

Научная статья

УДК 539.3

doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.14.24.013

## Оценка эффективности моделирования изменений горимости лесов России с учетом гидротермических факторов

*Александр Вадимович Холопцев*<sup>1</sup>

*Дмитрий Владимирович Седов*<sup>2</sup>

*Наталья Юрьевна Проскова*<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

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

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

<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0000-0068-2968>

*Автор ответственный за переписку: Проскова Наталья Юрьевна, knd@sibpsa.ru*

**Аннотация.** Актуальной проблемой мониторинга изменений горимости лесов на территориях различных регионов мира в целях поддержки принятия управленческих решений, является выявление факторов, учет которых обеспечивает удовлетворительную эффективность их моделирования и прогнозирования. Известно, что к числу основных факторов горимости лесов на любой местности относятся гидротермические – межгодовые изменения среднемесячных температур воздуха и месячных сумм атмосферных осадков в месяцы пожароопасного сезона. Тем не менее, количественная оценка относительных вкладов этих факторов в современную изменчивость количества лесных пожаров и средней площади участков, пройденных огнем при одном пожаре, для территорий всей России, а также ее Федеральных округов, относящихся к лесной ландшафтной зоне, ранее осуществлена не была. Целью данной статьи является определение таких оценок для периода 2000 – 2023 гг., а также выявление возможностей прогнозирования горимости изучаемых лесов по результатам мониторинга указанных гидротермических факторов, полученным в первой половине пожароопасного сезона. Для ее достижения осуществлено моделирование изменений указанных характеристик горимости лесов для всех изучаемых территорий, с учетом динамики одних лишь рассматриваемых гидротермических факторов. Полученные результаты сопоставлены с фактическими изменениями изучаемых характеристик, что позволило определить относительные вклады изучаемых факторов в изменения горимости лесов России в XXI веке. Для всех рассматриваемых Федеральных округов оценена эффективность прогнозирования горимости лесов на текущий год, с учетом результатов мониторинга изучаемых факторов за первую половину его пожароопасного сезона.

**Ключевые слова:** горимость лесов, гидротермические факторы, Россия, Федеральные округа России, относительные вклады, моделирование, множественная регрессия

**Для цитирования:** Холопцев А.В., Седов Д.В., Проскова Н.Ю. Оценка эффективности моделирования изменений горимости лесов России с учетом гидротермических факторов // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 1 (32). С. 121-135. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.14.24.013>

Original article

## Assessment of the effectiveness of modeling of changes in Russian forest combustibility taking into account hydrothermal factors

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

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

Natalya Yu. Proskova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

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

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

<sup>3</sup><https://orcid.org/0009-0000-0068-2968>

**Corresponding author:** Natalya Yu. Proskova, [knd@sibpsa.ru](mailto:knd@sibpsa.ru)

**Abstract.** The urgent problem of monitoring changes in forest burnability in different regions of the world in order to support management decision-making is the identification of factors, accounting for which provides satisfactory efficiency of their modeling and forecasting. It is known that the main factors of forest burnability in any area include hydrothermal factors - inter-annual changes in average monthly air temperatures and monthly sums of precipitation during the months of the fire-dangerous season. Nevertheless, a quantitative assessment of the relative contributions of these factors to the current variability of the number of forest fires and the average area of plots covered by fire in one fire for the territories of the whole Russia, as well as its Federal Districts belonging to the forest landscape zone, has not been previously carried out. The purpose of this article is to determine such estimates for the period 2000 - 2023, as well as to identify the possibilities of predicting the burnability of the studied forests based on the results of monitoring of these hydrothermal factors obtained in the first half of the fire season. To achieve this goal, the modeling of changes in the indicated characteristics of forest burnability for all the studied areas was carried out, taking into account the dynamics of the considered hydrothermal factors alone. The obtained results were compared with the actual changes in the studied characteristics, which allowed us to determine the relative contributions of the studied factors to the changes in the burnability of Russia's forests in the XXI century. For all Federal Districts under consideration, the effectiveness of forecasting of forest burning for the current year was assessed, taking into account the results of monitoring of the studied factors for the first half of its fire-hazardous season.

**Keywords:** forest burning, hydrothermal factors, Russia, Federal Districts of Russia, relative contributions, modeling, multiple regression

**For citation:** Kholoptsev A.V., Sedov D.V., Proskova N.Y. Estimation of modeling efficiency of changes in the burning of Russian forests taking into account hydrothermal factors // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2024. № 1 (32). P. 121-135. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.14.24.013>

### Введение.

Ландшафтные пожары (далее ЛП), возникающие на территориях многих регионов мира, ежегодно наносят значительный ущерб их населению и хозяйству. Поэтому совершенствование методик моделирования и прогнозирования изменений рисков возникновения ЛП и процессов, которыми они обусловлены, является актуальной проблемой мониторинга, являющегося важным инструментом в поддержке принятия решений по управлению силами и средствами противопожарных служб в предотвращении и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее ЧС), обусловленных ЛП.

Риск, обусловленный возникновением ЛП на некоторой территории, определяется частотой их возникновения, а также размером ущерба, который они причиняют [1, 2].

Частота возникновения ЛП определяется их общим количеством, выявленным за год (далее КЛП).

КЛП – один из основных показателей горимости лесов на рассматриваемой территории, который характеризует, в том числе, и фактический объем работы по ликвидации ЛП, которую должны выполнить за год соответствующие подразделения лесной охраны и государственной противопожарной службы МЧС России (далее противопожарные службы). Информация о значениях этого показателя для всей России, каждого ее Федерального округа и всех ее регионов за период с 2000 по 2023 гг. представлена в [3].

Ущерб, причиняемый ЛП на рассматриваемой территории, характеризует другой показатель горимости ее лесов, - суммарная площадь ее участков, пройденных огнем за год. При этом, для оценки ущерба в ретроспективе используется усредненный показатель, определяемый отношением суммарной площади участков лесопокрытой территории, которые были пройдены огнем за год, к значению КЛП (далее СПОЛ).

СПОЛ также может рассматриваться и как характеристика фактической готовности противопожарных служб к ликвидации всех ЛП, возникающих в течение года в зонах их ответственности. Поскольку при наличии достаточного количества сил, средств и прочих ресурсов, а также их реального состояния зависит оперативность и эффективность тушения. Информация, необходимая для оценки также представлена в [3].

Согласно существующим представлениям о причинах изменений горимости лесов [4-6], этот процесс вызван совместным действием многих антропогенных и природных факторов. К последним относятся и вариации комплексного показателя пожарной опасности в лесах по условиям погоды, который характеризует совокупность условий, благоприятствующих возникновению и развитию ЛП, вызванных совместным действием ряда метеорологических факторов [7].

При количественной оценке для некоторой местности пожарной опасности, обусловленной существующими на ней метеоусловиями, расчет этого показателя производят ежесуточно, с учетом текущей метеорологической информации [8-10]. Полученные результаты используют при определении класса пожарной опасности, путем их сопоставления с границами интервалов диапазона возможных значений упомянутого показателя, значения которых устанавливаются для каждого региона, в зависимости от особенностей его ландшафтов и географического положения.

Класс пожарной опасности по условиям погоды на некоторой территории, который соответствует текущим суткам, учитывают при управлении повседневной деятельностью противопожарного подразделения, в зоне ответственности которого она находится, что способствует существенному повышению ее эффективности.

Основой существующих представлений о факторах, способных влиять на пожарную опасность в лесах по условиям погоды являются работы В.Г. Нестерова [11]. Им установлено, что среди таких факторов, к основным, относятся изменения среднемесячные температуры воздуха в приземном слое атмосферы (далее СТВ), а также месячных сумм атмосферных осадков (далее МСО) в месяцы пожароопасного сезона (апрель - октябрь) [12,13], которые определяют интенсивности испарения влаги из горючего материала, а также его увлажнения. Справедливость этого вывода подтвердили также многие современные авторы [5,6,13-17].

Информация о значениях указанных показателей, для всех пунктов территорий изучаемых регионов, может быть получена из [18]. Для ее тестирования могут быть использованы сведения, основанные на результатах измерений на гидрометеорологических станциях регионов, которые представлены в [19].

Как уже отмечалось выше, горимость лесов зависит не только от содержания влаги в горючем материале, находящемся на соответствующей местности. Поэтому учет при моделировании изменений ее показателей информации о вариациях одних лишь СТВ и МСО не всегда приводит к удовлетворительным результатам.

Тем не менее, оценка эффективности результатов такого моделирования для всей территории России, а также для территорий ее Федеральных округов, относящихся к лесной ландшафтной зоне, с учетом информации, полученной в 2000 – 2023 гг., ранее не производилась. Поэтому осуществление таких оценок, с использованием исходных данных о рассматриваемых процессах и их факторах, соответствующих рассматриваемому периоду, представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Актуальной представляется также оценка возможности прогнозирования значений КЛП и СПОЛ для всего пожароопасного сезона, соответствующих той или иной изучаемой территории,

с учетом результатов мониторинга изменений на ней СТВ и МСО, полученных в первой половине этого сезона.

Учитывая это, целью данной работы является оценка эффективности результатов моделирования и прогнозирования изменений в 2000 – 2023 гг. КЛП и СПОЛ для территорий всей России, а также рассматриваемых ее Федеральных округов, с учетом изучаемых гидротермических факторов.

Для достижения указанной цели решены задачи:

1. Оценка эффективности результатов моделирования изменений в 2000 – 2023 гг. КЛП и СПОЛ для территорий всей России, а также рассматриваемых ее Федеральных округов, с учетом одних лишь изучаемых гидротермических факторов.

2. Определение возможностей прогнозирования изменений КЛП и СПОЛ для всех рассматриваемых территорий, по результатам осуществляемого на них мониторинга изучаемых факторов в первой половине пожароопасного сезона.

### **Материалы и методы.**

При решении указанных задач, как фактический материал об изменениях в 2000 – 2023 гг. КЛП для территорий всей России, включая ее Федеральные округа, а также значениях суммарных площадей, пройденных огнем, для каждой из рассматриваемых территорий, использованы сведения из [3].

В качестве источника информации о СТВ и МСО за период с 01.2000 по 12.2023 гг. использовались данные реанализа ERA-5 [18], валидация которых осуществлена посредством сопоставления с данными наблюдений гидрометеорологических станций Росгидромета [19].

Из данных реанализа ERA-5 были сформированы временные ряды средних значений СТВ и МСО для территории всей России и каждого изучаемого ее Федерального округа.

При решении первой задачи применена следующая методика. Учитывалось, что относительный вклад некоторого фактора в среднюю мощность изменчивости изучаемой характеристики определяется значением коэффициента корреляции их временных рядов. Количественно он равен квадрату значения этого коэффициента. Поэтому для оценки относительного вклада от совместного действия рассматриваемых гидротермических факторов в изменчивость СПОЛ и нормированных КЛП, для каждого региона осуществлено моделирование вариаций изучаемых показателей, с учетом изменений одних лишь средних СТВ и МСО.

При моделировании, как соотношение, связывающее оценку изучаемой характеристики  $Y_k$ , соответствующую году  $k$  ( $k = 1, 2, \dots, K$ ) и ее факторов, использовано уравнение линейной множественной регрессии [20]:

$$Y_k = C_0 + C_1 * X_{1k} + C_2 * X_{2k} + C_3 * X_{3k} + \dots + C_N * X_{Nk},$$

где  $X_{1k}, X_{2k}, X_{3k}, \dots, X_{Nk}$  – предикторы изучаемого процесса  $Y_k$  (характеристики состояний его значимых факторов в году  $k$ , изменения которых описываются действительными функциями времени и не являются линейно зависимыми);

$k$  – целочисленная константа, равная длине временных рядов изучаемого процесса и его факторов;

$N$  – целочисленная константа, не превышающая  $K$  (количество предикторов);

$C_0, C_1, \dots, C_N$  – коэффициенты уравнения регрессии (действительные константы), выбранные так, чтобы обеспечивался минимум  $I$

$$I = E_k \{ (Y_k - y_k)^2 \},$$

$E_k$  – оператор математического ожидания, которое вычисляется во всем диапазоне значений  $k$ .

Значения констант  $C_0, C_1, \dots, C_N$  определялись с использованием программы Multiply Regression, из пакета программ Statistika.

Как один из показателей эффективности моделирования изменений КЛП и СПОЛ с учетом одних лишь рассматриваемых гидротермических факторов, рассматривались значения коэффициента парной корреляции временных рядов, которые образованы из его результатов, а также из фактических значений изучаемых показателей. Также как показатель его эффективности оценивалось значение относительной погрешности моделирования рассматриваемого показателя. Последнее вычислялось как отношение среднеквадратического отклонения ошибок его моделирования к его среднему значению за весь изучаемый период.

В качестве предикторов рассматриваемых моделей выбраны временные ряды СТВ и МСО, соответствующие всем месяцам пожароопасного сезона (их всего 14).

С использованием той же программы в режиме Forward stepwise, оценены относительные вклады каждого рассматриваемого фактора в среднюю мощность изменчивости того или иного изучаемого показателя за изучаемый период.

Относительные погрешности результатов моделирования вычислены как отношения соответствующих среднеквадратических отклонений его результатов от фактических значений, к среднему значению рассматриваемых показателей за 2000 – 2023 гг.

При решении второй задачи для верификации таких же моделей использованы временные ряды КЛП, СПОЛ, за 2000 – 2022 гг., а для оценки качества прогнозов, ряды тех же показателей за 2001 – 2023 гг. В качестве предикторов выбраны временные ряды СТВ и МСО, соответствующие месяцам апрель – июль (всего их 8). В остальном для ее решения применялась та же методика.

Описанная методика применима при любом законе распределения вероятностей изучаемых процессов и их факторов. Поэтому выводы, которые она позволяет получить, являются вполне корректными.

### Результаты исследования и их анализ.

С использованием указанного фактического материала и описанной методики осуществлена верификация множественно-регрессионных моделей изменчивости КЛП и СПОЛ для территорий всей России и рассматриваемых ее Федеральных округов, предикторами которых являлись временные ряды МСО и СТВ для месяцев апрель – октябрь.

На Рис. 1 представлены зависимости от времени фактических значений КЛП и СПОЛ для всей территории России, а также результатов их моделирования.

Из Рис.1а видно, что между зависимостями от времени КЛП и результатами моделирования имеет место удовлетворительное соответствие. Максимальная ошибка моделирования имела место в 2017 г. и составляла – 6843,43 (35% от среднего значения), КЛП = 19142,17. Относительная погрешность моделирования составила 15%, а вклад результатов моделирования в среднюю мощность изменчивости КЛП составляет 83,9%.

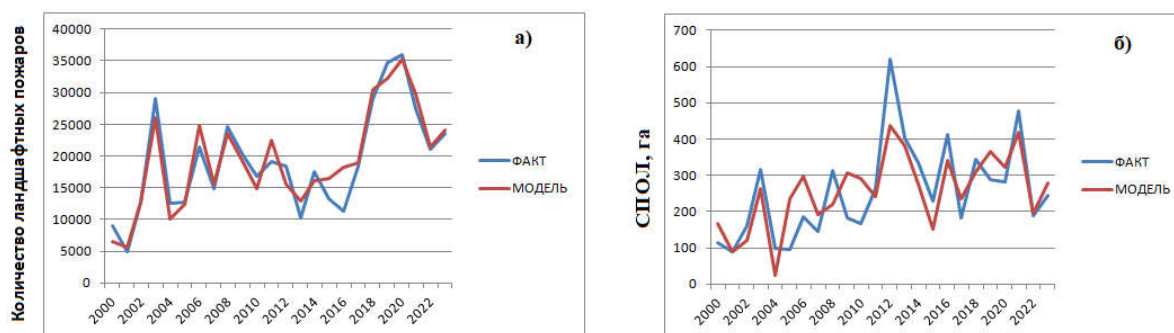


Рис. 1. Зависимости от времени фактических изменений КЛП и СПОЛ на территории всей России и результатов их моделирования с учетом только гидротермических факторов: а) КЛП, ед.; б) СПОЛ, га

Рис.16 показывает, что соответствие между фактическими изменениями СПОЛ для всей территории России, а также результатами их моделирования проявляется в меньшей степени. Максимальная ошибка моделирования имела место в 2017 г. и составляла – 183,54 (72% от среднего значения СПОЛ = 255,68). Относительная погрешность моделирования составила 31,7%, а вклад результатов моделирования в мощность изменчивости СПОЛ составляет 57,9%.

Предикторы и соответствующие им коэффициенты ( $C_n$ ) верифицированных моделей этих процессов, а также относительные вклады ( $R^2$ ) наиболее значимых предикторов приведены в Табл. 1.

**Табл. 1. Предикторы моделей изменчивости КЛП и СПОЛ для всей России, а также соответствующие им коэффициенты ( $C_n$ ) и относительные вклады ( $R^2$ ) наиболее значимых**

Показатель		КЛП		СПОЛ	
n	Предиктор	$C_n$	$R^2$	$C_n$	$R^2$
0	Свободный член	-	-	-	-
		3247220		86004,5	
1	МСО (апрель)	157	-	1,8	-
2	МСО (май)	186	-	6,7	-
3	МСО (июнь)	392	0,114507	4,9	0,036391
4	МСО (июль)	151	-	12,1	-
5	МСО (август)	216	-	10,9	-
6	МСО (сентябрь)	808	0,115249	9,3	-
7	МСО (октябрь)	292	0,181409	2,9	0,070618
8	СТВ (апрель)	-902	-	-1,9	
9	СТВ (май)	3248	-	155,5	0,061115
10	СТВ(июнь)	-2719	-	-7,2	-
11	СТВ (июль)	51	-	12,9	-
12	СТВ (август)	5251	0,084446	38,3	-
13	СТВ(сентябрь)	5198	0,175681	126,7	0,11338
14	СТВ (октябрь)	1090	0,328994	-27,0	-

Из Табл. 1 следует, что наиболее мощными предикторами модели изменчивости КЛП являются временные ряды СТВ и МСО за вторую половину пожароопасного сезона (август – октябрь). Их суммарный относительный вклад в рассматриваемый процесс (88,4%) в 8 раз превосходит вклад изменений МСО для июня (11,5%).

Из этой таблицы также видно, что указанная особенность характерна и для предикторов модели изменчивости СПОЛ. Суммарный относительный вклад предикторов, соответствующих месяцам второй половины пожароопасного сезона, в 1,887 раза больше, чем аналогичный показатель для предикторов, соответствующих первой половине такого сезона.

Поэтому эффективность моделирования изменений КЛП и СПОЛ для всей России по результатам мониторинга СТВ и МСО в одной лишь первой половине пожароопасного сезона является невысокой.

Как видим, для периода 2000 – 2023 гг. моделирование межгодовых изменений КЛП и СПОЛ для всей территории России, с учетом одних лишь рассматриваемых гидротермических факторов, является вполне эффективным.

На Рис. 2 отображены зависимости от времени фактических значений КЛП для территорий изучаемых Федеральных округов России, а также результатов их моделирования с учетом рассматриваемых гидротермических факторов.

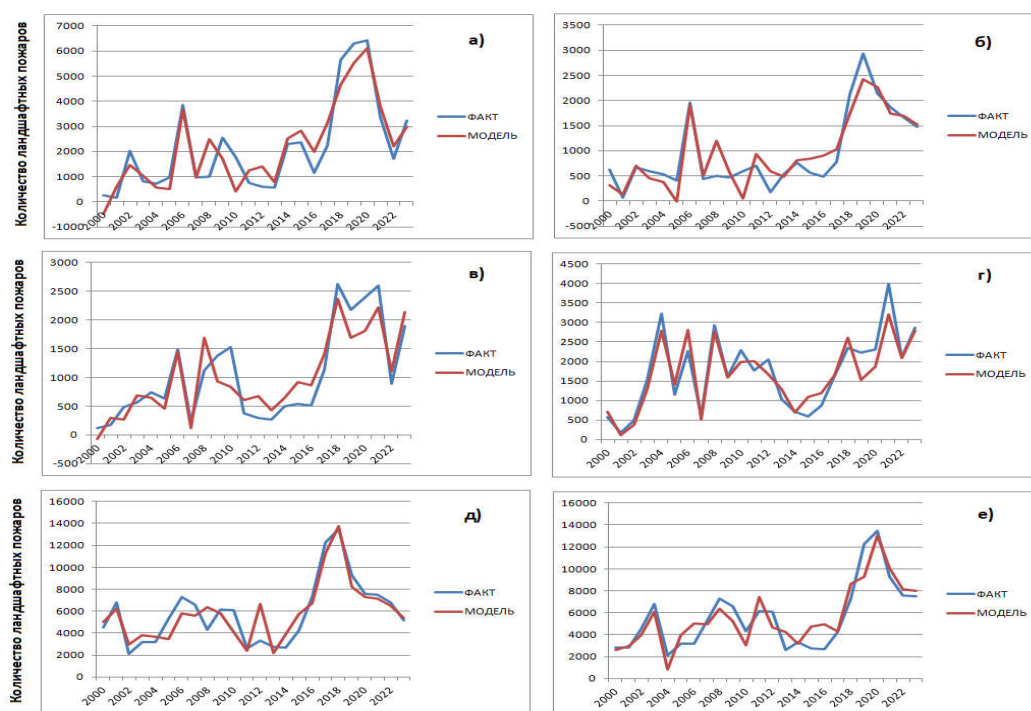


Рис. 2. Зависимости от времени фактических изменений КЛП на территориях Федеральных округов России, частично относящихся к лесной ландшафтной зоне, а также результатов их моделирования: а) ЦФО; б) СЗФО; в) ПФО; г) УФО; д) СФО; е) ДФО

Из Рис. 2 следует, что соответствие между результатами множественно-регрессионного моделирования изменчивости КЛП для всех рассматриваемых Федеральных округов России, а также самим этим процессом, является вполне удовлетворительным.

Проведенная оценка эффективности моделирования изменчивости КЛП показала его приемлемость для практики (значения относительных погрешностей моделирования ( $\delta$ , %) находятся в диапазоне от 17,3 до 32,1 %, относительные вклады результатов моделирования в фактическую изменчивость КЛП ( $R^2$ ) составили от 67,6 до 86,5 %, а отношения максимальной ошибки моделирования к среднему значению КЛП ( $\Delta\%$ ) – от 40,5 до 72,6 %). При этом максимальной она является для УФО ( $\delta$  – 17,3%,  $R^2$  – 86,5%,  $\Delta$  – 40,5%), не на много ниже она для СФО ( $\delta$  – 22 %,  $R^2$  – 81,8%,  $\Delta$  – 57,8%).

Предикторы моделей изменчивости КЛП для рассматриваемых Федеральных округов России, являющиеся наиболее мощными, соответствующие им коэффициенты ( $C_n$ ) этих моделей, а также их относительные вклады ( $R^2$ ) в указанные процессы приведены в Табл. 2.

**Табл. 2. Наиболее мощные предикторы моделей изменчивости КЛП для рассматриваемых Федеральных округов России, соответствующие им коэффициенты ( $C_n$ ) этих моделей, а также их относительные вклады ( $R^2$ ) в указанные процессы**

n	Предиктор	$C_n$	$R^2$	n	Предиктор	$C_n$	$R^2$
<b>ЦФО</b>							
0	Свободный член	-167590		4	МСО (июнь)	144	0,139912
1	СТВ(июнь)	718	0,255181	5	МСО (октябрь)	107	0,249044
2	СТВ(май)	-469	0,032106	6	МСО(май)	-80	0,036776
3	СТВ(октябрь)	312	0,169189	-			
<b>СЗФО</b>							
0	Свободный член	-77521,3		3	МСО(октябрь)	42,2	0,1651

1	СТВ(июнь)	153,1	0,20612	4	СТВ(октябрь)	105,6	0,09842
2	МСО(июнь)	67,5	0,204954				
ПФО							
0	Свободный член	-12090,2		4	СТВ(апрель)	-75,5	0,011207
1	СТВ (октябрь)	205,9	0,287457	5	СТВ(июль)	-282,6	0,046463
2	МСО(июнь)	50,0	0,094249	6	МСО(апрель)	-37,8	0,023182
3	МСО(октябрь)	64,6	0,170806	7	СТВ(август)	194,8	0,058754
УФО							
0	Свободный член			4	МСО(сентябрь)	47,3	0,093788
1	СТВ(октябрь)	298,9	0,166345	5	СТВ(июль)	-377,3	0,121023
2	СТВ(август)	-489,9	0,069566	6	СТВ(апрель)	-140,5	0,097841
3	МСО(июнь)	45,0	0,035486	7	МСО(октябрь)	26,2	0,035251
СФО							
0	Свободный член	-284759		4	СТВ(июль)	-919	0,080123
1	СТВ(июнь)	3105	0,284188	5	СТВ(октябрь)	304	0,123483
2	СТВ(май)	-1514	0,045056	6	МСО(август)	148	0,034899
3	МСО(апрель)	-231	0,005619	7	МСО(июль)	124	0,005425
ДФО							
0	Свободный член	-556382		3	СТВ(июнь)	853	0,242369
1	СТВ(октябрь)	596	0,320827	4	МСО(сентябрь)	141	0,038794
2	МСО(июнь)	135	0,05582	5	СТВ(сентябрь)	504	0,064018

Из Табл. 2 видно, что для ЦФО среди наиболее мощных предикторов модели изменчивости КЛП преобладают те, которые соответствуют изменениям СТВ или МСО для месяцев первой половины пожароопасного сезона (их суммарный относительный вклад в изучаемый процесс равен 0,464).

Аналогичный вывод справедлив также для СЗФО и СФО (здесь аналогичный показатель составляет 0,411 и 0,419). Поэтому для ЦФО, СЗФО, СФО вероятность успешного решения второй задачи исследования достаточно высока.

Для ПФО, УФО и ДФО к наиболее мощным предикторам относятся изменения рассматриваемых факторов в месяцы второй половины пожароопасного сезона. Следовательно, шансов на возможность высокой эффективности моделирования изменений КЛП, без учета таких предикторов, не много.

На Рис. 3 приведены зависимости от времени фактических значений СПОЛ для территорий изучаемых Федеральных округов России, а также результаты их моделирования с учетом одних лишь рассматриваемых гидротермических факторов.

Как следует из Рис. 3 для Федеральных округов, расположенных на Европейской территории России зависимости от времени фактических значений СПОЛ и результатов их моделирования характеризуются существенным подобием. Для ЦФО, СЗФО и ПФО максимумы упомянутых зависимостей приходятся на 2011 год.

Такого же подобиям у аналогичных зависимостей для Федеральных округов России, расположенных на Азиатской территории (включая Урал) не наблюдается. Некоторые их максимумы (например, 2012 г.) совпадают, но другие различаются.

Оценка эффективности моделирования изменчивости СПОЛ только по рассматриваемым гидротермическим факторам показала ее приемлемость в практических целях лишь для СЗФО ( $\delta_{\text{СПОЛ}} - 21,8\%$ ,  $R^2_{\text{СПОЛ}} - 89,5\%$ ,  $\Delta_{\text{СПОЛ}} - 49,9\%$ ), СФО ( $\delta_{\text{СПОЛ}} - 29,6\%$ ,  $R^2_{\text{СПОЛ}} - 76,7\%$ ,  $\Delta_{\text{СПОЛ}} - 60,1\%$ ) и ДФО ( $\delta_{\text{СПОЛ}} - 29,2\%$ ,  $R^2_{\text{СПОЛ}} - 74,6\%$ ,  $\Delta_{\text{СПОЛ}} - 51,1\%$ ).



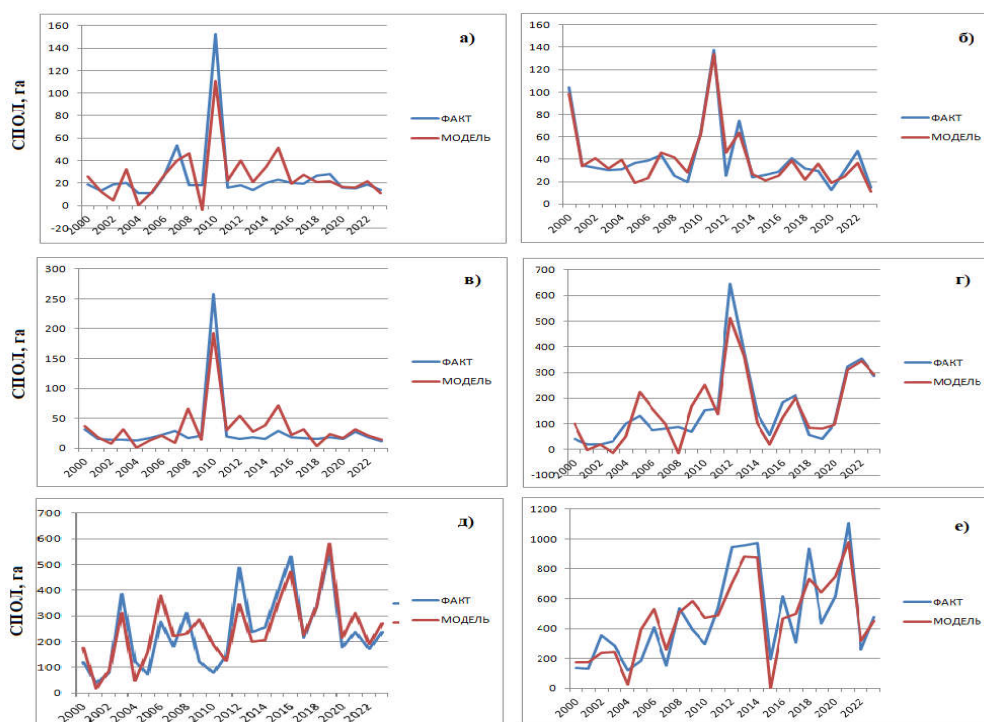


Рис. 3. Зависимости от времени фактических значений СПОЛ для территорий изучаемых Федеральных округов России, а также результатов их моделирования с учетом одних лишь рассматриваемых гидротермических факторов: а) ЦФО; б) СЗФО; в) ПФО; г) УФО; д) СФО; е) ДФО

Наиболее мощные предикторы моделей изменчивости СПОЛ для рассматриваемых Федеральных округов России, соответствующие им коэффициенты ( $C_n$ ) этих моделей, а также их относительные вклады ( $R^2$ ) в указанные процессы приведены в Табл. 3.

**Табл. 3. Наиболее мощные предикторы моделей изменчивости СПОЛ для рассматриваемых Федеральных округов России, соответствующие им коэффициенты ( $C_n$ ) этих моделей, а также их относительные вклады ( $R^2$ ) в указанные процессы**

	Предиктор	$C_n$	$R^2$	n	Предиктор	$C_n$	$R^2$
<b>ЦФО</b>							
0	Свободный член	-4124,23		3	СТВ(апрель)	6,97	0,023854
1	МСО(апрель)	-5,17	0,30718	4	МСО(июнь)	1,98	4,18E-05
2	СТВ(август)	8,47	0,006455	5	-	-	-
<b>СЗФО</b>							
0	Свободный член	9218,251		5	СТВ(апрель)	7,405	0,035757
1	СТВ(сентябрь)	-15,788	0,206824	6	СТВ(август)	-24,130	0,00663
2	МСО(июль)	-3,195	0,184733	7	МСО(июнь)	1,873	0,13605
3	МСО(сентябрь)	6,664	0,062515	8	МСО(апрель)	1,778	0,01288
4	МСО(октябрь)	-2,449	0,011985	9	МСО(май)	-0,831	0,01062
<b>ПФО</b>							
0	Свободный член	415,9045		3	СТВ(апрель)	12,5033	0,005675
1	МСО(апрель)	-8,5803	0,351005	4	СТВ(сентябрь)	-12,6126	0,36236
2	МСО(июнь)	4,1128	0,000374	5	-	-	-
<b>УФО</b>							
0	Свободный член	-32175,2		4	СТВ(сентябрь)	63,9	0,028728
1	СТВ(май)	123,9	0,202219	5	СТВ(октябрь)	-26,7	0,00052
2	СТВ(август)	-48,2	0,173994	6	МСО(май)	5,9	0,000102
3	МСО(август)	11,9	0,049574	-			
<b>СФО</b>							
0	Свободный член	149,31		3	СТВ(июнь)	54,0	0,092766
1	СТВ(сентябрь)	85,9	0,352788	4	МСО(май)	-7,9	0,084819

2	МСО(июнь)	17,0	0,245172	5	МСО(октябрь)	4,3	0,008044
ДФО							
0	Свободный член	-7022,45		3	СТВ(май)	286,76	0,043082
1	СТВ(июнь)	-89,12	0,157446	4	СТВ(июль)	-172,25	0,004653
2	МСО(октябрь)	41,40	0,240203	5	МСО(июнь)	19,81	0,005705

Из Табл. 3 следует, что суммарные относительные вклады предикторов, которым соответствуют ряды СТВ или МСО для первой половины пожароопасного сезона, преобладают для ЦФО, СЗФО и СФО, вследствие чего прогнозирование для них изменений СПОЛ на весь год представляется более эффективным.

В тоже время для ПФО, ДФО и УФО рассматриваемые вклады для вариаций тех же показателей, соответствующих второй половине пожароопасного сезона заметно больше, поэтому их исключение из числа предикторов модели не может не сказаться на их эффективности.

Аналогичные исследования, выполненные для временных рядов КЛП и СПОЛ за период 2005 – 2023 гг. и 2010 – 2023 гг., показали, что относительные вклады результатов моделирования в среднюю и мощную изменчивость изучаемых процессов тем меньше, чем меньше продолжительность этих периодов.

Полученный результат соответствует представлениям [7,11,14,21-23] о том, что главными причинами ЛП на территории России являются антропогенные факторы.

В отличие от гидротермических факторов, подчиняющихся законам природы и потому изменяющимся упорядоченно, антропогенные факторы, как правило, хаотичны. Вследствие этого, чем больше продолжительность периода времени, на котором изучаются изменения КЛП и СПОЛ, тем в большей степени влияния на них антропогенных факторов нивелируются, а действие гидротермических факторов оказывается более значимым.

Из полученного результата следует, что в целом за период современного потепления климата влияние гидротермических факторов на горимость лесов России было еще сильнее, чем за 2000 – 2023 гг., а при дальнейшем развитии процесса потепления, их горимость еще более возрастет (что подтверждает справедливость выводов [12,24,25]).

При решении второй задачи, определены значения коэффициентов множественно-регрессионных моделей рядов КЛП и СПОЛ для России в целом, а также всех изучаемых Федеральных округов, описывающих изменения этих показателей в 2000 – 2022 гг. При этом в качестве предикторов использовались временные ряды СТВ и МСО для месяцев апрель – июль 2000 – 2022 гг.

Было установлено, что относительные вклады результатов моделирования изучаемых процессов для всей России не превышают 15%, что свидетельствует о недопустимости исключения из числа предикторов соответствующих моделей факторов, соответствующих второй половине пожароопасного сезона. В тоже время для ряда Федеральных округов эффективность таких моделей оказалась удовлетворительной. Поэтому значения упомянутых коэффициентов моделей, соответствующих изучаемым Федеральным округам, представлены в Табл. 4.

Далее осуществлено моделирование изменений в период 2001 – 2023 гг. КЛП и СПОЛ с использованием тех же моделей, где в качестве предикторов использованы временные ряды СТВ и МСО для месяцев апрель – июль 2001 – 2023 гг. При этом значения коэффициенты таких моделей не вычислялись, а выбирались из таблицы 5.

Очевидно, что получаемые таким образом результаты моделирования не являются оптимальными (поскольку коэффициенты моделей, используемых для их получения, соответствуют периоду времени 2000 – 2022 гг.).

Тем не менее, рассматриваемые модели связывают результаты мониторинга СТВ и МСО, относящиеся к месяцам апрель – июль 2023 года, со значениями КЛП и СПОЛ для этого года, которые могли быть фактически определены лишь после завершения этого года. Поэтому, фактически, полученные таким образом модели описывают прогноз изучаемых показателей для

всего пожароопасного сезона по информации о вариациях гидротермических факторов, полученной лишь за его первую половину. Этот прогноз соответствует сценарию, предполагающему, что никаких грандиозных катаклизмов, способных радикально изменить связи между КЛП, СПОЛ и этими факторами, во второй половине пожароопасного сезона текущего года не случится.

Прогнозные и фактические значения КЛП и СПОЛ, а также отношения значений ошибок их прогнозов (разности фактического значения и прогноз) к соответствующим фактическим значениям, представлены в Табл. 5.

**Табл. 4. Коэффициенты ( $C_n$ ) множественно-регрессионных моделей изменчивости в 2000 – 2022 гг. КЛП и СПОЛ для рассматриваемых Федеральных округов России, где, в качестве предикторов, учтены изменения МСО и СТВ для месяцев апрель – июль**

Предиктор	МСО апрель	МСО май	МСО июнь	МСО июль	СТВ апрель	СТВ май	СТВ июнь	СТВ июль	
<b>КЛП</b>									
ФО	$C_0$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$
ЦФО	-169140	83,3	-87,5	53,8	37,9	-130,5	-663,6	1334,3	4,9
СЗФО	-16394,3	48,9	-44,6	29,6	0,5	-116,4	-233,3	479,4	-91,3
ПФО	-42217,7	1,4	-2,5	9,5	31,8	-69,8	-153,4	505,8	-149,3
УФО	182307,7	4,3	10,8	-1,2	-17,8	-210,5	6,3	16,5	-448,0
СФО	-217217	-215,3	-52,6	-24,8	108,2	279,7	-	3334,8	-
ДФО	-340518	75,9	-65,1	78,2	-15,7	24,6	-443,3	1375,2	212,3
<b>СПОЛ, га</b>									
ЦФО	-3942,1	-4,1	-0,2	2,3	0,5	6,9	6,7	-1,5	2,5
СЗФО	-411,8	0,2	0,9	1,0	-1,4	2,1	14,0	-12,7	-1,3
ПФО	-7508,3	-7,2	1,4	4,1	0,9	10,3	17,7	-8,8	8,2
УФО	-7523,8	-10,8	8,1	4,0	-9,6	20,2	68,3	-38,6	-18,0
СФО	-8145,0	-7,6	-9,7	18,4	-6,9	21,9	-76,3	78,2	5,2
ДФО	-77824	6,7	17,4	0,2	26,1	28,4	190,7	62,1	-10,7

**Табл. 5. Прогнозные и фактические значения КЛП и СПОЛ на 2023 г. для рассматриваемых Федеральных округов России, а также значения относительных ошибок этих прогнозов**

Федеральный Округ	КЛП			СПОЛ, га		
	прогноз	факт	Относительная ошибка прогноза (%)	прогноз	факт	Относительная ошибка прогноза (%)
ЦФО	6301	4733,3	24,9	28,364	-25,165	188,7
СЗФО	2928	2396,9	18,1	29,828	58,546	-96,3
ПФО	2174	1683,9	22,5	18,042	-59,087	427,5
УФО	2223	1117,6	49,7	41,396	64,089	-54,8
СФО	9277	7769,1	16,3	548,083	504,362	7,9
ДФО	12285	4766,0	61,2	434,450	669,786	-54,2

Из Табл. 5 видно, что для многих Федеральных округов ошибки рассматриваемых прогнозов весьма велики. Тем не менее, для прогноза КЛП они принимают наименьшие значения для СФО и СЗФО. Прогноз СПОЛ на 2023 г. оказался достаточно точным для СФО.

Результаты, представленные в табл. 6, показывают, что в некоторые годы рассматриваемые прогнозы КЛП и СПОЛ могут быть достаточно близкими к фактическим значениям этих показателей. Тем не менее, судить о точности или оправданности таких прогнозов они не позволяют (ведь в 2023 году могло иметь место случайное совпадение).

Поэтому были рассчитаны относительные погрешности моделирования ( $\delta$ , %) изменений КЛП и СПОЛ ( $\delta_p$ , %), по результатам мониторинга СТВ и МСО на первую половину пожароопасного сезона, их прогнозирования на предстоящий год, а также относительные вклады их результатов ( $R^2$  и  $R_p^2$ ) в фактические изменения этих показателей, которые представлены в Табл. 6.

**Табл. 6. Относительные погрешности моделирования**

Федеральный Округ	КЛП				СПОЛ			
	$\delta\%$	$\delta_{п, \%}$	$R^2, \%$	$R_{п}^2, \%$	$\delta\%$	$\delta_{п, \%}$	$R^2, \%$	$R_{п}^2, \%$
ЦФО	65,3	59,9	56,3	55,3	71,2	86,1	51,4	45,8
СЗФО	57,8	65,6	59,0	50,8	55,8	57,4	56,5	51,3
ПФО	61,3	62,8	43,2	34,6	102,3	126,6	26,6	25,7
УФО	44,9	49,3	31,2	26,5	80,9	77,7	41,3	45,0
СФО	30,5	29,1	70,4	72,7	48,7	40,3	49,3	58,2
ДФО	36,0	50,7	34,2	25,6	48,8	47,5	43,2	42,4

Из Табл. 6 следует, что относительные вклады результатов моделирования изучаемых процессов, с использованием лишь части их значимых предикторов, в среднюю мощность временной изменчивости КЛП и СПОЛ, меньше, чем, если бы учитывались они все. Для такого процесса, как изменения КЛП, эти показатели больше, чем для вариаций СПОЛ.

Для изменений КЛП, значения этих показателей для СФО, ЦФО и СЗФО превышают 50% (в том числе для СФО – 70%, при относительной погрешности моделирования 30,5%). Для вариаций СПОЛ тот же уровень превышают относительные вклады рассматриваемых факторов для ЦФО и СЗФО (а для СФО этот показатель равен 49,3%, при относительной погрешности моделирования 48,7%).

Причиной этого является наличие значимой положительной корреляции межгодовых изменений СТВ и МСО, соответствующих территориям указанных Федеральных округов, для июня и некоторых других учитываемых месяцев, с вариациями средних значений этих показателей за весь пожароопасный сезон (для СТВ достоверность этого вывода превышает 0,99, а для МСО – 0.95). Сказывается, по-видимому, и то, что на многих лесных территориях пик горимости приходится на месяцы первой половины пожароопасного сезона (на юге – май, на севере – июнь и даже июль).

Из той же таблицы видно, что относительные вклады результатов прогнозирования в среднюю мощность изменчивости КЛП и МСО несколько меньше (а для СФО даже больше), чем аналогичные показатели результатов моделирования. Последнее объясняется не только неоптимальностью применяемых для прогнозирования множественно-регрессионных моделей, но и нестационарностью изучаемых процессов (сдвиги по времени начала изучаемого отрезка ряда приводит к изменению некоторых его статистических характеристик).

Таким образом, установлено, что моделирование и прогнозирование изменений КЛП и СПОЛ на текущий год, с использованием в качестве предикторов множественно-регрессионных моделей временных рядов СТВ и МСО для месяцев апрель – июль, наиболее эффективно для СФО, ЦФО и СЗФО. Последнее объясняется тем, что среди наиболее мощных предикторов этих процессов, преобладают межгодовые изменения СТВ и МСО для указанных месяцев.

Следовательно, обе поставленные задачи решены, а цель работы достигнута.

### **Выводы.**

1. Главными факторами изменений в 2000 – 2023 гг. горимости лесов на территориях России и ее Федеральных округов являлись вариации среднемесячных температур воздуха и месячных сумм атмосферных осадков в месяцы пожароопасного периода. Их суммарные относительные вклады в среднюю мощность изменчивости количества ландшафтных пожаров на всей территории России составляли 83,4% (минимум 67,6% на территории Дальневосточного Федерального округа). Суммарные вклады тех же факторов в среднюю мощность изменчивости средних площадей участков всей территории России, пройденных огнем при одном пожаре, равнялись в среднем 57,9% (минимум 65,9% на территории Центрального Федерального округа).

2. К числу наиболее мощных предикторов множественно-регрессионных моделей изучаемых процессов на территориях России в целом, а также ее Поволжского, Уральского и

Дальневосточного Федеральных округов, относятся указанные гидротермические факторы, которые соответствуют месяцам август – октябрь.

3. Для Сибирского, Центрального и Северо-Западного Федеральных округов среди наиболее мощных предикторов преобладают те же гидротермические факторы для месяцев апрель – июль, вследствие чего эффективное моделирование рассматриваемых процессов для них возможно с учетом гидрометеорологической информации только за первую половину пожароопасного сезона.

4. Для тех же Федеральных округов возможно эффективное прогнозирование изучаемых показателей на текущий год с учетом гидрометеорологической информации за одну лишь первую половину его пожароопасного сезона, а также коэффициентов их множественно-регрессионных моделей, верифицированных для отрезка времени, завершающегося предыдущим годом. Соответствующие прогнозы могут оправдаться при осуществлении сценария будущего, при котором катаклизмов, способных радикально изменить связи между КЛП, СПОЛ и упомянутыми факторами, во второй половине пожароопасного сезона текущего года в России не случится.

5. Актуальной проблемой мониторинга (моделирования и прогнозирования) изменчивости рисков возникновения ландшафтных пожаров на территориях всей России, а также ее Федеральных округов является совершенствование технологий мониторинга гидротермических факторов на всех ее лесопокрытых территориях.

#### Список источников

1. Мадера А.Г. Риски и шансы: неопределенность, прогнозирование и оценка. — М.: УРСС, 2014. – 448 с.
2. Менеджмент риска. Принципы и руководство. – Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р ИСО 31000-2019 – М.: Стандартинформ. – 2020. – 19 с.
3. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: официальный сайт. – Москва. URL [Электронный текст]. Режим доступа: [https://pushkino.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml).
4. Шешуков, М. А., Ковалев, А. П., Орлов, А. М., Позднякова, В. В. Проблемы и перспективы охраны лесов от пожаров // Сибирский лесной журнал. 2020. № С. 14 – 20. <https://doi.org/10.15372/SJFS202002026>.
5. Демаков, Ю. П. Влияние факторов среды на рост деревьев в сосняках Республики Марий Эл : монография / Ю. П. Демаков. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2023. – 480 с.
6. Доррер Г.А. Динамика лесных пожаров. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2008. 404 с. 233
7. Мозырев Н.К., Корнишин В.А., Кошкарлов В.С. Пожарная безопасность лесов // Вестник современных исследований. 2019. № 2-1 (29). С. 60–63.
8. Чуйков А.М., Сметанкина Г.И., Дорохова О.В. Проблемы снижения уровня пожарной опасности территорий, расположенных в зоне риска лесных пожаров // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2019. № 1 (10). С. 465–468.
9. Шешуков М.А., Ковалев А.П., Орлов А.М., Позднякова В.В. Проблемы и перспективы охраны лесов от пожаров // Сибирский лесной журнал. 2020. № 2. С.14–20.
10. Методический кабинет Гидрометцентра России. 1.2. Оценка степени пожарной опасности в лесах. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://method.meteorf.ru/danger/fire/estime/estime.html>
11. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М. : Гослесбумиздат, 1949. 76 с.
12. Шешуков, М. А. Потепление климата и его влияние на горимость лесов в разных зонально- географических условиях России / М. А. Шешуков, С. А. Громыко // Использование и воспроизводство лесных ресурсов на Дальнем Востоке : Труды. Том Выпуск 39. – Хабаровск : Федеральное бюджетное учреждение "Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства", 2016. – С. 163-168.

13. Селиховкин А. В., Смирнов А. П. Лесные пожары, вредители и болезни леса: проблемы и решения : // Биосфера. — 2015.-С.315-320
14. Валендик Э.Н. Ландшафтные пожары тайги Центральной Сибири / Э.Н. Валендик [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2014. – №3. – С. 73 – 86.
15. Сверлова Л.И. Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учетом поясов атмосферной засушливости и сезонов года. Хабаровск . -2000. -46с.
16. Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Сергеев И.Ю., Батура А.Н., Бабеньшев С.В. Атмосферные блокировки над Сибирью и лесные пожары на ее территории в 2012-2020 гг.// Техносферная безопасность. 2022. - №4 (37). -С.3-17.
17. Дроздова, Т. И., Сороковикова, Е. В. Анализ лесных пожаров в Иркутской области в 2010-2019 гг. // XXI век. Техносферная безопасность. – 2021. – 6(1). – С. 29-41. DOI:10.21285/2500-1582-2021-1-29-41
18. База данных Результаты реанализа ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form>.
19. Банк данных об изменениях метеословий в различных регионах мира [Электронный ресурс]. Режим доступа : - [tutitempo.net/climate/](http://tutitempo.net/climate/).
20. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Диалектика. -2017. - 912с.
21. Дроздова Т.И., Сороковикова Е.В. Анализ лесных пожаров в Иркутской области в 2010-2019 гг. //XXI век. Техносферная безопасность. -2021. -6(1). – С.29-41.
22. Думнов А. Д., Максимов Ю. И., Рошупкина Ю.В., Аксенова О. А., 2005. Лесные пожары в Российской Федерации (статистический справочник), под ред. А.Д. Думнова, Н.Г. Рыбальского, М., НИА-Природа, 229 с.
23. Недоцук В. Е., Козельцов А. В. Исследование лесных пожаров : // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. — 2016.- С 91 - 93.
24. Касимов Н.С., Кислов А.В., Бабуринов В.Л. Регионы России: локальные последствия глобального потепления // Экология и жизнь. – 2012. – № 8. – С. 72 – 77.
25. Талалаева, Г. В. Экспертная оценка пожарных рисков хвойных лесов в условиях глобального потепления климата / Г. В. Талалаева, А. П. Новоселов // Петербургские пенитенциарные конференции : Сборник материалов комплекса международных научно-практических конференций: в 2-х томах, Санкт-Петербург - Пушкин, 17 – 19 мая 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет Федеральной службы исполнения наказаний, 2023. – С. 146-152.

## References

1. Madera A. G. Risks and chances: uncertainty, forecasting and assessment. - М.: URSS, 2014. - 448 с.
2. Risk management. Principles and guidelines. - National standard of the Russian Federation. GOST R ISO 31000-2019 - М.: Standartinform. - 2020. - 19 с.
3. Information system of remote monitoring of the Federal Forestry Agency: official website. - Moscow. URL [Electronic text]. Access mode: [https://pushkino.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml) .
4. Sheshukov, M. A., Kovalev, A. P., Orlov, A. M., Pozdnyakova, V. V. Problems and prospects of forest protection from fires // Siberian Forestry Journal. 2020. № С. 14 - 20. <https://doi.org/10.15372/SJFS202002002026>.
5. Demakov, Y. P. Influence of environmental factors on tree growth in pine forests of the Republic of Mari El : a monograph / Y. P. Demakov. - Yoshkar-Ola: Volga State Technological University, 2023. - 480 с.
6. Dorrer G.A. Dynamics of forest fires. Novosibirsk : Izd-vo SO RAS, 2008. 404 с. 233
7. Mozyrev, N.K.; Kornishin, V.A.; Koshkarov, V.S. Fire safety of forests (in Russian) // Bulletin of modern research. 2019. № 2-1 (29). С. 60-63.
8. Chuikov A.M., Smetankina G.I., Dorokhova O.V. Problems of reducing the level of fire danger of territories located in the risk zone of forest fires // Modern technologies for civil defense and emergency response. 2019. № 1 (10). С. 465-468.
9. Sheshukov M.A., Kovalev A.P., Orlov A.M., Pozdnyakova V.V.. Problems and prospects of forest protection from fires // Siberian Forest Journal. 2020. № 2. С.14-20.

10. Methodological office of the Hydrometeorological Center of Russia. 1.2. Assessment of the degree of fire danger in forests. [Electronic resource]. Access mode: <https://method.meteor.ru/danger/fire/estimate/estimate.html>
11. Nesterov V.G. Burnability of forests and methods of its determination. M. Goslesbumizdat, 1949. 76 с.
12. Sheshukov, M. A. Climate warming and its impact on forest burning in different zonal-geographical conditions of Russia / M. A. Sheshukov, S. A. Gromyko // Use and reproduction of forest resources in the Far East : Proceedings. Vol. 39. - Khabarovsk : Federal Budgetary Institution "Far Eastern Forestry Research Institute", 2016. - С. 163-168.
13. Selikhovkin A. V., Smirnov A. P. Forest fires, pests and forest diseases: problems and solutions : // Biosphere. - 2015.-С.315-320
14. Valendik E.N. Landscape fires in the taiga of Central Siberia / E.N. Valendik [et al.] // Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauki. Series geographical. - 2014. - №3. - С. 73 - 86.
15. Sverlova L.I. Method for assessing fire danger in forests by weather conditions taking into account atmospheric aridity belts and seasons of the year. Khabarovsk . -2000. -46с.
16. Kholoptsev A.V., Shubkin R.G., Sergeev I.Yu., Baturo A.N., Babenishev S.V. Atmospheric blokings over Siberia and forest fires on its territory in 2012-2020 // Technospheric safety. 2022. - №4 (37). -С.3-17.
17. Drozdova, T. I., Sorokovikova, E. V. Analysis of forest fires in the Irkutsk region in 2010-2019 // XXI century. Technospheric safety. - 2021. - 6(1). - С. 29-41. DOI:10.21285/2500-1582-2021-1-29-41
18. Database Results of the ERA5 reanalysis of hourly data on pressure levels from 1979 to present. [Electronic resource]. Access mode: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form>.
19. Data Bank on changes in meteorological conditions in different regions of the world [Electronic resource]. Access mode : - [tutiempo.net/climate/](http://tutiempo.net/climate/).
20. Draper N., Smith G. Applied regression analysis. M.: Dialectics. -2017. -912с.
21. Drozdova T.I., Sorokovikova E.V. Analysis of forest fires in the Irkutsk region in 2010-2019 //XXI century. Technospheric safety. -2021. -6(1). - С.29-41.
22. Dumnov A. D., Maksimov Y. I., Roschupkina Y. V., Aksenova O. A., 2005. Forest fires in the Russian Federation (statistical handbook), ed. by A.D. Dumnov, N.G. Rybalsky, M., NIA-Priroda, 229 p.
23. Nedotsuk V. E., Kozeltsov A. V. Study of forest fires : // Fire safety: problems and prospects. - 2016.- С 91 - 93.
24. Kasimov N.S., Kislov A.V., Baburin V.L. Regions of Russia: local consequences of global warming // Ecology and Life. - 2012. - № 8. - С. 72 - 77.
25. Talalaeva, G. V. Expert assessment of fire risks of coniferous forests in conditions of global climate warming / G. V. Talalaeva, A. P. Novoselov // St. Petersburg Penitentiary Conferences : Proceedings of a set of international scientific conferences: in 2 volumes, St. Petersburg - Pushkin, May 17 - 19, 2023. - St. Petersburg: St. Petersburg University of the Federal Service for the Execution of Punishments, 2023. - С. 146-152.

Информация об авторах

А.В. Холопцев – доктор географических наук, профессор

Д.В. Седов - кандидат технических наук

Information about the author

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

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

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

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

Статья поступила в редакция 04.03.2024; одобрена после рецензирования 14.03.2024; принята к публикации 20.03.2024.

The article was submitted 04.03.2024, approved after reviewing 14.03.2024, accepted for publication 20.03.2024.