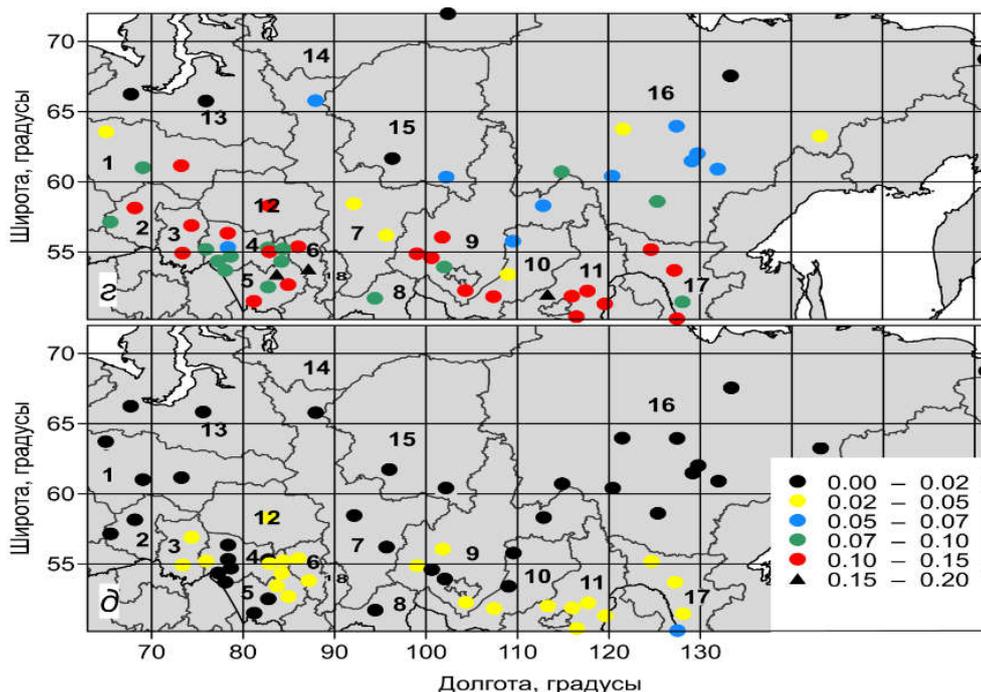


Рис. 3. Распределения по территории Сибири КН (1991 – 2020 гг.) ПГ для летне-осенних месяцев: а) август; б) сентябрь

Из Рис. 3а видно, что для августа распределение по территории Сибири значений КН ПГ в целом подобно их распределениям для весенне-летних месяцев. При этом, в сравнении с июлем, для августа количество РГМС, для КН ПГ относятся к диапазону 0,15 – 0,2, уменьшилось всего до 3. Все они расположены южнее параллели 54° с.ш. Среднее по всем РГМС Сибири значение КН ПГ для августа снизилось до 0,089.

Как нетрудно видеть из рис. 3б, для сентября значения КН ПГ для всей территории Сибири не превосходят 0,05. Все РГМС, для которых значения этих показателей относятся к диапазону 0,02 – 0,05, расположены южнее параллели 58,5° с.ш. Самая северная из них расположена в г. Колпачево (58,31° с.ш., 82,88° в.д.) (Томская область). Среднее значение КН ПГ для сентября достигло минимума 0,016.

Из сравнения Рис. 2 и 3 можно заключить, что месяцем, для которого в среднем по территории Сибири КН ПГ являются максимальными, является июль. Поэтому для этого месяца, а также для июня, определены максимальные по каждому региону Сибири значения КН ПГ для современного климатического периода, а также выявлены РГМС, для которых подобное имело место. Полученные результаты представлены в Табл. 2

**Табл. 2. Максимальные значения КН ПГ для июня и июля по каждому региону Сибири, соответствующие современному климатическому периоду и РГМС, на которых они зафиксированы**

Июнь					
Регион	Макс	РГМС	Регион	РГМС	Пункт
Тюменская область	0,157	Тюмень	Алтайский край	<b>0,229</b>	Барнаул
Ханты-Мансийский Автономный округ	0,171	Сургут	Ямало-Ненецкий Автономный округ	0,025	Салехард
Забайкальский край	0,206	Чита	Иркутская область	0,206	Братск
Кемеровская область	0,201	Новокузнецк	Красноярский край	0,046	Енисейск
Новосибирская область	0,191	Новосибирск	Омская область	0,202	Омск
Томская область	0,168	Колпачево	Республика Бурятия	0,074	Улан-Удэ
Республика Тыва	0,080	Кызыл	Амурская область	0,164	Благовещенск
Республика Саха (Якутия)	0,127	Алдан	-		
Июль					
Тюменская область	0,162	Тобольск	Алтайский край	<b>0,332</b>	Барнаул
Ханты-Мансийский Автономный округ	0,151	Сургут	Ямало-Ненецкий Автономный округ	0,068	Салехард
Забайкальский край	0,284	Чита	Иркутская область	0,231	Нижнеундинск
Кемеровская область	0,265	Новокузнецк	Красноярский край	0,065	Енисейск
Новосибирская область	0,244	Новосибирск	Омская область	0,228	Омск
Томская область	0,222	Колпачево	Республика Бурятия	0,077	Улан-Удэ
Республика Тыва	0,124	Кызыл	Амурская область	0,216	Зея
Республика Саха (Якутия)	0,161	Алдан	-		

Как видно из Табл. 2, для всех регионов России, расположенных в Сибири, кроме Ханты-Мансийского Автономного округа, максимальные современные значения КН ПГ для соответствующих им РГМС приходятся на июль. Для большинства из них пункты, в которых находятся такие РГМС, для обоих месяцев совпадают. Наибольшее максимальное значение КН ПГ среди всех РГМС Сибири и для июня, и для июля соответствует пункту Барнаул (53,43° с.ш., 83,70° в.д.), Алтайский край.

Чем южнее расположен рассматриваемый регион, тем соответствующее ему максимальное значение КН ПГ больше, что соответствует существующим представлениям о влиянии термического режима территории на грозовую активность [7-10,12,13].

Исключением является Республика Бурятия, где максимальное значение КН ПГ, для пункта Улан-Удэ, практически совпадает с аналогичным показателем для Ямало-Ненецкого Автономного округа, территория которого расположена значительно северней.

При решении второй задачи для всех РГМС Сибири за период современного потепления климата оценены значения разности:

$$\Delta = \text{КН ПГ}_{(1992-2020\text{гг.})} - \text{КН ПГ}_{(1971-2000\text{гг.})}$$

Также определены значимые тенденции изменений КН ПГ для месяцев май – сентябрь.

Пороговое значение модуля  $\Delta$ , при превышении которого достоверность вывода о значимости тенденции изменений этого показателя составляет не менее 0,95, определено как 0,005. Учитывая это, распределения по территории Сибири значений рассматриваемого показателя тенденции изучаемых процессов, превышающих по модулю указанный уровень, для весенне-летних месяцев показаны на Рис. 4.

Как следует из Рис. 4а, для РГМС, расположенных в большинстве регионов Сибири, за период современного потепления климата КН ПГ для мая значимо увеличились. Наибольшее их увеличение имело место для п. Сургут. При этом для некоторых РГМС, расположенных на территориях Республики Саха (Якутия), значения рассматриваемых показателей значимо снизились. На территориях республики Хакасия, а также Таймырского и Эвенкийского районов Красноярского края изменения КН ПГ значимыми не являлись (поэтому соответствующие РГМС не обозначены). Среднее по всем РГМС Сибири значение  $\Delta$  для мая равно 0,0079.

Рис. 4б указывает на то, что для июня, на территории Сибири существовали лишь две РГМС, где за рассматриваемый период КН ПГ значимо уменьшились. Первая находится в городе Березово (63,56° с.ш., 65,03° в.д.) Ханты-Мансийского автономного округа, а вторая расположена в городе Покровск (61,48° с.ш., 129,15° в.д.) Республики Саха (Якутия). Для всех прочих РГМС за те же годы имело место значимое повышение КН ПГ. Скорость этого процесса достигала наибольших значений, относящихся к диапазону 0,05 – 0,07, для 11 РГМС, из которых наиболее северная располагалась в г. Колпачево (58,31° с.ш., 82,88° в.д.) Томская область. Для июня среднее по всем РГМС Сибири значение  $\Delta$  достигло максимума 0,0330.

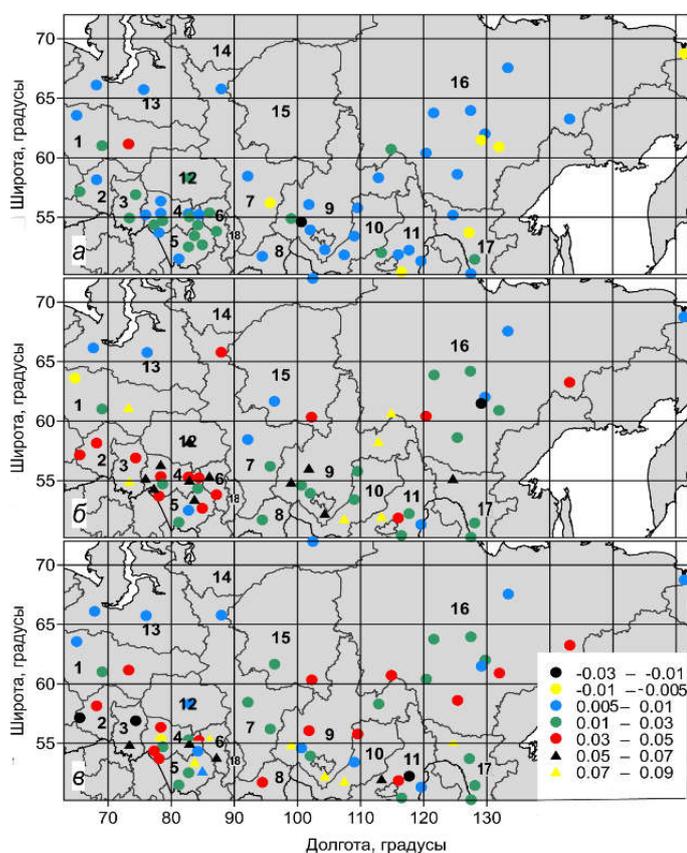


Рис. 4. Распределения по территории Сибири современных тенденций изменения КН ПГ для весенне-летних месяцев: а) май; б) июнь; в) июль

Из Рис. 4в понятно, что для июля на большинстве РГМС Сибири за период современного потепления климата произошло значимое увеличение КН ПГ. Количество РГМС, для которых приращение КН ПГ лежало в указанном диапазоне, составило всего 4. При этом для диапазона приращений (0,07 – 0,09) количество РГМС равнялось 6.

За тот же период значимое снижение КН ПГ выявлено на 4-х РГМС, расположенных на территориях Тюменской, Омской, Новосибирской области и Забайкальского края. Следует отметить, что для некоторых РГМС, расположенных на малых удалениях между собой, тенденции изменений КН ПГ являлись противоположными. Для июля среднее по всем РГМС Сибири значение  $\Delta$ , по сравнению с июнем, несколько снизилось до 0,0289.

Как видно из Рис. 4, существуют регионы, где для всех относящихся к ним РГМС изменения КНПГ для того или иного месяца в 1971 – 2020 гг. происходили однонаправленно (в сторону их увеличения). Последнее позволяет предположить, что и для других участков территории таких регионов изменения КН ПГ происходили (и вероятно могут происходить в будущем) в тех же направлениях.

Для мая к ним относятся все регионы России, относящиеся к Западной Сибири, а также Республики Бурятия и Тыва. Для июня это те же регионы, кроме Ханты-Мансийского Автономного округа, а также Красноярский, Забайкальский край, Амурская Мансийского Автономного округа, а также Красноярский и Забайкальский край, Амурская и Иркутская область.

Для июля к упомянутым регионам относятся Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский Автономные округа, Томская, Кемеровская область, Амурская и Иркутская область, Красноярский и Алтайский край, а также Республики Саха (Якутия), Бурятия и Тыва.

Распределения по территории Сибири современных тенденций изменения КН ПГ для летне-осенних месяцев представлены на Рис. 5.

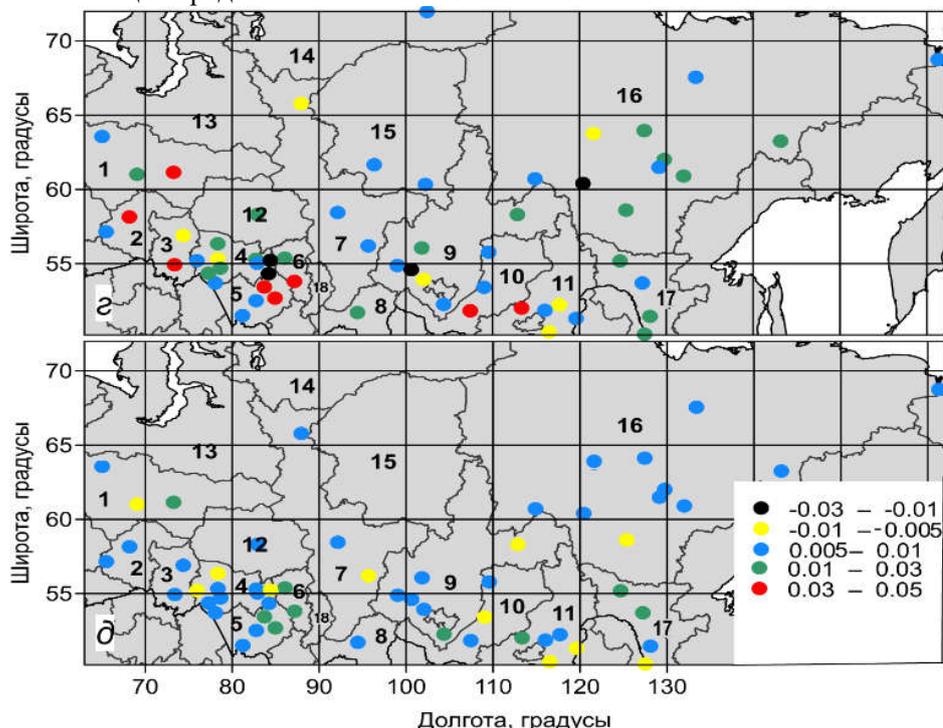


Рис. 5. Распределения по территории Сибири современных тенденций изменения КН ПГ для летне-осенних месяцев а) август; б) сентябрь

Из Рис. 5г можно установить, что для августа среднее по всем РГМС Сибири значение приращений КН ПГ в сторону их увеличения, по сравнению с июлем заметно снизилось до 0,0103. Количество РГМС, где такие приращения были значимы и отрицательны, на территории

Сибири увеличилось до 11. Такие РГМС располагались на территориях Сибири, лежащих к югу от параллели 66° с.ш. (г. Туруханск (65,78° с.ш., 87,95° в.д.), Красноярского края).

Рис. 5г свидетельствует о том, что для августа регионами, где для всех относящихся к ним РГМС изменения КНПГ для того или иного месяца в 1971 – 2020 гг. происходили однонаправленно (в сторону их увеличения) являются Ханты-Мансийский Автономный округ, Тюменская, Омская, Томская, Кемеровская, Амурская область, Красноярский край, Республики Бурятия и Тыва.

Рис. 5д свидетельствует о том, что для сентября ширина диапазона к которому относились значимые оценки тенденций изменений КН ПГ, в сравнении с августом сократилась, а их среднее значение по всем РГМС Сибири уменьшилось до 0,0037

При этом количество РГМС, для которых за период современного потепления климата значения КН ПГ уменьшились, также равно 11. Все они располагались к югу от параллели 61,00° с.ш. Самая северная РГМС, где подобное имело место, находилась в городе Ханты-Мансийске (61,00° с.ш., 69,06° в.д.), столице одноименного Автономного округа. Для сентября регионами Сибири, где для всех РГМС изменения КН ПГ за период современного потепления климата происходили в сторону увеличения, являются Тюменская, Омская и Томская области, а также Алтайский край и Республика Тыва.

Таким образом, из Рис. 4 и 5 следует, что в любые месяцы с мая по сентябрь над РГМС Сибири преобладали значимые тенденции к увеличению КН ПГ. Эти тенденции являлись наиболее выраженными (средние значения приращений этих показателей по всем РГМС Сибири являлись максимальными) для июля. Упомянутые тенденции являлись значимыми и однонаправленными для всех РГМС, расположенных на территориях многих регионов России, относящихся к Сибири, где в 1971 – 2020 гг. происходило существенное потепление их климата. Это позволяет предположить, что при дальнейшем потеплении климата таких регионов, выявленные для них тенденции изменений КН ПГ не переменятся.

Из полученных результатов следует, что цель данной работы достигнута, а обе поставленные задачи решены. Для большинства РГМС на территории Сибири определены значения КН ПГ для современного климатического периода, а также выявлены значимые тенденции изменений этих показателей, происходивших за период современного потепления климата.

### **Обсуждение полученных результатов**

Полученные результаты в полной мере соответствуют существующим представлениям о происходящем потеплении климата Сибири [18-20], а также влиянии глобального потепления климата на грозовую активность в земной атмосфере [7-15]. Из них следует, что за период современного потепления климата КН ПГ над абсолютным большинством РГМС Сибири значимо возросли.

При этом некоторые из полученных результатов обладают существенной научной новизной. К ним относятся:

1. Для месяцев грозоопасного сезона определены современные КН ПГ над всеми РГМС Сибири. Наибольшее их среднее значение соответствует июлю. Максимальные значения КНПГ для этого и других летних месяцев соответствуют РГМС г. Барнаул (Алтайский край).

2. Для большинства РГМС за период современного потепления климата КН ПГ для всех рассматриваемых месяцев значимо повысились.

3. Определены регионы Сибири, для которых однонаправленные тенденции к увеличению ПГ в период 1971 – 2020 гг. выявлены для всех РГМС, расположенных на их территориях. Так как в этот период происходило значимое потепление климата таких регионов, полученные результаты свидетельствуют о том, что при дальнейшем потеплении их климата, КН ПГ над ними могут повыситься.

4. Существуют РГМС Сибири, где за рассматриваемый период КН ПГ для некоторых летних месяцев значимо снизились. Вопрос о том, почему подобное имело место, нуждается в дополнительном изучении.

## Выводы

Таким образом, установлено:

1. Распределение по территории Сибири значений климатических норм повторяемости гроз, для современного климатического периода, носит субзональный характер. Наибольшие значения этих характеристик приходится на июль и соответствуют репрезентативным гидрометеорологическим станциям Сибири, расположенным на возвышенных участках ее территории, принадлежащих южным регионам России.

2. За период современного потепления климата, для всех месяцев грозоопасного сезона, на большинстве таких станций произошло значимое увеличение климатических норм повторяемости гроз, которое в среднем являлось наиболее существенным для июля. Полученный результат позволяет предположить, что такие же тенденции сохранятся на них и в будущем, при условии, что современное потепление регионального климата продолжится.

3. Для многих регионов Сибири, тенденции изменений климатических норм повторяемости гроз, для всех относящихся к ним участков, где осуществлялся соответствующий мониторинг, являлись однонаправленными. Последнее позволяет предположить, что такими же были тенденции изучаемого процесса и на прочих их участках.

4. Актуальной проблемой пожарной безопасности и безопасности при чрезвычайных ситуациях является развитие на территории Ханты-Мансийского, Ямало-Ненецкого, Иркутской области, Красноярского края, Республики Саха (Якутия) и других регионов Сибири, где грозы способны приводить к лесным пожарам, сети гидрометеорологических станций, где осуществляется систематический мониторинг грозовой активности.

## Список источников

1. The Siberian World: [англ.] / Edited by John P. Ziker, Jenanne Ferguson, Vladimir Davydov. – Routledge, 2023. – 654 p.
2. Онучин А. Лесных ресурсов уже не хватает // Лесной комплекс Сибири. – 2013. – 1 №1 (01). – С. 12 – 14.
3. Воробьев Ю. Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю.Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов; Под общ. ред. Ю. Л. Воробьева; МЧС России. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с.
4. Мозырев Н.К., Корнишин В.А., Кошкаров В.С. Пожарная безопасность лесов // Вестник современных исследований. 2019. № 2-1 (29). С. 60 – 63.
5. Шешуков М.А., Ковалев А.П., Орлов А.М., Позднякова В.В. Проблемы и перспективы охраны лесов от пожаров // Сибирский лесной журнал. 2020. № 2. С. 14 – 20.
6. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: официальный сайт. – Москва. URL [Электронный текст]. Режим доступа: [https://pushkino.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml).
7. Ермаков В.И., Стожков Ю.И. Физика грозовых облаков. – М.: ФИРАН им. П.Н. Лебедева – 2004. – 38 с.
8. Козлов В.И., Муллаяров В.А., Васильев А.Е. и др. Грозы в Якутии и их влияние на магистральные трубопроводы. // Наука и образование. 2005. – №1. – С. 61 – 66.
9. Козлов В.И., Муллаяров В.А., Инструментальные наблюдения грозовой активности в Якутии в 1993 – 1994 гг. // Метеорология и гидрология. 1996. – №2. – С. 105 – 109.
10. Латышева И.В., Лощенко К.А., Шахаева Е.В. Исследование гроз на территории Иркутской области // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2012. – т. 5. – №2. – С. 163 – 175.
11. Горбатенко В.П. Синоптические условия образования гроз над территориями Западной Сибири и Казахстана. // Вестник Томского государственного университета. – 2001. С. 148 – 154.
12. Опасные природные явления юга России / под ред. Проф. Л.Н. Карлина – СПб: ИЗД-ВО ВВМ. – 2006. – 216 с.
13. Тарасов Л.В. Ветры и грозы в атмосфере Земли. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 286 с.
14. Филиппов А.Х. Грозы Восточной Сибири / А.Х. Филиппов // Гидрометеоздат. – 1974. – 76 с.

15. Шахаева Е.В. Конвективные процессы на территории Иркутской области в 2000 – 2013 гг. // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. – 2015. – т. 12. – С. 136 – 152.
16. Чалмерс Дж. А. Атмосферное электричество. Л. Гидрометеиздат. 1974. – 421 с.
17. Changnon S.A. Assessment on the quality of thunderstorm data at first –order stations // J. Apply Meteorological. – 2001. –v.40. – P.783 - 794.
18. Climate Change: The Physical Science Basis. (2013) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/lncs>, last accessed 2016/11/21.
19. Анисимов О.А., Жильцова Е.Л., 2012: Об оценках изменений климата регионов России в 20 и начале 21 веков по данным наблюдений. Метеорология и гидрология, № 6, С. 95 – 107.
20. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Изд-во Росгидромета, 2014. – 1009 с.
21. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. ВМО № 1203. – 2017. – 32 с.
22. Банк данных об изменениях метеоусловий в различных регионах мира [Электронный ресурс]. Режим доступа: - [tutiempo.net/climate/](http://tutiempo.net/climate/).
23. Григорьев А. А. Закономерности строения и развития географической среды: Избранные теоретические работы. М., 1966. 382 с.

### References

1. The Siberian World: [English] / Edited by John P. Ziker, Jenanne Ferguson, Vladimir Davydov. - Routledge, 2023. - 654 p.
2. Onuchin A. Forest resources are no longer enough // Forest Complex of Siberia. - 2013. - 1 №1 (01). -С. 12 - 14.
3. Vorobyev Yu. L. Forest fires on the territory of Russia: Status and problems / Yu. L. Vorobyev, V. A. Akimov, Yu. I. Sokolov; Under general ed. by Yu. L. Vorobyev; Ministry of Emergency Situations of Russia. - М.: DEX-PRESS, 2004. - 312 с.
4. Mozyrev N.K., Kornishin V.A., Koshkarov V.S. Fire safety of forests // Bulletin of Modern Research. 2019. № 2-1 (29). С. 60 - 63.
5. Sheshukov M.A., Kovalev A.P., Orlov A.M., Pozdnyakova V.V. Problems and prospects of forest protection from fires // Siberian Forestry Journal. 2020. № 2. С. 14 - 20.
6. Information system of remote monitoring of the Federal Forestry Agency: official site. - Moscow. URL [Electronic text]. Access mode: [https://pushkino.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml).
7. Ermakov V.I., Stozhkov Y.I. Physics of thunderstorm clouds. - Moscow: FIRAN named after P.N. Lebedev - 2004. - 38 с.
8. Kozlov V.I., Mullayarov V.A., Vasiliev A.E. et al. Thunderstorms in Yakutia and their influence on the main pipelines. // Science and Education. 2005. - №1. - С. 61 - 66.
9. Kozlov V.I., Mullayarov V.A., Instrumental observations of thunderstorm activity in Yakutia in 1993 - 1994 // Meteorology and Hydrology. 1996. - №2. - С. 105 - 109.
10. Latysheva I.V., Loschenko K.A., Shakhaeva E.V. Study of thunderstorms on the territory of the Irkutsk region // Izvestiya Irkutsk State University. Series: Earth Sciences. - 2012. -т. 5. - №2. - С. 163 - 175.
11. Gorbatenko V.P. Synoptic conditions of thunderstorm formation over the territories of Western Siberia and Kazakhstan. // Bulletin of Tomsk State University. - 2001. С. 148 - 154.
12. Dangerous natural phenomena of the south of Russia / edited by Prof. L.N. Karlin - SPb. L.N. Karlin - SPb: IzD-VO VVM. - 2006. - 216 с.
13. Tarasov L.V. Winds and thunderstorms in the Earth's atmosphere. - Dolgoprudny: Intellect, 2011. - 286 с.
14. Filippov, A.H. Thunderstorms of Eastern Siberia / A.H. Filippov // Gidrometeeoizdat. - 1974. - 76 с.
15. Shakhaeva, E.V. Convective processes on the territory of the Irkutsk region in 2000 - 2013 // Izvestia Irkutsk State University. Series: Earth Sciences. - 2015. - Vol. 12. -С. 136 - 152.

16. Chalmers J. A. Atmospheric electricity. L. Gidrometeoizdat. 1974. - 421 с.
17. Changnon S.A. Assessment on the quality of thunderstorm data at first -order stations // J. Geophys. Apply Meteorological. - 2001. -v.40. - P.783 - 794.
18. Climate Change: The Physical Science Basis. (2013) [Electronic resource]. Access mode: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/lncs>, last accessed 2016/11/21.
19. Anisimov, O.A., Zhiltsova, E.L., 2012: On estimates of climate change in Russian regions in the 20th and early 21st centuries based on observational data. Meteorology and Hydrology, No. 6, P. 95 - 107.
20. Second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. - Moscow: Roshydromet Publishing House, 2014. - 1009 с.
21. WMO Guidelines for the calculation of climate norms. WMO NO. 1203. - 2017. - 32 с.
22. Data bank on changes in meteorological conditions in different regions of the world [Electronic resource]. Access mode: - [tutiempo.net/climate/](http://tutiempo.net/climate/).
23. Grigoriev A. A. Laws of the structure and development of the geographical environment: Selected theoretical works. M., 1966. 382 с.

Информация об авторах

А.В. Холопцев – доктор географических наук, профессор

Д.В. Седов - кандидат технических наук

Information about the author

A.V. Kholoptsev - Doctor of Geographical Sciences, Professor

D.V. Sedov - Ph.D. of Engineering Sciences

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакция 06.03.2024; одобрена после рецензирования 15.03.2024; принята к публикации 20.03.2024.

The article was submitted 06.03.2024, approved after reviewing 15.03.2024, accepted for publication 20.03.2024.