

Научная статья  
УДК 502.45  
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.33.96.021

## ПЕРЕМЕЩЕНИЕ СЕВЕРНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЮСА И УСТОЙЧИВОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ МЕЖГОДОВЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОТОКОВ СУММАРНОЙ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

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

*Роман Геннадьевич Шубкин*<sup>2</sup>

*Виолетта Владиславовна Волкова*<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/0000-0002-7163-8146>

*Автор ответственный за переписку: Александр Вадимович Холопцев,  
79501299229@yandex.ru*

**Аннотация.** На многих участках территории России в период 1996 по 2023 гг. происходило значимое увеличение поступающих на них потоков суммарной солнечной радиации - главного источника энергии, поддерживающей их гидротермический режим. Следствием этого явилось повышение рисков, обусловленных возникновением ландшафтных пожаров, наиболее значимое в ряде районов Якутии, Красноярского края и Иркутской области. В межгодовых вариациях потоков суммарной солнечной радиации, поступающей в некоторые районы Канадского Арктического архипелага, при этом преобладали противоположные тенденции. В те же годы Северный Магнитный полюс ускоренно приближался к территории России, что позволяет предположить наличие связи упомянутых процессов с его движением. В статье изучены расположения относительно полюса участков земной поверхности, где за тот или иной отрезок периода 1997-2024 гг. продолжительностью 14-28 лет среднемесячные потоки суммарной солнечной радиации для того или иного месяца пожароопасного сезона значимо и устойчиво возрастали. Также среди них выявлены участки, где межгодовые изменения изучаемых потоков были значимо связаны с вариациями потоков космических лучей, входящих в земную атмосферу, амплитуда которых в районе полюса максимальна. Такие участки для мая и июня обнаружены не только в Арктической зоне России, но и на лесных территориях Якутии, Иркутской области, Красноярского края и других ее регионов, относящихся к Сибири и Уралу. Для месяцев второй половины пожароопасного сезона, изучаемые участки выявлены также на Европейской территории России. При дальнейшем перемещении полюса по той же траектории, на выявленных участках вероятно повышение пожарных рисков по условиям погоды, что следует учитывать при планировании развития соответствующих группировок ГПС МЧС России.

**Ключевые слова:** Сибирь, пожарный риск, суммарная солнечная радиация, гидротермический режим, Северный Магнитный полюс, тенденция, корреляция

**Для цитирования:** Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Волкова В.В. Перемещение северного магнитного полюса и устойчивость современных тенденций межгодовых изменений потоков суммарной солнечной радиации на территории России // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 4 (35). С. 190-206. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.33.96.021>

Original article

## THE MOVEMENT OF THE NORTH MAGNETIC POLE AND THE STABILITY OF CURRENT TRENDS IN INTERANNUAL CHANGES IN TOTAL SOLAR RADIATION FLUXES IN RUSSIA

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

*Roman G. Shubkin*<sup>2</sup>

*Violetta V. Volkova*<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/0000-0002-7163-8146>

**Corresponding author:** *Aleksandr V. Kholoptsev, 79501299229@yandex.ru*

**Abstract.** In many areas of the territory of Russia in the period 1996-2023, there was a significant increase in the flows of total solar radiation coming to them - the main source of energy supporting their hydrothermal regime. The consequence of this was an increase in the risks caused by the occurrence of landscape fires, the most significant in a number of regions of Yakutia, the Krasnoyarsk Territory and the Irkutsk region. In the interannual variations of the fluxes of total solar radiation entering some areas of the Canadian Arctic Archipelago, the opposite trends prevailed. In the same years, the North Magnetic Pole was rapidly approaching the territory of Russia, which suggests the existence of a connection between the mentioned processes and its movement. To achieve this, the locations of the Earth's surface areas relative to the pole, where for one or another segment of the period 1997-2024 were studied. For a period of 14-28 years, the average monthly fluxes of total solar radiation for a given month of the fire season increased significantly and steadily. Also, among them, areas were identified where the interannual changes in the studied fluxes were significantly associated with variations in the fluxes of cosmic rays entering the Earth's atmosphere, the amplitude of which is maximum near the pole. Such sites for May and June were found not only in the Arctic zone of Russia, but also in the forest territories of Yakutia, the Irkutsk Region, the Krasnoyarsk Territory and other regions belonging to Siberia and the Urals. For the months of the second half of the fire season, the studied areas were also identified on the European territory of Russia. With further movement of the pole along the same trajectory, an increase in fire risks is likely in the identified areas due to weather conditions, which should be taken into account when planning the development of the relevant groups of GPS of the Ministry of Emergency Situations of Russia.

**Keywords:** Siberia, fire risk, total solar radiation, hydrothermal regime, North Magnetic pole, trend, correlation

**For citation:** Kholoptsev A.V., The movement of the North magnetic pole and the stability of current trends in interannual changes in total solar radiation fluxes in Russia // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2024. № 4 (35). С. 190-206. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.33.96.021>

Прогнозы изменений характеристик метеоусловий, способных значимо влиять на вариации рисков, обусловленных возникновением ландшафтных пожаров на территориях различных регионов России, необходимо учитывать при планировании деятельности соответствующих противопожарных подразделений. Поэтому совершенствование методик их разработки является актуально проблемой не только метеорологии и климатологии, но и безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Наибольший интерес решение этой проблемы представляет для регионов, на территориях которых ландшафтные пожары в современном периоде причиняли наибольший ущерб их населению, экономике и лесному фонду. В XXI веке, к таким регионам относятся республика Саха (Якутия), Красноярский край и Иркутская область. Соответствующие им зависимости от времени количества ландшафтных пожаров, которые были выявлены за год в период 2000-2023 гг. [1] представлены на Рис.1.

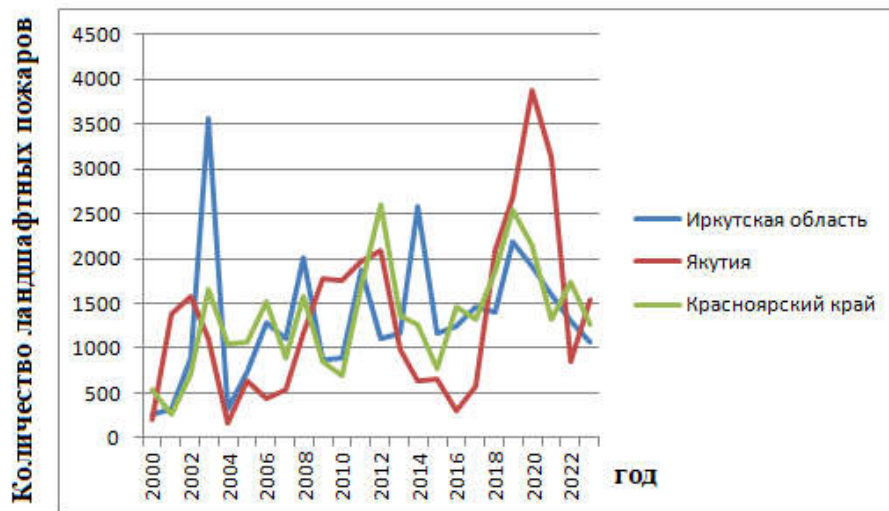


Рис.1. Изменения количества ландшафтных пожаров, которые были выявлены за год на территориях республики Саха (Якутия), Красноярского края и Иркутской области в 2000-2023 гг.

Как следует из Рис.1, изменения количества ландшафтных пожаров, которые происходили на территориях рассматриваемых регионов, представляют собой сложные колебания, в которых присутствуют возрастающие тренды. Значения углового коэффициента линейного тренда (далее УКЛТ) упомянутых изменений для указанных регионов составляют соответственно: 29 (1/год), 61 (1/год) и 44,4 (1/год).

На территории Якутии максимум количества ландшафтных пожаров пришелся на 2020 г. В Красноярском крае и Иркутской области значительные его максимумы имели место в 2012 и 2019гг.

Как видим, наиболее существенные изменения рассматриваемого показателя происходили за период 2011-2024 гг.

К числу природных факторов, вызывавших в упомянутых регионах России указанные тенденции, к числу наиболее значимых, принято относить потепление термического режима их территорий [2]. Темпы этого процесса на многих их участках в конце XX- начале XXI века заметно превышали средние уровни по стране [3,4].

Потепление термического режима приводит к наиболее существенному возрастанию пожарных рисков на тех территориях, где этот процесс сопровождается усилением засушливости, что способствует уменьшению запасов влаги в образующемся на них горючем материале [5,6].

Главным источником энергии, поступление которой создает на любом участке земной поверхности тот или иной гидротермический режим, является суммарная солнечная радиация [7,8]. Чем больше ее среднемесячный поток (далее ПСР), соответствующий такому участку, тем, как правило, выше на нем среднемесячные температуры воздуха, а также меньше месячные суммы атмосферных осадков. Поэтому вариации ПСР – фактор пожарного риска.

Межгодовые изменения ПСР, поступающей на каждый такой участок, в значительной мере определяются вариациями средней оптической плотности присутствующей над ним облачности [7,9].

Причинами вариаций упомянутой характеристики облачности над различными участками земной поверхности являются их обмен теплом и влагой с тропосферой, атмосферная циркуляция, а также другие факторы, влияющие на изменения температуры, относительной влажности воздуха на соответствующих высотах и концентрации в нем атмосферных ядер конденсации (либо кристаллизации) [8,10].

Одним из таких факторов являются изменения потоков заряженных частиц (преимущественно протонов), проникающих в земную атмосферу из космоса (далее ПКЛ). Энергия многих таких протонов, настолько велика, что магнитное поле Земли, надежно защищающее почти всю атмосферу от частиц Солнечного ветра, значимой преградой для них не является.

Для различных участков территории России и акваторий ее арктических морей эта энергия зависит также от их удаления от Северного Магнитного полюса (далее СМП). Чем ближе к СМП расположен рассматриваемый участок земной поверхности, тем меньшей энергией могут обладать упомянутые частицы, способные войти над ним в земную атмосферу. В результате этого ПКЛ, воздействующий на атмосферу над некоторым участком земной поверхности, тем больше, чем меньше расстояние, отделяющее его от СМП [13].

При входе рассматриваемых частиц в земную атмосферу происходит разрушение ядер атомов, встретившихся на их пути, что приводит к возникновению ливней короткоживущих вторичных частиц. Эти частицы проникают в тропосферу и ионизируют ее воздух. Каждый образовавшийся при этом ион представляет собой атмосферное ядро конденсации. Следовательно, возрастание ПКЛ может приводить к увеличению оптической плотности облачности и снижению ПСР.

При поглощении в воздухе тропосферы вторичных частиц выделяется также тепло [11], что приводит к некоторому повышению температуры воздуха. Последнее влечет за собой увеличение интенсивности испарения воды, образующей облачные элементы. Следовательно, в тропосфере могут существовать условия, при которых увеличение ПКЛ может вызвать уменьшение оптической плотности облачности, а также увеличение ПСР.

Из изложенного следует, что влияние расположения СМП на вариации ПСР для различных участков территории России и акватории Российской Арктики, тем более значимо, чем меньше разделяющее их расстояние. При этом могут существовать их участки, где, по мере приближения СМП, ПСР, а также риски, обусловленные ландшафтными пожарами, значимо увеличиваются. Следовательно, наличие значимой корреляции межгодовых изменений ПКЛ и ПСР в районах, удаленных от СМП на фиксированные расстояния, является необходимым условием влияния перемещения последнего на их гидротермический режим и соответствующие пожарные риски.

СМП был впервые обнаружен Деймсом Россом 1 июня 1831 года.

В то время СМП находился на мысу Аделаида ( $70^{\circ}05'00''$  с. ш.,  $96^{\circ}47'00''$  з. д.), который расположен на полуострове Бутия (Канадский Арктический архипелаг).

В дальнейшем было установлено, что координаты СМП непрерывно изменяются. До 1900 года СМП перемещался лишь в пределах акватории Канадского Арктического архипелага. В дальнейшем он двинулся из района этого архипелага, расположенного к северу от острова Кинг Вильям, в сторону полуострова Таймыр и в 2018 году переместился в пределы Восточного полушария.

За период 1900- 2024 гг. СМП продвинулся в сторону России уже более чем на 2400 км. В 2024 году он располагался над пунктом Центрального Арктического бассейна, находящимся к северу от острова Котельный (архипелаг Анжу). Траектория, по которой СМП перемещался в 1900-2020 гг. показана на Рис.2.

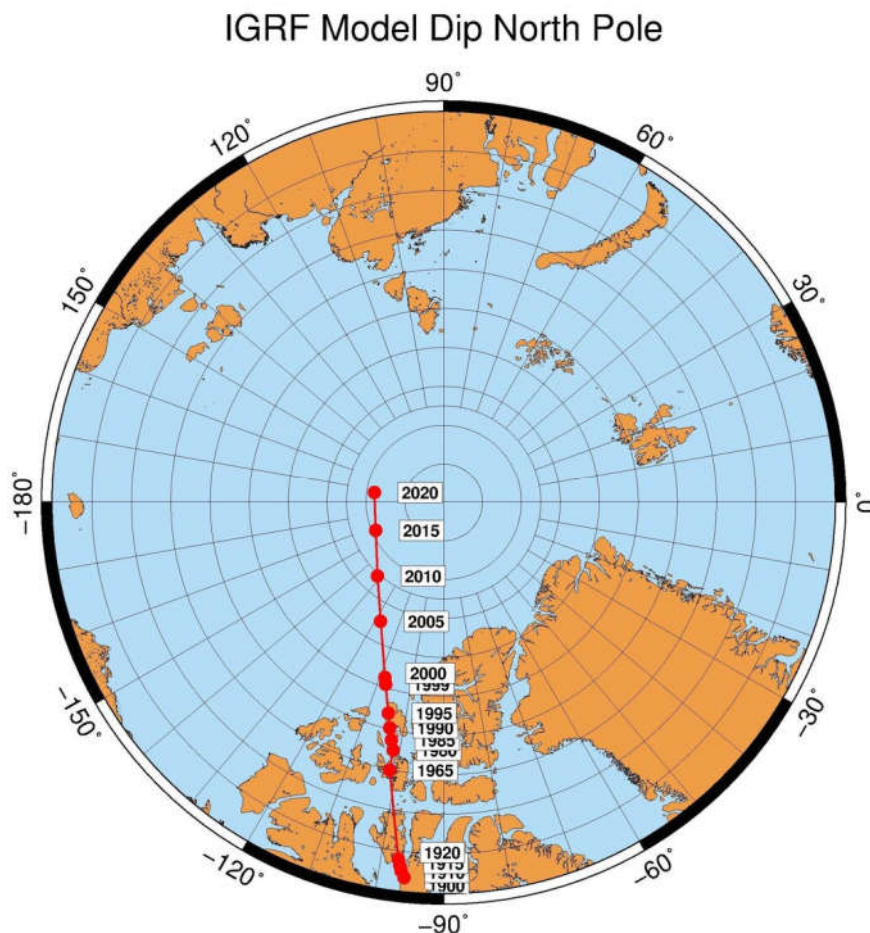


Рис.2. Траектория движения СМП в период 1900-2020 гг.

Как видно из Рис.2, движение СМП в сторону территории России в XX-XXI веке ускоряется. В период с 1985 по 1990 г. его скорость составляла менее 15 км/год. После 1997 года она увеличилась до 55 км/год, а ныне превысила 65км/год. При этом расстояние от СМП до участков территории России все более сокращается [14,15], что приводит к усилению влияния рассматриваемого процесса на их гидротермический режим, а также риски, обусловленные возникновением ландшафтных пожаров.

Как показал анализ тенденций межгодовых изменений ПСР над различными участками территорий и акваторий Северного полушария, на многих из них, принадлежащих России, в период 1997 по 2023 гг. имели место значимые тенденции к увеличению ПСР. Наиболее быстрое увеличение ПСР происходило на территориях республики Саха (Якутия) и Красноярского края, расстояния которых от СМП сокращались с наибольшей скоростью. В районах Канадского Арктического архипелага, от которых СМП удалялся, зафиксированы противоположные тенденции. Указанные особенности свидетельствуют о допустимости предположения о том, что их причиной является перемещение СМП [16].

Поскольку движение СМП является процессом инерционным, велика вероятность того, что в ближайшие годы оно продолжится в том же направлении. При осуществлении такого сценария, характер влияния перемещения СМП на изменения ПСР над территорией России, а также риски, обусловленные возникновением здесь ландшафтных пожаров и других ЧС, спровоцированных потеплением климата, в будущем не изменится. При этом упомянутое влияние лишь усилится.

Несмотря на то, что тенденции межгодовых изменений ПСР на различных участках земной поверхности могут зависеть не только от их расстояния до СМП, но и от многих других факторов, процесс, влияющий на перемещение СМП, является одним из наиболее мощных на нашей планете. Поэтому допустимо предположить, что на территории России, существуют участки, на которых приближение СМП может являться значимым фактором межгодовых изменений ПСР, приводящим к их устойчивому увеличению.

Устойчивость изучаемых тенденций и связей является необходимым условием применимости информации о перемещении СМП в задачах прогнозирования дальнейших изменений ПСР. Следовательно, проверка справедливости выдвинутой гипотезы для периода 1997-2024 гг. представляет немалый теоретический и практический интерес.

Поэтому целью данной работы является осуществление такой проверки для указанного периода. Для ее достижения решены задачи:

1. Определение расположений участков территории России, на которых, для тех или иных месяцев пожароопасного сезона, преобладали значимые тенденции к увеличению ПСР, которые в 1997-2024 гг. обладали устойчивостью.
2. Для выявленных участков оценка значимости связей межгодовых изменений ПСР и ПКЛ.

При осуществлении указанного исследования как фактический материал об изменениях ПСР в 1997-2024гг. использована информация из реанализа ERA5 [17,18]. В упомянутом источнике представлены сведения о среднечасовых значениях потоков суммарной солнечной радиации, которые поступают на участки земной поверхности, соответствующие всем узлам координатной сетки с шагом 0,25°. Эта информация охватывает период с 00 часов 1.01.1940 по 23 часа 31.09.2024 г. [18].

Как источник информации о ПКЛ использован, где представлены результаты их мониторинга, который в период с 1957 г. проводится подразделениями Физического института имени П.Н. Лебедева, Российской Академии наук. Мониторинг проводился в г. Долгопрудный (Московской области) и пос. Оленья (Мурманской области).

Методика решения первой задачи состояла в определении расположений относительно СМП участков территории России, на которых, для тех или иных месяцев пожароопасного сезона, тенденции к значимому увеличению ПСР преобладали для различных отрезков изучаемого периода длиной от 14 до 28 лет.

Решение об устойчивости указанных тенденций для некоторого участка принималось, если для всех рассматриваемых отрезков изучаемого периода времени (общее количество которых равно 105) они совпадали с вероятностью не менее 0,95.

Принято упрощающее допущение, согласно которому в течение каждого рассматриваемого года координаты СМП оставались постоянными, а при переходе к следующему году они изменялись скачкообразно.

Изучались изменения ПСР на участках земной поверхности, расположенных на фиксированных угловых расстояниях от СМП и от магнитного меридиана, проходящего через Гринвичскую обсерваторию (51,4778° с.ш. и 0,0015° в.д.). Каждому такому участку были поставлены в соответствие его координаты относительно СМП, называемые далее «магнитной широтой» (м.ш.) и «магнитной долготой» (м.д.).

Значение м.ш. вычислялось как  $90^\circ - X$ , где  $X$  – угловое расстояние между участком и СМП по проходящему через них магнитному меридиану. Значение м.д. участка определялось, как угловое расстояние между указанным и Гринвичским магнитными меридианами.

Для каждого месяца с апреля по октябрь сформирован временной ряд, описывающий вариации ПСР, поступавшей на участки земной поверхности, для которых значения м.ш. и м.д. во все рассматриваемые годы совпадали.



Пересчет географических координат каждого участка территории России и акватории прилегающих к ней морей, в его магнитные координаты, соответствующие расположению СМП в том или ином году, произведен по методике [19].

Исходными данными при ее осуществлении являются:

- широта и долгота СМП ( $\varphi, \lambda$ ),
- широта и долгота Гринвичской обсерватории ( $\Phi, \Lambda$ ),
- широта и долгота рассматриваемого участка земной поверхности ( $F, L$ ). Значения м.ш. и м.д. изучаемого участка вычислялись по формулам:

$$m.u. = \arcsin(a) \quad (1)$$

$$m.d. = \arccos(b) \quad (2)$$

$$a = \sin(\varphi) * \sin(F) + \cos(\varphi) * \cos(F) * \cos(\Lambda - \lambda); \quad b = (c - a * d) / ((\cos(\lambda) * \sin(e))$$

$$c = \sin(F) * \sin(\Phi) + \cos(F) * \cos(\Phi) * \cos(L - \Lambda)$$

$$d = \sin(\varphi) * \sin(\Phi) + \cos(\varphi) * \cos(\Phi) * \cos(\lambda - L)$$

$$e = \arccos(\sin(\varphi) * \sin(F) + \cos(\varphi) * \cos(F) * \cos(\lambda - \Lambda))$$

Как координаты СМП для каждого учитываемого года с 1997г. по 2024г., рассматривались их оценки, представленные в [14].

Значения ПСР, соответствующие некоторому месяцу и году, для участков земной поверхности, магнитные координаты которых отличались от координат некоторого узла магнитной координатной сетки с шагом  $1^\circ \times 1^\circ$ , менее чем на  $0,5^\circ$ , усреднялись.

Таким образом, для каждого узла магнитной координатной сетки и каждого месяца с апреля по октябрь из вычисленных значений ПСР для тех или иных значений м.ш. из диапазона  $45-85^\circ$  м.ш., а также значений м.д. из интервала  $0-180^\circ$  м.д. сформированы временные ряды, соответствующие различным частям изучаемого периода времени длиной от 10 до 27 лет (для каждой части этого периода их получилось по 50400).

Как характеристика тенденции изменений ПСР на некотором отрезке времени, в пункте территории России, соответствующем рассматриваемому узлу магнитной координатной сетки, для каждого месяца оценивалось значение углового коэффициента линейного тренда соответствующего временного ряда (далее УКЛТ ПСР).

Предполагалось, что отклонения членов каждого изучаемого временного ряда от соответствующего тренда подчиняются нормальному закону. Справедливость этого предположения подтверждена с применением критерия Пирсона.

Учитывая это, решение о значимости вычисленного значения УКЛТ принималось, если его достоверность составляла не менее 0,95. Последнее имело место, если выполнялось условие:

$$T * \text{УКЛТ} > 1,65 * \text{СКО} \quad (3)$$

где:  $T$  – длина изучаемого отрезка рассматриваемого временного ряда (целое число в пределах 10-28);  $\text{СКО}$  – среднеквадратическое отклонение членов изучаемого ряда от соответствующего тренда, оцененное за тот или иной период.

Значение  $\text{СКО}$  зависит от рассматриваемого периода, от соответствующего месяца, от значения  $T$  и от магнитных координат изучаемого участка. Поэтому оно вычислялось для каждого квадрата магнитной координатной сетки, для каждого рассматриваемого отрезка, а также месяца.

Если неравенство (3) выполнялось, то принималось решение о значимости тенденции, соответствующей вычисленному значению УКЛТ ПСР.

Таким образом, для каждого месяца пожароопасного сезона выявлены все узлы магнитной координатной сетки, где в межгодовых изменениях ПСР за ту или иную часть периода 1997-2024 гг. были выявлены значимые тенденции к увеличению этих показателей.

Участки, для которых выявленные тенденции совпадали, определялись путем сопоставления распределений по территории России значений УКЛТ ПСР, соответствующих некоторому месяцу и всем рассматриваемым частям указанного периода.

Пересчет магнитных координат ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ) каждого рассматриваемого пункта в его географические координаты ( $F$ ,  $L$ ) производился с учетом расположения СМП для 2024гг. При этом использовалась методика [19] в соответствии с которой:

$$F = \arcsin(a_1) \quad (4)$$

$$L = \arccos(b_1) \quad (5)$$

$$a_1 = \sin(\varphi) * \sin(\text{м.ш.}) + \cos(\varphi) * \cos(\text{м.ш.}) * \cos(h); \quad b_1 = (g - a * \sin(\Phi)) / ((\cos(\Phi) * \cos(r)))$$

$$h = \arcsin((\sin(|\lambda - \Lambda|) * \cos(\Phi)) / \sin(\arccos(t)) + \text{м.д.}); \quad t = \sin(\varphi) * \sin(\Phi) + \cos(\varphi) * (\cos(\Phi) * \cos(\lambda - \Lambda))$$

$$g = \sin(\varphi) * \sin(\text{м.ш.}) + \cos(\varphi) * \cos(\text{м.ш.}) * \cos(h); \quad r = \arcsin(a_1)$$

Для каждого периода и каждого месяца пожароопасного сезона построены карты, отражающие расположения участков территории России и акватории ее арктических морей, где в межгодовых изменениях ПСР выявлены те или иные значимые тенденции. Эти карты, соответствующие тому или иному месяцу, сопоставлялись между собой, что позволило определить участки, для которых изучаемые тенденции могли быть признаны устойчивыми.

При решении второй задачи применен метод корреляционного анализа. Решение о значимости изучаемой связи принималось, если достоверность такого вывода, по критерию Стьюдента, превышала 0,95. Порог значимой корреляции определялся для каждого узла магнитной координатной сетки, с учетом количества степеней свободы соответствующего ряда ПСР, а также изучаемых рядов ПКЛ. Перед расчетом значения коэффициента корреляции в каждом сопоставляемом ряду был выявлен и скомпенсирован линейный тренд.

Географические координаты пунктов, для которых значимость рассматриваемых связей подтверждена, пересчитывались по формулам (4) и (5), с учетом положения СМП в 2024 году.

Нетрудно видеть, что при составлении методики исследования использованы некоторые упрощающие допущения. Поэтому результаты, которые получены с ее применением, следует рассматривать, как носящие качественный характер.

При решении первой задачи по формулам 1 и 2 осуществлен пересчет координат различных узлов сетки реанализа ERA-5, относящихся к диапазону долгот 20-180°в.д. и диапазону широт 40-85°с.ш., в координаты м.ш. и м.д., определяемые положением СМП, соответствующим тому или иному рассматриваемому году. С учетом полученных результатов сформированы временные ряды ПСР, соответствующие расположениям СМП в различные годы из периода 1997-2024 г. для всех рассматриваемых месяцев и для каждого узла «магнитной» координатной сетки.

С использованием сформированных временных рядов ПСР, для каждого узла «магнитной» координатной сетки, относящегося к диапазонам 0-180°м.д. и 40-85°м.ш., а также каждого месяца, для каждого рассматриваемого отрезка периода 1997-2024 гг. вычислены значения УКЛТ ПСР и оценена их значимость.

Как пример, на Рис.3 показаны расположения относительно СМП участков рассматриваемого региона Северного полушария, где в межгодовых изменениях ПСР для месяцев май и июнь, за период 2010-2024 гг. выявлены значимые возрастающие тренды.



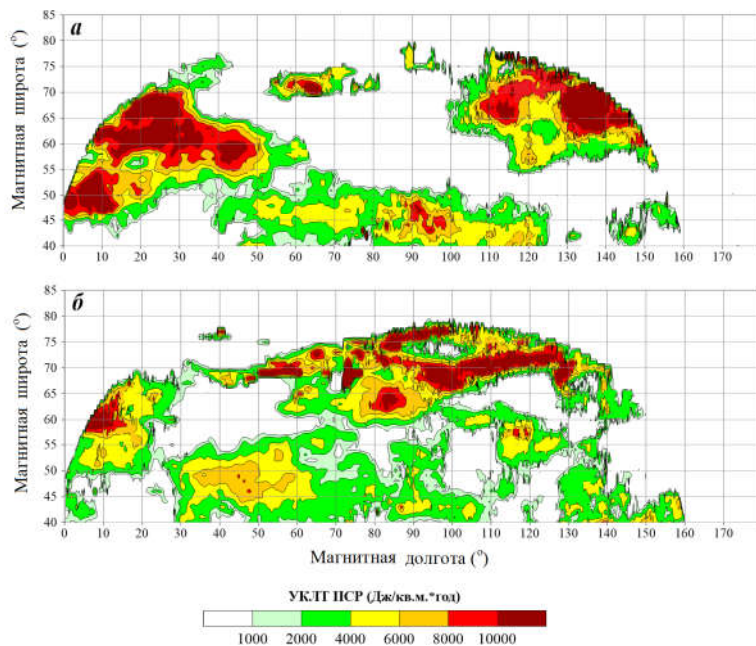


Рис.3. Расположения относительно СМП участков изучаемого региона Северного полушария, где за период 2010-2024 гг. в межгодовых изменениях ПСР, выявлены значимые возрастающие тренды для месяцев: а) май; б) июнь

Как следует из Рис.3, участки Северного полушария, где в межгодовых изменениях ПСР для месяцев май и июнь, за период 2010-2024 гг. выявлены значимые возрастающие тренды, существуют и весьма многочисленны. Тем не менее, определить географическое положение участков по информации об их магнитных координатах, весьма сложно.

Поэтому, в соответствии с изложенной методикой, по формулам (4) и (5) магнитные координаты выявленных участков пересчитаны в их географические координаты.

На Рис.4, как пример, приведены расположения участков территории России и акваторий ее арктических морей, где в межгодовых изменениях ПСР для месяцев май-август, за период 2011-2024гг. выявлены значимые возрастающие тренды.

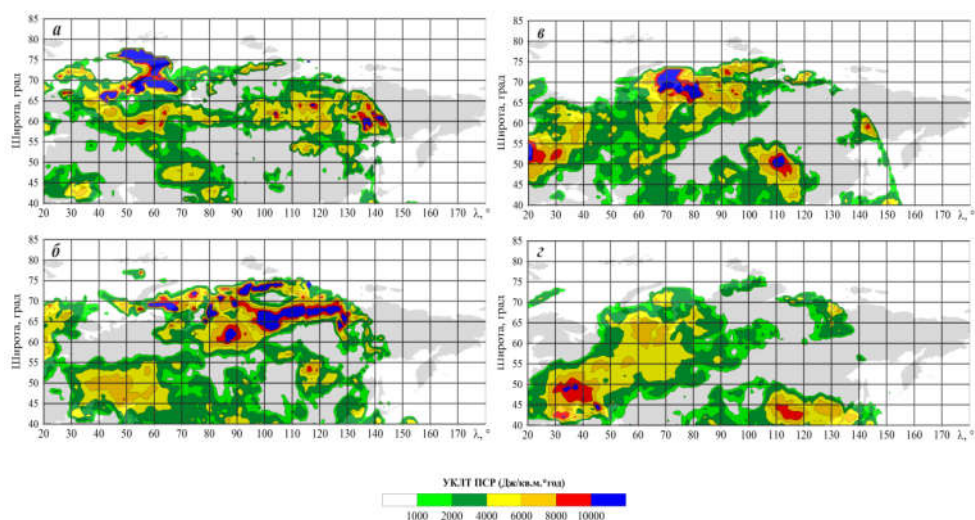


Рис.4. Расположения относительно СМП участков изучаемого региона Северного полушария, где за период 2011-2024 гг. в межгодовых изменениях ПСР, выявлены значимые возрастающие тренды для месяцев: а) май; б) июнь; в) июль; г) август

Как следует из Рис.4а, для мая, участки территории России, где в межгодовых изменениях ПСР за период 2011-2024гг. выявлены значимые возрастающие тренды, относятся в основном к Северо-Западному, Центральному, Уральскому и Сибирскому Федеральным округам (далее СЗФО, ЦФО, УФО и СФО).

Участки акватории арктических морей России, где за указанный период ПСР для мая значимо увеличились, относятся к морям - Баренцеву, Белому, Карскому и Лаптевых. Наиболее быстрым увеличением ПСР было над акваторией северо-восточной части Баренцева моря и западной частью Карского моря.

Из Рис.4б видно, что для июня изучаемые участки преобладают на территориях ЦФО, УФО, СФО, Южного, Северокавказского и Приволжского Федеральных округов (далее ЮФО, СКФО и ПФО). Значительно увеличилась площадь рассматриваемых участков, относящихся также к Дальневосточному Федеральному округу (далее ДФО).

Средняя скорость увеличения ПСР была выше, чем в других регионах России, на юге территории Красноярского края, в Катангском районе Иркутской области и на территории Якутии. Значимо повысились ПСР также на акваториях морей Лаптевых, Карского и Баренцева.

Рис.4в показывает, что значимое увеличение ПСР для июля за 2011-2024гг. имело место главным образом на территориях ЦФО, СЗФО, УФО и СФО. Темпы повышения ПСР на территории Таймырского и Эвенкийского районов Красноярского края, Хабаровского края, а также Амурской области были выше, чем в среднем по стране. На акваториях Российской Арктики наиболее значимым повышением ПСР было над западной частью Карского моря.

Рис.4г свидетельствует о том, что значимое повышение ПСР для августа происходило в основном на территориях ЦФО, СЗФО, ЮФО, ПФО и УФО. На территории СФО аналогичный процесс имел место лишь в северных и центральных районах Красноярского края, на западе Якутии, а также в Бурятии. Повышение ПСР выявлено также на акватории моря Лаптевых и Карского моря.

Из Рис.4 следует, что рассматриваемый процесс протекал над значительной частью территории России и потому мог внести ощутимый вклад в потепление климата ее Арктической, Лесной и Лесостепной зоны, а также повысить риски, обусловленные возникновением ландшафтных пожаров.

Аналогичным образом выявлены участки территории России, где значимое повышение ПСР происходило на других отрезках времени длиной от 14 до 28 лет, относящихся к периоду 1997-2024гг. Их сравнение позволило, с применением изложенной методики, определить участки, где выявленные для того или иного месяца тенденции межгодовых изменений ПСР являлись устойчивыми. Как пример, на Рис.5 представлены расположения участков территории России, где за период 1997-2024гг., в межгодовых изменениях ПСР для месяцев май-август выявлены устойчивые тенденции к увеличению этих показателей.

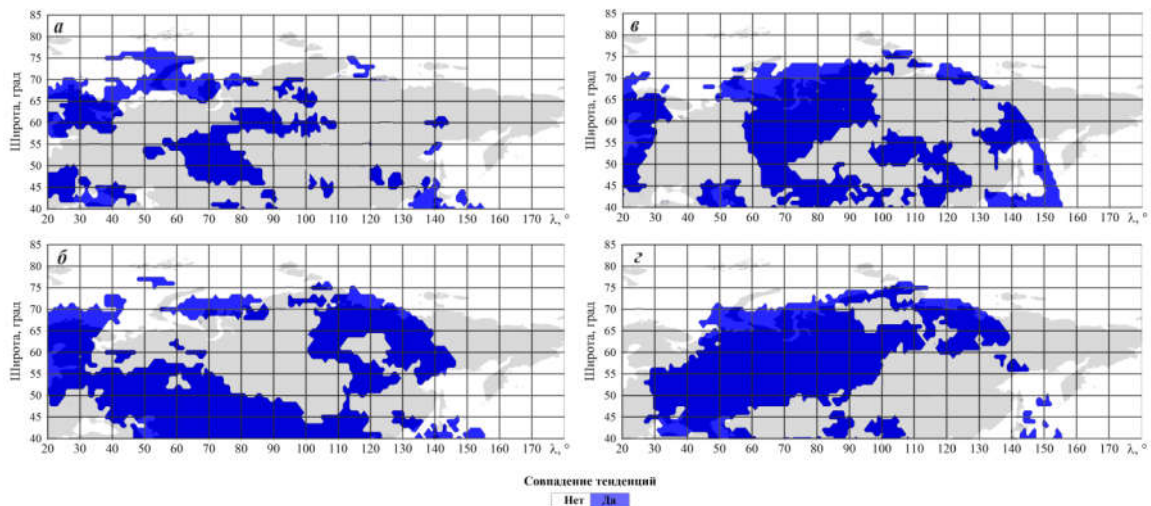


Рис.5. Расположения участков территории России, где значимые тенденции к увеличению ПСР для месяцев май-август выявлены за периоды 2011-2024гг. и 1997-2010гг. а) май; б) июнь; в) июль; г) август

Из Рис.5а понятно, что участки, где тенденции межгодовых изменений ПСР для мая к их увеличению для рассматриваемых отрезков времени совпадали, располагались преимущественно на территориях СЗФО, СКФО, УФО и СФО. Совпадали они и для многих участков акваторий Беренцева, Белого, Карского моря и западной части моря Лаптевых.

Рис.5б свидетельствует о том, что значимое повышение ПСР для июня за рассматриваемые отрезки времени имело место в основном на территориях ЦФО, ЮФО, СКФО, УФО, СФО, а также на территориях Якутии, Амурской области и Хабаровского края. Аналогичное явление имело место над многими участками акватории Карского моря и моря Лаптевых.

Рис.5в позволяет заключить, что для июля значимое повышение ПСР на тех же отрезках времени происходило главным образом над территориями УФО, СФО и Хабаровского края, а также акваторией Карского моря.

Из Рис.5г следует, что значимое повышение ПСР для августа на изучаемых отрезках времени зафиксировано на большинстве участков Европейской территории России, кроме северных регионов СЗФО. Аналогичное явление отмечено на многих территориях УФО, СФО и Якутии, а также акваториях восточной части Беренцева моря и южных районов Карского моря и моря Лаптевых.

Такие же закономерности выявлены и для апреля, сентября и октября.

При решении второй задачи определены участки территории России, где межгодовые изменения ПСР для месяцев апрель-октябрь на различных рассматриваемых отрезках периода 1997-2024гг. значимо связаны с вариациями ПКЛ. При этом изучены связи с вариациями ПКЛ, происходившими как над г. Долгопрудный, так и над п. Оленья. На картах, отражающих их расположения, показаны изолинии положительных и отрицательных значений коэффициента корреляции, соответствующие достоверности вывода о значимости рассматриваемых связей, 0,9; 0,95 и 0,99.

На Рис.6, как пример, представлены расположения территории России, где межгодовые изменения ПСР для месяцев май-август за периоды 1997-2024гг. значимо связаны с вариациями ПКЛ над г. Долгопрудный.

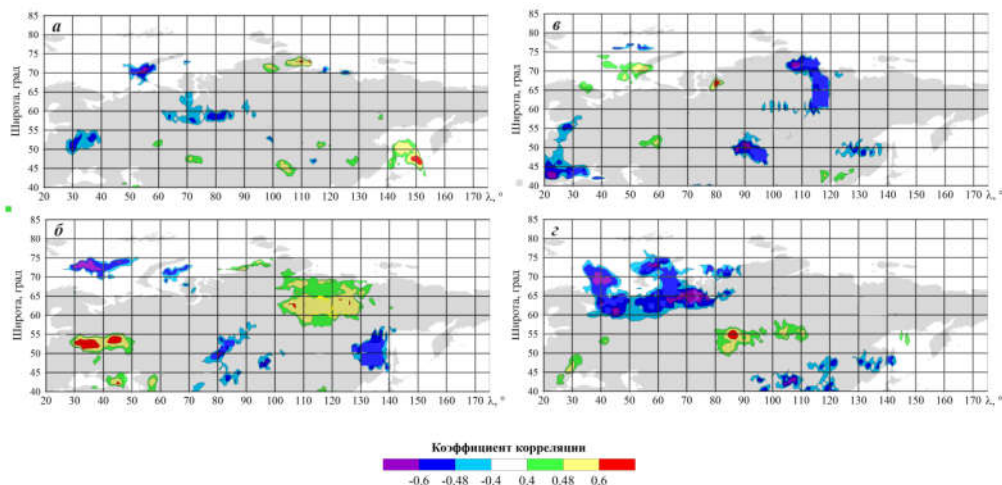


Рис.б. Расположения участков территории России, где межгодовые изменения ПСР за периоды 1997-2024гг. значимо связаны с вариациями ПКЛ для месяцев. а) май; б) июнь; в) июль; г) август.

Из Рис.ба следует, что на территории России существуют многочисленные участки, где корреляция межгодовых изменений ПСР и ПКЛ для мая значима (как положительно, так и отрицательно).

Участки территории России, где корреляция изучаемых процессов значима и отрицательно, выявлены на территориях регионов ЦФО, а также Пермского края, Свердловской области, Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого Автономных округов. Обнаружены такие участки также на Южном острове архипелага Новая Земля и прилегающих к нему морских акваториях.

Участки, где корреляция тех же процессов значима и положительна, определены на территориях Таймырского (Долгано-Ненецкого) и Эвенкийского районов Красноярского Края, а также Амурской области.

Рис.бб показывает, что территории, где корреляция рядов ПСР и ПКЛ для июня значима и положительна, принадлежат Красноярскому краю, Якутии и Иркутской области (СФО), а также Курской, Рязанской, Воронежской, Белгородской областям (ЦФО).

Значимая и отрицательная корреляция тех же процессов выявлена на территориях республик Алтай, Хакасия, Тыва (СФО), а также Ямало-Ненецкого Автономного округа (УФО). На полуострове Ямал такие участки расположены в районах пунктов Новый Порт и Харасавэй.

Как видно из Рис.бв, для июля участки, где корреляция рядов ПСР и ПКЛ значима и положительна, выявлены на территориях республики Башкортостан, Оренбургской и Мурманской области. Такие же участки обнаружены на Южном острове архипелага Новая Земля и на акватории Баренцева моря.

Участки значимой отрицательной корреляции обнаружены на территории Красноярского края и республики Саха (Якутия), Амурской области и республики Тыва.

Из Рис.бг понятно, что участки значимой положительной корреляции межгодовых изменений ПСР и ПКЛ для августа расположены на территориях Новосибирской, Кемеровской области, Красноярского края, Иркутской и Рязанской области. Участки их значимой отрицательной корреляции находятся на территориях Архангельской области Ненецкого автономного округа, республики Коми, Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономного округа, Сахалинской области и Приморского края.

Аналогичные выводы получены и в отношении связей изменений ПСР над Россией и вариаций ПКЛ в районе п. Оленья.

Как видно из сравнения Рис.4-6, для мая участки территории России, где в межгодовых изменениях ПСР присутствуют значимые и устойчивые тенденции к увеличению этих показателей, а связи этих изменений с ПКЛ значимы, принадлежат Пермскому краю, Свердловской области, Ханты-Мансийскому и Ямало-Ненецкому Автономным округам.

Для июня такие участки занимают наибольшую площадь. Они относятся к республике Саха (Якутия), Иркутской области и Красноярскому краю.

Для июля рассматриваемые участки расположены в районе г. Норильск, на Южном острове архипелага Новая Земля.

Для августа изучаемые участки находятся на территориях Новосибирской, Кемеровской области, Красноярского края, Архангельской области Ненецкого автономного округа, республики Коми, Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономного округа, Сахалинской области и Приморского края.

В результате сопоставления Рис.6 с картой, отражающей распределение по территории России участков, где корреляция рядов ПСР и ПКЛ была значимой для тех же месяцев периода 1997-2010 гг. установлено, что суммарная площадь таких участков, соответствующая 2011-2024 гг. существенно больше. Последнее свидетельствует о том, что связь между рассматриваемыми процессами в период 1997-2024гг. усиливалась.

Различие знаков корреляции рядов ПСР и ПКЛ для разных регионов и месяцев объясняется тем, что результат увеличения ПКЛ, поступающих в атмосферу над некоторой местностью, зависит от температуры и относительной влажности воздуха, в котором могут образовываться облака. Значения упомянутых характеристик воздуха над рассматриваемыми участками земной поверхности в разные месяцы различно. Поэтому, как уже отмечалось выше, следствием увеличения ПКЛ может являться как увеличение ПСР, так и его уменьшение.

Таким образом, справедливость выдвинутой гипотезы подтверждена.

Из полученных результатов следует, что участки территории России и акваторий прилегающих к ней арктических морей, на которых в период 1997-2024 гг. происходило значимое и устойчивое повышение ПСР, а межгодовые изменения ПСР были значимо связаны с синхронными по отношению к ним вариациями ПКЛ существуют.

Суммарная площадь участков, где в период 1997-2024 гг. происходило значимое и устойчивое повышение ПСР, значительно больше, чем площадь участков, где изменения ПСР значимо связаны с вариациями ПКЛ. Из этого следует, что вариации ПКЛ – значимый фактор ПСР, но это не единственный значимый фактор. Корреляция между временными рядами ПСР и ПКЛ значима для тех районов, где влияние изучаемого фактора проявляется сильнее.

Суммарная площадь участков, где корреляция межгодовых изменений ПСР и ПКЛ значима для периода 2011-2024 гг. больше, чем для 1997-2010гг., что свидетельствует об усилении фактора, вызывающего эти изменения. Как уже отмечалось выше, в 1997-2024 гг. усилению влияния ПКЛ на ПСР, поступающей на территорию России, способствовало приближение к ней СМП.

За рассматриваемый период ПСР устойчиво возрастала на территориях многих регионов России, что свидетельствует о возможности некоторого влияния этого фактора на потепление их термического режима, а возможно и климата.

Как видим, выявленные особенности связей ПСР и ПКЛ свидетельствуют в пользу справедливости выдвинутой гипотезы. Из них следует, что при дальнейшем движении СМП по той же траектории, влияние ПКЛ на ПСР над территорией России будет усиливаться, а суммарная площадь участков, где оно окажется значимым, увеличится. В результате этого общая площадь территорий России, где увеличится пожароопасность по условиям погоды, возрастет. Учитывая результаты, представленные на Рис.5, представляется вероятным, что площадь таких участков, в соответствующие месяцы будет превышать средний уровень для упомянутых выше регионов.



Из этого не следует, что на упомянутых территориях непременно увеличится ущерб, наносимый ландшафтными пожарами, ведь кроме условий погоды на горимость лесов, тундры, степей и болот влияют и другие природные факторы. Одним из них является процесс образования и накопления на рассматриваемой территории горючего материала, который не во всем следует за изменениями метеоусловий.

Влияют на изменения горимости ландшафтов и ее главные факторы – антропогенные. Поэтому необходимым условием предотвращения дальнейшего увеличения пожарных рисков на указанных территориях России является активизация осуществляемой на них контрольно-надзорной деятельности соответствующих подразделений Государственной Противопожарной службы МЧС и Лесной охраны.

Не все пожары удастся предотвратить. Поэтому в условиях повышения пожароопасности по условиям погоды актуальным является также адекватное развитие группировок ГПС МЧС, обеспечивающих пожарную безопасность на этих территориях.

Как следует из полученных результатов, они в полной мере соответствуют представлениям о роли изменений ПСР в происходящих переменах климата различных регионов Сибири [7] и вариациях пожарных рисков на их территориях [20]. Эти результаты подтверждают справедливость выводов [20] о роли космических лучей в изменениях оптической плотности облачности, а также солярного климата.

Вместе с тем следующее установленные выше факты обладают научной новизной.

1. Так как ПСР - главный На территориях многих регионов России и акваториях ее Арктических морей существуют многочисленные участки, где для месяцев апрель – октябрь в межгодовых изменениях ПСР за 1997-2024 гг. выявлены значимые и устойчивые тенденции к их увеличению, что должно было приводить к потеплению их термического режима и повышению пожароопасности по условиям погоды.

2. Среди этих участков существуют такие, где межгодовые изменения ПСР для указанных месяцев значимо статистически связаны с вариациями ПКЛ, что указывает на возможность объяснения выявленного эффекта приближением СМП к территории России.

3. Для каждого месяца на некоторых из этих участков корреляция упомянутых процессов положительная, а на прочих отрицательная.

4. Суммарная площадь таких участков для каждого рассматриваемого месяца, оцененная за 2011- 2024гг., существенно больше, чем за 1997-2010 гг., что является еще одним свидетельством значимого влияния на рассматриваемые процессы приближения СМП к территории России.

источник энергии, поддерживающей гидротермический режим любых участках земной поверхности, выявленные тенденции свидетельствуют о том, что влияние изучаемого процесса на изменения в 2010-2023 гг. пожарных рисков на территориях Якутии, Красноярского края и Иркутской области могло являться значимым.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости активизации мониторинга изменений ПКЛ, а также характеристик геомагнитного поля на территориях Арктической зоны России, результаты которых необходимы для уточнения сценария, по которому в ближайшие годы будет происходить перемещение СМП. Из них следует также необходимость заблаговременного и ускоренного развития группировок МЧС России, обеспечивающих безопасность населения и экономики ее регионов, наиболее подверженных влиянию приближения полюса. Как видно из Рис.2, к ним относятся: Красноярский край, республика Саха (Якутия), Иркутская Архангельская область, Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа.

Таким образом, установлено:

1. Значимые тенденции межгодовых изменений среднемесячных потоков суммарной солнечной радиации, поступающей в месяцы пожароопасного сезона на многие участки

территории России и акватории Российской Арктики, в период 1997-2024 гг. обладали устойчивостью к выбору отрезка времени, для которого они определялись.

2. Статистические связи межгодовых изменений среднемесячных потоков суммарной солнечной радиации и космических лучей, входящих в земную атмосферу, для многих из выявленных участков являлись значимыми, и за изучаемый период усиливались.

3. Выявленные особенности тенденций изменения потоков суммарной солнечной радиации и их связей с вариациями потоков космических лучей качественно соответствуют тем, которые могли бы являться следствием приближения Северного Магнитного полюса к территории России.

4. При дальнейшем перемещении полюса по той же траектории, на многих территориях России и Российской Арктики в месяцы пожароопасного сезона вероятно увеличение среднемесячных потоков суммарной солнечной радиации, ускоренное потепление их климата, а также повышение пожароопасности по условиям погоды.

5. Актуальной проблемой безопасности при чрезвычайных ситуациях является разработка комплекса мероприятий, направленных на защиту населения этих регионов России от действия поражающих факторов, обусловленных рассматриваемым явлением, а также повышение устойчивости к ним экономики России.

#### Список источников

1. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: официальный сайт. – Москва. URL [Электронный текст]. URL: [https://pushkino.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml) (дата обращения 10.09.2024).

2. Холопцев А.В., Проскова Н.Ю., Шубкин Р.Г. Априорная оценка оправданности 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.

3. Акентьева Е.М., Александров Е.И., Алексеев Г.В., и др. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. – Санкт-Петербург. 2017. – 106 с.

4. Анисимов О.А., Жильцова Е.Л. Об оценках изменений климата регионов России в 20 и начале 21 веков по данным наблюдений // Метеорология и гидрология, № 6, 2012. с. 95–107.

5. Валендик Э.Н. Ландшафтные пожары тайги Центральной Сибири / Валендик Э.Н. [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2014. – №3. – С. 73 – 86.

6. Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И.; Под общ. ред. Воробьева Ю.Л.; МЧС России. — М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9517-0008-6.

7. Кондратьев К.Я. Актинометрия. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1965 г., 692 с.

8. Матвеев Л.Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. — 2-е изд.— Л.: Гидрометеоиздат, 1984. — 751 с.

9. Kondratyev K.Ya. Climatic Effects of Aerosols and Clouds. — Springer/PRAxis, Chichester, U.K., 1999. — 264 с.

10. Коровин Г.Н. Влияние климатических изменений на лесные пожары в России / Коровин Г.Н., Зукерт Н.В. // Климатические изменения: взгляд из России / под ред. В.И.Данилова-Данильяна. – М.: ТЕИС, 2003. — С. 69-98.

11. Роджерс П.Р. “Краткий курс физики облаков”. Перевод с англ. Сергеева Б.Н. Л.: 1979 .-223с.

12. Физика облаков и активных воздействий / под ред. Громовой Т.Н. и Довгалюк Ю.А. // Ленинград. Гидрометеоиздат. Труды ГГО вып. 372, 1976. 130с.

13. Голенков А.Е., Охлопков В.П., Свиржевская А.К., Свиржевский Н.С., Стожков Ю.И. Планетарное распределение интенсивности космических лучей по измерениям в стратосфере. Труды ФИАН. М.: Наука, 1980, т. 122, с. 3-14.

14. Трек Северного Магнитного полюса. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/data/poles/NP.xu> (дата обращения 10.09.2024).



15. Фролова О. Куда движется Северный Магнитный полюс. [Электронный ресурс]. URL: <https://travelask.ru/blog/posts/13546-kuda-dvizhetsya-severnnyu-magnitnyu-polyus-i-kogda-polyusa-sn> (дата обращения 10.09.2024).
16. Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Проскова Н.Ю. Сергеев И.Ю., Батуро А.Н. Межгодовые изменения потоков суммарной солнечной радиации, поступающей в месяцы пожароопасного сезона на территории и акватории Арктики, и смещение Северного Геомагнитного полюса. Труды 10-ой Международной научной конференции-школы молодых ученых "Физическое и математическое моделирование процессов в геосредах" 23 – 25 октября 2024 года, г. Москва, ИПМех РАН 25 с.
17. Hoffmann L., Günther G., Li D., Stein O. et al. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations // *Atm. Chem. Phys.* 2019. Vol. 19. Pp. 3097-3124.
18. База данных Результаты реанализа ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. [Электронный ресурс]. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> (дата обращения 10.09.2024).
19. Кожухов В.П. Математические основы судовождения, 3-е издание, перераб и доп./ В.П. Кожухов, В.В. Григорьев, С.М. Лунин, М.: Транспорт, 1993 г. – 200 с.
20. Веретененко С.В. Эффекты Форбуш-понижений галактических космических лучей в вариациях общей облачности / Веретененко С.В., Пудовкин М.И. // *Геомагнетизм и аэрономия.* – 1996. – т.36. -№1. –С.153-156.

## References

1. Information system of remote monitoring of the Federal Forestry Agency: official website. – Moscow. URL [Electronic text]. URL: [https://pushkino.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml) (date of access 10.09.2024).
2. Kholoptsev A.V., Proskova N.Yu., Shubkin R.G. A priori assessment of the accuracy 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). PP.86-96.
3. Akentieva E. M., Alexandrov E. I., Alekseev G. V., et al. Report on climate risks in the territory of the Russian Federation. – St. Petersburg, 2017. 106 pp.
4. Anisimov O.A., Zhiltsova E.L. On assessments of climate changes in Russian regions in the 20th and early 21st centuries based on observation data // *Meteorology and Hydrology,* №. 6, 2012. Pp. 95–107.
5. Valendik E.N. Landscape fires of the taiga of Central Siberia / Valendik E.N. [et al.] // *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. The series is geographical.* - 2014. – №.3. – pp. 73-86.
6. Vorobyov Y.L. Forest fires in Russia: State and problems / Vorobyov Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I.; Under the general editorship of Vorobyov Yu.L.; Ministry of Emergency Situations of Russia. — М.: DEX-PRESS, 2004. – 312 pp. ISBN 5-9517-0008-6.
7. Kondratiev K.Ya. Actinometry. Leningrad: Hydrometeorological Publishing House, 1965, 692 pp.
8. Matveev L.T. Fundamentals of general meteorology. Physics of the atmosphere. — 2nd ed. — L.: Hydrometeoizdat, 1984. — 751 pp.
9. Kondratyev K.Ya. Climatic Effects of Aerosols and Clouds. — Springer / PRAXIS, Chichester, U.K., 1999. — 264 pp.
10. Korovin G.N. The influence of climate change on forest fires in Russia / Korovin G.N., Zukert N.V. // *Climate change: a view from Russia / edited by V.I.Danilova-Danilyan.* – М.: TEIS, 2003. — pp. 69-98.
11. Rogers P.R. "A short course in cloud physics". Translated from the English. Sergeeva B.N. L.: 1979. 223 PP.
12. Physics of clouds and active influences. / edited by Gromova T.N. and Dovgalyuk Yu.A. // *Leningrad. Hydrometeorological data. Proceedings of the GGO vol. 372,* 1976. 130 PP.
13. Golenkov A.E., Okhlopov V.P., Svirzhevskaya A.K., Svirzhevsky N.S., Stozhkov Yu.I. Planetary distribution of cosmic ray intensity by measurements in the stratosphere. *Proceedings of the FIAN.* М.: Nauka, 1980, vol. 122, pp. 3-14.

14. Track of the North Magnetic Pole. [Electronic resource]. URL: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/data/poles/NP.xy> (date of access 10.09.2024).
15. Frolova O. Where is the North Magnetic Pole moving? [Electronic resource]. URL: <https://travelask.ru/blog/posts/13546-kuda-dvizhetsya-severnyy-magnitnyy-polyus-i-kogda-polyusa-sn> (date of access 10.09.2024).
16. Kholoptsev A.V., Shubkin R.G., Proskova N.Yu., Sergeev I.Yu., Baturо A.N. Interannual changes in the fluxes of total solar radiation entering the months of the fire season in the territory and waters of the Arctic, and the displacement of the Northern Geomagnetic Pole. Proceedings of the 10th International Scientific Conference-School of Young Scientists "Physical and mathematical modeling of processes in geomedиа" October 23-25, 2024, Moscow, IPMeh RAS S.
17. Hoffmann L., Günther G., Li D., Stein O. et al. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations // *Atm. Chem. Phys.* 2019. Vol. 19. PP. 3097-3124.
18. Database Results of ERA5 reanalysis hourly data on pressure levels from 1979 to present. [Electronic resource]. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> (date of access 10.09.2024).
19. Kozhukhov V.P. Mathematical foundations of navigation, 3rd edition, revised and supplemented / Kozhukhov V.P., Grigoriev V.V., Lunin S.M. M.: Transport, 1993 – 200 pp.
20. Veretenenko S.V. Effects of Forbush decreases of galactic cosmic rays in variations of general cloud cover / Veretenenko S.V., Pudovkin M.I. // *Geomagnetism and aeronomy.* – 1996. – vol.36. -№.1. – pp.153-156.

Информация об авторах

А.В. Холопцев - доктор географических наук, профессор

Р.Г. Шубкин – кандидат технических наук, доцент

Information about the author

A.V. Kholoptsev – Grand PhD in Geography, professor

R.G. Shubkin – PhD in Technical Sciences, Associate Professor

**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 18.11.2024, одобрена после рецензирования 02.12.2024, принята к публикации 04.12.2024.

The article was submitted 18.11.2024, approved after reviewing 02.12.2024, accepted for publication 04.12.2024.