

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ / SAFETY IN EMERGENCY SITUATIONS

УДК 502.45

ИЗМЕНЕНИЯ ПОВТОРЯЕМОСТИ ГРОЗ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ ПРИ СОВРЕМЕННОМ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА**Холопцев Александр Вадимович^{1,2}, Шубкин Роман Геннадьевич¹,
Проскова Наталья Юрьевна¹**¹ Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск, Россия² Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова», г. Севастополь, Россия**АННОТАЦИЯ**

Ландшафтные пожары являются актуальной проблемой современности. В России вопрос предотвращения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, обусловленных лесными пожарами, наиболее остро ежегодно стоит перед сибирскими регионами. Одной из причин их возникновения на территории Красноярского края являются грозы, однако изменения их повторяемости над различными его районами в современном периоде ранее не исследовались. Последнее не позволяет учесть этот фактор при планировании деятельности соответствующих подразделений Государственной противопожарной службы и «Государственной лесной охраны». В статье проверена справедливость выдвинутой авторами гипотезы о том, что в период 1961–2020 гг. климатические нормы повторяемости гроз за летний сезон, а также все его месяцы над различными районами территории Красноярского края значительно увеличились. Оценены также значения средней повторяемости гроз и тенденции их изменений для всех пунктов территории края, где в последние годы осуществлялся их систематический мониторинг. Установлено, что в целом за упомянутый период повторяемость гроз над всей территорией края увеличилась, однако в современном периоде на исследуемой территории существовали также участки, где повторяемость гроз снижалась, что могло вызывать снижение рисков возникновения ландшафтных пожаров.

Ключевые слова: Красноярский край, ландшафтный пожар, грозы, повторяемость, тенденция, распределение, современный период

CHANGES IN THE FREQUENCY OF THUNDERSTORMS OVER THE TERRITORY OF THE KRASNOYARSK TERRITORY WITH MODERN CLIMATE WARMING**Alexander V. Kholoptsev^{1,2}, Roman G. Shubkin¹, Natalia Y. Proskova¹**¹ Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, Zheleznogorsk, Russia

² Sevastopol Branch of the State Oceanographic Institute named after N.N. Zubov, Sevastopol, Russia

ABSTRACT

Landscape fires are an urgent problem of our time. In Russia, the issue of prevention and elimination of emergency situations caused by forest fires is most acute annually in Siberian regions. One of the reasons for the occurrence of landscape fires on the territory of the Krasnoyarsk Territory are thunderstorms, however, changes in their recurrence over its various areas in the modern period have not previously been studied. The latter does not allow taking this factor into account when planning the activities of the relevant units of the State Fire Service and Forest Protection. The article tested the validity of the hypothesis put forward by the authors that in the period 1961-2020. climatic norms for the recurrence of thunderstorms for the summer season, as well as all its months, have significantly increased over various areas of the territory of the Krasnoyarsk Territory. The values of the average frequency of thunderstorms and the tendency of their changes for all points of the territory of the region, where their systematic monitoring was carried out in recent years, were also assessed. It was established that in general, during the mentioned period, the frequency of thunderstorms over the entire territory of the region increased, however, in the modern period there were also areas where the recurrence.

Keywords: Krasnoyarsk Territory, landscape fire, thunderstorms, repeatability, trend, distribution, modern period

Введение

Грозы относятся к числу опасных природных явлений, которые способны вызывать гибель людей и животных, а также ландшафтные пожары (далее – ЛП) и аварии на техногенных объектах. Поэтому оценка средних значений и тенденций изменений их повторяемости (далее – ПГ) над территориями различных регионов мира, которые вероятны при тех или иных сценариях дальнейших перемен климата, является актуальной проблемой физической географии, а также безопасности при чрезвычайных ситуациях (далее – ЧС).

Наибольший интерес ее решение представляет для регионов, обладающих высоким потенциалом своего социально-экономического развития, поскольку последнее может быть устойчивым лишь при условии неуклонного повышения эффективности функционирующих в них систем

профилактики и ликвидации ЧС. В России одним из таких регионов является Красноярский край.

Красноярский край занимает 13,86 % территории России и находится в центральной ее части практически на равном удалении от восточной и западной границ, простираясь с севера на юг на 3 000 км, включая значительные части бассейнов ее крупнейших и судоходных рек Енисея и Оби.

Перспективы дальнейшего интенсивного развития экономики Красноярского края определяются не только выгодным географическим положением его территории, но и наличием в его недрах богатейших запасов полезных ископаемых [1]. В структуре добычи полезных ископаемых края более 80 % приходится на добычу нефти и природного газа, на добычу металлических руд приходится более 10,0 %, на добычу угля – 3 %. На территории края

открыто 25 весьма перспективных месторождений углеводородов [2, 3].

На территориях северных районов края – Таймырского Долгано-Ненецкого и Эвенкийского – обнаружены важнейшие месторождения металлических руд [1], содержащие более 95% всех российских запасов никеля и платиноидов. Канско-Ачинский и Тунгусский бассейны обладают крупнейшими в России запасами каменного угля. Одним из крупнейших в мире является Горевское месторождение свинца, вмещающее 42% всех его запасов в России. На территории края ведется добыча железной и марганцевой руды, апатита, бокситов и урана. Вследствие этого в Красноярском крае повышенными темпами развивается промышленность, а уровень жизни его населения превосходит средний по России [4].

Значительную роль в развитии экономики края играют его лесные ресурсы. Площадь лесного фонда Красноярского края составляет 168,1 млн га. Леса покрыва-

ют 71,02 % территории края. Запасы промышленной древесины в них оцениваются в 14,4 млрд м³, что составляет 18 % от ее общероссийских запасов [5].

Одним из факторов, сдерживающих устойчивое развитие экономики Красноярского края, являются ЛП, возникающие на его территории в основном в месяцы с апреля по октябрь [6, 7], при этом риски, связанные с их возникновением в XXI веке, с течением времени увеличиваются [8, 9]. Об этом свидетельствуют изменения общего количества ЛП, возникавших за год на территории края, и площадей участков, пройденные огнем, показанные, согласно информации [10] на рис. 1.

Как видно из рис. 1, в изменениях обеих рассматриваемых характеристик, происходивших в течение XXI века, проявлялись тенденции к их увеличению, а в спектрах этих процессов присутствовали квазидвухлетние составляющие, что указывает на существенное влияние на них метеорологических факторов.

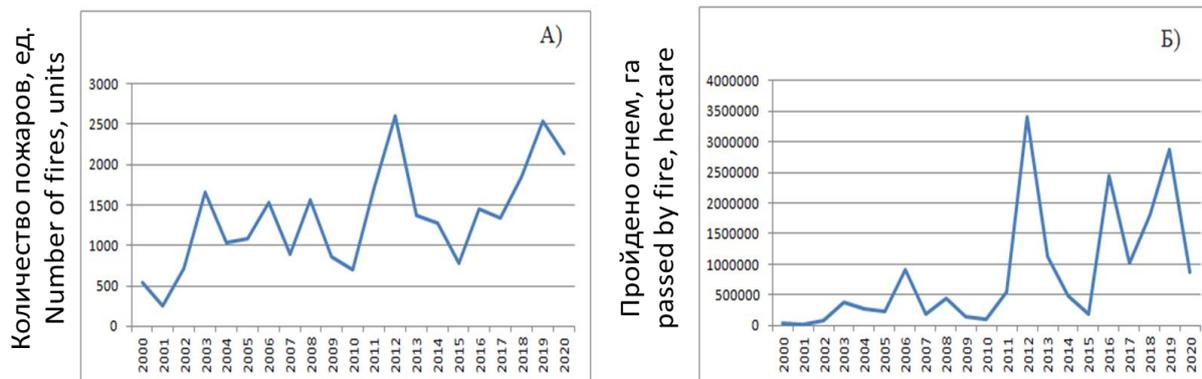


Рис. 1. Изменения в XXI веке на территории Красноярского края:

А) количества ландшафтных пожаров, возникавших за год; Б) площади его территории, пройденной огнем за год

Fig. 1. Changes in the 21st century in the territory of the Krasnoyarsk Krai:

A) the number of landscape fires that occurred over the year; B) the area of its territory covered by fire in a year

Одним из таких факторов могут являться грозы, которые возникают на территории Красноярского края в период с мая по сентябрь, но наиболее часто в летние месяцы.

Согласно существующим представлениям о механизмах образования гроз [6, 11, 12], эти явления возникают в кучеводждевых облаках Сб, которые встречаются на катафронтах и в передних секторах

циклонов на стадии максимального развития. Они возможны, если в таких облаках происходит конвекция и присутствует вода, пребывающая в жидком агрегатном состоянии [13, 14, 15]. При потеплении местного климата значения ПГ, как правило, повышаются [13, 17 – 20].

В конце XX – начале XXI века на территории Красноярского края происходило значимое потепление климата [9, 16]. Последнее позволяет предположить, что за это время ПГ над территорией края могла увеличиться.

Будущее не предопределено, тем не менее один из наиболее вероятных его сценариев предполагает, что современное потепление климата в изучаемом регионе продолжится. При его осуществлении, вполне вероятно, что распределения по территории края средних значений ПГ, а также тенденций их временной изменчивости в будущем останутся подобными распределениям тех же показателей для современного периода. Вследствие этого оценка средних значений ПГ и современных тенденций изменений этого показателя ПГ для различных частей территории Красноярского края представляет существенный теоретический и практический интерес.

Наибольший интерес представляют оценки средних значений ПГ, а также тенденций их временной изменчивости, которые соответствуют всему современному климатическому периоду (1991–2020 гг.), а также последнему отрезку предыстории изучаемого процесса, для которого наблюдения осуществлялись во всех репрезентативных пунктах.

Мониторинг атмосферных процессов на территории края осуществляют многочисленные гидрометеорологические станции Красноярского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, входящего в состав Средне-сибирского УГМС. Тем не менее в период 2012 – 2023 гг. непрерывный

мониторинг грозовой активности над изучаемым регионом осуществляли лишь гидрометеорологические станции, указанные в таблице 1 [21].

Как видно из табл. 1, гидрометеорологические станции, где в 2012–2023 гг. осуществлялся мониторинг грозовой активности, расположены в районах Красноярского края, относящихся ко всем его природным зонам. Наиболее продолжительные ряды таких наблюдений, соответствующие периоду 1961–2023 гг., получены в пунктах Байкит, Ванавара, Енисейск и Хатанга. Учитывая особенности расположения указанных пунктов, а также возможность оценки для них значений изучаемых характеристик, они рассматривались как репрезентативные. Тем не менее ранее упомянутые характеристики для этих пунктов определены не были, что не позволяет учитывать их значения при разработке планов основных мероприятий подразделений ГПС, действующих на территории Красноярского края.

Учитывая изложенное, цель данной работы состояла в проверке выдвинутого предположения и оценке перечисленных характеристик изменений ПГ, которые в период современного потепления климата имели место для репрезентативных пунктов территории Красноярского края.

Для ее достижения для указанных репрезентативных пунктов решены следующие задачи.

Оценка для всех репрезентативных пунктов края значений климатических норм ПГ [22] (далее – КН ПГ) для месяцев с июня по август, а также для всего летнего сезона, которые соответствуют современному климатическому периоду (1991–2020 гг.), а также тенденций их изменения по отношению к базовому климатическому периоду (1961–1990 гг.).

Оценка средних значений ПГ над теми же пунктами края для периода 2012–2023 гг., а также тенденций их изменения.

Таблица 1

Гидрометеорологические станции на территории Красноярского края, где мониторинг грозовой активности осуществлялся в 2012–2023 гг.

Table 1

Hydrometeorological stations in Krasnoyarsk Krai, where thunderstorm activity was monitored in 2012-2023.

Название пункта Name of location point	Широта (с. ш.) Latitude (N)	Долгота (в. д.) Longitude (E)	Название пункта Name of location point	Широта (с. ш.) Latitude (N)	Долгота (в. д.) Longitude (E)
Караул Karaul	70,16	83,13	Байкит Baikit	61,66	96,36
Норильск Norilsk	69,33	88,10	Ванавара Vanavara	60,33	102,26
Хатанга Khatanga	71,98	102,45	Кислокан Kislokan	63,60	103,98
Потاپово Potapovo	68,70	87,26	Тура Tura	64,26	100,23
Боготол Bogotol	56,23	89,58	Енисейск Yeniseisk	58,45	92,15
Канск Kansk	56,20	95,68	Минусинск Minusinsk	53,70	91,70

Материалы и методы

Значение ПГ принято определять, как отношение количества суток, принадлежащих к изучаемому отрезку времени, в течение которых над изучаемой территорией были выявлены грозы, к его общей продолжительности.

Как характеристика тенденции изменения климатических норм КН ПГ рассматривалось значение: $\Delta = \text{КН ПГ}_{(1991-2020 \text{ гг.})} - \text{КН ПГ}_{(1961-1990 \text{ гг.})}$ [22].

Как характеристика тенденции изменений ПГ в период 2012–2023 гг. использовалось значение углового коэффициента линейного тренда временного ряда этого показателя, который был сглажен в скользящем окне такой минимальной длительности, при которой достоверность статистического вывода о его значимости превышала 0,95.

Учитывая это, при решении указанных задач как фактический материал

учитывалась информация об изменениях ПГ в репрезентативных пунктах Красноярского края.

Для получения представления об устойчивости полученных оценок, их значения для рассматриваемых пунктов сопоставлялись со значениями аналогичных показателей, которые определены для прочих пунктов на территории края, указанных в табл. 1.

Упомянутая информация получена из [21]. Она представляет собой сведения о датах, относящихся к тому или иному году из указанного выше периода, в которые над соответствующими пунктами происходили грозы.

Методика решения первой задачи предполагала вычисление для каждого репрезентативного пункта значений КН ПГ для современного климатического периода, а также значений Δ для месяцев июнь – август и всего летнего сезона.

Методика решения второй задачи включала два этапа.

На первом этапе определялась минимальная длительность (T) скользящего окна, при которой оценка углового коэффициента линейного тренда (УКЛТ) сглаженного при таком окне временного ряда ПГ за 2012 – 2023 гг. являлась значимой.

Решение о значимости такой оценки принималось, если достоверность подобного статистического вывода превышала 0,95.

При оценке значимости предполагалось, что отклонение зависимости от времени ПГ (t), от соответствующего по времени t значения ее линейного тренда, подчиняется нормальному закону. Поэтому упомянутое решение принималось, если:

$$(12 - T + 1) \text{УКЛТ} > 1,65\text{СКО},$$

где СКО – среднеквадратическое отклонение разности ПГ (t) и соответствующего значения линейного тренда сглаженного ряда ПГ (при выбранной длине скользящего окна T).

Для определения T производился метод перебора в пределах от 1 до 9.

На втором этапе с использованием сглаженных временных рядов ПГ вычислялись средние значения этого показателя,

а также значения УКЛТ для тех же месяцев и сезона в целом, соответствующие всем пунктам, указанным в таблице 1.

Как следует из рассмотренной методики, справедливость допущения о нормальности закона, которому подчиняются отклонения значений ПГ (t) от соответствующих значений линейного тренда каждого изучаемого временного ряда, не проверялось (так как малая длина этого ряда не позволяла подобное осуществить). Поэтому получаемые с ее применением результаты следует рассматривать как носящие качественный характер.

Результаты и их обсуждение

В соответствии с изложенной методикой для всех репрезентативных пунктов на территориях изучаемых районов Красноярского края сформированы временные ряды, отражающие межгодовые изменения значений ПГ для месяцев июнь – август, а также за весь летний сезон.

Как пример, на рис. 2 приведена зависимость от времени значений ПГ в пункте Байкит, соответствующих всему летнему сезону.



Рис. 2. Изменения значений ПГ за летний сезон для пункта Байкит

Fig. 2. Changes in RT values over the summer season for Baikit point

Из рис. 2 видно, что зависимость от времени значений ПГ за летний сезон для пункта Байкит представляет собой сложное колебание, которое наложено на возрастающий тренд. Преобладающей модой в спектре этого колебания является квазидвухлетняя.

Обусловленные ею межгодовые изменения ПГ весьма велики, вследствие чего оценки УКЛТ рассматриваемого ряда ПГ, вычисленные за 2012–2023 гг. (при $T = 1$), значимыми с выбранной достоверностью признаны быть не могут.

Аналогичными свойствами обладают рассматриваемые зависимости и для прочих репрезентативных пунктов Красноярского края.

Полученные при решении первой задачи для всех репрезентативных пунктов

оценки КН ПГ за летний сезон для различных климатических периодов представлены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, в изменениях КН ПГ для всего летнего сезона, за период современного потепления климата, во всех репрезентативных пунктах Красноярского края преобладали значимые тенденции к увеличению рассматриваемых показателей. При этом наибольшие значения КН ПГ для современного климатического периода соответствуют п. Енисейск, расположенному в центральной части территории Красноярского края, а ее наименьшие значения выявлены для п. Хатанга, находящегося за Полярным кругом.

Таблица 2

Оценки значений КН ПГ за летний сезон для различных климатических периодов, соответствующие различным репрезентативным пунктам Красноярского края

Table 2

Estimates of values of climatic norm of thunderstorms recurrence for the summer season for different climatic periods corresponding to different representative points of Krasnoyarsk Krai

Летний сезон (июнь – август) Summer season (June – august)				
Климатический период Climate period	Хатанга Khatanga	Ванавара Vanavara	Байкит Baikit	Енисейск Yeniseisk
1961–1990гг.	0,0042	0,0240	0,0162	0,0389
1971–2000гг.	0,0043	0,0205	0,0164	0,0425
1981–2010гг.	0,0057	0,0202	0,0189	0,0447
1991–2020гг.	0,0066	0,0297	0,0269	0,0489
Δ	0,002	0,0057	0,0107	0,0100

В табл. 3 приведены оценки значений КН ПГ за тот или иной месяц летнего сезона для различных климатических периодов и всех репрезентативных пунктов края.

Как видно из табл. 3, значения КН ПГ для каждого месяца летнего сезона,

соответствующие всем репрезентативным пунктам, для современного климатического периода существенно превосходят их значения для базового периода (1961 – 1990 гг.), что свидетельствует о наличии для них тенденций к повышению КН ПГ.

Таблица 3

Оценки значений КН ПГ за тот или иной месяц летнего сезона для различных климатических периодов и всех репрезентативных пунктов Красноярского края.

Table 3

Estimates of values of climatic norms of thunderstorm recurrence for one or another month of the summer season for different climatic periods and all representative points of Krasnoyarsk Krai

Климатический период Climate period	Хатанга Khatanga			Байкит Baikit		
	июнь june	июль july	август august	июнь june	июль july	август august
1961–1990 гг.	0,0029	0,0025	0,0007	0,014	0,020	0,009
1971–2000 гг.	0,0036	0,0032	0,0011	0,016	0,024	0,009
1981–2010 гг.	0,0043	0,0036	0,0014	0,017	0,025	0,010
1991–2020 гг.	0,0044	0,0036	0,0022	0,022	0,038	0,015
Δ	0,0015	0,0011	0,0015	0,008	0,018	0,006
Климатический период Climate period	Ванавара Vanavara			Енисейск Yeniseisk		
	июнь june	июль july	август august	июнь june	июль july	август august
1961–1990 гг.	0,024	0,029	0,019	0,034	0,049	0,034
1971–2000 гг.	0,022	0,025	0,016	0,042	0,054	0,032
1981–2010 гг.	0,021	0,028	0,014	0,045	0,058	0,031
1991–2020 гг.	0,036	0,037	0,021	0,047	0,063	0,037
Δ	0,012	0,008	0,002	0,007	0,014	0,003

Для пункта Хатанга, расположенного, как видно из табл. 1, в Арктической зоне, для любого рассматриваемого месяца значения КН ПГ значительно (почти на порядок) меньше, чем для прочих репрезентативных пунктов, находящихся южнее. Для пунктов края, расположенных вне Арктической зоны, темпы увеличения КН ПГ, соответствующие июню и июлю, существенно выше, чем для августа.

При решении второй задачи установлено, что минимальная длина скользя-

щего окна, при которой для многих пунктов Красноярского края, указанных в табл. 1, тенденции сглаженных межгодовых изменений ПГ (для всего летнего сезона и любого его месяца), в период 2012 – 2023 гг., с достоверностью не менее 0,95, являются значимыми, равна 5 годам.

Зависимости от года начала такого окна, усредненных по нему значений ПГ для всех репрезентативных пунктов, которые соответствуют всему летнему сезону, приведены на рис. 3.

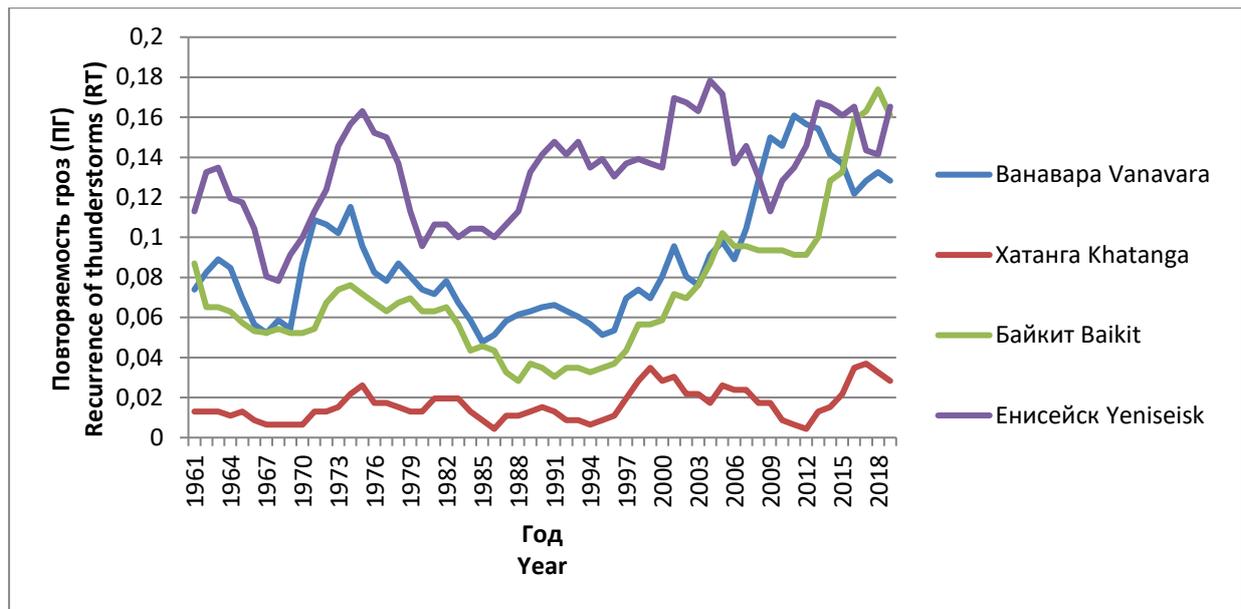


Рис. 3. Зависимости от года начала скользящего окна длиной 5 лет усредненных по нему значений ПГ, оцененных за летний сезон для всех репрезентативных пунктов Красноярского края

Fig. 3. Dependence on the year of the beginning of the sliding window with a length of 5 years of average RT values, estimated for the summer season for all representative points of the Krasnoyarsk Krai

Из рис. 3 следует, что в зависимости от года начала скользящего окна длиной 5 лет усредненных по нему (сглаженных) значений ПГ для всех репрезентативных пунктов, которые оценены за летний сезон, присутствуют возрастающие тренды.

В период после 2008 г. различия между графиками, соответствующими репрезентативным пунктам, находящимся вне арктической зоны, существенно меньше, чем в предыдущий период. Последнее соответствует представлениям [15], согласно которым при потеплении климата термический режим территорий Красноярского края, расположенных вне арктической зоны, в летние месяцы становится более однородным.

Следует отметить различие участков изучаемых зависимостей, которые

соответствуют периоду времени 2012 – 2023 гг. В то время как для п. Байкит, Енисейск и Хатанга на указанном отрезке времени преобладали значимые тенденции к увеличению сглаженных значений ПГ, для п. Ванавара в изменениях тех же показателей имел место значимый убывающий тренд.

Из этого следует, что для других пунктов изучаемых районов значимые тенденции межгодовых изменений сглаженных значений ПГ для всего летнего периода и различных его месяцев могут существенно различаться.

Как показали расчеты, подобное предположение вполне справедливо. На рис. 4 представлена зависимость от широты средних значений ПГ, которые оценены за летний сезон для всех пунктов Красноярского края, указанных в табл. 1.

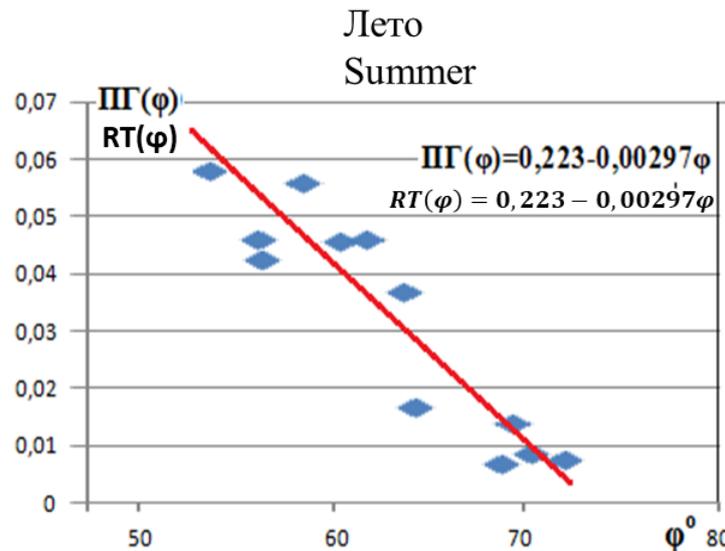


Рис. 4. Зависимость от широты (φ) средних значений ПГ(φ), которые оценены за весь летний сезон для пунктов Красноярского края, указанных в табл. 1
Fig. 4. Dependence on the latitude (φ) of the average RT (φ) values, which are estimated for the entire summer season for the points of the Krasnoyarsk Krai indicated in Table 1

Из рис. 4 понятно, что для рассматриваемых пунктов Красноярского края средние значений ПГ, которые оценены за летний сезон, существенно зависят от их широты. Характер этой зависимости может быть описан соотношением:

$$ПГ(\varphi) = 0,223 - 0,00297\varphi.$$

Коэффициенты этого уравнения определялись с учетом одних лишь пунктов Красноярского края, являющиеся репрезентативными.

Как видно из рис. 4, это же соотношение удовлетворительно описывает зависимость ПГ (φ) и для пунктов территории края, которые при определении его коэффициентов не учитывались. Последнее свидетельствует об устойчивости выявленной закономерности и позволяет предположить ее пригодность

для оценки ПГ для других пунктов территории Красноярского края.

На рис. 5 представлены зависимости от широты средних значений ПГ, которые оценены за тот или иной месяц летнего сезона для рассматриваемых пунктов Красноярского края.

Рисунок 5 свидетельствует о том, что для рассматриваемых пунктов Красноярского края, средние значений ПГ, которые оценены для того или иного летнего месяца, существенно зависят от их широты. Упомянутые зависимости могут быть описаны соотношениями:

$$ПГ(\varphi) = 0,111 - 0,00215\varphi^\circ \text{ для июня;}$$

$$ПГ(\varphi) = 0,147 - 0,00391\varphi^\circ \text{ для июля;}$$

$$ПГ(\varphi) = 0,086 - 0,00268\varphi^\circ \text{ для августа.}$$

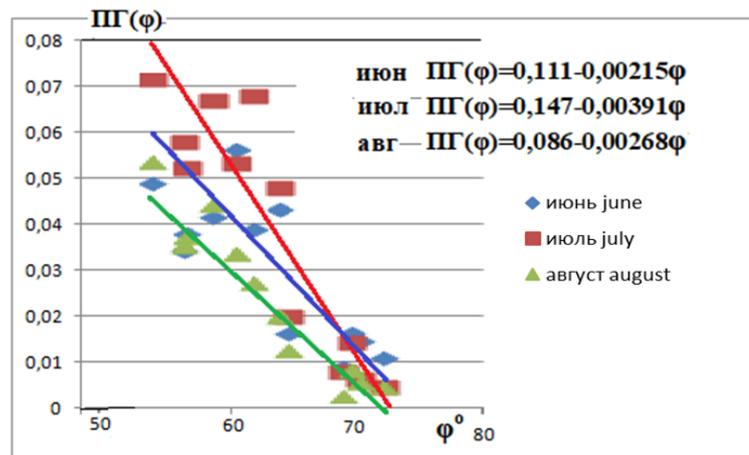


Рис. 5. Зависимости от широты (ϕ) средних значений ПГ в пунктах северной части территории Красноярского края, оцененных за 2012–2023 гг.

Fig. 5. Dependence on the latitude (ϕ) of average RT values at the points of the northern part of the territory of the Krasnoyarsk Krai estimated for 2012–2023

Коэффициенты этих уравнений, как и для соотношения, соответствующего всему летнему сезону, определялись с учетом одних лишь пунктов Красноярского края, являющихся репрезентативными.

Рисунок 5 позволяет заключить, что это же соотношение удовлетворительно описывает зависимость ПГ(ϕ) и для пунктов территории края, которые при определении его коэффициентов не учитывались. Последнее позволяет предположить пригодность полученных уравнений для оценки ПГ для других пунктов территории Красноярского края.

Аналогичных зависимостей средних значений ПГ в пунктах Красноярского края от их долготы не выявлено.

В табл. 4 для всех рассматриваемых пунктов территории Красноярского края представлены оценки УКЛТ временных рядов, описывающих изменения ПГ над ними за летние сезоны 2012–2023 гг.

Из табл. 4 видно, что значения УКЛТ изучаемых временных рядов от широты рассматриваемого пункта не зависят. При этом для пунктов Минусинск, Канск, Байкит, Тура, Норильск и Хатанга значения ПГ за 2012–2023 гг. значительно возрастали.

Для пунктов Ванавара и Потапово они значительно снижались, а для пунктов Боготол, Енисейск, Кислокан и Караул эти показатели значимыми не являлись. Следовательно, распределение по территории Красноярского края тенденций межгодовых изменений ПГ для летнего сезона носит интразональный, очаговый характер.

В табл. 5 для тех же пунктов территории Красноярского края представлены оценки УКЛТ временных рядов, описывающих изменения ПГ над ними за различные летние сезоны 2012–2023 гг.

Из табл. 5 следует, что значения УКЛТ рассматриваемых временных рядов от широты изучаемого пункта не зависят. При этом наибольшее количество пунктов, для которых за 2012–2023 гг. произошли значимые изменения ПГ, соответствуют месяцам июнь и июль.

Для июня ПГ значительно увеличились для пунктов Минусинск, Канск, Енисейск, Байкит, Кислокан, Тура и Хатанга. Их значимо уменьшение выявлено для пункта Потапово.

Для июля увеличение ПГ зафиксировано для пунктов Байкит, Кислокан, Тура и Норильск. При этом для пунктов Боготол,

Енисейск, Ванавара и Потапово выявлено их снижение.

Для августа значимое повышение ПГ имело место для пунктов Караул и Норильск, а для пунктов Канск и Ванавара отмечено их снижение.

Как видим, распределения по территории Красноярского края тенденций

межгодовых изменений ПГ, соответствующие всем летним месяцам, также носят очаговый характер.

Анализ полученных результатов показал, что за период современного потепления климата значения КН ПГ во всех репрезентативных пунктах Красноярского края действительно увеличились, т. е. выдвинутая гипотеза справедлива.

Таблица 4

Значимые оценки УКЛТ временных рядов, описывающих изменения ПГ за летние сезоны 2012–2023 гг. для рассматриваемых пунктов Красноярского края (- оценка незначима)

Table 4

Significant estimates of the time series UKLT describing changes in RT for the summer seasons 2012–2023 for the considered points of the Krasnoyarsk Krai (- rating is insignificant)

Пункт Name of location point	УКЛТ, год ⁻¹ LTE, year ⁻¹	Пункт Name of location point	УКЛТ, год ⁻¹ LTE, year ⁻¹	Пункт Name of location point	УКЛТ, год ⁻¹ LTE, year ⁻¹
Минусинск Minusinsk	0,0017	Байкит Baikit	0,0117	Караул Karaul	–
Канск Kansk	0,0033	Ванавара Vanavara	– 0,0043	Норильск Norilsk	0,0019
Боготол Bogotol	–	Кислокан Kislokan	–	Потапово Potapovo	– 0,0028
Енисейск Yeniseisk	–	Тура Tura	0,0065	Хатанга Khatanga	0,0041

Таблица 5

Значимые оценки УКЛТ временных рядов, описывающих изменения ПГ за различные месяцы летних сезонов 2012–2023 гг. для рассматриваемых пунктов Красноярского края (- оценка незначима)

Table 5

Significant estimates of the time series UKLT describing changes in RT over the various months of the summer seasons 2012–2023. For the considered points of the Krasnoyarsk Krai (- the assessment is insignificant)

Пункт Name of location point	УКЛТ, год ⁻¹ LTE, year ⁻¹	Пункт Name of location point	УКЛТ, год ⁻¹ LTE, year ⁻¹	Пункт Name of location point	УКЛТ, год ⁻¹ LTE, year ⁻¹
Июнь / June					
Минусинск Minusinsk	0,0025	Байкит Baikit	0,0049	Караул Karaul	–
Канск	0,0041	Ванавара	–	Норильск	–

Kansk		Vanavara		Norilsk	
Боготол Bogotol	–	Кислокан Kislokan	0,0018	Потапово Potapovo	– 0,0021
Енисейск Yeniseisk	0,0023	Тура Tura	0,0019	Хатанга Khatanga	0,0039
Июль / July					
Минусинск Minusinsk	–	Байкит Baikit	0,0051	Караул Karaul	–
Канск Kansk	–	Ванавара Vanavara	– 0,0026	Норильск Norilsk	0,0011
Боготол Bogotol	– 0,0011	Кислокан Kislokan	0,0013	Потапово Potapovo	– 0,0012
Енисейск Yeniseisk	– 0,0031	Тура Tura	0,0036	Хатанга Khatanga	–
Август / August					
Минусинск Minusinsk	–	Байкит Baikit	–	Караул Karaul	0,0013
Канск Kansk	– 0,0016	Ванавара Vanavara	– 0,0022	Норильск Norilsk	0,0019
Боготол Bogotol	–	Кислокан Kislokan	–	Потапово Potapovo	–
Енисейск Yeniseisk	–	Тура Tura	–	Хатанга Khatanga	–

Средние значения ПГ за период 2012–2023 гг. существенно зависят от широты пункта территории края, для которого они оцениваются. Чем северней находится рассматриваемый пункт, тем значения этого показателя меньше.

Распределение по территории Красноярского края тенденций межгодовых изменений ПГ, оцененных за тот же период, носит островной характер. Наряду с обширными участками, где в этих изменениях присутствуют значимые возрастающие тренды, существуют и те, где значимые тренды являются убывающими. На многих участках тренды значимыми не являются.

Как следует из анализа полученных результатов, в целом они соответствуют существующим представлениям о влиянии на грозовую активность в земной атмосфере процесса потепления климата [23], а также об особенностях перемен климата различных районов

Красноярского края в 1961–2020 гг. [9, 16]. При этом существенной новизной обладают следующие факты:

1. Несмотря на то, что в целом за период 1961–2020 гг. на территории края ПГ, которая оценивалась как за весь летний сезон, так и за отдельные его месяцы, увеличивалась, в период 2012–2023 гг. подобная тенденция сохранилась не повсеместно. Распределение по его территории значений УКЛТ изучаемых процессов приобрело островной характер.

2. Значимым фактором пространственной изменчивости средних значений ПГ, вычисленных за период 2012–2023 гг., является широта пункта, для которого этот показатель оценивался. Выявленные зависимости ПГ от этого показателя, которые выявлены для репрезентативных пунктов края, сохраняются и для прочих его пунктов.

Причины выявленных закономерностей, а также особенности их влияния

на риски возникновения на территории Красноярского края ЛП нуждаются в дополнительном изучении.

Можно предположить, что одной из таких причин является наличие зависимости тенденции межгодовых изменений ПГ, проявляющейся в тех или иных пунктах края в 2012–2023 гг., не только от их широты, но также и от их долготы, а также особенностей ландшафтов соответствующей местности, ее рельефа и доминирующих фитоценозов.

Выводы

Таким образом, установлено.

1. В целом за период современного потепления климата повторяемость гроз над территорией Красноярского края повысилась, однако в период 2012 – 2023 гг. в некоторых его районах проявились противоположные тенденции.

2. Средние значения повторяемости гроз в любых пунктах Красноярского

края, оцененные за современный период для всего летнего сезона и для отдельных его месяцев, тем больше, чем южнее эти пункты расположены. Следовательно, влияние гроз на изменения рисков возникновения на территории края ландшафтных пожаров проявляется наиболее существенно в его южных районах и при дальнейшем потеплении климата может усилиться.

3. Наиболее высокие темпы увеличения повторяемости гроз при современном потеплении климата в летний сезон проявляются на территориях края, которые относятся к субарктической зоне.

Полученные результаты целесообразно учитывать при планировании основных мероприятий подразделений ГПС МЧС России, функционирующих на территории края.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шапарев Н. Я. Природные ресурсы Красноярского края // Вестник Российской академии наук. 2007. Т. 77, № 4. С. 291–300.
2. Итоги геологоразведочных работ на арктическом шельфе России в 2014–2019 гг. и перспективы проведения работ на ближайшее время / П. Н. Мельников и др. // Геология нефти и газа. 2019. № 6. С. 5–18.
3. Павленко В. И. Арктическая зона Российской Федерации в системе обеспечения национальных интересов страны // Арктика: экология и экономика. 2013. № 4 (12). С. 016–025.
4. Современный Красноярский край. URL: <http://www.krskstate.ru/> (дата обращения: 20.12.2023).
5. Соколов В. А., Втюрина О. П., Соколова Н. В. Лесные ресурсы Красноярского края: перспективы и ограничения использования // Сибирский лесной журнал. 2021. № 4. С. 24–33.
6. Тарасов Л. В. Ветры и грозы в атмосфере Земли. Долгопрудный, 2011. 277 с.
7. Satellite Monitoring of Siberian Wildfires and Their Effects: Features of 2019 Anomalies and Trends of 20-Year Changes / V. G. Bondur et al. // Doklady Earth Sciences. 2020. Vol. 492, No. 1. Pp. 370–375.
8. Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Лесные пожары на территории России: состояние и проблемы. М., 2004. 312 с.
9. Российская Федерация. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации : общее резюме / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). М., 2014. 60 с.
10. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства : офиц. сайт. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (дата обращения: 20.12.2023).
11. Ермаков В. И., Стожков Ю. И. Физика грозовых облаков. М., 2004. 38 с.
12. Чалмерс, Дж. А. Атмосферное электричество. Л., 1974. 421 с.
13. Базелян Э. М., Райзер Ю. П. Физика молнии и молниезащиты. М., 2001. 319 с.
14. Юман, М. А. Молния. М., 1972. 327 с.
15. Baker M. B., Dash J. G. Mechanism of charge transfer between colliding ice particles in thunderstorms // Journal of Geophysical Research. 1994. Vol. 99. Pp. 10621–10626.

16. Анисимов О. А., Жильцова Е. Л. Об оценках изменений климата регионов России в XX в. и начале XXI в. по данным наблюдений // *Метеорология и гидрология*. 2012. № 6. С. 95–107.
17. Проблемы электричества атмосферы : труды III Междунар. конференции по электричеству атмосферы и космич. пространства. Л., 1969. 362 с.
18. Prevenslik T. V. A theory for thundercloud electrification and the reduction in intensity of hurricanes and tornadoes by the supercession of lightning // *J. Meteorol.* 2001. Vol. 26, No. 258. Pp. 121–124.
19. Schroeder V., Baker M. B. Inferring selected cloud properties from satellite lightning data // *Proceedings of 11th International Conference on Atmospheric Electricity, USA, Alabama*. 1999. Pp. 276–279.
20. Проблемы и перспективы охраны лесов от пожаров / М. А. Шешуков и др. // *Сибирский лесной журнал*. 2020. № 2. С. 14–20.
21. Банк данных об изменениях метеоусловий в различных регионах мира. URL: tutienpo.net/climate/ (дата обращения: 20.12.2023).
22. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. ВМО № 1203. 2017. 32 с.
23. Climate Change: The Physical Science Basis. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/lncs>, last accessed 2016/11/21.

REFERENCES

1. Shaparev, N. Ya. Natural Resources of the Krasnoyarsk Territory/N. Ya. Shaparev//*Bulletin of the Russian Academy of Sciences*. 2007; 77 (4): 291–300. (rus).
2. Melnikov P. N., Skvortsov M. B., Kravchenko M. N. et al. Results of Geological Exploration on the Arctic Shelf of Russia in 2014-2019 and Prospects for the Near Future. / *Oil and Gas Geology*. 2019; 6: 5–18. (rus).
3. Pavlenko V.I., Arctic zone of the Russian Federation in the system of ensuring the national interests of the country. *Arctic: ecology and economy*. 2013; 4 (12): 016–025. (rus).
4. Modern Krasnoyarsk Territory [Electronic Resource]. Access mode: <http://www.krskstate.ru/> (date of request: 12/20/2023). (rus).
5. Sokolov V.A. et al. Forest resources of the Krasnoyarsk Territory: prospects and restrictions of use. *Siberian Forest Journal*. 2021; 4: 24–33. DOI 10.15372/SJFS20210402. (rus).
6. Tarasov, L.V. Winds and thunderstorms in the Earth's atmosphere/L.V. Tarasov. *Dolgoprudny, Intellect*, 2011; 277. (rus).
7. Bondur V. G., Voronova O. S., Mokhov I. I., Sitnov S. A. Satellite Monitoring of Siberian Wildfires and Their Effects: Features of 2019 Anomalies and Trends of 20-Year Changes. *Doklady Earth Sciences*. 2020; 492(1): 370–375. DOI 10.1134/S1028334X20050049. (rus).
8. Vorobyov Yu. L. et al. Forest fires in Russia: State and problems. Moscow, Dex-Press, 2004; 312. (rus).
9. Russian Federation. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. The second assessment report of Roshydromet on climate changes and their consequences in the Russian Federation [Text]: general summary/Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet). - Moscow: Roshydromet, 2014; 60. (rus).
10. Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency: official website. Access mode: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml (date of request: 12/20/2023). (rus).
11. Ermakov V.I. et al. Physics of Thunderstorm Clouds. Moscow, 2004; 38. (rus).
12. Chalmers J.A. Atmospheric Electricity. *Mat. sciences I. M. Imyanitova*. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1974; 421. (rus).
13. Bazelian EM, Reiser JP. Physics of lightning and lightning protection. Moscow, Fizmatlit, 2001; 319. (rus).
14. Youman, Martin A. Lightning. Moscow, Mir, 1972; 327. (rus).
15. Baker M.B., Dash J.G. Mechanism of charge transfer between colliding ice particles in thunderstorms. *Journal of Geophysical Research*, 1994; 99: 10621–10626.
16. Anisimov O. A., Zhiltsova E. L. On estimates of climate changes in the regions of Russia in the XX century and the beginning of the XXI century. according to observations. *Meteorology and hydrology*. 2012; 6: 95–107. (rus).
17. Problems of atmospheric electricity: Proceedings III International. conferences on atmospheric electricity and cosmic. spaces. Montreux. Switzerland May 5-10, 1963/Per. with English cand. phys.-mat. sciences E. M. Salman; Ed. [And with the foreword. cand. techn. techn. sciences by J. M. Schwartz]. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1969; 362. (rus).
18. Prevenslik T.V. A theory for thundercloud electrification and the reduction in intensity of hurricanes and tornadoes by the supercession of lightning. 2001; 26 (258): 121–124. (rus).

19. Schroeder V., Baker M.B. Inferring selected cloud properties from satellite lightning data. Proceedings of 11th International Conference on Atmospheric Electricity, USA, Alabama, 1999; 276–279. (rus).
20. Sheshukov M. A., Kovalev A. P., Orlov A. M., Pozdnyakova V. V. Problems and prospects for protecting forests from fires. Siberian Forest Journal. 2020; 2: 14–20. DOI 10.15372/SJFS20200202. (rus).
21. Data bank on changes in weather conditions in various regions of the world [Electronic resource]. Access mode: - tutiempo.net/climate/ (date of request: 12/20/2023). (rus).
22. WMO Guidelines for the Calculation of Climatic Standards. 2017; 1203: 32. (rus).
23. Climate Change: The Physical Science Basis. (2013) <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/lncs>, last accessed 2016/11/21. (rus).

Информация об авторах

Холопцев Александр Вадимович, доктор географических наук, профессор кафедры контрольно-надзорной деятельности, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1; РИНЦ ID: 467295; ORCID: 0000-0002-9757-5219; e-mail: kholoptsev@mail.ru

Шубкин Роман Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника академии по учебной работе, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1; РИНЦ ID: 159572; Scopus Author ID: 57704690300; ORCID: 0000-0002-7163-8146; e-mail: r.shubkin@yandex.ru

Проскова Наталья Юрьевна, преподаватель кафедры контрольно-надзорной деятельности, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1; РИНЦ ID: 1191233; ORCID: 0009-0000-0068-2968; e-mail: knd@sibpsa.ru

Information about the authors

Alexander V. Kholoptsev, Grand PhD in Geography, Professor of the department of control and supervisory activities, Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, st. Severnaya, d. 1, Zheleznogorsk, 662971, Russian Federation; ID RISC: 467295; ORCID: 0000-0002-9757-5219; e-mail: kholoptsev@mail.ru

Roman G. Shubkin, Cand. Sci. (Eng), Associate Professor, Deputy head of the academy for academic affairs, Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire and Rescue Service of the Ministry of Emergencies of Russia, st. Severnaya, d. 1, Zheleznogorsk, 662971, Russian Federation; ID RISC: 159572; Scopus Author ID: 57704690300; ORCID: 0000-0002-7163-8146; e-mail: r.shubkin@yandex.ru

Natalia Yu. Proskova, lecturer at the department of control and supervision, Siberian Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergencies of Russia, st. Severnaya, d. 1, Zheleznogorsk, 662971, Russian Federation; ID RISC: 1191233; ORCID: 0009-0000-0068-2968; e-mail: knd@sibpsa.ru