

Научная статья  
УДК 630; 502.45; 630\*426.1  
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.88.73.006

## Априорная оценка оправдываемости прогнозов количества лесных пожаров в Якутии на 2024 и 2025 гг. с учетом изменений потоков космических лучей и солнечной активности

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

*Наталья Юрьевна Проскова<sup>2</sup>*

*Роман Геннадьевич Шубкин<sup>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/0009-0000-0068-2968>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-7163-8146>

*Автор ответственный за переписку: Наталья Юрьевна Проскова, [knd@sibpsa.ru](mailto:knd@sibpsa.ru)*

**Аннотация.** Долгосрочные прогнозы изменений количества лесных пожаров, выявляемых за год на территории Якутии, необходимо учитывать при принятии управляющих решений по обеспечению пожарной безопасности региона. Цель данной работы - разработка и оценка оправдываемости прогнозов количества лесных пожаров для территории Якутии на 2024 и 2025 годы с учетом изменений потоков космических лучей и солнечной активности. Для ее достижения, среди указанных факторов определены предикторы прогностической модели изучаемых процессов, учет которых обеспечивал удовлетворительную оправдываемость рассматриваемых прогнозов на 2017 – 2023гг. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в 2000 – 2023 гг. сценарий изучаемого процесса был близок к консервативному. Из разработанных прогнозов следует, что, если сценарий дальнейших изменений пожарной опасности в Якутии сохранится таким же, количество лесных пожаров, которые в 2024 и в 2025 годах возникнут на ее территории, не превысит уровень 2023 года. Разработанные прогнозы целесообразно учитывать при планировании основных мероприятий соответствующих функциональных подсистем Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

**Ключевые слова:** Республика Саха (Якутия), горимость лесов, солнечная активность, термический режим, поток вторичных космических лучей, оценка, прогноз

**Для цитирования:** Холопцев А.В., Проскова Н.Ю., Шубкин Р.Г. Априорная оценка оправдываемости прогнозов количества лесных пожаров в Якутии на 2024 и 2025 гг. с учетом изменений потоков космических лучей и солнечной активности // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 3 (34). С.86-96. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.88.73.006>.

Original article

## APRIORI ASSESSMENT OF THE FEASIBILITY OF FORECASTS OF THE NUMBER OF FOREST FIRES IN YAKUTIA FOR 2024 AND 2025 TAKING INTO ACCOUNT CHANGES IN COSMIC RAY FLUXES AND SOLAR ACTIVITY

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

*Natalya Yu. Proskova*<sup>2</sup>

*Roman G. Shubkin*<sup>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/0009-0000-0068-2968>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0002-7163-8146>

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

**Abstract.** Long-term forecasts of changes in the number of forest fires detected per year on the territory of Yakutia should be taken into account when making management decisions to ensure fire safety in the region. The purpose of this work is to develop and assess the feasibility of forecasts of the number of forest fires for the territory of Yakutia for 2024 and 2025, taking into account changes in cosmic ray fluxes and solar activity. To achieve this goal, among the factors mentioned above, the predictors of the prognostic model of the processes under study were determined, taking into account which provided satisfactory justifiability of the forecasts under consideration for 2017 - 2023. The obtained results indicate that in 2000 - 2023 the scenario of the studied process was close to the conservative one. It follows from the developed forecasts that if the scenario of further changes in fire danger in Yakutia remains the same, the number of forest fires that will occur on its territory in 2024 and 2025 will not exceed the level of 2023. It is advisable to take into account the developed forecasts when planning the main activities of the relevant functional subsystems of the Unified State System for Prevention and Elimination of Emergency Situations.

**Keywords:** Republic of Sakha (Yakutia), forest burning, solar activity, thermal regime, secondary cosmic ray flux, assessment, prediction

**For citation:** Kholoptsev A.A., Proskova N.Yu., Shubkin R.G. A priori assessment of the feasibility of forecasts of the number of forest fires in Yakutia for 2024 and 2025, taking into account changes in cosmic ray fluxes and solar activity // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 3 (34). С. 86-96. (In Russ.) [https://doi.org/ 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.88.73.006](https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.88.73.006).

### Введение

Количество лесных пожаров (далее КЛП), произошедших за год на территории того или иного региона России является одним из основных показателей горимости его лесов, и во многом определяет уровень пожарного риска, которому подвергалось его население и экономика. Поэтому долгосрочные прогнозы этого показателя [1] для различных ее регионов, необходимо принимать во внимание при планировании деятельности соответствующих функциональных подсистем Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее РСЧС).

Вместе с тем, методик прогнозирования, которые гарантировали бы удовлетворительную оправдываемость таких прогнозов, не предложено. Установлено, что оправдываемость подобных прогнозов существенно зависит от сценария дальнейших изменений горимости изучаемых лесов, а также от набора факторов, которые учитывались при их разработке.

Наибольший интерес решение указанной проблемы представляет для регионов России, обладающих значительными лесными ресурсами, одним из которых является Республика Саха (Якутия) (далее РС).

Зависимости от времени количества ландшафтных пожаров (далее КЛП) на территории РС, построенные по данным [3], представлены на Рис. 1.

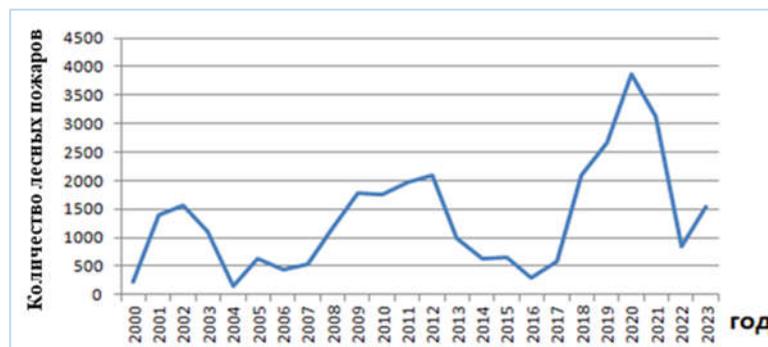


Рис.1. Зависимости от времени КЛП на территории РС, построенные по данным

Как видим из Рис. 1, изменения КЛП на территории РС в период 2000 – 2023 гг. представляли собой сложное колебание с периодом основной моды около 10 – 11 лет. Последнее позволяет предположить возможность долгосрочного прогнозирования этого процесса, с учетом факторов, имеющих ту же периодичность, при условии, что сценарий дальнейших изменений его состояния окажется близким к консервативному.

Одной из причин изменения КЛП являются вариации средних за пожароопасный сезон значений температур земной поверхности, а также приземного слоя атмосферы, которые непосредственно влияют на изменения интенсивности испарения влаги из горючего материала [4]. Такие вариации, как правило, являются следствием соответствующих изменений оптической плотности облачности, которая располагается над соответствующими территориями и влияет на интенсивность их инсоляции.

Указанная характеристика этой облачности во многом зависит от интенсивности ионизации воздуха соответствующих слоев тропосферы, приводящей к образованию в нем весьма эффективных атмосферных ядер конденсации или кристаллизации [5].

Главным фактором ионизации воздуха тропосферы являются проникающие в нее космические лучи (далее КЛ), потоками которых, благодаря Форбуш-эффекту [6], управляет солнечная активность [5]. Вследствие последнего квазициклически изменяются не только солнечная активность, но и среднегодовые потоки КЛ.

Продолжительности циклов как солнечной активности, так и изменчивости потоков КЛ составляют 10 – 11 лет.

Значительная амплитуда изменений КЛП на территории РС, а также значения продолжительностей их циклов, близкие к 11 годам, позволяют предположить, что влияние на изучаемый процесс упомянутых факторов в 2000 – 2023 гг. являлось значимым и может остаться таковым и в будущем.

Учитывая это, целью данной работы являлась проверка выдвинутой гипотезы, а также оценка АОО рассматриваемых прогнозов КЛП для территории РС.

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Определение сдвигов по времени между изменениями КЛП для территории РС и рассматриваемыми их факторами, при которых статистические связи между ними в современном периоде значимо усиливались.
2. Оценка АОО долгосрочных прогнозов изменений КЛП для территории РС, которые разработаны с применением указанного подхода и с учетом выявленных факторов.
3. Разработка таких прогнозов на 2024 и 2025 годы.

### Фактический материал и методика исследования

Как фактический материал использована информация о значениях КЛП на территории РС для каждого года из периода 2000 – 2023 гг., представленная в [3].

Также рассматривались сведения об изменениях за период с 1989 по 2023 гг. среднегодовых значений индекса Solar [7] и потоков КЛ, поступающих в тропосферу, которые зафиксированы на параллелях  $55^{\circ} 56' \text{с.ш.}$  и  $68^{\circ} 58' \text{с.ш.}$  [8].

Из указанного фактического материала сформированы изучаемые временные ряды. Как показал предварительный анализ связей между ними, значение коэффициента корреляции между временными рядами рассматриваемых характеристик КЛ, соответствующих упомянутым пунктам, равно 0,98, при количестве степеней их свободы 65. Так как среднегодовые значения потоков КЛ практически не зависят от долготы участка, на котором они регистрируются, полученная оценка позволяет утверждать, что эти временные ряды репрезентативны также для всех лесопокрытых территорий РС (которые в основном расположены между такими же параллелями). Последнее позволило дальнейшие исследования проводить с использованием информации о среднегодовых потоках КЛ, основанной на результатах их мониторинга в г. Долгопрудный.

Методика решения первой задачи предполагала изучение статистических связей между изучаемым процессом и его факторами с применением метода корреляционного анализа.

Из временного ряда КЛП сформировано 7 отрезков, соответствующих периодам времени продолжительностью по 18 лет: 2000 – 2017 гг., 2001 – 2018 гг. ..., 2006 – 2023 гг., начала которых различаются по времени на 1 год.

Изучались взаимокорреляционные функции (далее ВКФ) каждого из этих отрезков с рядами Solar и КЛ. Определялись сдвиги по времени между началами отрезков упомянутых рядов и началами рассматриваемых отрезков ряда КЛП, при которых их корреляция с достоверностью 0,95 являлась значимой и усиливалась по мере увеличения года начала последних.

Поскольку каждый рассматриваемый отрезок содержит 18 членов, пороговый уровень, при превышении которого значением модуля коэффициента корреляции сопоставляемых рядов, вывод о значимости связи между ними характеризуется достоверностью не менее 0,95 (по критерию Стьюдента) равен 0,46. Учитывая это, для каждого отрезка определены упомянутые выше сдвиги, а из соответствующих значений ВКФ сформированы временные ряды, содержащие по 7 членов. Для каждого такого ряда определено значение углового коэффициента его линейного тренда. Решение об усилении соответствующей связи принималось, если достоверность вывода о значимости углового коэффициента такого тренда, составляла не менее 0,95, а среднее значение ВКФ совпадало с ним по знаку.

С учетом выявленных сдвигов, из временных рядов Solar и КЛ сформированы их отрезки длиной 18 лет, опережающие по времени каждый отрезок ряда КЛП, которые использованы далее в качестве предикторов линейной множественно регрессионной модели (далее модель).

При решении задачи 2 осуществлена верификация модели, соответствующей каждому отрезку ряда КЛП, предикторами которой являются выявленные отрезки рядов КЛ и Solar. Для этого, с применением программы Multiply Regression в режиме All effects, из пакета Statistika, определены значения ее коэффициентов  $C_0, C_1, \dots, C_N$ .

С использованием коэффициентов, полученных для каждого отрезка ряда КЛП, а также значений КЛ и Solar, соответствующих следующим по времени отрезкам этого ряда, с использованием уравнения линейной множественной регрессии вычислены прогнозы изучаемого процесса с заблаговременностью 1 и 2 года.

Нетрудно видеть, что в каждом отрезке ряда КЛП его члены со 2-го по 18-й, совпадают с 1 – 17 членами из следующего отрезка. Лишь 18-е значение этого показателя из следующего окна, а также соответствующие значения предикторов модели, являются новыми. Поэтому вычисленное в результате указанной подстановки значение  $Y_{18}$  представляет собой прогноз изучаемого процесса с заблаговременностью 1 год, а значения  $Y_1 - Y_{17}$  – фактически совпадают с результатами его моделирования.

Как АОО прогноза КЛП, разработанного с учетом выявленных факторов, рассматривалась частота, с которой тенденция изменения его прогнозируемого значения на отрезке времени ( $Y_{17}$ ;  $Y_{18}$ ) совпадала с его фактической тенденцией. Кроме того, вычислялись значения смещения и среднеквадратического отклонения разности фактического и прогнозируемого значения КЛП.

Так как всего отрезков ряда КЛП сформировано 7, общие количества прогнозов этого показателя с заблаговременностью 1 и 2 года, по которым вычислялись значения АОО, составляли соответственно 6 и 5.

При решении третьей задачи сформированы два временных ряда, соответствующие отрезкам времени 2007 – 2024 гг. и 2008 – 2025 гг.. Члены обоих рядов, соответствующие годам, предшествующим 2024, совпадают с членами ряда КЛП для тех же годов. Как их члены для 2024 и 2025 г., использованы их прогнозы, которые вычислены с применением модели, в которую подставлены значения коэффициентов, верифицированных для отрезка ряда КЛП, соответствующего 2006 – 2023 гг.. С использованием этих рядов осуществлена верификация моделей, используемых для определения прогнозов КЛП на 2024 и 2025 год. При вычислении этих прогнозов в указанные модели подставлены значения их предикторов, которыми являются значения среднегодовых потоков КЛ и индекса Solar, опережающие изучаемый процесс на количество лет, определенное при решении первой задачи.

Как следует из изложенного, значения АОО рассматриваемых прогнозов определены по коротким сериям, которые содержат всего 6 и 5 их результатов. Поэтому точность оценок АОО не велика. Главным фактором, ограничивающим возможность ее повышения, является длина временного ряда КЛП, полученного из [3].

Тем не менее, представленные значения АОО изучаемых прогнозов получены без использования каких-либо упрощающих допущений, и потому вполне корректны, вследствие чего их учет заслуживает внимания.

### Результаты исследования и их анализ

При решении первой задачи сформированы отрезки временных ряда КЛП, которые имеют длину 18 лет и начинаются в 2000 – 2006 гг. Для каждого из полученных отрезков вычислены значения его ВКФ с рядами КЛ и Solar.

Как пример, на Рис. 2 приведены ВКФ рядов КЛ и Solar с отрезками ряда КЛП, которые соответствуют периодам времени 2000 – 2017 гг., 2003 – 2020 гг. и 2006 – 2023 годов.

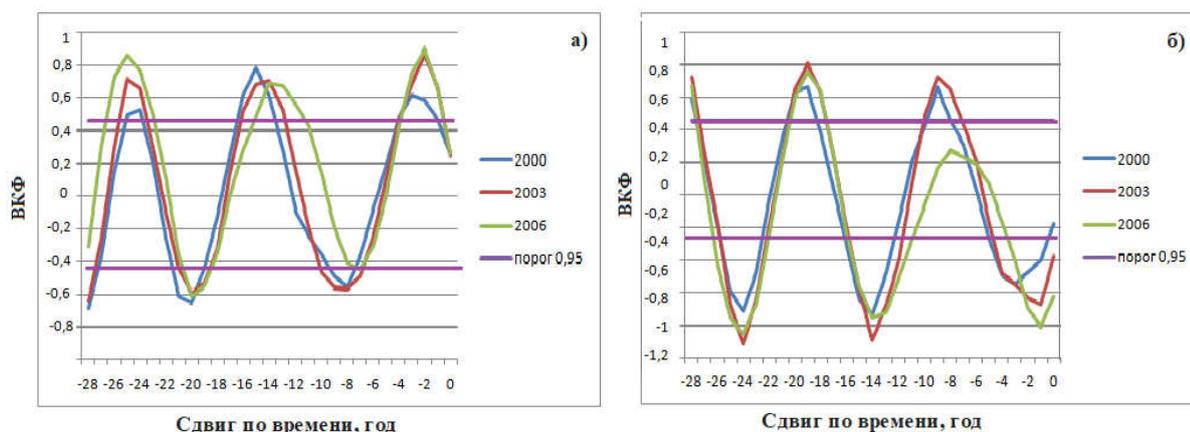


Рис.2. Временные корреляционные функции отрезков ряда «Количество ландшафтных пожаров», соответствующих периодам времени 2000 – 2017 гг., 2003 – 2020 гг. и 2006 – 2023 гг., с рядами: а) КЛ; б) Solar

Как следует из Рис. 2, значения ВКФ рассматриваемого отрезка ряда КЛП и ряда КЛ значимы при многих значениях сдвигов между ними, но тенденция к усилению связи между ними имеет место лишь при сдвигах 0 – 4 гг. и 22 – 26 гг.

ВКФ того же отрезка ряда КЛП и ряда Solar выходят за уровни порога значимости также при многих значениях сдвигов. При этом связи между этими процессами усиливаются лишь при сдвигах 0 – 2 года.

Для прочих отрезков ряда КЛП вид ВКФ подобен графикам, представленным на Рис. 2. Для них рассматриваемые сдвиги относятся к тем же диапазонам их значений.

Примеры зависимостей значений, рассматриваемых ВКФ, от года начала отрезка ряда КЛП, соответствующие некоторым их выявленным значениям сдвигов, представлены на Рис. 3 (где КЛ-2 обозначает сдвиг в прошлое отрезка ряда КЛ по отношению к отрезку ряда КЛП на 2 года).

Как следует из Рис. 3, сдвиги между рядами КЛП и рядами рассматриваемых факторов, при которых связи между ними в период 2000 – 2023 гг. усиливались, существуют. Связи отрезков ряда КЛП с опережающими их по времени отрезками ряда КЛ усиливались при сдвигах между ними 2, 3, 13, 24, 25, 26 лет. При этом при сдвигах 2 – 3 года и 25 – 26 лет для всех рассматриваемых отрезков ряда КЛП рассматриваемые связи являлись значимыми.

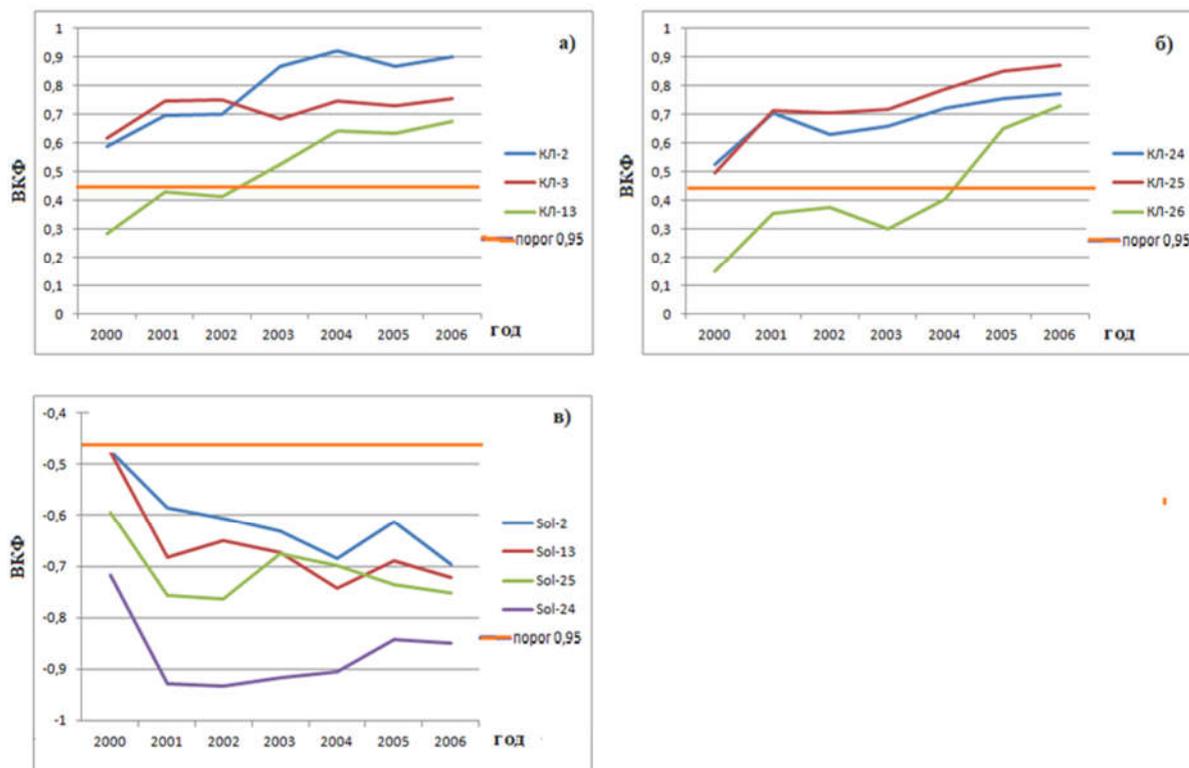


Рис.3. Примеры зависимостей значений ВКФ рассматриваемых отрезков ряда КЛП с рядами изучаемых факторов, превышающих порог значимости, от года начала этих отрезков: а) КЛ б) в) Solar

Для ряда Solar аналогичное имело место при всех выявленных значениях сдвигов по времени.

Столь большие значения временных сдвигов отнюдь не свидетельствуют об ошибочности полученных результатов, поскольку изучаемые процессы являются квазициклическими.

При решении второй задачи значения АОО изучаемых прогнозов определены для случаев, когда их заблаговременность составляла 1 – 2 года. В соответствии с изложенной методикой для установления значения этого показателя использованы прогнозы с заблаговременностью 1 и 2 года, разработанные для всех изучаемых отрезков временного ряда КЛП с учетом выявленных предикторов.

Как пример, на Рис. 4 представлены фактические изменения КЛП на каждом рассматриваемом отрезке времени (ФАКТ), результаты их моделирования (Модель) и разработанные прогнозы (выделены зеленым кружком), заблаговременность которых составляет 1 год. (коэффициенты моделей, которые использованы при моделировании и прогнозировании КЛП для территории РС с заблаговременностью 1 год, представлены в Табл. 1).

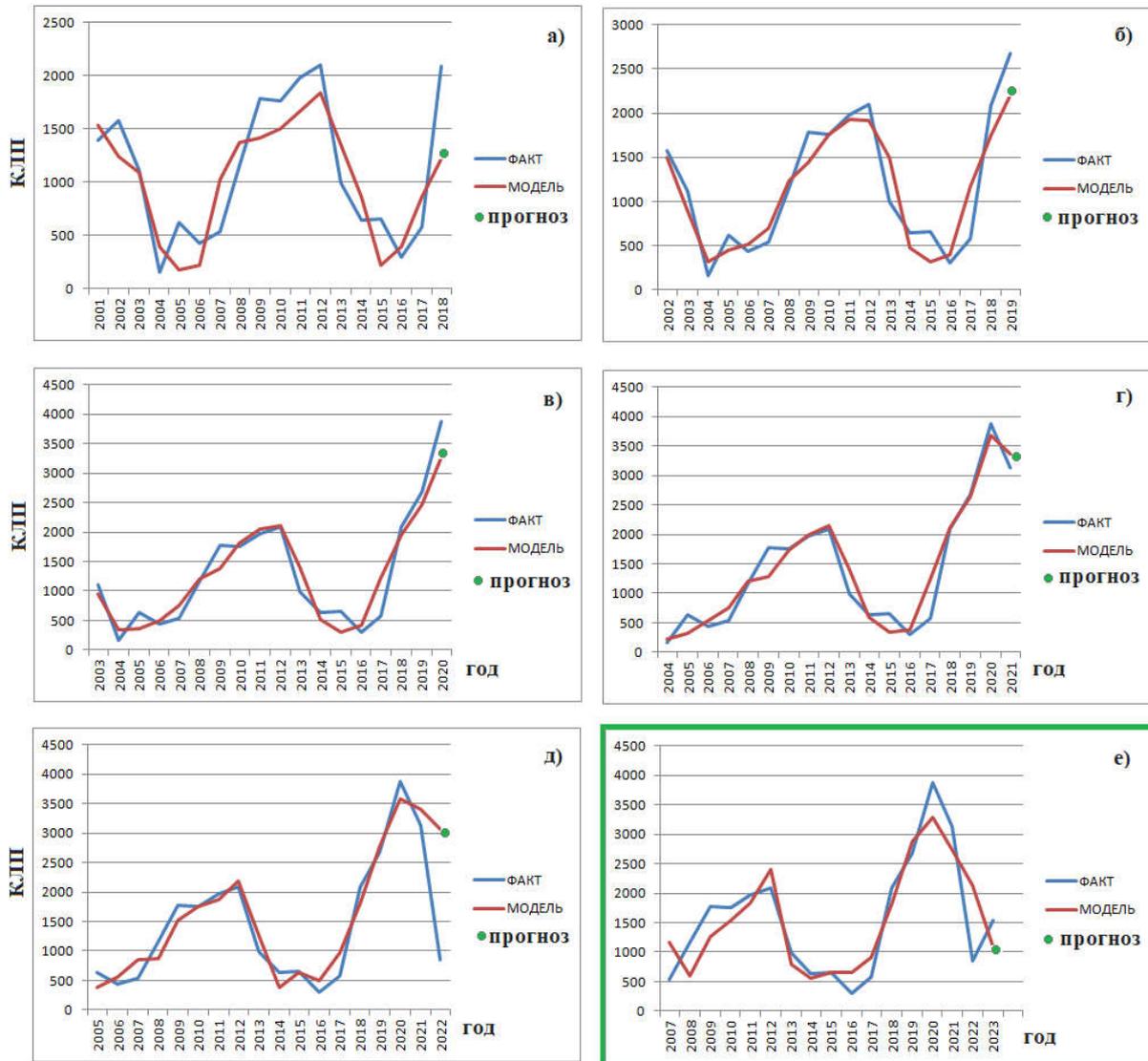


Рис. 4. Фактические изменения КЛП для территории РС (ФАКТ), результаты их моделирования (Модель) и разработанные прогнозы (прогноз), заблаговременность которых составляет 1 год для отрезков времени: а) 2001 – 2018 гг.; б) 2002 – 2019 гг.; в) 2003 – 2020 гг.; г) 2004 – 2021 гг.; д) 2005 – 2022 гг.; е) 2006 – 2023 гг. (несбывшийся прогноз)

**Табл. 1. Коэффициенты моделей, примененных для разработки прогнозов КЛП, с заблаговременностью 1 год, соответствующих территории РС для рассматриваемых отрезков времени.**

Коэффициент/отрезок	2001 – 2018 гг.	2002 – 2019 гг.	2003 – 2020 гг.	2004 – 2021 гг.	2005 – 2022 гг.	2006 – 2023 гг.
$C_0$	-6353,6	-7667,9	-9763,4	-11447,9	-9049,3	-9407,8
$C_1$	-0,91	-0,31	-0,92	-1,5	-0,60	-1,65
$C_2$	0,29	-0,60	0,09	0,4	-0,24	1,69
$C_3$	106,64	163,26	157,62	172,7	62,68	-17,38
$C_4$	-15,89	10,20	48,09	49,3	56,54	128,40
$C_5$	139,10	17,24	-17,24	-44,6	-168,56	-225,18
$C_6$	22,15	18,35	66,96	99,6	72,02	151,69
$C_7$	-16,90	111,80	107,26	147,3	47,79	-106,40
Вклад результатов моделирования в среднюю мощность изменений КЛП, (%)	74	89	91	92	94	90

Как следует из Рис. 4, для всех рассматриваемых отрезков времени результаты моделирования изменений КЛП на территории РС (годы с 1 по 17) удовлетворительно соответствуют их фактическим изменениям. При этом тенденции прогнозируемых изменений КЛП в 5 случаях из 6 также совпали с фактическими тенденциями. Единственный случай, в котором прогноз не оправдался, имел место в период 2006 – 2023 гг. (на рисунке он помещен в зеленую рамку). Следовательно, АОО прогнозов КЛП на предстоящий год, разработанных по изложенной методике, составляет 0,83. Аналогичным образом, установлено, что ААО прогнозов изучаемого процесса с заблаговременностью 2 года составляет 0,8.

Столь высокие значения оправдываемости представленных прогнозов свидетельствует о том, что фактический сценарий, по которому в 2000 – 2023 гг. происходили изменения КЛП, был близок к консервативному. Как видно из табл. 1, вклады результатов моделирования изменений КЛП с учетом выявленных предикторов в среднюю мощность этого процесса лежат в пределах от 0,74 до 0,94 %, что доказывает их значимость.

С использованием тех же результатов прогнозирования КЛП на 2018 – 2023 гг. оценены значения смещения рассматриваемых прогнозов КЛП и их среднеквадратического отклонения от фактических значений рассматриваемых показателей, которые представлены в Табл. 2.

**Табл. 2. Оценки смещений прогнозов значений КЛП для территории РС и их среднеквадратических отклонений, соответствующих периоду 2018 – 2023 гг.**

Показатель\Заблаговременность	1 год	2 года
Смещение прогноза	421,610	626,817
Среднеквадратическое отклонение	1081,909	1297,63

Как видно из Табл. 2 и Рис. 4, прогнозируемые с заблаговременностью 1 и 2 года значения КЛП являются заниженными по сравнению с фактическими значениями (среднее значение которых за период 2000 – 2023 г. составляет 1339,458). При этом среднеквадратические отклонения прогнозов сопоставимы со средним значением изучаемого показателя.

Приведенные оценки свидетельствуют о том, что в отличие от вполне реалистичных прогнозов тенденций дальнейших изменений КЛП, разработанных с учетом выявленных предикторов, прогнозы их абсолютных значений весьма неточны, а потому практиконеприменимы.

При решении третьей задачи с применением той же методики определены коэффициенты линейной множественно регрессионной модели, необходимые для разработки прогнозов КЛП для территории Республики Саха (Якутия) на 2024 и 2025 гг. Их значения представлены в Табл. 3.

**Табл. 3. Коэффициенты модели, обеспечивающие прогнозирование КЛП на 2024 и 2025 год**

2024 год				2025 год			
$C_0$	5299,810	$C_4$	28,785	$C_0$	393,065	$C_4$	50,268
$C_1$	-97,105	$C_5$	-54,051	$C_1$	-84,923	$C_5$	49,652
$C_2$	-93,808	$C_6$	68,770	$C_2$	-124,002	$C_6$	33,898
$C_3$	8,017	$C_7$	0,328	$C_3$	39,440	$C_7$	1,431

С учетом вычисленных коэффициентов, осуществлено моделирование изменений КЛП в периоды 2007 – 2023 гг. и 2008 – 2023 гг. и оценки их значений на 2024 и 2025 год.

Полученные результаты представлены на Рис. 5.

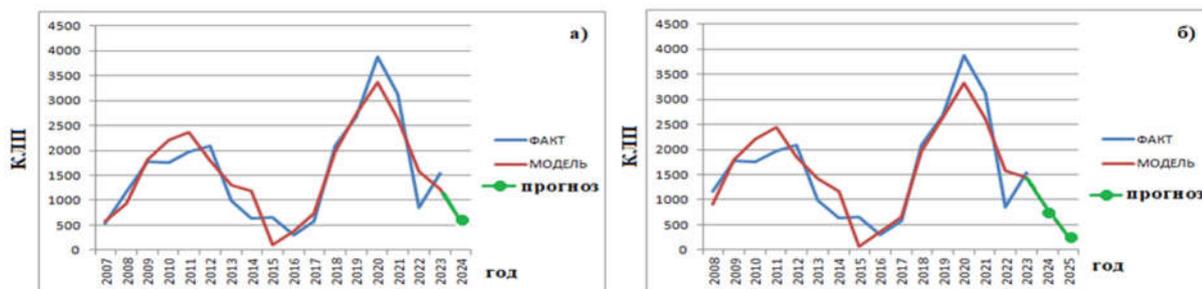


Рис. 5. Фактические изменения КЛП для территории РС (ФАКТ), результаты их моделирования (Модель) и прогнозы для отрезков времени: а) 2007 – 2024 гг.; б) 2008 – 2025 гг.

Из Рис. 5 понятно, что в период до 2023 г. включительно результаты моделирования КЛП с использованием верифицированных моделей качественно соответствуют фактическим изменениям этих показателей. При этом оценка КЛП для 2024 года, полученная с применением соответствующих коэффициентов модели, указанных в Табл. 3, равна 595,726.

Оценки того же показателя для 2024 и 2025 г., полученные с применением соответствующих коэффициентов из Табл. 3, составляют: 786,695 и 279,323.

Рассматриваемые прогнозы получены путем компенсации смещений этих оценок, значения которых приведены в Табл. 2. Как прогноз КЛП на 2024 год, логично принять 1112,829 – среднее значение откорректированных таким образом оценок, полученных с применением моделей, соответствующих заблаговременности 1 и 2 года. Прогноз КЛП на 2025 год составляет 906,14.

Из полученных результатов следует, что если изменения КЛП на территории РС и далее будут происходить по сценарию, близкому к консервативному, то в 2024 году значения этого показателя для территории РС по сравнению с их уровнями для 2022 и 2023 года существенно не изменятся, а в 2025 году вероятно их некоторое снижение.

Учитывая периодичности изменений КЛП на территории РС, имевшие место в 2000 – 2023 гг., можно предположить, что в рассматриваемом случае очередной цикл увеличения КЛП начнется в 2026 году и достигнет максимума в 2027 – 2028 году.

Представленные прогнозы изменений КЛП качественно соответствуют закономерностям этих процессов, выявленным ранее. Поэтому их целесообразно учитывать при принятии управленческих решений по обеспечению пожарной безопасности лесов Республики Саха (Якутия).

### Обсуждение полученных результатов

Полученные результаты соответствуют существующим представлениям о причинах изменений горимости лесов [9, 10], а также об особенностях перемен климата РС. Обладающие новизной факты:

– сценарий изменений КЛП на территории РС в период 2000 – 2023 гг. был близок к консервативному, вероятность его сохранения в ближайшие предстоящие годы выше, чем вероятность его радикального изменения;

– Отрезки ряда среднегодовых значений индекса Solar и потоков КЛ, поступающих на земную поверхность, могут являться предикторами модели изменений КЛП на территории РС с вкладами результатов моделирования в среднюю мощность изучаемого процесса от 74% до 94%.

– АОО прогнозов с заблаговременностью 1 – 2 года изменений КЛП на территории РС, разработанные с учетом выявленных предикторов в период 2018 – 2023 гг., составляли 0,83 и 0,8.

– если сценарий дальнейших изменений КЛП на территории РС не переменится, то в 2024 и 2025 годах фаза накопления горючего материала в лесах РС продолжится, а значения КЛП будут близки к их уровням 2022 и 2023 годов.

### Выводы

Таким образом, установлено:

1. Прогнозы тенденций изменений количества лесных пожаров с заблаговременностью 1 – 2 года для территории Республики Саха (Якутия) могут быть разработаны с использованием уравнения линейной множественной регрессии в качестве прогностической модели, предикторами которой выступают отрезки предыстории изменений солнечной активности и потоков космических лучей, поступающих на земную поверхность.

2. Значения оправдываемости таких прогнозов в период 2018 – 2023 гг. составляли соответственно 0,83 и 0,8, что может рассматриваться как априорная оценка для 2024 и 2025 гг.

3. Высокие уровни оправдываемости прогнозов свидетельствуют о том, что сценарий изменений изучаемой характеристики в 2000 – 2023 гг. был близок к консервативному, а вероятность его радикального изменения в ближайшем будущем ниже, чем вероятность его неизменности.

4. В 2024 и 2025 гг. количество ландшафтных пожаров на рассматриваемой территории будет соответствовать уровням 2022 и 2023 гг. соответственно.

Поскольку предложенные прогнозы соответствуют наиболее вероятному сценарию, их учет целесообразен при планировании деятельности подразделений соответствующих функциональных подсистем РСЧС.

### Список источников

1. Классификация метеорологических прогнозов. // сайт Гидрометцентра РФ. – URL: <https://meteoinfo.ru/forcabout/1597-f> (дата обращения 15.04.2024)

2. Холопцев А. В., Никифорова М. П. Солнечная активность и прогнозы физико-географических процессов. / LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2013. – 333 p. – ISBN:978-3-659-41130-4

3. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства // база данных ИСДМ-Рослесхоз, 2024, Москва, данные в формате excel. URL: [https://pushkino.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml) (дата обращения 05.04.2024)

4. Сверлова, Л. И. Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учетом поясов атмосферной засушливости и сезонов года. Хабаровск. – 2000. – 46 с.

5. Krainev M.B., Bazilevskaya G.A., Kalinin M.S., Mikhailov V.V., Svirzhevskaya A.K., Svirzhevsky N.S., Luo X., Potgieter M.S. Galactic cosmic ray intensity in periods of the heliospheric magnetic field inversion // Солнечная и Солнечно-земная физика. – 2023. – т. 9. – № 4. – С. 187–191.

6. Исследование Форбуш-эффектов во время мощных солнечных вспышек по данным мюонного годоскопа УРАГАН / А. А. Ковыляева, Н. С. Барбашина, В. Г. Гетманов

[и др.] // Известия Российской академии наук. Серия физическая. – 2021. – Т. 85, № 4. – С. 605-608. – DOI 10.31857/S0367676521030145. – EDN BXANQQ.

7. База данных об изменениях глобальных климатических индексов // NOAA/PSL, 2024, формат данных html. URL: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/solar.data> (дата обращения 10.04.2024)

8. Долгопрудненская научная станция имени С.Н. Вернова. Лаборатория физики Солнца и космических лучей. Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН // сайт. – URL: [https://sites.lebedev.ru/DNS\\_FIAN](https://sites.lebedev.ru/DNS_FIAN) (дата обращения 05.04.2024)

9. Петрунин, Н. А. Индикативный анализ горимости лесов в России / Н. А. Петрунин // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2022. – № 4. – С. 115-137. – DOI 10.21178/2079-6080.2022.4.115. – EDN VXCDHC.

10. Иванова Г. А., Иванов В. А., Мусохранова А. В., Онучин А. А. Лесные пожары и причины их возникновения на территории Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2023. № 6. С. 6–16. DOI: 10.15372/SJFS20230602

## References

1. Classification of meteorological forecasts. // website of the Hydrometeorological Center of the Russian Federation. - URL: <https://meteoinfo.ru/forcabout/1597-f> (date of circulation 15.04.2024)

2. Kholoptsev A. V. V., Nikiforova M. P. Solar activity and forecasts of physiographic processes. / LAP LAMBERT Academic Publishing. - 2013. - 333 p. - ISBN:978-3-659-41130-4

3. Information system of remote monitoring of the Federal Forestry Agency // ISDM-Rosleskhoz database, 2024, Moscow, data in excel format. URL: [https://pushkino.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml) (date of circulation 05.04.2024)

4. Sverlova, L. I. Method of assessment of fire danger in forests by weather conditions taking into account atmospheric aridity belts and seasons of the year. Khabarovsk. - 2000. - 46 с.

5. Krainev M.B., Bazilevskaya G.A., Kalinin M.S., Mikhailov V.V., Svirzhevskaya A.K., Svirzhevsky N.S., Luo X., Potgieter M.S. Galactic cosmic ray intensity in periods of the heliospheric magnetic field inversion // Solar and Solar-Terrestrial Physics. – 2023. - т. 9. - № 4. - С. 187-191.

6. Investigation of Forbush effects during powerful solar flares using data from the muon hodoscope URAGAN / A. A. Kovyliaeva, N. S. Barbashina, V. G. Getmanov [et al.] // Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Series physical. - 2021. - Т. 85, № 4. - С. 605-608. - DOI 10.31857/S0367676521030145. - EDN BXANQQ.

7. Global Climate Indexes Change Database // NOAA/PSL, 2024, html data format. URL: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/solar.data> (accessed on 10.04.2024).

8. S.N. Vernov Dolgoprudnya Research Station. Laboratory of physics of the Sun and cosmic rays. P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences // website.- URL: [https://sites.lebedev.ru/DNS\\_FIAN](https://sites.lebedev.ru/DNS_FIAN) (date of reference 05.04.2024)

9. Petrunin, N. A. Indicative analysis of forest burning in Russia / N. A. Petrunin // Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry. - 2022. - № 4. - С. 115-137. - DOI 10.21178/2079-6080.2022.4.115. - EDN VXCDHC.

10. Ivanova G. A., Ivanov V. A., Musokhranova A. V., Onuchin A. A. Forest fires and causes of their occurrence on the territory of Central Siberia // Siberian Forestry Journal. 2023. № 6. С. 6-16. DOI: 10.15372/SJFS20230602

**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 редакцию 30.07.2024, одобрена после рецензирования 22.08.2024, принята к публикации 02.09.2024.

The article was submitted 30.07.2024, approved after reviewing 22.08.2024, accepted for publication 02.09.2024.