

Научная статья

УДК 630*431

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-70-85

ГОРИМОСТЬ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ЗЕМЛЯХ ЛЕСНОГО ФОНДА РЕСПУБЛИКИ ТЫВА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

Куулар Х. Б.

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов

Сибирского отделения Российской академии наук,

667007, г. Кызыл, ул. Интернациональная, д. 117а, Российская Федерация;

E-mail: k-k-188@list.ru; ORCID: 0000-0001-6651-2779

Поступила в редакцию 28.02.2023

После доработки 14.02.2024

Принята к публикации 09.02.2024

Аннотация

Цель. Оценка горимости растительности на землях лесного фонда Республика Тыва с 2000 по 2022 гг. на основе анализа статистических данных, собранных региональными органами исполнительной власти.

Процедура и методы. В работе проанализированы ежегодные данные по пожарам растительности, полученные из официальных сводок Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва, а также среднемесячные температуры воздуха и оценена обеспеченность территории атмосферной влагой. Данные по пожарам получены на основе карточек-учётов лесничеств, открытых при регистрации пожаров с указанием площадей обнаружения и ликвидации пожаров. Эта информация была обработана с использованием методов математической статистики. На основе геоинформационного анализа с использованием программы NextGISQGIS проведён пространственно-временной анализ распределения пожароопасного сезона (весна, лето, осень). Для построения карт плотности пожаров использован модуль «создание теплокарт».

Результаты. Отмечается увеличение продолжительности тёплого периода года и засушливой погоды в весеннее время. В период с 1992 по 2020 гг. аномалия температуры воздуха тёплого периода года (апрель–октябрь) составила $1,64 \pm 0,16$ °C. С 2000-х гг. количество и площади территорий, страдающих от пожаров, выросли, что обусловлено ростом посещаемости лесов местным населением и сохранением сельскохозяйственных палов в условиях прогрессирующего потепления климата¹.

Теоретическая и/или практическая значимость. Результаты исследования можно использовать при разработке программы борьбы с пожарами и адаптации экосистем региона к изменениям климата.

Ключевые слова: региональное потепление климата, рост опасности растительных пожаров, причины возникновения пожаров

Благодарности. Автор выражает благодарность кандидату физико-математических наук В. П. Ладыгиной (КНЦ, г. Красноярск) за поддержку. Работа выполнено в рамках базового проекта Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН.

Original Research Article

FIRE DANGER OF THE VEGETATION ON THE LANDS OF THE FOREST FUND OF THE TYVA REPUBLIC IN A CHANGING CLIMATE

Kh. Kuular

*Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources
of the Russian Academy of Sciences, Siberian Branch,
ul. Internatsionalnaya 117, Kyzyl 667007, Russian Federation;
E-mail: k-k-188@list.ru; ORCID: 0000-0001-6651-2779*

Received 28.02.2023

Revised 14.02.2024

Accepted 09.02.2024

Abstract

Aim. Assessment of wildfire hazard in the forest lands of the Tyva Republic from 2000 to 2022 based on the analysis of statistical data collected by regional executive authorities.

Procedure and methods. The work analyzed the annual data on wildfires obtained on the basis of official reports of the Ministry of Forestry and Nature Management of the Republic of Tyva, as well as the average monthly air temperatures and assessed the provision of the territory with atmospheric moisture. Fire data were obtained on the basis of forest registration cards opened during the registration of fires indicating the areas of detection and elimination of fires. This information was processed using mathematical statistics methods. Based on the geo-information analysis using the NextGISQGIS program, a spatio-temporal analysis of the distribution of the fire hazardous season (spring, summer, autumn) was carried out. The module "creation of heat maps" was used to build fire density maps.

Results. There is an increase in the duration of the warm season and the duration of dry weather in spring. In the period from 1992 to 2020. The temperature anomaly of the warm season (IV–X months) was 1.64 ± 0.16 °C. Since the 2000s the number and area of territories suffering from fires has grown, due to an increase in forest attendance by the local population and the preservation of agricultural fires in the face of progressive climate warming.

Data on the actual burning of vegetation show that the cause of vegetation fires in most cases is the human factor (when collecting the gifts of nature, the rules for handling fire were not observed), and they flare up in connection with the established abnormal weather conditions.

Research implications. The study reveals that obtained results important for long-term strategy adaptation develops of ecosystems region to climate change.

The significance of the work lies in the fact that the data obtained are important in the long-term development of the Fire Control Strategy and their prediction to climate change.

Keywords: regional climate warming, wildfires growth, causes of wildfires

Acknowledgments. The author expresses gratitude to V. P. Ladygina, PhD of Physical and Mathematical Sciences (FRC KSC of the SB RAS, Krasnoyarsk). The work was carried out within the framework of the basic project Tuva Institute for Exploration of Natural Resources of the SB RAS.

Введение

В последние десятилетия в Сибири наблюдается увеличение частоты возникновения пожаров и продолжительности пожароопасного сезона [1; 5]. Сибирь является лидером по потере растительного покрова в пожарах. По оценкам около 70% потерь вызвано пожарами [10; 11; 12; 14; 16]. Южная Сибирь в этом контексте не является исключением. Так, работы многих исследователей свидетельствуют о высоком потенциале горимости растительности в регионе Южной Сибири в условиях потепления климата [7; 8; 9; 15; 17], определённую роль в формировании природного потенциала пожароопасности оказывают и гео-криологические условия, для районов южной криолитозоны значение этого фактора обосновано с позиции геофизики ландшафтов [13].

Анализ погодно-климатических данных показывает, что наиболее сильное в Алтае-Саяном экорегионе потепление климата наблюдается на территории Республики Тыва [3], что является важным фактором пожарной опасности, поскольку продолжительность пожароопасного периода увеличилась (примерно на месяц), максимальная его длительность может составлять 173–185 дней. Пирогенный фактор оказывает заметное воздействие на леса Южной Сибири, обуславливая изменения структуры лесной растительности [1].

Цель настоящего исследования – оценка горимости растительности в 2000–2022 гг. на территории Республики Тыва на основе статистических данных регионального Министерства лесного хозяйства и природопользования. Используются данные наблю-

дений метеостанций Кызыл, Эрзин, Тоора-Хем, Мугур-Аксы, Сосновка за 2000–2020 гг. и сведения, имеющиеся в открытом доступе в сети Интернет. Метеорологические станции республики в основном расположены в котловинах и у подножья гор.

Данные пожаров получены на основе анализа карточек-учётов пожара растительности, составленных в лесах во время их обнаружения и регистрации. На карточках имеются сведения о причинах возникновения и ликвидации пожаров растительности. Отклонения температуры воздуха исследуемого периода рассчитывались относительно среднего значения за 1961–1990 гг., который принят в качестве базового периода.

Обработку и анализ результатов проводили методами статистического анализа с использованием программы Excel. Оценки изменения климатических данных получены путём расчёта и анализа линейных трендов. Визуализация полученных результатов и пространственный анализ проведены с помощью программы NextGISQGIS. На созданных картах участки скопления пожаров отображаются красным цветом, а участки с наименьшими пожарами – жёлтым цветом.

Общая площадь земель лесного фонда, которая находится в ведении 10 лесхозов, составляет 10 882,9 тыс. га. Земли лесного фонда представлены (80%) верхней, средней и нижней полосами среднегорья. Отношение покрытой лесом площади к общей площади республики составляет 49,7%.

В межгорных котловинах и на южных макросклонах хребтов преобладают степи, в среднегорьях и на восточной части республики произрастают

таёжные леса, луга и высокогорные тундры. В условиях резко континентального климата экспозиция склонов проявляется особенно заметно: по южным склонам степь поднимается в пределы горно-таёжной зоны, а на северных склонах в леса проникают высокогорные кустарники.

Главными лесообразующими видами на территории республики являются: кедр сибирский (*Pinus sibirica*), лиственница сибирская (*Larix sibirica*), ель обыкновенная (*Picea obovata*) и лиственные породы (березы *Betula pendula*, *Betula microphylla*) [4]. Леса произрастают, в основном, в восточной горной части, а также в западной и центральной частях республики. Леса Республики приурочены к высотнопоясным комплексам [6], которые подразделяются на 3 лесорастительные области: Алтае-Саянскую, Центральнo-Азиатскую котловинно-горную, Восточнотувинско-Южнозabайкальскую (рис. 1).

Анализ климата и предпосылок для горимости растительного фонда на территории Республики Тыва

Средняя температура января составляет $-26,9 \pm 0,2$ °C, средняя температура июля – $+17,5 \pm 2,3$ °C (1961–

1990 гг.). С потеплением климата в 1975–2015 гг. средняя температура зимних месяцев (ноябрь–март) увеличилась на $1,6 \pm 0,2$ °C; средняя температура летних месяцев (июнь–август) – на $0,6 \pm 0,1$ °C [3]. В таблице 1 приведена сумма осадков по сезонам за 1961–1990 гг. (базовый период) и за 1991–2020 гг.

В период 1991–2020 гг. среднегодовая сумма осадков возросла на 3,3% (9 мм) по сравнению с базовым периодом 1961–1990 гг. В период 1991–2020 гг. 11,9% осадков выпало весной, 57,4% – летом, 14,7% – осенью и 15,5% – зимой. Среднегодовая сумма осадков в 1991–2020 гг. возросла на 3,3% (9 мм) по отношению к 1961–1990 гг. Большая часть осадков выпадает летом в виде ливней, что приводит к поверхностному стоку и большому расходу на испарение.

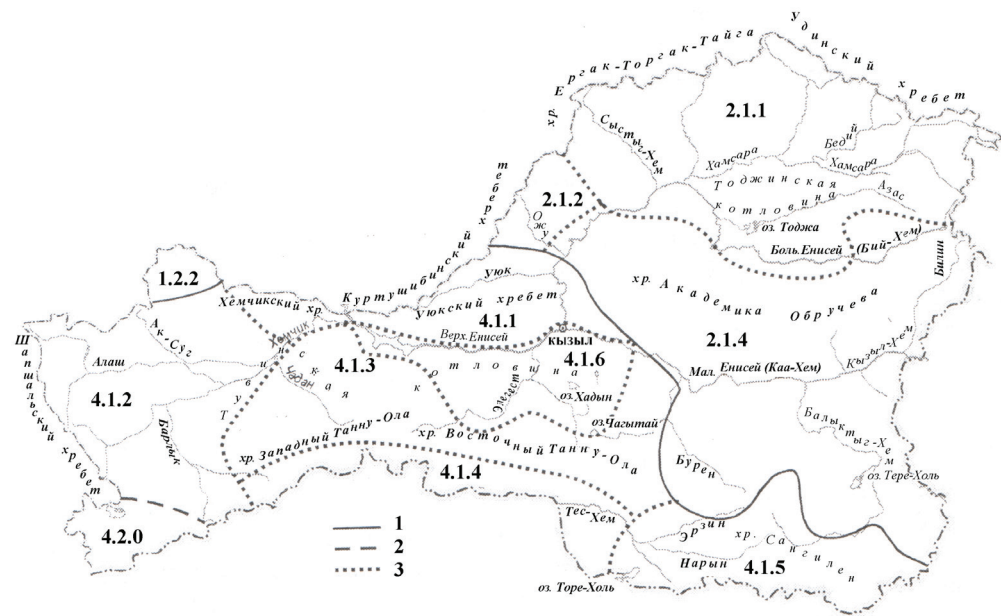
Для оценки увлажнения выбран коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова [2], рассчитанный по данным ряда метеостанций Республики Тыва (табл. 2). Анализируя значения коэффициента увлажнения по метеостанциям, можно отметить, что его показатели уменьшаются на юге, юго-западе (Эрзин, Мугур-Аксы) и востоке (Тоора-Хем) Республики. Статистически значимый тренд по данным

Таблица 1 / Table 1

Усреднённые данные суммы осадков по метеостанциям Республики Тыва по сезонам за 2 временных периода, мм / Averaged precipitation by meteostations of the Tyva Republic by seasons for two periods, mm

Периоды	Весна	Лето	Осень	Зима	Среднегодовая
1961–1990	26,4±0	141,9±0	35,4±0,8	37,4±3,5	242,9±35,8
1991–2020	30,0±1,8	144,0±13,5	37,0±0,2	39,3±0,4	251,0±41,1

Источник: составлена автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва



Условные обозначения:

Границы: 1 – областей, 2 – провинций, 3 – округов

- 1 — Алтае-Саянская горная лесорастительная область:

 - 1.2 — Северная Алтае-Саянская горная лесорастительная провинция кедровых и пихтовых лесов,
 - 1.2.2 — осевой Западно-Саянский округ горно-таёжных и подгольцово-таёжных кедровых лесов.
- 2 — Восточнотувинско-Южнозабайкальская горная лесорастительная область:

 - 2.1 — Восточно-Тувинская котловинно-горная лесорастительная провинция лиственничных и кедровых лесов:
 - 2.1.1 — Тоджинский округ подтаёжных сосново-лиственничных и горно-таёжных лиственничных, сосновых и кедровых лесов,
 - 2.1.2 — Усинский округ лесостепных лиственничных и горно-таежных кедровых лесов.
 - 2.1.4 — Каа-Хемский округ подтаёжных лиственничных и горно-таёжных кедрово-лиственничных лесов.
- 4 — Центрально-Азиатская котловинно-горная лесорастительная область:

 - 4.1 — Алтае-Тувинско-Хайнгайская котловинно-горная лесорастительная провинция горных степей и лиственничных лесов:
 - 4.1.1 — Хемчикско-Куртушибинский округ горных степей, горно-таёжных травяных лиственничных лесов,
 - 4.1.2 — Верхне-Хемчикский округ горных степей, перистепных и горно-таёжных лиственничных лесов.
 - 4.1.3 — Северно-Таннуольский округ перистепных лиственничных и горно-таёжных лиственничных и кедровых лесов,
 - 4.1.4 — Южно-Таннуольский округ горных степей и перистепных лиственничных лесов,
 - 4.1.5 — Сангиленский округ горных степей, перистепных и горно-таёжных лиственничных лесов,
 - 4.1.6 — Улуг-Хемский котловинно-степной округ островных сосновых боров;
 - 4.2.0 — Чуйско-Монгольско-Алтайская котловинно-горная лесорастительная провинция горных степей

Рис. 1 / Fig. 1. Картохема лесорастительного районирования Республики Тыва / Map-scheme of forest-frowning zoning of the Republic Tyva

Источник: [6]

Таблица 2/ Table 2

Коэффициент увлажнения (Кувл) по двум периодам / Moisture coefficient for two periods

Метеостанции	Высота над уровнем моря	Широта	Долгота	1961–1990	1991–2020
Кызыл	626	51.72	94.50	0,5	0,5
Эрзин	1100	50.27	90.43	0,6	0,4
Мугур-Аксы	1850	50.37	90.43	0,7	0,5
Сосновка	947	51.15	94.52	1,0	1,0
Тоора-Хем	919	52.47	96.10	1,4	1,3
Среднее	1088	51.20	93.20	0,8	0,7

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

метеостанций Эрзин и Мугур-Аксы, где наблюдаются значительные его изменения (уменьшения). Значения коэффициента увлажнения, по данным метеостанции, Эрзин снижаются – от 0,6 до 0,4; Мугур-Аксы – от 0,7 до 0,5; Тоора-Хем от 1,4 до 1,3. В целом, тренд изменения коэффициента увлажнения составляет 0,07/60 лет.

Статистический анализ пожаров растительности на территории Республики показывает, что наибольшее их количество пришлось на последние десятилетия (табл. 3). Наибольший

вклад в увеличение пожароопасности внёс рост засушливости в начале вегетационного сезона. Так, в период 2000–2022 гг. площадь пожаров возросла в 5 раз, площадь 1 пожара – в 6 раз, по сравнению с данными за 1961–1999 гг. За исследуемый 20-летний период максимальное количество возгораний, переросших в пожары, наблюдалось в 2002 (560), 2014 (255) и 2015 (338) гг.

Аномалия температуры (весны и лета) в основном растёт с каждым последующим периодом (табл. 3). Также количество и площадь пожаров рас-

Таблица 3 / Table 3

Характеристики пожаров на территории лесного фонда Республики / Characteristics of fires on the territory of the Forest Fund of the republic

Годы	Аномалия весенней температуры (апрель–май)	Аномалия летней температуры (июнь–август)	Количество пожаров, шт.	Площадь пожаров, га	Площадь одного пожара, га
1961–1970	-1,0	-0,7	181	725,5	17,2
1971–1980	0	-0,3	388	2953	11,8
1981–1990	05	0,5	1670	25564,2	133,7
1991–2000	2,0	1,6	1637	154588,6	509,0
2001–2010	1,5	1,3	2117	533069,4	1395,8
2011–2022	2,0	2,0	1830	429865,8	2528,5

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

тительности увеличивается по сравнению с каждым предыдущим периодом. В 1981–1990 гг. при росте средней температуры на +0,5°C весной и летом количество пожаров возросло в 4,3 раза, площадь пожаров – в 8,7 раза, площадь 1 пожара – в 11,3 раза по сравнению с предыдущим периодом.

Самыми проблемным был период 2001–2010 гг., при аномалии средней температуры весны на +1,5 °C и лета – на +1,3 °C, количество пожаров возросло в 5,5 раз, площадь пожаров – в 188,5 раз, площадь 1 пожара – в 113,3 раз по сравнению с 1971–1980 гг. (табл. 4).

Из приведённых данных заметно, что отклонение от нормы метеорологических условий (рост температуры и уменьшение относительной влажности) последних десятилетий имеют значимое влияние на пожарный сезон. Следовательно, метеорологические условия являются важнейшими составляющими в оценке и прогнозировании горимости лесов. Зафиксирован уровень экстремальной горимости растительности в 2002 г. (на землях лесного фонда 3,1%), что в 7,8 раз превыша-

ет уровень горимости за последние 22 года, согласно данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва.

Сезонность пожаров

Весенние пожары. Весной в 2010–2022 гг. относительная влажность воздуха составила $56,6 \pm 7,1\%$. Она уменьшилась в среднем на 5,5% по сравнению с 1977–1999 гг. Самая низкая относительная влажность воздуха в весеннее время наблюдалась в 2014 и 2015 гг. (50,8% и 52,1%, соответственно). Высокая аномалия температуры воздуха весной наблюдалась в 2020 и 2017 гг. (на 4 C° и 2,8 C°, соответственно).

Динамика пожаров растительности на территории республики такова, что за 2000–2022 гг. количество весенних пожаров возросло с 16 до 142 случаев. Площадь весенних гарей составила 34,2 % от общей площади пожаров, а лесных гарей – 25,8 %. В 2010–2022 гг. зафиксировано 640 весенних пожаров, при этом пройденная пожарами площадь составила 147 865,7 га, из них 70,5% – лесные пожары (3% – верховые пожары).

Таблица 4 / Table 4

Данные горимости на территории Республики / Data on the burn ability on the territory of the republic

Годы	Аномалия весенней температуры (апрель–май), °C	Аномалия относительной влажности (апрель–октябрь), %	Горимость на землях лесного фонда, %	Горимость лесов, %
2000–2005	1,1	8,0	0,4	0,7
2006–2010	0,6	10,	0,3	0,3
2011–2015	-0,2	14,3	0,4	0,4
2016–2020	1,1	12,1	0,1	0,4
2000–2022	0,6	11,0	0,3	0,4

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

Максимальное количество весенних пожаров (142) зарегистрировано в 2011 г. при увеличении средней температуры весны на 1,9 °С. В 2020 и 2013 гг. зарегистрированы наибольшие площади весенних пожаров – 39 239,6 и 36 459,9 га, соответственно. Минимальные площади пожаров наблюдалось в 2021, 2010 гг. – 333,2 и 819,5 га, соответственно. На основе результатов обработки официальных данных построена карта пространственного распределения пожаров на территории республики в 2000–2020 гг. (рис. 2).

Пожары в весеннее время в основном локализованы вблизи населённых пунктов и в той части республики, где улучшилась транспортная доступность, и поэтому человек стал активнее себя проявлять (табл. 6).

По вине населения в среднем возникают 68% растительных пожаров, 6,6% приходится на долю весенних пожаров, возникающих от сухих гроз. Основными признаками весенней засухи становятся высокая температура, повышенный приток солнечной радиации, дефицит осадков и уменьшение относительной влажности воздуха. Также быстрому распространению весенних пожаров способствуют характерные весенние ветры, когда порывы ветра достигают 14–32 м/с при высокой температуре воздуха. Все эти факторы приводят к увеличенному испарению с растительного покрова. Быстрый сход снега отмечается на склонах южной экспозиции, потому там преобладают весенние пожары.

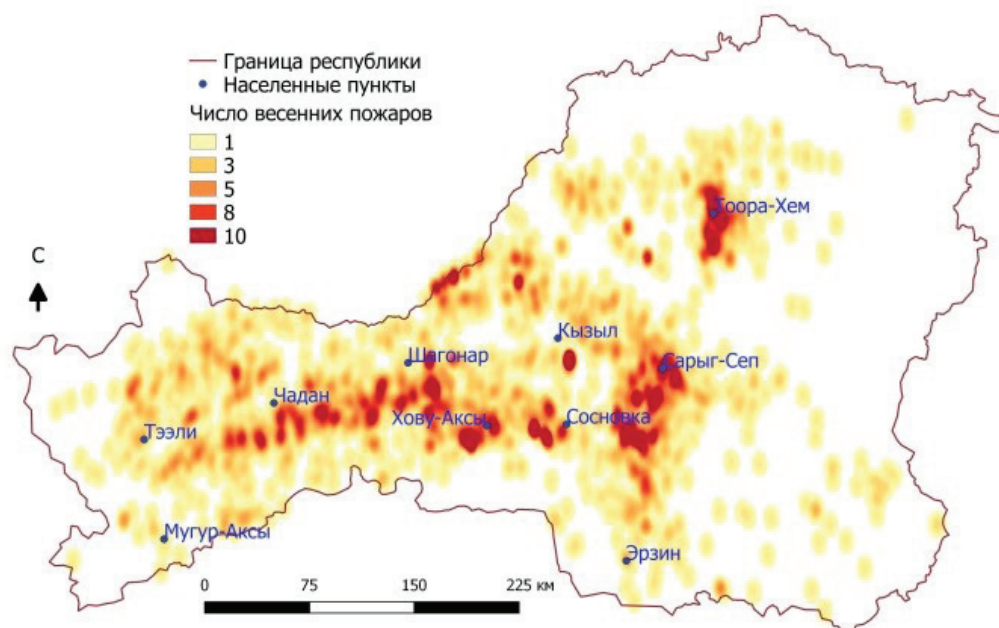


Рис. 2/ Fig. 2. Пространственное распределение весенних пожаров за период 2000–2020 гг. / Spatial distribution of spring fires for the period 2000–2020

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природных ресурсов Республики Тыва

Таблица 6/ Table 6

Причины возникновения весенних лесных пожаров / Causes for the occurrence of the spring wildfires

Годы	Причины возникновения, %		Аномалия температуры, °С	Относительная влажность, %
	Грозы	Местное население		
2010	5,4	67,6	0,9	57,0
2011	0,0	99,3	1,4	56,9
2012	0,0	100,0	2,2	60,6
2013	4,0	100,0	0,1	55,4
2014	0,0	22,0	1,9	50,8
2015	1,3	82,9	1,3	52,1
2016	2,4	82,9	1,9	58,4
2017	5,1	87,2	2,3	53,6
2018	0,0	40,7	1,8	55,5
2019	0,0	82,4	2,8	53,9
2020	39,6	64,6	1,3	59,4
2021	0,0	56,3	4,0	65,8
2022	4	23,4	1,3	–

Примечание: норма весенней относительной влажности воздуха – 53,7%

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

Весенние пожары возникают и распространяются в момент распускания почек деревьев, когда почки хорошо засмолены, что способствует быстрому развитию лесных пожаров.

Летние пожары. В 2010–2022 гг. аномалия летней температуры за исследуемый период составила $+1,5 \pm 0,5$ °С. Относительная влажность воздуха составила $63,7 \pm 1,8$ %, увеличилась на 0,3% по сравнению с 1979–1999 гг.

Динамика летних пожаров на территории республики такова, что за 2010–2022 гг. их количество возросло с 8 до 244. За летнее время исследуемого периода на территории Тывы был зарегистрирован 881 пожар, а огнём пройдено 248 393,3 га. В среднем за лето регистрировалось 68 пожаров, при этом в год выгорало 20 699 га.

В период 2010–2022 гг. в среднем за год зафиксировано 68 летних пожаров, при этом площадь, пройденная пожарами, составляет в среднем 19 107,2 га, из них 15 712 га (82,2%) – лесные пожары. В том числе площадь, пройденная верховыми пожарами, составляет 7,3% и низовыми устойчивыми пожарами средней интенсивности – 70%. Пожарный максимум отмечен в 2015 г. с наибольшей площадью пожаров 106 733,9 га, пройденной лесными пожарами – 78 805,3 га. Весной 2015 г. наблюдалась аномалия температуры воздуха – $+2,3$ °С к максимальному значению и низкая относительная влажность воздуха 52,1% (при норме в летнее время – 62,6%).

Анализ пожаров показывает, что площади летних пожаров меньше по сравнению с весенними пожарами.

Также на лето приходится 46,2% от числа возникающих пожаров, 57,5% – по площади, и 51,5% – лесных гарей. Основные причины возникновения летних пожаров представлены в таблице 7.

Из приведённых данных следует, что основные причины, определяющие пожароопасную обстановку, – антропогенные и природные (грозы).

В среднем, в 61,6% случаев причиной возникновения летних пожаров послужили сухие грозы (высокая степень пожарной опасности). Грозовой активностью отличился 2020 г., и причинами 92,3% летних пожаров этого года были грозы.

По вине населения в 2010–2022 гг. в среднем возникло 27,2% пожаров. В 2012 г. преобладающей причиной лес-

ных пожаров являлось неосторожное обращение с огнём населения, посещавшего лес (т. е. в этом году на долю антропогенных пожаров пришлось 92% от общего количества летних пожаров).

Площадь летних пожаров зависит от относительной влажности воздуха. В июле относительная влажность уменьшилась на 0,7%. Максимальные значения площади, пройденных огнём, территорий отмечены в 2015 г., когда летом наблюдалась максимальная аномалия температуры воздуха при снижении относительной влажности воздуха в 2013–2015 гг.

Количество летних пожаров за период 2010–2022 гг. коррелирует с температурой летнего периода ($r = 0,74$), площадь пожаров отрицательно кор-

Таблица 7 / Table 7

Причины возникновения летних лесных пожаров / Causes for the occurrence of the summer wildfires

Годы	Причины возникновения, %		Аномалия температуры, °С	Относительная влажность, %
	Грозы	Местное население		
2010	76,7	20	1,3	62,9
2011	53,8	46,2	1,5	65
2012	28,6	66,1	1,6	64
2013	42,5	47,5	1	61,6
2014	75,6	20,5	1,5	61,6
2015	57	34,4	2,6	61,7
2016	30,8	0	1,3	68,4
2017	78,9	17,8	2,1	64,6
2018	80,3	16,9	2	63,5
2019	25	37,5	1,3	62,2
2020	92,3	15,4	0,9	66
2021	80	13,3	1,4	66,6
2022	79,1	17,4	—	—

Примечание: норма летней относительной влажности 62,6%.

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

релирует с относительной влажностью воздуха ($r = -0,49$). Причиной около 30% пожаров стали сухие грозы.

Анализ времени возникновения пожаров растительности показывает разные интервалы времени суток. В результате сформированы 3 временных кластера. К первому кластеру отнесены пожары с 06:00 до 12:00 (18,3 %), ко второму – с 12:00 до 18:00 (с наибольшим числом пожаров – 65,8%), к третьему кластеру – с 18:00 до 21:00 (15,9%). Условия, наиболее провоцирующие возникновение пожаров, складываются с 12:00 до 18:00 – при максимальной температуре (+37–47 °С) и низкой относительной влажности воздуха (40–15%). В связи с этими факторами количество возгораний достигает 15 случаев в сутки.

На основе результатов обработки данных построена карта пространственного распределения площадей, пройденных огнём, в летний период (июнь–август) на территории республики за 2010–2020 гг. (рис. 3). На рисунке видно, что летние пожары (с 12:00 до 18:00) в основном сосредоточены возле населённых пунктов и на доступной в транспортном отношении части Республики.

Результаты кластерного анализа суточного распределения пожаров показывают, что ~70 % пожаров возникают и быстрее распространяются во второй половине дня. В летнее время преобладают устойчивые низовые пожары и развиваются в лиственных и смешанных лесах. При сильной засухе не только в разнотравных, но

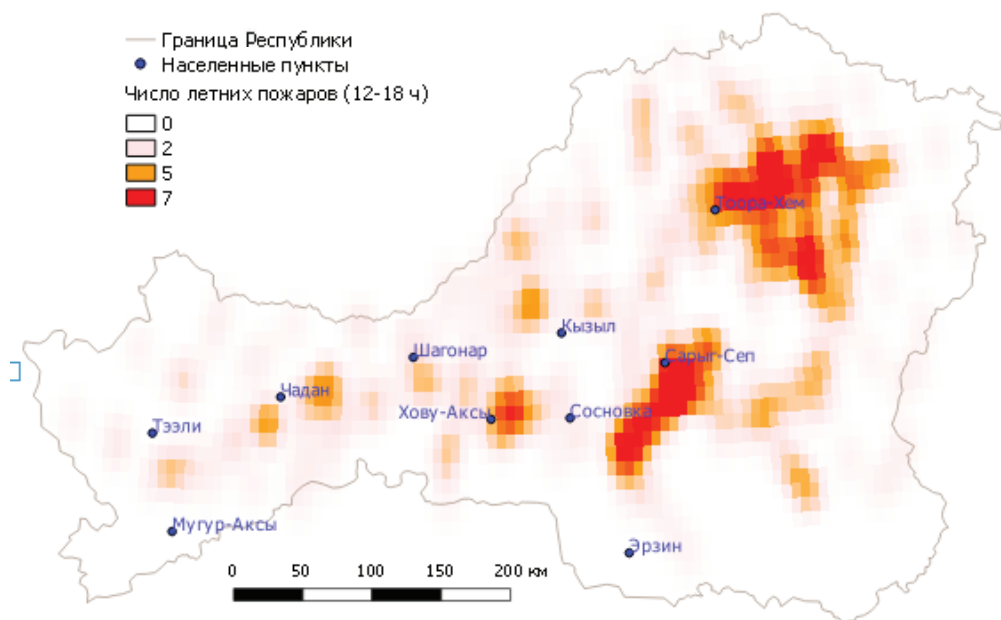


Рис. 3 / Fig. 3. Пространственное распределение летних пожаров (12:00–18:00) в 2000–2020 гг. / Spatial distribution of summer fires (12:00–18:00) in 2000–2020.

Источник: составлено автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

разнотравно-зеленомошных и зелено-мошных лесах пожары проникают в подстилку и переходят в устойчивую форму.

В восточной части республики 40% зарегистрированных пожаров произошли на территории Тоджинского и Каа-Хемского лесничеств, 20% – в лесничествах центральной части. Большинство из них пришлось на леса. Площадь лесных гарей составила 97% от общей площади пожаров, и 16% относится к верховым.

Осенние пожары. Осенний пожароопасный сезон также отличается сухой и ясной погодой. Осенью выпадают 30–40 мм осадков. В период 2010–2022 гг. аномалия осенней температуры за исследуемый период составила $4,0 \pm 0,6$ °C. Относительная влажность

воздуха – $69,4 \pm 4,2\%$ и увеличилась на 3% по сравнению с 1979–1999 гг.

За период 2010–2022 гг. зафиксированы 306 пожаров растительности (количество возросло с 1 до 102 в 2014 г.) (табл. 8). Площадь, пройденная пожарами, составляет 41 650,5 га, из них 24 492,3 га (58,8%) – лесные пожары. В среднем за осень регистрировалось 35 пожаров, при этом в среднем в год выгорало 3 471 га.

На осень приходится 16,1% от всех возникающих пожаров, 5,7% пожаров по площади распространения – за весь пожароопасный сезон, а площадь лесных гарей за осеннее время – 10,5%. Площадь, пройденная верховыми пожарами, составляет 4% и низовыми устойчивыми пожарами средней интенсивности – ~60%.

Таблица 8/ Table 8

Причины возникновения осенних пожаров / Causes for the occurrence of the autumn wildfires

Годы	Причины возникновения, %		Аномалия температуры, °C	Относительная влажность, %
	Грозы	Местное население		
2010	40,0	20,0	1,1	67,5
2011	0,0	100	1,9	65,7
2012	25,5	72,3	2,0	70,6
2013	0,0	50,0	2,1	62,4
2014	87,1	4,0	1,7	63,9
2015	82,4	11,8	1,2	65,6
2016	40,0	50,0	2,7	71,1
2017	42,9	28,6	1,8	75,0
2018	0,0	0,0	2,2	74,0
2019	0,0	0,0	0,5	73,8
2020	50,0	50,0	1,5	71,7
2021	0,0	0,0	1,1	71,8
2022	81	12,7	—	—

Примечание: норма осенней относительной влажности 66,1%.

Источник: составлена автором по данным Министерства лесного хозяйства и природопользования Республики Тыва

Из приведённой таблицы видно, что в годы с большей аномалией температуры воздуха и при относительной влажности воздуха ниже нормы преобладают пожары от сухих гроз.

По вине населения возникают 30,7% зафиксированных пожаров. Особенно это заметно в годы, когда относительная влажность превышает климатическую норму (норма осенней относительной влажности – 66,1%). Например, в 2016 г. 50% осенних пожаров возникли по вине населения, когда относительная влажность была выше нормы на 4,4%.

На долю осенних пожаров от естественных причин приходится 34,5% пожаров. Площадь осенних пожаров за период 2010–2022 гг. отрицательно коррелирует с относительной влажностью воздуха ($r = -0,39$).

Заключение

Потепление климата на территории Республики отчётливо выражается в росте среднегодовой температуры воздуха на $1,6 \pm 0,6$ °C. Во время исследуемого периода с 2000 по 2022 гг. аномалия весенней температуры составила +1,9 °C, отмечено уменьшение относительной влажности на 5,5% и рост

количества пожаров с 16 до 142 случаев. Пройденная пожарами площадь составила 147 865,7 га. При росте летней температуры на 1,5 °C количество пожаров возросло с 8 до 244 случаев. Пройденная пожарами площадь составила 248 393,3 га. При росте осенней температуры на 4,0 °C количество пожаров возросло с 1 до 102 случаев. Пройденная площадь пожарами составила 41 650,5 га, из них 24 492,3 га (58,8%) – лесные пожары. В среднем весной выгорало 12 322 га, летом – 20 699 га, осенью – 3 471 га.

Данные о фактической горимости растительности показывают, что причиной возникновения пожаров в большинстве случаев является человеческий фактор (при сборе даров природы не соблюдались правила обращения с огнём), а разгораются они в связи с установившимися аномальными погодно-климатическими условиями.

Таким образом, проведённый анализ статистических данных за 2000–2022 гг. Республики Тыва показывает тенденцию к росту количества и площади пожаров. Наиболее пожароопасный сезон – весна. Динамика площади пожаров характеризуется стабильным увеличением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волокитина А. В., Софронов М. А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 324 с.
2. Иванов Н.Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара. М.: Л., 1948. 224 с.
3. Куулар Х. Б. Потепление климата в Республике Тыва по данным наземных исследований // Природные ресурсы, среда и общество. 2021. № 1. С. 62–67.
4. Макунина Н. И. Растительность лесостепи Западно-Сибирской равнины и Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Гео, 2016. 183 с.
5. Пономарёв Е. И., Харук В. И. Горимость лесов Алтае-Саянского региона в условиях наблюдаемых изменений климата // Сибирский экологический журнал. 2016. № 1. С. 38–46. DOI: 10.15372/SEJ20160104
6. Типы лесов гор Южной Сибири / под ред. В. Н. Смагина, С. А. Ильинской, Д. И. Назимовой и др. Новосибирск: Наука, 1980. 336 с.

7. Швецов Е. Г. Исследование влияния мощности теплоизлучения лесных пожаров на степень повреждения лесов на территории юга средней Сибири по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 136–146. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-136-146
8. Шешуков М. А., Позднякова В. В. Лесопожарное районирование территории лесного фонда Республики Тыва. Хабаровск: ФБУ «ДальНИИЛХ», 2012. 61 с.
9. Climate warming impacts on distributions of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed zones and seed mass across Russia in the 21st century / E. I. Parfenova, N. M. Tchepakova, N. A. Kuzmina, S. R. Kuzmin // Forests. 2021. Vol. 12. № 8. DOI: 10.3390/f12081097
10. Climate variability may delay post-fire recovery of boreal forest in Southern Siberia, Russia / Q. Sun, R. Baxter, A. Burrell, K. Barrett, J. Kaduk, E. Kukavskaya, L. Buryak et al. // Remote Sensing. 2021. Vol. 13. № 12. DOI:10.3390/rs13122247
11. Current Trend of Carbon Emissions from Wildfires in Siberia / E. Ponomarev, N. Yakimov, T. Ponomareva, O. Yakubailik, S. G. Conard // Atmosphere. 2021. № 12. DOI: 10.3390/atmos12050559
12. Fire-induced changes in soil and vegetation in the forest-tundra of Western Siberia / O. Sizov, L. Brodt, A. Soromotin, N. Prikhodko, R. Heim // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 223. DOI: 10.1051/e3sconf/202022303001
13. Medvedkov A., Vysotskaya A., Olchev A. Detection of geocryological conditions in boreal landscapes of the southern cryolithozone using thermal infrared remote sensing data: a case study of the northern part of the Yenisei Ridge // Remote Sensing. 2023. Vol. 15. № 2. Art. 291. DOI: 10.3390/rs15020291
14. Patterns of mega-forest fires in east Siberia will become less predictable with climate warming / M. Natole, Y. Ying, M. Stessin, A. Buyantuev, A. Lapenis, V. Buyantuev // Environmental Advances. 2021. Vol. 4. P. 100041.
15. Phenological shifts compensate warming-induced drought stress in southern siberian scots pines / A. Arzac, I. Tychkov, A. Rubtsov, M. A. Tabakova, R. Brezhnev, N. Koshurnikova, A. Knorre et al. // European Journal of Forest Research. 2021. Vol. 140. № 6. P. 1487–1498.
16. Shvidenko A. Z., Schepaschenko D. G. Climate Change and Wildfires in Russia // Contemporary Problems of Ecology. 2013. № 6. P. 50–61.
17. Spatial classification of moisture-sensitive pine and larch tree-ring chronologies within Khakass-Minusinsk depression South Siberia Trees / L. V. Belokopytova D. F. Zhirnova, E. A. Babushkina, D. M. Meko, E. A. Vaganov // Structure and Function. 2021. Vol. 35. № 6. P. 2133–2139.

REFERENCES

1. Volokitina A. V., Sofronov M. A. *Klassifikatsiya i kartografirovaniye rastitel'nykh goryuchikh materialov* [Classification and mapping of plant combustible materials]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 2002. 324 p.
2. Ivanov N. N. *Landshaftno-klimaticheskaya zona zemnogo shara* [Landscape and climatic zones of the globe]. Moscow, Leningrad, 1948. 224 p.
3. Kuular H. B. [Climate warming in the Republic of Tyva according to ground-based research]. In: *Prirodnyye resursy, okruzhayushchaya sreda i obshchestvo* [Natural resources, environment and society], 2021, no. 1, pp. 62–67.
4. Makunina N. I. *Rastitelnost lesostepi Zapadno-Sibirskoy oblasti i Altaye-Sayanskoy gornoj oblasti* [Vegetation of the forest-steppe of the West Siberian Plain and the Altai-Sayan mountain region]. Novosibirsk, Geo Publ., 2016. 183 p.
5. Ponomarev E. I., Kharuk V. I. [Burnability of forests of the Altai-Sayan region in the conditions of observed climate changes]. In: *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Siberian Ecological Journal], 2016, no. 1, pp. 38–46. DOI: 10.15372/SEJ20160104

6. Smagina V. N., Ilyinskaya S. A., Nazimova D. I. et al, eds. *Tipy лесов гор Yuzhnoy Sibiri* [Types of forests in the mountains of Southern Siberia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1980. 336 p.
7. Shvetsov E. G. [Study of the influence of the power of heat radiation from forest fires on the degree of damage to forests in the south of central Siberia using satellite data]. In: *Sovremennyye problemy rentgenovskogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2022, vol. 19, no. 5, pp. 136–146. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-5-136-146
8. Sheshukov M. A., Pozdnyakova V. V. *Lesopozharnoye rayonirovaniye territorii lesnogo fonda Respubliki Tyva* [Forest fire zoning of the territory of the forest fund of the Republic of Tyva]. Khabarovsk, FBU “DalNIILH” Publ., 2012. 61 p.
9. Parfenova E. I., Tchebakova N. M., Kuzmina N. A., Kuzmin S. R. Climate warming impacts on distributions of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed zones and seed mass across Russia in the 21st century. In: *Forests*, 2021, vol. 12, no. 8. DOI: 10.3390/f12081097
10. Sun Q., Baxter R., Burrell A., Barrett K., Kaduk J., Kukavskaya E., Buryak L. et al. Climate variability may delay post-fire recovery of boreal forest in Southern Siberia, Russia. In: *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no 12. DOI:10.3390/rs13122247
11. Ponomarev E., Yakimov N., Ponomareva T., Yakubailik O., Conard S. G. Current Trend of Carbon Emissions from Wildfires in Siberia. In: *Atmosphere*, 2021, no. 12. DOI: 10.3390/atmos12050559
12. Sizov O., Brodt L., Soromotin A., Prikhodko N., Heim R. Fire-induced changes in soil and vegetation in the forest-tundra of Western Siberia. In: *E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 223. DOI:10.1051/e3sconf/202022303001
13. Medvedkov A., Vysotskaya A., Olchev A. Detection of geocryological conditions in boreal landscapes of the southern cryolithozone using thermal infrared remote sensing data: a case study of the northern part of the Yenisei Ridge. In: *Remote Sensing*, 2023, vol. 15, no. 2, Art. 291. DOI:10.3390/rs15020291
14. Natole M., Ying Y., Stessin M., Buyantuev A., Lapenis A., Buyantuev V. Patterns of megafire forest fires in east Siberia will become less predictable with climate warming. In: *Environmental Advances*, 2021, vol. 4, p. 100041.
15. Arzac A., Tychkov I., Rubtsov A., Tabakova M. A., Brezhnev R., Koshurnikova N., Knorre A. et al. Phenological shifts compensate warming-induced drought stress in southern siberian scots pines. In: *European Journal of Forest Research*, 2021, vol. 140, no. 6, pp. 1487–1498.
16. Shvidenko A. Z., Schepaschenko D. G. Climate Change and Wildfires in Russia. In: *Contemporary Problems of Ecology*, 2013, no. 6, pp. 50–61.
17. Belokopytova L. V., Zhirnova D. F., Babushkina E. A., Meko D. M., Vaganov E. A. Spatial classification of moisture-sensitive pine and larch tree-ring chronologies within Khakass-Minusinsk depression South Siberia Trees. In: *Structure and Function*, 2021, vol. 35, no. 6, pp. 2133–2139.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Куулар Хулермаа Болат-ооловна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоинформатики и моделирования процессов Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов Сибирского отделения Российской академии наук;
e-mail: k-k-188@list.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Khulermaa B. Kuular – PhD (Biology), Leading Researcher, Laboratory of Geoinformatics and Process Modeling, Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources, Russian Academy of Sciences (Siberian Branch);
e-mail: k-k-188@list.ru

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Куулар Х. Б. Горимость растительности на землях лесного фонда Республики Тыва в условиях изменяющегося климата // Географическая среда и живые системы. 2024. № 1. С. 70–85.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-70-85

FOR CITATION

Kuular Kh. B. Fire danger of the vegetation on the lands of the forest fund of the Tyva Republic in a changing climate. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2024, no. 1, pp. 70–85.

DOI: 10.18384/2712-7621-2024-1-70-85