

Оригинальная статья

Влияние климатических условий на лесные пожары в Центральной Якутии

М. И. Петров✉, А. Н. Федоров

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация
✉ pitrofv@yandex.ru

Аннотация

Проведен анализ данных по лесным пожарам и климатическим условиям в Центральной Якутии за период 2000–2020 гг. Целью исследования является определение роли климатических условий в образовании лесных пожаров активность которых в районе исследований в последние годы сильно повысилась. Лесные пожары могут привести к коренному преобразованию мерзлотных ландшафтов, их деградации. Площади ежегодно образующихся гарей заметно увеличились с 2000-х гг. В 2002 и 2011 гг. лесными пожарами были охвачены территории площадью более чем 1000000 га. Данная тенденция связана с климатическими изменениями. Так, в г. Якутск средняя годовая температура воздуха с 2000 по 2020 г. повысилась примерно на 2 °С. Вместе с тем в последние 20 лет наблюдается понижение суммы летних осадков. От температуры воздуха и количества осадков пожароопасного сезона зависит накопление под пологом лесов сухого горючего материала, т. е. будут ли созданы благоприятные условия для возникновения и распространения лесных пожаров на большие площади. Высокая пожарная активность образуется при очень высоких температурах воздуха, однако решающая преобладающая роль в этом принадлежит осадкам, вернее, их дефициту.

Ключевые слова: пожарная активность, пожароопасный сезон, температура воздуха, сумма осадков, количество пожаров, площадь гарей

Финансирование. Работа выполнена по государственному заданию ИМЗ СО РАН. Финансирующая организация: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Для цитирования: Петров М.И., Федоров А.Н. Влияние климатических условий на лесные пожары в Центральной Якутии. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2023;28(2):248–260. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-248-260>

Original article

Influence of climatic conditions on forest fires in Central Yakutia

M. I. Petrov✉, A. N. Fedorov

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation
✉ pitrofv@yandex.ru

Abstract

The activity of forest fires has greatly increased in recent years in Central Yakutia. This can lead to the radical transformation of permafrost landscapes and their degradation. This study aimed to determine the effects of climatic conditions on forest fire activity in this area. We analyzed data on air temperature and rainfall during the fire season from 2000 to 2020. The total annual burned areas have noticeably increased since the 2000s. Forest fires covered an area of more than a million hectares in 2002 and 2011. This trend was associated with climate change. The mean annual air temperature in Yakutsk increased by approximately 2 °C from 2000 to 2020, while the summer precipitation decreased. Both air temperature and the amount of precipitation during the fire season affect the accumulation of dry combustible material under the forest canopy, which determines whether favorable conditions are created for the spread of forest fires over large areas. We showed which climatic conditions are typical for periods of high and low fire activity. We analyzed the climatic conditions of certain years with the maximum and minimum burnt areas. Fire activity in the study area depends on the climatic conditions at the beginning of the fire season. High fire activity oc-

curs at very high air temperatures; however, the predominant role is the deficiency of precipitation. The study of the dependence of forest fire activity on climatic conditions is important for estimating the consequences caused by climate change in permafrost landscapes.

Keywords: fire activity, fire season, air temperature, amount of precipitation, number of fires, burnt areas

Funding. This study was carried out within the framework of the state assignment to the MPI SB RAS and financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

For citation: Petrov M.I., Fedorov A.N. Influence of climatic conditions on forest fires in Central Yakutia. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2023;28(2):248–260. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-2-248-260>

Введение

Повышение активности лесных пожаров в последнее двадцатилетие наблюдается по всей бореальной зоне планеты, и данное явление привлекает внимание исследователей по всему миру [1–5]. Например, в работе А. Соджа и др. 2007 г. [5] приводятся сведения о том, что в Сибири средняя площадь ежегодных гарей в 1990-х гг. была примерно на 29 % больше, чем в 1980-е гг., и на 19 % больше, чем средний многолетний показатель за 47 лет.

Наша цель заключается в определении роли климатических условий в образовании лесных пожаров в районе исследования. Работа имеет большое значение для оценки влияния лесных пожаров как наиболее распространенного в районе исследования вида нарушения на мерзлотные ландшафты. Исследование зависимости активности лесных пожаров от климатических условий также является важным для оценки последствий, вызываемых в мерзлотных ландшафтах изменением климата.

Лесные пожары подразделяются на низовые и верховые. Наибольший урон ландшафту наносят верховые пожары. Они приводят к массовой гибели древостоя. В районах вечной мерзлоты такое нарушение может вызвать кардинальное изменение ландшафта. Низовые пожары подразделяют по степени интенсивности, зависящей, при равных климатических условиях, от количества и состава напочвенных горючих материалов, таких как подстилка, опад и травяно-кустарниковый ярус. По условиям и характеристикам горения выделяются два вида низовых пожаров: со слабой и средней интенсивностью [6] или с малой и средней интенсивностью огня по кромке [7].

Пожары в лесах таежной зоны являются одним из основных ландшафто- и средообразующих факторов. Их влияние не ограничивается только поверхностными условиями, а существенно затрагивает динамику криогенных процессов. Лесные пожары влияют на мерзлые грунты опосредованно путем уничтожения напочвенного и

растительного покровов, которые служат защитным слоем от нарушений, приводящих к деградации вечной мерзлоты. В результате уничтожения теплоизолирующего слоя между приземным слоем атмосферы и грунтами в мерзлотных ландшафтах увеличивается глубина сезонно-талого слоя, что может привести к началу протаивания подземных льдов – термокарсту. Данный процесс может сильно изменить ландшафтный облик территории [8].

В свою очередь, мерзлые грунты служат для растительности одним из источников водного питания в условиях чрезвычайно засушливого климата Центральной Якутии и являются необходимым условием существования лесной растительности в этом регионе [9].

Вблизи г. Якутск территория представляет собой мозаику из различных стадий сукцессии после пожаров и вырубок разных лет давности. Во время летних сезонов 2001 и 2002 гг. с феноменальной пожарной активностью большая часть территории вблизи г. Якутск, покрытой лесом, подверглась пожарам. Основными причинами возникновения лесных пожаров в Центральной Якутии исследователи считают как естественную грозовую активность, так и человеческую деятельность [10]. На рассматриваемой территории, составляющей 3,7 % площади всей Республики Саха (Якутия), проживает 31 % ее населения. Здесь находится свыше 50 % сельскохозяйственных угодий республики [11].

По данным информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз), в 2000–2020 гг. в Центральной Якутии наблюдается высокая пожарная активность (см. ниже рис. 3). Это может быть связано с изменением современного климата в регионе.

В динамике средней годовой температуры воздуха в г. Якутск за 2000–2020 гг. можно выделить два периода повышения (рис. 1). По сравнению с 2000–2006 гг. температура воздуха в

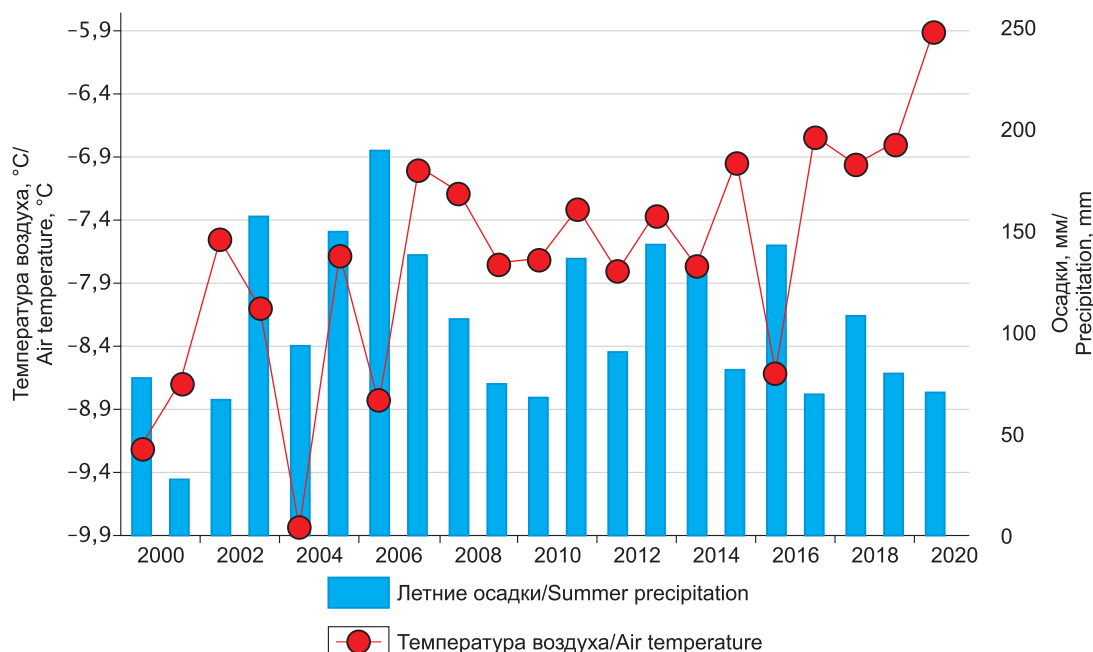


Рис. 1. Изменение средней годовой температуры воздуха и количества летних осадков в г. Якутск за период исследования

Fig. 1. Changes in the mean annual air temperature and summer precipitation in Yakutsk over the study period

2007–2016 гг. в среднем повысилась на 1 °С, в 2017–2020 гг. еще на 1 °С. Таким образом, в г. Якутск средняя годовая температура воздуха с 2000 по 2020 г. повысилась примерно на 2 °С.

Межгодовая динамика количества осадков в летние месяцы имеет циклический характер (см. рис. 1). В течение первого десятилетия количество летних осадков изменяется с большой амплитудой, а во второй половине периода исследования варьирует в относительно небольших пределах.

Долгосрочное изменение средней месячной температуры воздуха в летние месяцы по данным метеостанции Якутск показывает повышение в июне и августе в среднем на 1,5 °С (рис. 2).

Материалы и методы

Данные по лесным пожарам и метеоданные

Температура воздуха и количество осадков за пожароопасный сезон (май–сентябрь) напрямую влияют на пожарную активность. Это факторы, воздействие которых на возникновение и распространение пожаров проявляется через небольшое время. Как высокая температура воздуха, так и отсутствие осадков или их малое количество приводят к накоплению под пологом леса массы сухого горючего материала, который вы-

ступает проводником и катализатором горения, тем самым многократно увеличивая вероятность возникновения пожаров и распространения их на большие площади [12]. В периоды без осадков также не происходит самогашения уже существующих пожаров. Анализ этих климатических данных вкупе с данными по пожарной активности за многолетний период может прояснить природу сезонной и межгодовой динамики активности лесных пожаров.

В данной работе мы рассматривали среднюю месячную температуру воздуха и сумму месячных осадков пожароопасного сезона (май–сентябрь) с 2000 по 2020 г. Использована база данных NOAA (www.ncdc.noaa.gov/ghcnm).

Мы находили средние значения обоих параметров за рассматриваемые диапазоны лет, чтобы определить изменение метеоусловий между периодами с разной пожарной (табл. 1). В табл. 1 в строках сгруппированы года с низкой и высокой пожарной активностью согласно рис. 3. По этим годам представлены средние многолетние количество и площадь пожаров, а также для всего рассматриваемого диапазона лет. По тем же периодам в табл. 1 представлены средние многолетние за 20 лет количество осадков и температура воздуха по месяцам пожароопасного се-

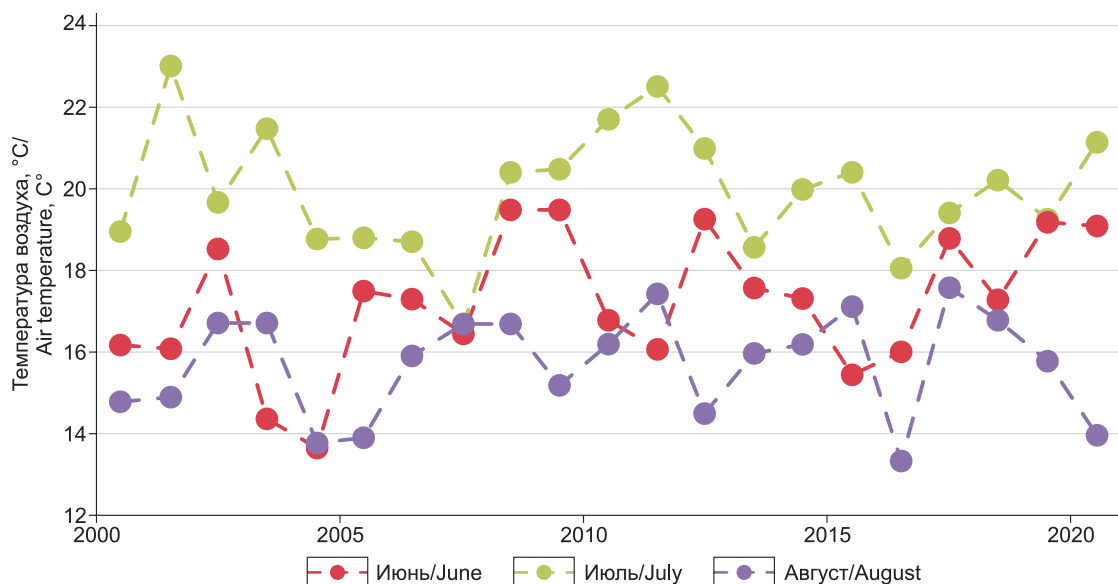


Рис. 2. Изменчивость средней месячной температуры воздуха в летние месяцы в г. Якутск за период исследования

Fig. 2. Variability of the mean monthly air temperature in the summer months in Yakutsk over the study period

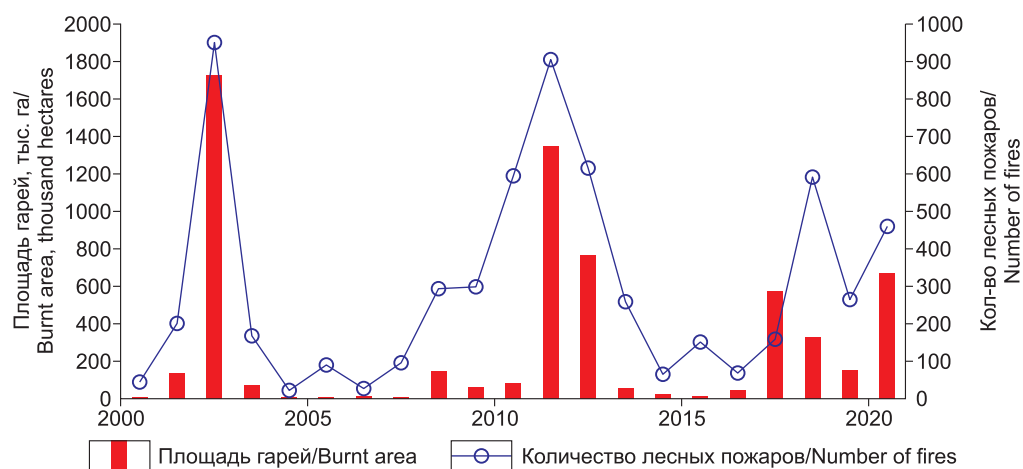


Рис. 3. Динамика лесных пожаров в Центральной Якутии (2000–2020 гг.)

Fig. 3. Dynamics of forest fires in Central Yakutia (2000–2020)

зона (май–сентябрь). Мы сравнили данные периодов с разной пожарной активностью и разница показателей пожарной активности и метеословий между этими периодами представлены в нижней строке табл. 1.

Кроме того, мы изучали метеословия определенных лет, с высокой и низкой пожарной активностью, и сопоставляли их со среднелетними значениями за весь период исследования (табл. 2 и 3). В рассматриваемом периоде были выделены по пять сезонов с наибольшими и наименьшими площадями гарей.

Данные по пожарной активности с 2000 по 2020 г. мы взяли из информационной системы дистанционного мониторинга Рослесхоза (ИСДМ-Рослесхоз), которая следит за пожарной обстановкой по всей России с помощью спутниковых снимков. Кроме того, мы используем для сравнения результаты нашей работы 2010 г., в которой был проанализирован период 1955–2009 гг. по данным наземного и авиамониторинга Департамента по лесным отношениям Республики Саха (Якутия) [13]. Количество и площади пожаров в гектарах в базах данных представля-



Рис. 4. Административная карта Центральной Якутии

Fig. 4. Administrative map of Central Yakutia

ются по лесничествам. Мы отобрали данные по лесничествам, контролирующим территорию восьми улусов в Центральной Якутии (рис. 4) и г. Якутск, и взяли суммарные значения.

Годы с высокой и низкой пожарной активностью мы выбрали исходя из площади, охваченной лесными пожарами. В данной работе мы придавали больше значения площади гарей, чем количеству лесных пожаров, так как именно площадь выгоревшей территории отражает величину нарушения, производимого лесными пожарами. Тем не менее, количество лесных пожаров тоже рассматривается в данной работе как неотъемлемая часть характеристики изучаемого явления.

Данные космического мониторинга намного превышают данные наземного и авиационного мониторинга, особенно по площади пожаров. Если сравнить данные из двух разных источников за 2000–2009 гг., то можно увидеть, что по годам с большими площадями пожаров (от нескольких десятков тысяч гектаров и больше) корреляция хорошая, за исключением 2002 г. Этот год по пожарной активности выходит из

ряда по обоим источникам, данные между ними различаются в разы. Площадь пожаров согласно ИСДМ-Рослесхоз больше таковой по данным департамента более чем в 5 раз. Есть разница между данными по 2001 г., который также был с высокой пожарной активностью. По годам с небольшими площадями пожаров (от нескольких тысяч гектаров и меньше) различие между данными из разных источников большое. Площадей пожаров согласно ИСДМ-Рослесхоз намного больше. По количеству пожаров корреляция в целом хорошая (сопоставимые данные), разница между данными из двух разных источников составляет в среднем несколько десятков случаев возгораний.

Район исследования

Район исследования в региональном плане относится к Лено-Амгинской аласной провинции Средней Сибири [14], которая отличается развитием бореальных среднетаежных, преимущественно лиственных лесов и аласного рельефа.

Таблица 1

Лесные пожары и климатические условия (2000–2020 гг.)

Table 1

Forest fires and climatic conditions (2000–2020)

Период/ Period	Кол-во лесных пожаров/ Number of fires	Площадь гарей, га/ Burnt area, ha	Осадки*, мм/ Precipitation, mm					Температура воздуха*, °C/ Air temperature, °C				
			Месяцы/Months									
			5	6	7	8	9	5	6	7	8	9
2000–2020	300	295716	21	24	41	41	27	8	17	20	16	7
2004–2007, 2013–2016 гг. с низкой пожарной активностью/ Low fire activity	97	19649	23	31	52	52	26	8	16	19	15	7
2000–2003, 2008–2012 и 2017–2020 с высокой пожарной активностью/ High fire activity	425	465604	19	19	34	34	28	8	18	21	16	6
Разница между годами с высокой и низкой пожарной активностью/ Difference between years of high and low fire activity	328	445955	–4	–12	–18	–18	2	0	2	2	1	–1

* Среднемноголетние значения.

* Average long-term values.

Таблица 2

Сезоны с высокой активностью лесных пожаров

Table 2

Seasons with high forest fire activity

Номер сезона/ Seasons number	Годы/ Years	Кол-во лесных пожаров/ Number of fires	Площадь гарей, га/ Burnt area, ha	Осадки*, мм/ Precipitation, mm					Температура воздуха*, °C/ Air temperature, °C				
				Месяцы/Months									
				5	6	7	8	9	5	6	7	8	9
1	2002	949	1730463	−14	−18	4	−25	−12	0	2	0	1	0
2	2011	902	1348448	−15	1	−1	31	−7	2	−1	3	1	−3
3	2012	616	758297	−11	−4	−21	10	−6	2	2	1	−2	1
4	2020	459	667715	−9	4	−7	−32	−21	1	2	1	−2	2
5	2017	158	573859	−7	−2	−19	−15	40	−1	2	−1	2	1
Средние отклонения/Average deviations				−11	−4	−9	−6	−1	1	1	1	0	0
2000–2020		300	295716	21	24	41	41	27	8	17	20	16	7

* Отклонения от среднемноголетних значений.

* Deviations from average long-term values.

В Центральной Якутии средняя годовая температура воздуха составляет –10,3 °C при средней многолетней температуре самого холодного месяца –43...–45 °C и самого теплого месяца 18–19 °C. Продолжительность теплого периода (выше 0 °C) составляет около 140 дней. Осадков

выпадает 200–220 мм, из них на теплый период (май–сентябрь) приходится 70–75 % годовой суммы [15].

В геоморфологическом отношении район исследования представляет собой эрозионно-аккумулятивную равнину с абсолютными высотами

Сезоны с низкой активностью лесных пожаров

Table 3

Seasons with low forest fire activity

Номер сезона/ Seasons number	Годы/ Years	Кол-во лесных пожаров/ Number of fires	Площадь гарей, га/ Burnt area, ha	Осадки*, мм/ Precipitation, mm					Температура воздуха*, °C/ Air temperature, °C				
				Месяцы /Months									
				5	6	7	8	9	5	6	7	8	9
16	2015	151	11336	9	26	−26	−24	−14	−1	−2	0	1	−1
17	2005	91	8426	14	−14	28	30	−13	1	1	−1	−2	2
18	2007	93	5244	1	15	22	−4	3	1	−1	−3	1	0
19	2000	43	3883	6	14	−12	−30	−6	0	−1	−1	−1	−2
20	2004	21	1770	−6	−2	−11	1	−8	−2	−3	−1	−2	0
Средние отклонения/Average deviations				5	8	0	−5	−8	0	−1	−1	−1	0
2000–2020		300	295716	21	24	41	41	27	8	17	20	16	7

* Отклонения от среднеемноголетних значений.

* Deviations from average long-term values.

200–220 м. Наиболее распространенными типами поверхностных отложений являются аллювий высоких террас р. Лена, комплекс склоновых образований, современные осадки временных водотоков и ручьев и высокольдистые отложения верхнеплейстоценового возраста, так называемый ледовый комплекс [16].

Рассматриваемая территория находится в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород с фоновыми значениями средних годовых температур $-1,5 \dots -3$ °C [17].

При изучении влияния лесных пожаров большое значение имеют такие характеристики леса, как тип древостоя, количество и состав опада и подстилки, составляющих горючий материал. Лиственница, например, имеет поверхностное расположение корневой системы, что ведет к интенсивному ветровалу после даже низовых пожаров.

В геоботаническом отношении район представляет типичную среднюю тайгу с преобладанием лиственничных брусничных лесов [18]. Коренным типом растительности является лиственничник коренной лимнасово-брусничный. Состав древостоя обычно 10Л, возраст – около 100–150 лет. Сомкнутость крон 0,6. Групповой березовый подрост средней густоты. Подлесок состоит из ивы, ольхи кустарниковой и шиповника иглистого. Травяно-кустарничковый покров (проективное покрытие – около 50 %) в основном составляют брусника, лимнас и осока

черноплодная. Моховый покров развит слабо, степень покрытия обычно меньше 10 %. В виде пятен на моховом покрове встречаются лишайники. Мощность лесной подстилки составляет около 3 см, дерново-почвенный слой – 15 см.

Региональной особенностью лиственничных лесов является их адаптация к засушливому климату и периодическому воздействию огневого фактора. В связи с этим, наряду с понятием пирогитности лиственницы Каяндера (так же как и сосны обыкновенной и лиственницы Гмелина), можно говорить о пирофильности сообществ [19], формируемых этой породой, как об эволюционно обусловленном адаптационном потенциале того или иного типа леса существовать в условиях постоянного воздействия лесных пожаров. Пирофильность брусничных лиственничников выражается в упрощенности вертикальной структуры древостоев (относительная редкостойность, преимущественная одноярусность древостоев, отсутствие подлеска), составом живого напочвенного покрова (преимущественно мономинантный состав, преобладание в травяно-кустарничковом покрове более огнестойких брусники и толокнянки), благоприятной трансформации гидроклиматических условий после пожара (тепловая мелиорация, улучшение условий влагообеспеченности за счет подтаивания мерзлоты) и т. д. [19] Таким образом, лесные пожары являются постоянно действующим экологическим фактором, обеспечивающим само

существование светлехвойной тайги и определяющим состав, структуру и функционирование формирующих ее лесных экосистем [20].

Результаты и обсуждение

Динамика лесных пожаров в Центральной Якутии в 2000–2020 гг.

Средние многолетние количество и площадь лесных пожаров в Центральной Якутии за период 2000–2020 гг. составляют 300 возгораний и около 296 тыс. га в год соответственно. В рассматриваемом ряду лет выделяются три периода высокой пожарной активности (см. рис. 3), как по площади пожаров, так и по их количеству, перемежаемые периодами «затишья» одинаковой продолжительности. Максимальная площадь лесных пожаров в 2002 г. составила более чем 1,7 млн га, а минимальная в 2004 – 1,17 тыс. га. В 2002 г. наибольшее значение за рассматриваемый период принимает и количество лесных пожаров.

С 2004 г. начался период пожарного «затишья», не в последнюю очередь обусловленный обильными осадками летом предыдущего года (см. рис. 1). В последующие годы ландшафты района исследования испытывали сильное переувлажнение [21], и пожарная активность оставалась низкой до 2008 г. Площадь лесных пожаров в этот период примерно в 40 раз меньше, чем средний показатель за весь изучаемый диапазон лет. В 2004 г. лесные пожары охватили территорию площадью всего 1770 га, что является наименьшим значением за весь период исследования. В эти годы с обильными осадками встречаются еще два сезона (2005 и 2007 гг.) с наименьшими площадями выгоревшей территории – 8426 и 5244 га соответственно. Количество пожаров в этот период также является наименьшим и составляет в 2004 г., например, всего 21 случай.

С 2008 по 2012 г. наблюдается второй период повышения пожарной активности по обоим параметрам (см. рис. 3). На этот период приходится два из пяти сезонов с наибольшей пожарной активностью. В 2011 и 2012 гг. площадь лесных пожаров составила около 1,3 млн и 758 тыс. га соответственно. Среднее число лесных пожаров в эти годы составляет 540, что почти в 2 раза больше многолетней величины. В 2011 г. было зафиксировано 902 пожара, что немногим меньше рекордного значения 2002 г. Также в 2010 и 2012 гг. количество пожаров больше 500.

С 2013 по 2016 г. имеет место быть второй период «затишья» с низкими показателями пожарной активности, которые, однако, превышают таковые первого периода. Среднее количество и площадь пожаров в эти годы составляют соответственно около 137 и 32 тыс. га против 58 и 7,5 тыс. га первого периода «затишья». Из этих сезонов 2015 г. входит в пятерку лет с наименьшими площадями пожаров за период исследования.

В конце рассматриваемого ряда лет пожарная активность опять повышается. В 2017–2020 гг. площади пожаров насчитывают несколько сот тысяч га. Количество пожаров в 2020 г. составляет порядка 500. 2017 и 2020 гг. входят в пятерку лет с наибольшей пожарной активностью.

Как видно, в 2000–2020 гг. пожарная активность имеет очень резкие перепады. Например, площадь пожаров по некоторым годам различается примерно в тысячу раз. Периоды «затишья», продолжительностью по 4 года чередуются резким скачком пожарной активности с катастрофическими последствиями. То есть прослеживается цикл продолжительностью 4 года. В конце текущего десятилетия сохраняется тенденция увеличения количества и площади лесных пожаров.

Чтобы выяснить причины таких изменений пожарной активности в районе исследования, мы провели анализ данных по лесным пожарам, сопоставив их с данными по климатическим условиям за рассматриваемый период.

Основные тенденции средних месячных осадков и температур воздуха

Данные по лесным пожарам и климатическим условиям в Центральной Якутии с 2000 по 2020 гг. представлены в табл. 1. Средние многолетние количество и площадь пожаров представлены отдельно по периодам низкой и высокой пожарной активности, а также для всего рассматриваемого диапазона лет.

Как видно, площадь гарей в сезоны с высокой пожарной активностью более чем в 20 раз больше, чем в сезоны с небольшими лесными пожарами, и почти в 2 раза больше, чем среднее многолетнее значение. Большое превышение есть и по количеству пожаров.

В табл. 1 также представлены средние многолетние по тем же периодам количество осадков и температура воздуха по месяцам пожароопасного сезона (май–сентябрь). Количество осадков

во все месяцы, кроме сентября, в сезоны с высокой пожарной активностью меньше, чем в годы с низкой пожарной активностью, причем разница возрастает по ходу сезона от -4 мм в мае до -18 мм в августе. Температура воздуха в периоды высокой пожарной активности выше, чем в сезоны с низкой пожарной активностью в течение трех летних месяцев. Наибольшие превышения в 2 °С наблюдаются для июня и июля. Как видно, в периоды с высокой пожарной активностью в летние месяцы наблюдается сочетание значительного сокращения осадков и повышения температуры воздуха по сравнению с годами с низкой пожарной активностью.

В периоды с более высокой пожарной активностью в диапазоне лет с 1955 по 2009 г. наблюдается сокращение осадков только в июне и августе [13]. Сезоны с большими пожарами, по данным космического мониторинга, в последнее двадцатилетие характеризуются дефицитом осадков во все месяцы кроме сентября.

*Сезоны с высокой активностью
лесных пожаров*

В рассматриваемом периоде были выделены пять сезонов с наибольшими площадями гарей. Для этих пяти сезонов были проанализированы отклонения количества осадков и температуры воздуха от средних многолетних значений (см. табл. 2, в табл. 2 и 3 приведены номера сезонов (годов) периода исследования 2000–2020 гг. по порядку ранжирования по площади гарей, образовавшихся в том или ином пожароопасном сезоне).

Высокая активность лесных пожаров наблюдается при теплой и сухой погоде. В табл. 2 отрицательные отклонения по осадкам и положительные отклонения по температуре воздуха выделены красным цветом. Доля таких отклонений в общей массе показателей преобладает. Средние по всем пяти сезонам отклонения по температуре воздуха принимают положительные значения во все месяцы. В среднем их значение равно 1 °С. Отклонения больше 2 °С встречаются в эти годы в основном в пределах трех первых месяцев пожароопасного сезона.

Средние за пять лет отклонения по осадкам принимают отрицательные значения во все месяцы пожароопасного сезона. Наибольший дефицит осадков характерен для мая и июля. Отрицательные отклонения по осадкам со значением больше -20 мм наблюдаются в эти годы

в пределах летнего периода. Сочетания отрицательных отклонений по осадкам и положительных отклонений по температуре воздуха в пределах рассматриваемых годов встречаются одинаково часто (по три) во все месяцы пожароопасного сезона, кроме августа.

Сезон с наибольшей пожарной активностью, 2002 г., характеризуется дефицитом осадков во все месяцы, кроме июля, близкого по условиям к многолетней норме. Самыми засушливыми были июнь и август. В эти же месяцы наблюдаются положительные отклонения по температуре величиной 2 и 1 °С соответственно (см. табл. 2). И это стечение обстоятельств – дефицита влаги и высокой температуры, вызвало наибольшие нарушения в ландшафтах Центральной Якутии от лесных пожаров.

В 2011 г. пожароопасный сезон начался в условиях засушливого и теплого мая, что, конечно же, способствовало сохранению и перерастанию обычных для этого времени возгораний от сельхозпалов и выездов на природу в крупные лесные пожары. Июньские условия в этот год соответствовали многолетней норме. Осадков, решающим образом повлиявших бы на пожарную ситуацию в регионе, не выпало. Июль был очень жарким и с небольшим дефицитом осадков по сравнению со средним многолетним значением. Следует отметить, что наибольшее положительное отклонение температуры воздуха по всем пяти годам наблюдается в июле 2011 г. В оставшиеся 2 месяца сезона погодные условия смягчились, в августе выпало осадков на 30 мм больше нормы, а сентябрь был холоднее, чем обычно, на 3 °С. Однако, это не помешало лесным пожарам в этот год охватить вторую по величине площадь за период наблюдения. Это говорит о том, что установление высокой пожарной активности не всегда зависит только от климатических условий.

В третьем сезоне из этого списка, в 2012 г., в четырех месяцах из пяти пожароопасного периода, кроме августа, засушливые условия совпадают с потеплением. В среднем по всем пяти годам такие сочетания также характерны для всех месяцев, кроме августа.

В отличие от сезонов с высокой пожарной активностью с 1955 по 2009 г. по данным Департамента по лесным отношениям РС(Я) [13], годы с большими пожарами в 2000–2020 гг. по данным ИСДМ-Рослесхоз характеризуются мно-

го обширными площадями пожаров. Согласно последнему, в 2018 г. сгорело около 300 тыс. га территории и это шестой показатель за рассматриваемый период. Тогда как, согласно наземному и авиационному мониторингу, примерно такая же площадь сгорела в 2002 г., рекордном по пожарной активности. По количеству пожаров данные по обоим источникам сопоставимые. Средние климатические условия по представленным годам наибольшей пожарной активности в обоих случаях примерно одинаковые.

*Сезоны с низкой активностью
лесных пожаров*

Были проанализированы климатические условия пяти сезонов с наименьшими площадями гарей (см. табл. 3). Лесными пожарами в эти годы были охвачены небольшие площади, исчисляемые тысячами гектаров, в отличие от сезонов с высокой пожарной активностью, в которых счет шел на сотни тысяч и миллионы гектаров.

Низкая активность лесных пожаров должна быть при большом количестве осадков и низкой температуре воздуха. В течение трех летних месяцев температура воздуха в эти годы в среднем на 1 градус меньше средних многолетних значений. По осадкам картина не такая однозначная. В среднем за пять сезонов только май и июнь более дождливые, чем обычно. Это могло послужить основным климатическим фактором для формирования условий с низкой активностью лесных пожаров.

Сочетания более обильных осадков с более низкими температурами воздуха по сравнению с условиями всего периода наблюдения с 2000 по 2020 г. характерны в среднем по всем пяти сезонам в июне.

Отрицательные отклонения по температуре воздуха со значением 2° и более наблюдаются во все годы. В 2000 г. на протяжении всего пожароопасного сезона, за исключением мая, температура воздуха была ниже, чем многолетняя норма. В 2004 г., с наименьшим количеством возгораний и площадью пожаров, наблюдается самое значительное понижение температуры воздуха теплого времени в данном ряду лет. В то же время, в эти два года с наименьшей пожарной активностью осадков выпало в среднем меньше нормы. Из этого можно сделать вывод, что в эти годы температура воздуха, а точнее ее низкие значения в течение пожароопасного сезона, имела большую роль, чем количество осадков, в установлении соответствующей пожарной ситу-

ации в регионе. Другими словами, пожарная ситуация не зависела от осадков.

Несколько иную картину мы видим в показателях по трем другим годам. В осадках в пределах летнего сезона встречаются отклонения от многолетней нормы со значением 20 мм и больше. В 2007 г. количество осадков было выше нормы. Только в августе осадки были чуть меньше нормы. Количество осадков в 2005 г. больше многолетней нормы в течение трех месяцев из пяти теплого периода, однако, в эти три месяца показатель отличается большими значениями (см. табл. 3). В то же время, нельзя говорить о похолодании пожароопасного сезона в эти годы. Температура воздуха была меньше нормы только в течение двух месяцев. В данном случае, как видно, сдерживающий эффект количества осадков по отношению к лесным пожарам был определяющим.

Сочетание относительно большего количества осадков и низкой температуры воздуха начала пожароопасного сезона, особенно июня, в 2015 г. не позволило широко распространиться лесным пожарам, несмотря на то что условия последующих месяцев теплого периода этого года благоприятствовали усилению пожарной активности.

Следует также отметить, что в рассматриваемые годы в среднем сентябрь был более засушливым, чем обычно, и с температурами воздуха, близкими к многолетней норме, но это не привело, как можно было бы предположить, к увеличению пожарной активности за счет поддержания позднелетних и возникновения осенних пожаров. Это может говорить о том, что сентябрьские условия в данном случае не имеют большого значения.

Если количество пожаров в сезоны с низкой пожарной активностью, указанные как в табл. 3, так и в нашей предыдущей публикации 2010 г. [13], имеет сопоставимые величины, то площади пожаров в первом случае в десятки раз больше, чем во втором.

Если средние значения температуры воздуха по представленным годам низкой пожарной активности в обоих случаях ниже многолетних значений на 1 °С, то по осадкам картина различается. Сезоны с низкой пожарной активностью в период 1955–2009 гг. характеризовались в целом однозначным профицитом осадков, особенно июня и августа (отклонения от многолетних значений на 20 и 15 мм соответственно). Такого явного преобладания количества осадков в годы

с небольшими пожарами над многолетней нормой в табл. 3 мы не видим.

Опорным исследованием для данной статьи и нашей предыдущей публикации [13] является работа Х. Хайасаки 2008 г. [3], где он рассматривает пожарную активность и климатические условия в Республике Саха (Якутия) в 1955–2005 гг. С его одним из основных выводов о том, что ключевым фактором усиления пожарной активности в нашей республике является тенденция повышения средних температур воздуха мая и июня и уменьшения весенних осадков с 1990-х гг., мы полностью согласны, и это подтверждается нашими обновленными данными. Более того, основной вывод нашей статьи состоит в том, что усиление пожарной активности в Центральной Якутии с начала 2000-х гг. происходит за счет раннелетних пожаров. Это можно видеть в анализе климатических условий сезонов с высокой и низкой пожарной активностью. Например, обильные осадки в мае и июне обусловили низкую пожарную активность пяти сезонов с самыми небольшими площадями выгоревшей территории за период исследования.

Однако, во всем исследовании Х. Хайасаки 2008 г. подчеркивается преобладающее значение количества осадков, тогда как мы приходим к выводу, что в установлении сезонов с низкой пожарной активностью, согласно данным нашего периода исследования 2000–2020 гг., температура воздуха имеет большее значение, чем сумма осадков.

Х. Хайасака и др. в своей статье 2019 г. [4] рассматривают зависимость пожарной активности от движения воздушных масс. Безусловно, пожарная активность сильно зависит от того, какая воздушная масса, теплая или холодная, расположилась в данное время на территории, а также от ветровой деятельности, однако, мы в нашей статье рассматриваем влияние на активность лесных пожаров именно двух климатических параметров, т. е. количества осадков и температуры воздуха.

В.В. Протопопова и Л.П. Габышева [22] разделяют пожароопасный сезон на три периода: весенний, летний и осенний. И.П. Щербаков и др. [12] выделяли раннелетние и позднелетние пожары. Согласно нашим результатам, пожарная активность в районе исследования больше зависит от весенних или раннелетних климатических условий. Другими словами, в последнее время в годы с высокой пожарной активностью

эту высокую пожарную активность обеспечиваят раннелетние пожары.

Л.П. Габышева и А.П. Исаев [23] отмечают не такую плохую корреляцию между количеством осадков пожароопасного сезона и частотой возникновения пожаров в Центральной Якутии. Тогда как, согласно нашему исследованию, количество осадков пожароопасного сезона имеет определяющее значение при установлении сезонов с высокой пожарной активностью. Для сезонов с низкой пожарной активностью роль температуры воздуха возрастает.

Выводы

Анализ данных Министерства охраны природы, природопользования и лесного хозяйства Республики Саха (Якутия) с более чем полувековым периодом отчетливо показывает, что активность лесных пожаров в Центральной Якутии сильно повысилась с 2000-х гг. Средняя площадь ежегодных гарей в 2000–2009 гг. почти в три раза больше, чем до 2000 г. Наблюдаемое в текущем десятилетии повышение средних годовых и летних температур воздуха, а также понижение максимумов летних осадков должно было привести к увеличению числа и площади лесных пожаров в Центральной Якутии. И тому подтверждением служат группы сезонов с феноменально высокой пожарной активностью, которые на протяжении 2000–2020 гг. образуют три пика, разделяемые периодами относительного пожарного спокойствия. Таким образом, в Центральной Якутии периоды с высокой пожарной активностью в 21 веке стали происходить чаще, чем в предыдущем временном отрезке с 1955 г., т. е. промежутки между периодами высокой пожарной активности стали меньше. Эти два разных типа сезонов с высокой и низкой пожарной активностью значительно различаются, как следовало бы ожидать, по метеоусловиям. В периоды пиков намного меньше осадков и выше температура воздуха трех летних месяцев. Большое значение имеют условия мая, июня и июля.

В то же время, анализ метеоусловий сезонов с наибольшей и наименьшей активностью лесных пожаров с 2000 по 2020 г. показал, что крупные лесные пожары образуются на фоне теплой и сухой погоды первых трех месяцев пожароопасного сезона. Низкая же пожарная активность устанавливается в некоторые годы при преобладающей роли низких температур воздуха, а в другие – большого количества осадков. При

этом большое значение имеют условия первых двух месяцев пожароопасного сезона.

Другими словами, прогноз высокой пожарной активности определяется в большей мере осадками, точнее их малым количеством, особенно в начале пожароопасного сезона (первые три месяца). А низкая пожарная активность устанавливается при возросшей роли температуры воздуха.

Список литературы / References

1. Дальбинов А.А., Исаев А.П. Реконструкция лесных пожаров в XX веке (на примере Намского, Хангаласского и Якутского лесхозов). Исаев А.П. (ред.) *Лесные исследования в Якутии: итоги, состояние и перспективы. Т.1: Мерзлотное лесоведение и лесоводство. Лесная экология: Материалы научно-практической конференции. г. Якутск, 23–24 ноября 2006 г.* Якутск: Изд-во ЯГУ; 2006:100–103.

Dalbinov A.A., Isaev A.P. Reconstruction of forest fires in the 20th century (Namsky, Khangalassky and Yakutsky forestries). *Forest research in Yakutia: results, state and prospects. Volume 1: Permafrost forest science and forestry. Forest ecology: Proceedings of the Scientific and Practical Conference, Yakutsk, November 23–24, 2006.* Yakutsk: YSU Publishing House; 2006:100–103 (In Russ.)

2. Groisman P.Ya., Sherstyukov B.G., Razuvaev V.N., Knight R.W., Enloe J.G., Stroumentova N.S., Whitfield P.H., Førland E., Hannsen-Bauer I., Tuomenvirta H., Aleksandersson H., Mescherskaya A.V., Karl T.R. Potential forest fire danger over Northern Eurasia: changes during the 20th century. *Global and Planetary Change*. 2007;56(3-4):371–386. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.029>

3. Hayasaka H. Climate changes in tropical and boreal forests and their relation with recent large-scale forest fires. *Tropical rain forest and boreal forest disturbance and their affects on global warming: Proceedings of the international workshop, Ulaanbaatar, Mongolia, August 29–30, 2007.* Ulaanbaatar: National University of Mongolia; 2007:77–95.

4. Hayasaka H., Yamazaki K., Naito D. Weather conditions and warm air masses during active fire-periods in boreal forests. *Polar Science*. 2019;22:100472. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2019.07.002>

5. Soja A.J., Tchebakova N.M., French N.H.F., Flannigan M.D., Shugart H.H., Stocks B.J., Sukhinin A.I., Parfenova E.I., Stuart Chapin III F., Stackhouse Jr. P.W. Climate-induced boreal forest change: predictions versus current observations. *Global and Planetary Change*. 2007; 56(3-4):274–296. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2006.07.028>

6. Курбатский Н.П. Терминология лесной пирологии. *Вопросы лесной пирологии: Сборник научных статей.* Курбатский Н.П., Конев Э.В. (ред.). Красноярск: ИЛИД; 1972:171–231.

Kurbatsky N.P. Terminology of forest pyrology. *Questions of forest pyrology: Proceedings.* Krasnoyarsk: Institute of Forest; 1972:171–230 (In Russ.)

7. Вонский С.М. *Интенсивность огня низовых лесных пожаров и ее практическое значение.* Л.: ЛенНИИЛХ; 1957. 52 с.

Vonsky S.M. *Intensity of ground forest fires and its practical significance.* Leningrad: LenNIILH; 1957. 52 p. (In Russ.)

8. Федоров А.Н., Мачимура Т., Герасимов Е.Ю., Петров М.И. и др. Влияние пожаров на мерзлотные ландшафты в Центральной Якутии. *Наука и образование.* 2008(4):64–67.

Fedorov A.N., Machimura T., Gerasimov E.Yu., Petrov M.I. et al. Influence of fires on permafrost landscapes in Central Yakutia. *Nauka i obrazovanie.* 2008(4):64–67. (In Russ.)

9. Sugimoto A., Naito D., Yanagisawa N., Ichiyana-gi K., Kurita N., Kubota J., Ohata T., Kotake T., Maximov T.C., Fedorov A.N., 2003. Characteristics of soil moisture in permafrost observed in east siberian taiga with stable isotopes of water. *Hydrological Processes*. 2002;17(6):1073–1092. <https://doi.org/10.1002/hyp.1180>

10. Соловьев В.С., Козлов В.И., Муллаяров В.А. *Дистанционный мониторинг лесных пожаров и гроз в Якутии.* Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН; 2009. 108 с.

Soloviev V.S., Kozlov V.I., Mullayarov V.A. *Remote monitoring of forest fires and thunderstorms in Yakutia.* Yakutsk: Publishing House of YSC SB RAS; 2009. 108 p. (In Russ.)

11. Бекетов Н.В. *Региональная организация общества (географические аспекты социально-экономического комплексобразования).* Якутск: Изд-во ЯГУ; 1996. 159 с.

Beketov N.V. *Regional organization of society (geographical aspects of socio-economic complex formation).* Yakutsk: Publishing House of YSU; 1996. 159 p. (In Russ.)

12. Щербаков И.П., Забелин О.Ф., Карпель Б.А. и др. *Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса.* Новосибирск: Наука; 1979. 226 с.

Shcherbakov I.P., Zabelin O.F., Karpel B.A. et al. *Forest fires in Yakutia and their influence on the nature of the forest.* Novosibirsk: Nauka; 1979. 226 p. (In Russ.)

13. Петров М.И. Влияние метеорологических условий на лесные пожары в Центральной Якутии. Григорьев М.Н., Алексеева О.И. (ред.). *Геокриология – прошлое, настоящее, будущее = The past, present and future of geocryology: Материалы Всероссийского научного молодежного форума с международным участием, посвященного 50-летию Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, 2–16 августа 2010 г.* Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН; 2010:119–123.

Petrov M.I. Influence of meteorological conditions on forest fires in Central Yakutia. Grigoriev M.N., Alekseeva O.I. (ed.). *The past, present and future of geocryol-*

ogy: *Proceedings of the All-Russian Scientific Youth Forum with International Participation, Dedicated to the 50th Anniversary of the Foundation of the Permafrost Institute. P.I. Melnikov SB RAS, Yakutsk, August 2–16, 2010*. Yakutsk: Publishing House of the Melnikov Permafrost Institute, SB RAS; 201:119–123. (In Russ.)

14. Федоров А.Н. *Мерзлотные ландшафты Якутии: методика выделения и вопросы картографирования*. Якутск: ИМЗ; 1991. 140 с.

Fedorov A.N. *Permafrost landscapes of Yakutia: Classification and Mapping Approach*. Yakutsk: Permafrost Institute; 1991. 140 p. (In Russ.)

15. Гаврилова М.К. *Климат в Центральной Якутии*. Якутск: Якутское кн. изд-во; 1973. 120 с.

Gavrilova M.K. *Climate in Central Yakutia*. Yakutsk: Yakutian Publishing House, 1973. 120 p. (In Russ.)

16. Соловьев П.А. *Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья*. М.: Изд-во АН СССР; 1959. 144 с.

Soloviev P.A. *Cryolithozone of the northern part of the Lena-Amga interfluvium*. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR; 1959. 144 p. (In Russ.)

17. Иванов М.С. *Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины*. Новосибирск: Наука; 1984. 125 с.

Ivanov M.S. *Cryogenic structure of the Quaternary deposits of the Lena-Aldan depression*. Novosibirsk: Nauka; 1984. 125 p. (In Russ.)

18. Уткин А.И. *Леса Центральной Якутии*. М.: Наука; 1965. 208 с.

Utkin A.I. *Forests of Central Yakutia*. Moscow: Nauka; 1965. 208 p. (In Russ.)

19. Исаев А.П. Устойчивость лесов криолитозоны к антропогенным факторам. *Успехи современного естествознания*. 2012;(11-1):41–43.

Isaev A.P. Sustainable forests intrapermafrost to anthropogenic factors. *Advances in current natural sciences*. 2012;(11-1):41–43. (In Russ.)

20. Исаев А.П. *Естественная и антропогенная динамика лиственных лесов криолитозоны (на примере Якутии)*: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Якутск. 2011. 51с.

Isaev A.P. *Natural and anthropogenic dynamics of larch forests in the permafrost zone (on the example of Yakutia)*: Abstr. ... Diss. Dr. Sci., Yakutsk. 2011. (In Russ.). 51 p.

21. Iijima Y., Fedorov A.N., Park H., Suzuki K., Yabuki H., Maximov T.C., Ohata T. Abrupt increases in soil temperatures following increased precipitation in a permafrost region, Central Lena river basin, Russia. *Permafrost. Periglac. Process*. 2010;21:30–41. <https://doi.org/10.1002/ppp.662>

22. Протопопова В.В., Габышева Л.П. Возникновение лесных пожаров в Центральной Якутии в зависимости от условий погоды. *Современные проблемы науки и образования*. 2015;(4):513–517.

Protopopova V.V., Gabysheva L.P. Occurrence of forest fires in Central Yakutia depending on weather conditions. *Modern problems of science and education*. 2015(4): 513–517. (In Russ.)

23. Gabysheva L.P., Isaev A.P. Forest fires impact on microclimatic and soil conditions in the forests of cryolithic zone (Yakutia, North-Eastern Russia). *Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.)*. 2015;6:96–111. <https://doi.org/10.15372/SJFS20150609>

Об авторах

ПЕТРОВ Марат Иванович, ведущий инженер, <https://orcid.org/0000-0001-7893-352X>, ResearcherID: HKW-5535-2023, e-mail: pitrofv@yandex.ru

ФЕДОРОВ Александр Николаевич, доктор географических наук, главный научный сотрудник, заместитель директора по науке, <https://orcid.org/0000-0002-4016-2149>, ResearcherID: K-2478-2016, e-mail: anfedorov@mpi.ysn.ru

About the authors

PETROV, Marat Ivanovich, Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-7893-352X>, ResearcherID: HKW-5535-2023, e-mail: pitrofv@yandex.ru

FEDOROV, Alexander Nikolaevich, Dr. Sci. (Geogr.), Chief Researcher, Deputy Director for Science, <https://orcid.org/0000-0002-4016-2149>, ResearcherID: K-2478-2016, e-mail: anfedorov@mpi.ysn.ru

Поступила в редакцию / Submitted 21.10.2022

Поступила после рецензирования / Revised 17.03.2023

Принята к публикации / Accepted 05.04.2023