

DOI: 10.15393/j2.art.2026.9343

УДК 630.43

Статья

Факторы горимости лесов на территориях некоторых регионов Сибири в 2010—2024 гг.

Холопцев Александр Вадимович

доктор географических наук, профессор, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Железногорск, Российская Федерация), kholoptsev@mail.ru

Шубкин Роман Геннадьевич

кандидат технических наук, доцент, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Железногорск, Российская Федерация), rshubkin@yandex.ru

Проскова Наталья Юрьевна

преподаватель, Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (Железногорск, Российская Федерация), proskovany@19.mchs.gov.ru

Получена: 16 декабря 2026 / Принята: 29 июня 2026 / Опубликовано: 8 сентября 2026

Аннотация: Оправдываемость долгосрочных прогнозов показателей пожароопасности по условиям погоды для лесопокрытых участков территории Сибири является актуальной проблемой лесной пирологии и обеспечения пожарной безопасности в лесах. Авторами предложена методика прогнозирования изучаемых процессов для участков земной поверхности, где факторы, учитываемые в прогностических моделях, значимо связаны с изучаемым процессом, опережая его на время, равное заблаговременности прогноза, а также при условии, что сценарии их развития в будущем не изменятся. Необходимым условием применимости упомянутой методики является также неизменность либо усиление в прошлом связей изучаемого процесса с факторами, учитываемыми при прогнозировании. Целью данной статьи является проверка гипотезы о том, что в период с 2001 по 2024 г. указанными свойствами обладали такие факторы рассматриваемого процесса, как вариации показателей горимости лесов на территориях некоторых регионов Сибири в предыдущие годы. Справедливость гипотезы проверена для различных участков территории Сибири и для всех месяцев пожароопасного сезона. В качестве метода исследования использован корреляционный анализ. Установлено, что на территории Сибири существуют участки, для которых связи изучаемого процесса для месяцев с марта по июнь, с изменениями показателей горимости лесов на территориях Якутии,

Красноярского края или Иркутской области за предыдущие пожароопасные сезоны, для 2010—2024 гг. были значимы и усиливались за период 2000—2024 гг. Поэтому для выявленных участков долгосрочное прогнозирование месячных сумм атмосферных осадков с использованием упомянутой методики возможно. На некоторых из выявленных участков изменения рассматриваемой характеристики и показателей горимости лесов соответствующих регионов регулируются положительной обратной связью, что может способствовать повышению пожароопасности.

Ключевые слова: лесные пожары; долгосрочное прогнозирование; месячные суммы осадков

DOI: 15393/j2.art.2026.9343

Article

Factors affecting forest fire risk in certain regions of Siberia between 2010 and 2024

Alexander Kholoptsev

*D. Sc. in geography, professor, Siberian Fire and Rescue Academy
of the Ministry of Emergency Situations of Russia (Zheleznogorsk, Russian Federation),
kholoptsev@mail.ru*

Roman Shubkin

*Ph. D. in engineering, associate professor, Siberian Fire and Rescue Academy
of the Ministry of Emergency Situations of Russia (Zheleznogorsk, Russian Federation),
rshubkin@yandex.ru*

Natalia Proskova

*lecturer, Siberian Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia
(Zheleznogorsk, Russian Federation), proskovany@19.mchs.gov.ru*

Received: 16 December 2025 / Accepted: 29 June 2026 / Published: 8 September 2026

Abstract: The justifiability of long-term forecasts of fire hazard indicators based on weather conditions for forest-covered areas of Siberia is an urgent problem of forest pyrology and fire safety in forests. The authors propose a methodology for predicting the studied processes for areas of the earth's surface, where the factors considered in predictive models are significantly related to these processes, outstripping them by the time equal to the advance of the forecast, and providing that the scenarios of their development do not change in the future. A necessary condition for the applicability of the methodology is also the invariance or strengthening in the past of the links between the studied process and the factors considered in forecasting. The purpose of this article is to test the hypothesis that in the period 2001—2024 such factors of the process as variations in forest burning rates in the territories of some regions of Siberia in previous years possessed these properties. The validity of the hypothesis has been tested for various parts of Siberia and for all months of the fire season. Correlation analysis was used as a research method. It has been established that there are areas of Siberia for which the relationship of the studied process for the months from March to June, with changes in forest burning rates in the territories of Yakutia, the Krasnoyarsk Territory or the Irkutsk region over the previous fire seasons, for 2010—2024 were significant, and

intensified over the period 2000—2024. Therefore, long-term forecasting of monthly precipitation amounts using the mentioned methodology is possible for the identified areas. In some of these sites, changes in the characteristics under consideration and indicators of forest burning in the respective regions are regulated by positive feedback, which may contribute to an increase in fire risk.

Keywords: forest fires; long-term forecasting; monthly precipitation amounts

1. Введение

Изменения состояний биотических компонентов ландшафтов любой местности, а также её водных объектов, почв и увлажнения формирующегося здесь горючего материала во многом зависят от вариаций месячных сумм выпадающих на ней атмосферных осадков (МСО). Поэтому при планировании на предстоящий год многих видов осуществляемой на ней хозяйственной деятельности, а также основных мероприятий соответствующих противопожарных подразделений необходим учёт достаточно надёжных долгосрочных прогнозов этих вариаций. Вместе с тем упомянутые прогнозы, разрабатываемые уполномоченными организациями Росгидромета, успешными являются далеко не всегда и не повсеместно. Следовательно, совершенствование методики их разработки является актуальной проблемой не только метеорологии, но также безопасности при чрезвычайных ситуациях и пожарной безопасности.

Решение указанной проблемы представляет наибольший интерес для регионов, обладающих значительными лесными ресурсами, населению и экосистемам которых ландшафтные пожары ежегодно причиняют значительный ущерб. В России к числу лидеров по степени лесистости своих территорий и масштабу ущерба от таких пожаров относятся многие её регионы, расположенные в Сибири, лесные ресурсы которой достигают почти 60 % от лесных ресурсов всей России [1].

В XXI в. на территории Сибири ежегодно возникают многочисленные ландшафтные пожары, из которых наибольший, устойчиво возрастающий ущерб приносят лесные пожары [2—4].

Основы теории долгосрочного прогнозирования гидрометеорологических процессов заложены в трудах З. М. Гудковича и других учёных Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ), разрабатывавших способы повышения эффективности мониторинга ледовой обстановки на судоходных маршрутах Северного морского пути [5].

В современном периоде её развитию посвящены работы учёных Гидрометцентра России [6], [7], Главной Геофизической обсерватории имени А. И. Воейкова [8], ААНИИ [9] и других научных организаций Росгидромета [10]. Согласно их представлениям, при разработке таких прогнозов целесообразно принимать допущение о том, что сценарий развития изучаемых процессов является инерционным (статистические свойства этих процессов, выявленные по их предысториям, в будущем не переменятся) [9].

Принятие указанного допущения позволяет верифицировать прогностические модели изучаемых процессов по их предысториям. По ним же возможна также априорная оценка качества разработанных прогнозов. Если упомянутое допущение справедливо, то прогноз изучаемого процесса тем точнее и успешнее, чем точнее моделирование его предыстории. Поэтому, как перспективное направление совершенствования методики долгосрочного прогнозирования гидрометеорологических процессов, рассматривается расширение мно-

жества учитываемых при этом факторов. При разработке таких прогнозов ныне применяются математические модели, учитывающие многие десятки факторов, что позволяет достичь уровня их оправдываемости, равного 0,7—0,8.

Установлено, что для некоторых факторов, учитываемых при прогнозировании изменений МСО на ряде участков территории Сибири, упомянутое допущение справедливым не является, т. к. за время, равное заблаговременности долгосрочного прогноза [11], статистические свойства таких факторов успевают существенно измениться. В результате этого верификация по соответствующим предысториям прогностической модели изучаемого процесса, учитывающей такие факторы, к повышению точности описания его дальнейшей динамики МСО приводит не всегда [12], [13].

Иной подход к разработке долгосрочных прогнозов изучаемого процесса предложен в работе [14]. В соответствии с ним при разработке прогнозов принимается допущение о том, что в будущем сценарии развития рассматриваемого процесса и всех факторов, учитываемых в его прогностической модели, сохранятся такими же, какими они были в прошлом. Такие сценарии предложено называть «консервативными» [10].

Очевидно, что инерционный сценарий является в то же время консервативным, но обратное не верно. Следовательно, указанное допущение является менее «жестким», чем упомянутое выше, и потому оно может быть справедливо в большем числе случаев.

Если сценарии изучаемых процессов и их факторов консервативны, предложенный подход к прогнозированию может быть эффективен, при условии, что связи изучаемого процесса с факторами, учитываемыми в применяемой прогностической модели, в прошлом оставались неизменными либо устойчиво усиливались.

Как известно [15], математическая модель процесса описывает его тем точнее, чем сильнее его связи с каждым фактором, учитываемым ею. Поэтому упомянутая методика предполагает учёт при прогнозировании изменений МСО только тех их факторов, которые действуют, опережая этот процесс на время, равное заблаговременности прогноза, а также, если связи между ними в современном периоде являются значимыми, а в прошлом либо не изменялись, либо усиливались.

Необходимо отметить, что если сценарии развития изучаемого процесса и некоторого его фактора консервативны, то в будущем статистическая связь между ними может не только усиливаться, но и ослабевать. В последнем случае точность описания дальнейшего развития этого процесса его моделью, учитывающей такой фактор, будет снижаться, а апостериорная оценка оправдываемости прогноза окажется ниже, чем её априорная оценка по соответствующей предыстории. Следовательно, учёт при прогнозировании таких факторов нецелесообразен. Как следует из изложенного, искомые факторы межгодовых изменений МСО логично искать среди природных процессов, которые опережают эти изменения от одного до десятков месяцев, а связи между ними являются причинными.

Учитывая существующие представления о причинах изменчивости МСО [16—18], очевидно, что к числу искомых факторов могут относиться вариации характеристик

рассматриваемых участков подстилающей поверхности, влияющих на их обмен теплом и влагой с атмосферой. Одной из таких характеристик является альbedo земной поверхности [19], значение которого в весенне-летние месяцы зависит от интенсивности осадения на снежный покров изучаемых территорий частиц сажи и других пирогенных веществ, происходящего в осенние месяцы предыдущего года. Упомянутые вещества поступают в атмосферу над Сибирью при ландшафтных пожарах на различных участках её территории, происходящих в течение всего пожароопасного сезона [20—23]. В осенние месяцы над территорией Сибири начинается формирование Сибирского антициклона, при котором возникают устойчивые ветры, переносящие такие вещества в северном направлении [18]. Осаждение пирогенных веществ происходит там, куда их приносит ветер. Поэтому альbedo каждого такого участка земной поверхности в весенние месяцы определяется, помимо прочего, количеством ландшафтных пожаров (КЛП), происходивших за весь пожароопасный сезон на территории регионов Сибири, расположенных южнее, и площадью их лесопокрытых территорий, пройденных при этом огнём (ППО).

Установлено, что изменения МСО на различных участках земной поверхности могут также зависеть от потоков космических лучей (в основном, протонов), которые входят над ними в атмосферу и порождают в ней ливни вторичных частиц, ионизирующих над ними воздух тропосферы, что значимо влияет на изменения концентрации в нём атмосферных ядер конденсации [24—27]. На распределения над Северным полушарием Земли потоков этих протонов существенно влияет расположение магнитного полюса этого полушария [27—28], который в 1900—2009 гг. ускоренно перемещался в сторону полуострова Таймыр. В 2010—2024 гг. скорость его движения стабилизировалась, а в последние годы даже несколько уменьшилась [28]. Следовательно, допустимо выдвинуть гипотезу: на территории Сибири существуют участки, для которых корреляция межгодовых изменений выпадающих на них МСО за 2010—2024 гг., с вариациями КЛП и ППО на территориях некоторых её регионов за 2009—2023 гг., являлась значимой и за период 2000—2024 гг. усиливалась либо оставалась неизменной.

Подтверждение существования таких участков позволило бы применить временные ряды значений упомянутых показателей в качестве предикторов моделей происходящих на них изменений МСО. Поэтому проверка этой гипотезы представляет теоретический и практический интерес. Информация об изменениях КЛП и ППО на территориях различных регионов Сибири за период 2000—2024 гг. представлена в Информационной системе дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства [29]. Сведения об изменениях в те же годы МСО в любых пунктах территории Сибири могут быть получены из источника [30]. Тем не менее ранее выдвинутая гипотеза не проверялась, а участки территории Сибири и месяцы, для которых она справедлива, не установлены, что не позволяет учесть связи между рассматриваемыми процессами при разработке долгосрочных прогнозов МСО.

Целью данной работы является осуществление такой проверки и выявление для тех или иных месяцев пожароопасного сезона участков территории Сибири, где связям межгодовых изменений МСО с вариациями КЛП и ППО на территориях каких-либо её регионов присущи указанные свойства.

Для её достижения решены задачи:

- Выявление участков территории Сибири, где за 2010—2024 гг. связи межгодовых изменений МСО с вариациями КЛП и ППО на территориях различных её регионов за 2009—2023 гг. являлись значимыми.
- Поиск среди выявленных участков тех, где изучаемые связи за период 2000—2024 гг. усиливались либо не изменялись.

2. Материалы и методы

При решении указанных задач учитывалось, что сведения о КЛП и ППО могут быть получены из источника [29] лишь за период, начинающийся с 2000 г. Поэтому в качестве фактического материала о вариациях МСО использована информация о суммах атмосферных осадков, выпадающих за каждый час из периода с 00 ч 01.01.2001 г. по 23 ч 31.12.2024 г. в различных пунктах земной поверхности, которая представлена в глобальном реанализе ERA-5 [30], [31]. Упомянутая информация соответствует узлам координатной сетки реанализа с шагом $0,25^\circ \times 0,25^\circ$.

Рассматриваемые задачи решались для всех узлов упомянутой сетки, находящихся в пределах части земной поверхности, ограниченной меридианами 60° в. д. и 180° в. д., а также параллелями 35° с. ш. и 80° с. ш. Эта часть включает всю территорию Сибири, а также территории Дальнего Востока России и сопредельных государств с акваториями прилегающих к ним морей. Указанная информация для каждого рассматриваемого участка земной поверхности и каждого месяца пожароопасного сезона применена для вычисления соответствующих значений МСО.

Из полученных таким образом значений МСО сформированы изучаемые временные ряды. Сопоставляемые с ними временные ряды КЛП и ППО для каждого региона России, находящегося в Сибири, соответствующие периоду 2000—2023 гг., получены из источника [29]. Как характеристика связи между изучаемыми временными рядами рассматривалось соответствующее им значение коэффициента парной корреляции (K). Поэтому методика решения первой задачи предполагала использование метода корреляционного анализа. Значение K вычислялось для отрезков рядов МСО, соответствующих периоду 2010—2024 гг., и отрезков рядов КЛП и ППО за 2009—2023 гг. В каждом таком отрезке скомпенсирован линейный тренд. Статистический вывод о значимости K делался, если его достоверность, оценённая по критерию Стьюдента, составляла не менее 0,95. Пороговое значение уровня модуля K , при превышении которого принималось указанное решение, выбиралось с учётом количества степеней свободы сопоставляемых отрезков.

При решении второй задачи применялась методика, предполагающая вычисление значений K , соответствующих аналогичным по продолжительности отрезкам временных рядов МСО и вариации солнечной активности (ВСА), которые начинались в другие годы изучаемого периода. Такие вычисления производились для каждого рассматриваемого пункта земной поверхности и каждого месяца пожароопасного сезона. Из установленных таким образом значений K были сформированы временные ряды длиной 10 членов, соответствующих тому или иному году начала отрезка ряда МСО, использованного при его вычислении. Сценарий развития изучаемого процесса и рассматриваемого фактора в соответствии с работой [13] признавался инерционным, если

$$X = (K_{\max} + K_{\min}) / (K_{\max} - K_{\min}) > 10, \quad (1)$$

где $K_{\max}$ и $K_{\min}$ — соответственно максимальное значение и минимальное значение K среди всех его значений, образующих изучаемый временной ряд этих показателей.

Для каждого временного ряда K определено значение углового коэффициента его линейного тренда (УКЛТ). Принято допущение, согласно которому, отклонения членов каждого ряда K от соответствующего линейного тренда, — случайные числа с гауссовым законом распределения вероятностей. Справедливость этого допущения подтверждалась с применением критерия Пирсона.

Решение о значимости УКЛТ принималось, если

$$10 * \text{ABS}(\text{УКЛТ}) > 1,65 * \text{СКО}, \quad (2)$$

где ABS — оператор вычисления абсолютной величины своего аргумента; СКО — средне-квадратическое отклонение членов изучаемого ряда от соответствующего линейного тренда.

Из допущения о нормальности закона распределения вероятностей отклонений K следует, что достоверность такого вывода составляет не менее 0,95. Если $\text{УКЛТ} > 0$, принималось решение об усилении связи между рассматриваемыми процессами. В противном случае делался вывод об ослаблении этой связи. Так как сформированные временные ряды K содержат всего по 10 членов, проверка устойчивости тенденции изменений этого показателя не проводилась. Следовательно, долгосрочные прогнозы МСО для участков, выявленных с применением упомянутой методики, могут быть адекватны лишь при условии, что сценарии развития этого процесса и его факторов, учитываемых в соответствующих прогностических моделях, действительно окажутся консервативными.

Как следует из изложенного, решения поставленных задач, которые могут быть найдены с применением такой методики, являются приближенными. Основной причиной этого является наличие информации о значениях КЛП и ППО лишь за период, начинающийся с 2000 г. При столь малом количестве членов изучаемых временных рядов K критерий Пирсона (как тест на нормальность) недостаточно надёжен. Следовательно, полученные результаты носят качественный характер.

3. Результаты

С применением изложенной методики выявлены все участки территории Сибири, где корреляция межгодовых изменений МСО на отрезке времени 2010—2024 гг. с КЛП либо ППО на территориях различных её регионов за 2009—2023 гг. являлась значимой, а за период 2000—2024 гг. она не ослабевала. При этом среди них присутствуют как участки, где значимая корреляция рассматриваемых процессов положительна, так и участки, где она отрицательна.

На первых участках, при сохранении прежних тенденций изучаемых процессов и повышении показателей горимости лесов на территории некоторого региона Сибири в предыдущие годы, в предстоящем году более вероятно повышение МСО (пожароопасность по условиям погоды может снизиться). На вторых участках, при тех же условиях, более вероятно снижение МСО, а значит, и повышение пожароопасности.

Наиболее опасна ситуация, когда участки, где вероятно снижение МСО, расположены в пределах тех же регионов, где КЛП и ППО в предыдущие годы повышалось. На таких местностях, при консервативном сценарии развития изучаемых процессов, активизация ландшафтных пожаров в прошлом может способствовать повышению на них пожароопасности по условиям погоды (и дальнейшей активизации ландшафтных пожаров) в будущем. Это означает, что на них изменения горимости лесов могут регулироваться положительными обратными связями, что крайне опасно, т. к. способно приводить к её лавинообразному увеличению.

Анализ автокорреляционных функций сопоставляемых рядов показал, что соответствующие им значения количества степеней свободы равны 15. Поэтому как пороговый уровень модуля K , при превышении которого достоверность вывода о значимости связи между ними равна 0,95, определён как 0,52. Достоверности упомянутого вывода 0,9 соответствует уровень модуля этого коэффициента 0,4, а его достоверности 0,99 — уровень 0,62.

При решении первой задачи установлено, что среди изучаемых участков земной поверхности тех, для которых сценарии развития изучаемых процессов могут быть признаны инерционными, для рассматриваемых месяцев не обнаружено, что подтверждает выводы [13].

Участки, на которых асинхронные связи межгодовых изменений МСО с вариациями КЛП и ППО обладают указанными выше свойствами, обнаружены в случаях, когда эти показатели соответствуют таким регионам Сибири, как Республика Саха (Якутия), Иркутская область и Красноярский край. Такие участки выявлены, в основном, для случаев, в которых межгодовые изменения МСО соответствуют месяцам с марта по июнь. Для прочих месяцев их суммарные площади значительно меньше.

При решении второй задачи для каждого такого месяца определены участки, где корреляция рассматриваемых процессов с КЛП или ППО на территориях одного из упомянутых регионов за период 2000—2024 гг. значимо усиливалась. Сопоставление результатов реше-

ния обеих задач позволило выявить участки, где связи изучаемых процессов в 2010—2024 гг. были значимы, а за 2000—2024 гг. они усиливались.

В качестве примера на рисунке 1 показаны участки земной поверхности, где связи межгодовых изменений КЛП на территории Якутии за 2009—2023 гг. с вариациями МСО для месяцев март — июнь, соответствующими 2010—2024 гг., являлись значимыми, и за 2000—2024 гг. они усиливались.

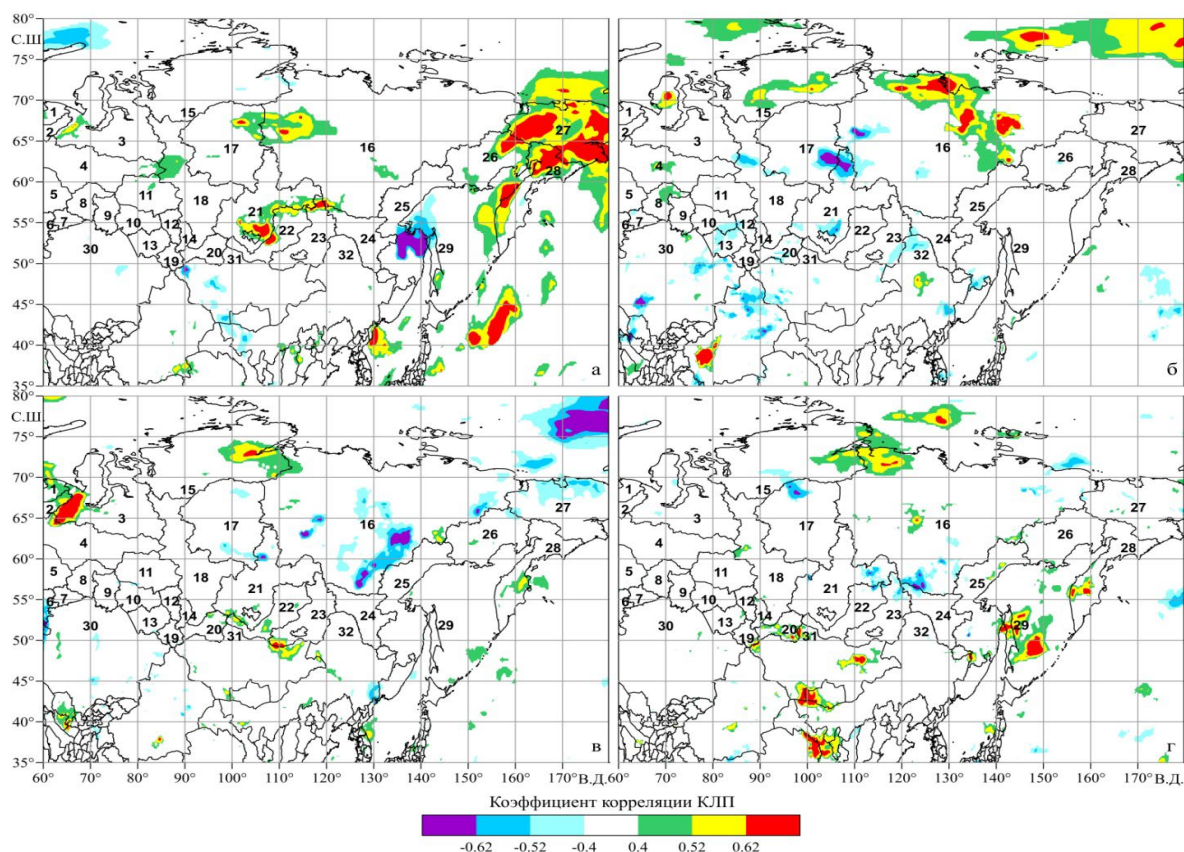


Рисунок 1. Участки территории Сибири, где корреляция вариаций КЛП на территории Республики Саха (Якутии) за летний сезон 2009—2013 гг. с межгодовыми изменениями МСО для 2010—2024 гг. была значимой, а за период 2000—2024 гг. она усилилась для месяцев: *а* — март; *б* — апрель; *в* — май; *г* — июнь [рисунок авторов]

Figure 1. The areas of Siberia where the correlation of CLP variations in the territory of the Republic of Sakha (Yakutia) for the summer season of 2009—2013 with the interannual changes in the MOC for 2010—2024 was significant, and over the period 2000—2024 it increased for the months: *a* — March; *б* — April; *в* — May; *г* — June

На рисунке 1 и далее использованы следующие обозначения: 1 — Ненецкий автономный округ; 2 — Республика Коми; 3 — Ямало-Ненецкий автономный округ; 4 — Ханты-Мансийский автономный округ; 5 — Свердловская область; 6 — Челябинская область; 7 — Курган-

ская область; 8 — Тюменская область; 9 — Омская область; 10 — Томская область; 11 — Новосибирская область; 12 — Кемеровская область; 13 — Алтайский край; 14 — Республика Хакасия; 15 — Таймырский (Долгано-Ненецкий) район Красноярского края; 16 — Республика Саха (Якутия); 17 — Эвенкийский район Красноярского края; 18 — прочие районы Красноярского края; 19 — Республика Алтай; 20 — Республика Тыва; 21 — Иркутская область; 22 — Республика Бурятия; 23 — Забайкальский край; 24 — Амурская область; 25 — Хабаровский и Приморский края; 26 — Магаданская область; 27 — Чукотский автономный округ; 28 — Камчатский край; 29 — Сахалинская область; 30 — Республика Казахстан; 31 — Монгольская Народная Республика; 32 — Китайская Народная Республика.

Как следует из рисунка 1, *а*, участки территории Сибири, где корреляция вариаций КЛП на территории Якутии за 2009—2013 гг., с межгодовыми изменениями МСО за 2010—2024 гг. для марта, была значимой и положительной, а за 2000—2024 гг. она усиливалась, обнаружены. Такие участки находятся на территории Республики Саха (Якутия) и Республики Бурятия, Чукотского автономного округа, Камчатского края, а также Иркутской и Томской областей. Значимая и отрицательная корреляция тех же процессов выявлена на территории Хабаровского края.

Из рисунка 1, *б* видно, что участки территории Сибири, где корреляция МСО для апреля за 2010—2024 гг. вариациями ППО на территории Якутии за 2009—2013 гг. являлась значимой и положительной, а за 2000—2024 гг. она усиливалась, находятся на территории Республики Саха (Якутия), Красноярского края, а также Ямало-Ненецкого автономного округа. Участки, где она является значимой, отрицательной, относятся к Иркутской области, Красноярскому краю, а также Республике Саха (Якутия).

Из рисунка 1, *в* понятно, что для мая участки, где корреляция тех же процессов является значимой и положительной, а за период 2000—2024 гг. она усиливалась, находятся на территории Ненецкого и Ямало-Ненецкого автономных округов, Таймырского района Красноярского края, Анабарского и Мирненского улусов Республики Саха (Якутия), а также Иркутской области, Республики Бурятия и Магаданской области.

Участки, где корреляция изучаемых процессов в 2010—2024 гг. является значимой и отрицательной, расположены на территории Республики Саха (Якутия), Чукотского автономного округа, а также Челябинской области.

Суммарные площади выявленных участков территории Сибири для мая меньше, чем для предыдущих месяцев, однако на территории Республики Саха (Якутия) общая площадь участков, где корреляция изучаемых процессов отрицательна и в прошлом усиливалась, больше, чем в любые другие месяцы. Как уже отмечалось выше, именно на них могут действовать положительные обратные связи между горимостью лесов и пожароопасностью в них по условиям погоды.

Из рисунка 1, *г* можно заключить, что для июня искомые участки, где корреляция рассматриваемых процессов значима, положительна и усиливалась, располагаются на территориях Красноярского, Хабаровского и Камчатского краёв, Республики Саха (Якутия), Рес-

публики Алтай и Республики Тыва, а также Сахалинской области. Значимой отрицательной корреляция между теми же процессами является для участков территории Красноярского края, Иркутской и Амурской областей, а также Республики Саха (Якутия).

Сравнение рисунков 1, *a—г* показывает, что суммарные площади участков территории Сибири, для которых корреляция изучаемых процессов в 2010—2024 гг. была значимой, а за 2000—2024 гг. усиливалась, максимальны в весенние месяцы. Аналогичным образом установлено, что для прочих летних месяцев общие площади таких участков значительно меньше, чем для июня, а для осенних месяцев они не выявлены.

Справедливость этого вывода подтверждается рисунком 2, на котором показаны участки территории Сибири, для которых корреляция межгодовых изменений МСО для тех же месяцев — с марта по июнь, за 2010—2024 гг. с вариациями ППО для Якутии, за 2009—2023 гг. являлась значимой, а за 2000—2024 гг. она усиливалась.

Как следует из рисунка 2, *a*, участки территории Сибири, где корреляция вариаций ППО на территории Якутии за 2009—2013 гг., с межгодовыми изменениями МСО за 2010—2024 гг. для марта, была значимой и положительной, а за 2000—2024 гг. она усиливалась, обнаружены. Такие участки находятся на территории Республики Саха (Якутия) и Республики Бурятия, Чукотского автономного округа, Камчатского и Красноярского краёв, а также Омской, Томской и Новосибирской областей.

Значимая и отрицательная корреляция тех же процессов выявлена на территории Хабаровского и Красноярского краёв, Республики Саха (Якутия), а также Ямало-Ненецкого автономного округа.

Из рисунка 2, *б* видно, что участки территории Сибири, где корреляция МСО для апреля за 2010—2024 гг., с вариациями ППО на территории Якутии за 2009—2013 гг., являлась значимой и положительной, а за 1979—2024 гг. она усиливалась, находятся на территории Республики Саха (Якутия), Красноярского и Камчатского краёв, а также Ямало-Ненецкого, Ханты-Мансийского и Чукотского автономных округов. Участки, где она является значимой, отрицательной, относятся к Иркутской области, Алтайскому и Красноярскому краям, а также Республике Саха (Якутия).

Из рисунка 2, *в* понятно, что корреляция рассматриваемых процессов значима и положительна на участках, которые относятся к Ненецкому, Ямало-Ненецкому, Ханты-Мансийскому автономным округам, Красноярскому и Забайкальскому краям, Иркутской и Магаданской областям, а также Республике Тыва и Республике Саха (Якутия).

Участки, где она значима и отрицательна, принадлежат Республике Саха (Якутия), а также Чукотскому автономному округу. При этом многие участки, выявленные на территории Якутии, совпадают с участками, где значимая отрицательная корреляция выявлена для межгодовых изменений МСО и КЛП. Следовательно, к процессам в соответствующих районах (улусах) Республики Саха (Якутия), способным приводить к существованию в них положительной обратной связи «горимость лесов в прошлом — пожароопасность в будущем», целесообразно уделить повышенное внимание.

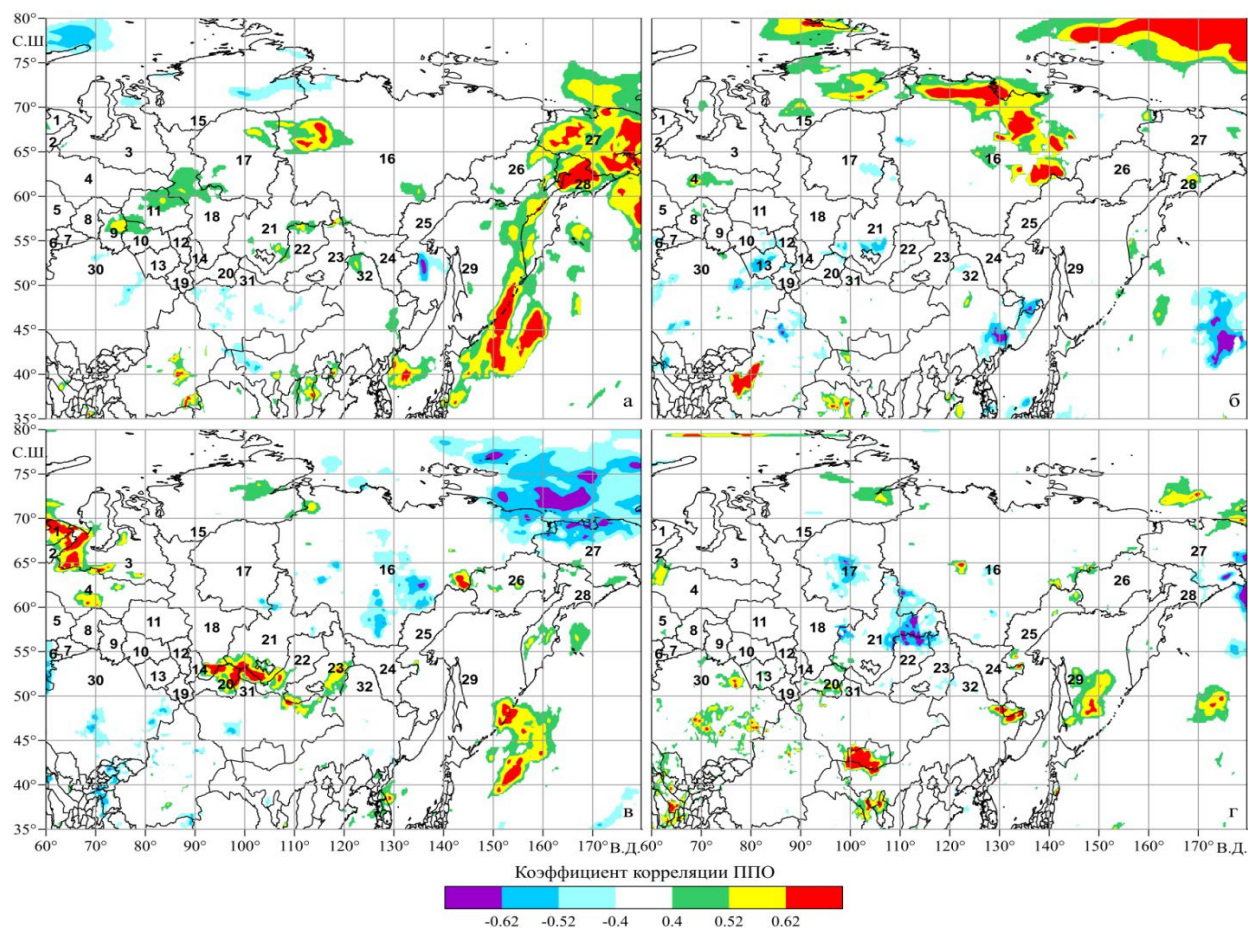


Рисунок 2. Участки территории Сибири, где корреляция вариаций ППО на территории Республики Саха (Якутии) за 2009—2023 гг., с межгодовыми изменениями МСО за 2010—2024 гг., была значимой и за период 2000—2024 гг. усилилась для месяцев: *а* — март; *б* — апрель; *в* — май; *г* — июнь [рисунок авторов]

Figure 2. The areas of the Siberian territory where the correlation of variations in the MPR in the Republic of Sakha (Yakutia) for 2009—2023 with the interannual changes in the MPR for 2010—2024 was significant for the period 2000—2024. Increased for the months of: *a* — March; *б* — April; *в* — May; *г* — June

Рисунок 2, *г* позволяет установить, что для июня суммарная площадь искомых участков минимальна. При этом участки, где корреляция изучаемых процессов значима и положительна, расположены на территориях Красноярского и Хабаровского краёв, Ханты-Мансийского и Чукотского автономных округов, Республики Тыва и Республики Саха (Якутия).

Участки, где их корреляция значима и отрицательна, находятся на территории Красноярского края, Чукотского автономного округа, а также Республики Саха (Якутия) и Республики Бурятия.

Выявленные особенности характерны также для связей межгодовых изменений МСО над Сибирью с изменениями КЛП и ППО на территории Иркутской области. Это подтверждает рисунок 3, на котором отображены участки территории Сибири, где корреляция межгодовых изменений МСО для месяцев март — июнь 2010—2024 гг., с вариациями КЛП в Иркутской области за 2009—2023 гг., являлась значимой, а за 2000—2024 гг. она усиливалась.

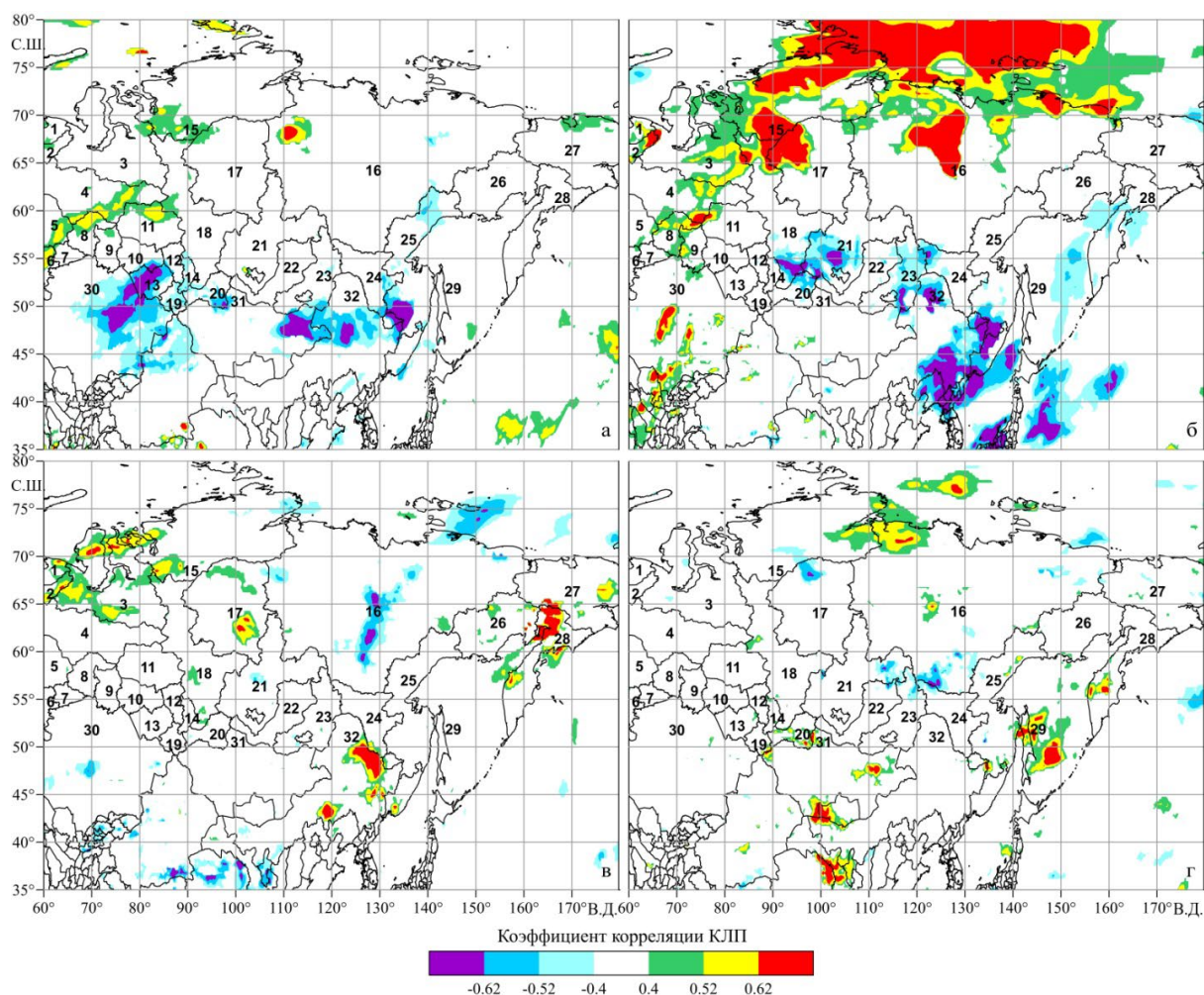


Рисунок 3. Участки территории Сибири, где корреляция вариаций КЛП на территории Иркутской области за летний сезон 2009—2013 гг., с межгодовыми изменениями МСО за 2010—2024 гг., была значимой, а за период 2000—2024 гг. она усилилась для месяцев: *а* — март; *б* — апрель; *в* — май; *г* — июнь [рисунок авторов]

Figure 3. The areas of Siberia where the correlation of CLP variations in the Irkutsk region during the summer season of 2009—2013, with the interannual changes in the MOC for 2010—2024, was significant, and for the period 2000—2024 it increased for the months: *a* — March; *б* — April; *в* — May; *г* — June

Как видно из рисунка 3, *а*, такие участки, соответствующие марту, на территории Сибири существуют. Те из них, где значимая корреляция рассматриваемых процессов за 2010—2024 гг. с изучаемым фактором положительна, относятся к Красноярскому краю, Республике Саха (Якутия) и Республике Коми, Чукотскому и Ханты-Мансийскому автономным округам, а также Свердловской, Тюменской, Челябинской, Омской и Томской областям.

Участки, где корреляция тех же процессов в указанные годы значима и отрицательна, принадлежат Республике Алтай, Республике Тыва и Республике Хакасия, Алтайскому, Хабаровскому и Забайкальскому краям, а также Амурской области.

Рисунок 3, *б* позволяет заключить, что участки земной поверхности, где корреляция изучаемых процессов для апреля за 2010—2024 гг. с рассматриваемым фактором положительна, а за 2000—2024 гг. она усиливалась, выявлены на территориях Республики Саха (Якутия), Красноярского края, Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского автономных округов, а также Тюменской, Свердловской, Челябинской и Омской областей.

Участки, где за 2000—2024 гг. усиливалась корреляция рассматриваемых процессов, которая в современном периоде была значима и отрицательна, принадлежат Красноярскому, Приморскому, Хабаровскому, Камчатскому и Забайкальскому краям, Иркутской и Амурской областям.

Как несложно заметить, суммарная площадь выявленных участков для апреля значительно больше, чем для марта. Максимальна и площадь участков территории Иркутской области, где при консервативном сценарии развития изучаемых процессов увеличению КЛП в предыдущие годы может соответствовать уменьшение в будущем МСО (а значит, и повышение пожароопасности по условиям погоды).

Рисунок 3, *в* показывает, что на территориях Ямало-Ненецкого и Чукотского автономных округов, Республики Саха (Якутия), Красноярского, Камчатского и Приморского краёв, а также Магаданской области корреляция межгодовых изменений за 2010—2024 гг. МСО для мая, с вариациями КЛП в Иркутской области за 2009—2023 гг., являлась значимой и положительной, а за 2000—2024 гг. она усиливалась. Значимой и отрицательной корреляция рассматриваемых процессов в те же годы, которая к тому же усиливалась, была лишь на территории Республики Саха (Якутия) и Иркутской области.

Рисунок 3, *г* свидетельствует о том, что участки, где корреляция межгодовых изменений МСО для июня за 2010—2024 гг., с вариациями КЛП на территории Иркутской области за летний сезон 2009—2013 гг., является значимой и положительной, а также за 2000—2024 гг. усиливалась, существуют. Они обнаружены на территориях Красноярского, Алтайского, Хабаровского и Камчатского краёв, Республики Саха (Якутия), Республики Тыва и Республики Алтай, а также Сахалинской области.

Участки, где их корреляция в те же годы является значимой и отрицательной, а за 2000—2024 гг. происходило её усиление, выявлены на территории Республики Саха (Якутия), Красноярского края, Иркутской и Амурской областей. Следовательно, на территории Иркутской области существуют участки, где при консервативном сценарии развития

изучаемых процессов увеличению КЛП в предыдущие годы может соответствовать уменьшение в будущем МСО для июня (а значит, и увеличение пожароопасности по условиям погоды).

На рисунке 4 приведены участки территории Сибири, где корреляция вариаций ППО на территории Иркутской области за летний сезон 2009—2013 гг., с межгодовыми изменениями МСО для месяцев март — июнь 2010—2024 гг., была значимой, и за период 2000—2024 гг. она усилилась.

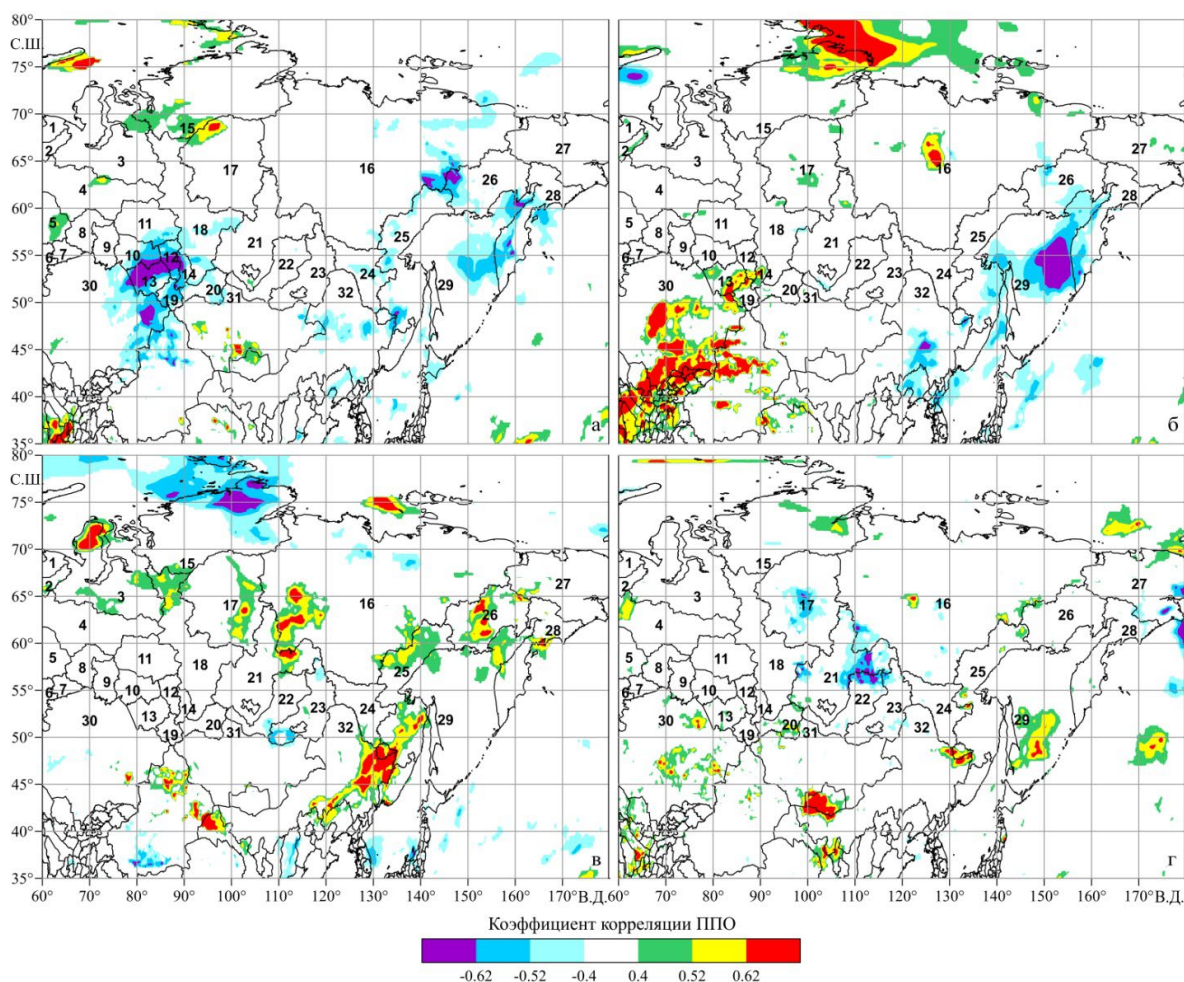


Рисунок 4. Участки территории Сибири, где корреляция вариаций ППО на территории Иркутской области за летний сезон 2009—2013 гг., с межгодовыми изменениями МСО за 2010—2024 гг., была значимой, и за период 2000—2024 гг. она усилилась для месяцев: *а* — март; *б* — апрель; *в* — май; *г* — июнь [рисунок авторов]

Figure 4. The areas of the Siberian territory where the correlation of variations in the MPR in the Irkutsk region during the summer season of 2009—2013 with the interannual changes in the MPR for 2010—2024 was significant and increased over the period 2000—2024 for the months: *a* — March; *б* — April; *в* — May; *г* — June

Как видно из рисунка 4, *а*, искомые участки, соответствующие марту, на территории Сибири существуют. Те из выявленных участков, где корреляция рассматриваемых процессов за 2000—2024 гг. усиливалась, а в 2010—2024 гг. она была значима и положительна, относятся к Красноярскому краю, Ханты-Мансийскому автономному округу, а также Свердловской области.

Участки, где корреляция тех же процессов в указанные годы значима и отрицательна, принадлежат Республике Алтай, Республике Тыва, Республике Саха (Якутия) и Республике Хакасия, Алтайскому, Хабаровскому и Забайкальскому краям, а также Амурской, Новосибирской, Кемеровской и Магаданской областям. Их суммарная площадь больше, чем в прочие месяцы.

Рисунок 4, *б* позволяет заключить, что участки территории Сибири, где положительная корреляция межгодовых изменений МСО за 2010—2024 гг. для апреля, с вариациями ППО на территории Иркутской области за 2009—2013 гг., была значимой, а за 2000—2024 гг. происходило её усиление, выявлены. Они расположены на территориях Республики Саха (Якутия), Красноярского и Алтайского краёв, Чукотского автономного округа, а также Иркутской области.

Участки, где корреляция рассматриваемых процессов в те же годы значима и отрицательна, принадлежат Хабаровскому, Камчатскому краям, Магаданской и Сахалинской областям.

На территории Иркутской области участки, где корреляция изучаемых процессов отрицательна и усиливается, не выявлены.

Как следует из рисунка 4, *в*, на нём показаны участки, где положительная корреляция межгодовых изменений МСО для мая за 2010—2024 гг., с вариациями ППО для Иркутской области, соответствующими 2009—2023 гг., являлась значимой и усиливавшейся за 2000—2024 гг. Упомянутые участки находятся на территориях Ямало-Ненецкого и Чукотского автономных округов, Республики Саха (Якутия), Красноярского, Камчатского, Хабаровского и Приморского краёв, а также Магаданской области. Нетрудно заметить, что для мая суммарная площадь таких участков больше, чем в другие месяцы.

Значимой и отрицательной корреляция рассматриваемых процессов в те же годы была на территории Забайкальского края и Республики Саха (Якутия).

Рисунок 4, *г* свидетельствует о том, что для июня участки, где корреляция исследуемых процессов в 2010—2024 гг. является значимой и положительной, а за 2000—2024 гг. она усиливалась, обнаружены на территориях Красноярского, Алтайского, Хабаровского и Камчатского краёв, а также Республики Саха (Якутия) и Республики Тыва.

Участки, где их корреляция в те же годы является значимой и отрицательной, выявлены на территории Республики Саха (Якутия), Красноярского края, Иркутской области и Чукотского автономного округа.

На территории Иркутской области суммарная площадь таких участков больше, чем в любые другие месяцы, а расположение многих из них совпадает с расположением участков, где аналогичные связи выявлены между изменениями МСО и КЛП.

Аналогичные закономерности выявлены и для асинхронных связей межгодовых изменений МСО на участках территории Сибири с вариациями КЛП и ППО для Красноярского края.

Установлено, что её участки, на которых корреляция межгодовых изменений МСО для марта за 2010—2024 гг., с вариациями КЛП или ППО для Красноярского края за 2009—2023 гг. являлась значимой и положительной, а также за 2000—2024 гг. усиливалась, существуют. Они обнаружены на территории Республики Саха (Якутия) и Республики Бурятия, Ханты-Мансийского, Чукотского и Ямало-Ненецкого автономных округов, Иркутской, Свердловской, Челябинской, Тюменской и Курганской областей, а также Красноярского края. Участки, где корреляция тех же процессов также усиливалась, но была значимой, отрицательной, обнаружены на территории Республики Саха (Якутия), Хабаровского, Алтайского и Красноярского краёв, а также Новосибирской и Кемеровской областей. Суммарная площадь таких участков максимальна.

Суммарная площадь участков территории Красноярского края, где для марта значимая корреляция МСО и КЛП отрицательна и за 2000—2024 гг. усиливалась, больше, чем для прочих месяцев. Несмотря на то, что март здесь не относится к пожароопасному сезону, выявленный факт заслуживает внимания, т. к. МСО для марта способны влиять на запасы влаги в горючем материале в апреле и мае.

Участки, на которых корреляция тех же процессов для апреля в 2010—2024 гг. с вариациями КЛП или ППО является значимой и положительной, для Красноярского края за 2009—2023 гг. являлась значимой и положительной, а за 2000—2024 гг. она усиливалась, выявлены. Такие участки находятся на территории Республики Саха (Якутия), Красноярского и Хабаровского краёв, Тюменской, Магаданской и Свердловской областей, а также Ямало-Ненецкого автономного округа. Участки, где корреляция тех же процессов за указанный период усиливалась, но была значимой, отрицательной, выявлены на территории Красноярского и Забайкальского краёв, Чукотского автономного округа, а также Амурской, Иркутской и Кемеровской областей.

Для мая искомые участки, где корреляция изучаемых процессов была положительной, обнаружены на территории Красноярского и Камчатского краёв, Республики Саха (Якутия) и Республики Бурятия, Чукотского и Ямало-Ненецкого автономных округов, а также Магаданской и Иркутской областей. Их суммарная площадь больше, чем в прочие месяцы. Аналогичные участки, где корреляция тех же процессов была отрицательной, расположены на территории Республики Саха (Якутия), Республики Тыва и Республики Алтай, а также Ханты-Мансийского автономного округа.

Для июня выявляемые участки, на которых корреляция изучаемых процессов положительна, относятся к Тюменской, Омской и Амурской областям, Алтайскому

и Камчатскому краям, а также Республике Тыва и Республике Бурятия. Корреляция тех же процессов значима и отрицательна на некоторых участках территории Республики Саха (Якутия), Чукотского и Ямало-Ненецкого автономных округов, Красноярского и Хабаровского краёв, а также Иркутской области.

На территории Туруханского, Эвенкийского и некоторых других районов Красноярского края для июня выявлены многочисленные участки, где корреляция МСО с КЛП и ППО для всей территории края значима, отрицательна и за 2000—2024 гг. усиливалась. Совпадение их расположений свидетельствует о том, что упомянутая выше положительная обратная связь может действовать и на них.

Таким образом, установлено, что выдвинутая гипотеза справедлива. Суммарная площадь участков территории Сибири, на которых связи изменений МСО для того или иного месяца, с опережающими их по времени вариациями показателей горимости лесов того или иного её региона значимы и усиливаются, как правило, не превышает единиц процентов от её общей площади. Тем не менее аналогичный показатель связей изучаемого процесса с вариациями показателей горимости лесов всех трёх выявленных регионов Сибири для весенних месяцев больше 10 % всей её площади, что совсем немало.

Выявлены участки территории Республики Саха (Якутия), Иркутской области и Красноярского края, где межгодовые изменения МСО для весенне-летних месяцев 2010—2024 гг. значимо и отрицательно коррелированы с вариациями показателей горимости для тех же регионов для 2009—2023 гг., а связи между ними за 2000—2024 гг. усиливаются. Это позволяет предположить действие на таких участках положительных обратных связей, регулирующих изменения горимости их лесов и пожароопасности в них по условиям погоды, справедливость которого целесообразно в дальнейшем проверить. Следовательно, цель исследования достигнута.

4. Обсуждение и заключение

Из полученных результатов следует, что они в полной мере соответствуют существующим представлениям о роли ландшафтных пожаров в загрязнении земной атмосферы пирогенными веществами [20—23], а также о влиянии изменений характеристик подстилающей поверхности на процессы формирования атмосферных осадков [16—19]. Подтверждена справедливость выводов [13] об отсутствии на территории Сибири и акватории прилегающих к ней морей участков, где сценарий межгодовых изменений МСО в период 2000—2024 гг. мог бы быть признан инерционным.

При этом существенной научной новизной обладают следующие установленные факты:

- Существуют многочисленные участки территории Сибири, для которых корреляция межгодовых изменений МСО для весенне-летних месяцев 2010—2024 гг., а также КЛП и ППО на территориях Республики Саха (Якутия), Иркутской области и Красноярского края за 2009—2023 гг. являлась значимой (как положительной, так и отрицательной), а за 2000—2024 гг. она усиливалась. Выявленные связи целесообразно учитывать при

разработке долгосрочных прогнозов изменений МСО, для консервативного сценария развития изучаемых процессов.

■ На территориях указанных регионов Сибири существуют участки, на которых корреляция рассматриваемых процессов значима, отрицательна и усиливается, что позволяет предположить действие на них с марта по июнь крайне опасной положительной обратной связи «горимость лесов в предыдущие годы — пожароопасность по условиям погоды в предстоящие годы».

Таким образом, установлено:

1. Выдвинутая гипотеза для многих участков территории Сибири и таких её регионов, как Республика Саха (Якутия), Иркутская область и Красноярский край, справедлива.

2. Участки, на которых межгодовые изменения месячных сумм атмосферных осадков в период 2010—2024 гг. были значимо коррелированы с вариациями показателей горимости лесов на территориях упомянутых регионов за 2009—2023 гг., а связи между ними за 2000—2024 гг. усиливались, обладают наибольшей суммарной площадью для весенне-летних месяцев.

3. На территориях указанных регионов Сибири существуют участки, на которых особенности связей между изучаемыми процессами позволяют предположить, что в весенне-летние месяцы на них изменения пожароопасности могут регулироваться выявленной положительной обратной связью.

4. При разработке долгосрочных прогнозов пожароопасности по условиям погоды для выявленных участков территории Сибири учёт предыстории изменений показателей горимости лесов упомянутых её регионов целесообразен.

Список литературы

1. Страхов В. В., Писаренко А. И., Борисов В. А. Леса мира и России // Бюллетень Министерства природных ресурсов РФ «Использование и охрана природных ресурсов России». М., 2001. № 9. С. 49—63.
2. Лесные пожары и причины их возникновения на территории средней Сибири / Г. А. Иванова, В. А. Иванов, А. В. Мусохранова [и др.] // Сибирский лесной журнал. 2023. № 6. С. 6—16. DOI: 10.15372/SJFS20230602. EDN WLJHC.
3. Государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2022 году» / Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. М., 2023. 461 с.
4. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: [официальный сайт]. Москва. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml. Текст: электронный
5. Основы долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей / З. М. Гудкович, А. А. Кириллов, Е. Г. Ковалев [и др.]. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 348 с.

6. Долгосрочные метеорологические прогнозы в Гидрометцентре России / Р. М. Вильфанд, Р. Б. Зарипов, Д. Б. Киктев [и др.] // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 4 (374). С. 12—36.
7. Киктев Д. Б. Технологии динамико-статистических долгосрочных метеорологических прогнозов: современное состояние и перспективы // 80 лет Гидрометцентру России: 1930—2010: Сб. ст. / М-во природ. ресурсов и экологии Рос. Федерации, Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Гидрометеоролог. научно-исслед. центр Рос. Федерации; Р. М. Вильфанд (отв. ред.). М.: Триада, Лтд., 2010. С. 217—234. EDN XGNQBZ.
8. Тищенко В. А., Хан В. М., Вильфанд Р. М. Технология прогноза характеристик внутрисезонной изменчивости на основе статистической коррекции ансамблей долгосрочных гидродинамических прогнозов модели ПЛАВ Гидрометцентра России // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. 2023. № 50. С. 66—71. EDN GDZJCL.
9. Особенности ледовых процессов в осенний период 2021 г. в морях Российской Арктики и оценка оправдываемости ледовых прогнозов / Е. У. Миронов, С. В. Клячкин, Е. И. Макаров [и др.] // Российская Арктика. 2021. № 15. С. 40—53. DOI: 10.24412/2658-4255-2021-4-40-53.
10. Холопцев А. В., Никифорова М. П. Солнечная активность и прогнозы физико-географических процессов. Saarbrücken, Deutschland: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 352 p.
11. Наставление по Комплексной системе обработки и прогнозирования ВМО. Дополнение IV к Техническому регламенту ВМО. ВМО-№ 485. 2023. URL: https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/WMO/485_ru.pdf. Текст: электронный.
12. Холопцев А. В. Физические основы теории долгосрочного и сверхдолгосрочного прогнозирования рисков возникновения ландшафтных пожаров / А. В. Холопцев, Р. Г. Шубкин, И. Ю. Сергеев [и др.]. Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. 337 с. // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROОбразование: [сайт]. URL: <https://profspo.ru/books/140586> (дата обращения: 16.06.2025). Текст: электронный.
13. Холопцев А. В., Шубкин Р. Г. Территории Западной и Средней Сибири, где априорные оценки оправдываемости долгосрочных прогнозов термического режима в XXI веке являлись несмещёнными или заниженными // Сборник материалов IX Международного Арктического Саммита «Арктика: перспективы, инновации и развитие регионов». 22—25 апреля 2025 г. Москва — Санкт-Петербург. М., 2025. Ч. 2. С. 26—32.
14. Холопцев А. В., Шубкин Р. Г., Проскова Н. Ю. Долгосрочные прогнозы количества лесных пожаров в Красноярском крае с учётом предыстории изменений потоков космических лучей в тропосфере // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Материалы VI Всерос. научно-практич. конф. Железногорск, 2024. С. 340—349.
15. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. М.: Физматлит, 2001. 319 с.
16. Хргиан А. Х. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 644 с.
17. Salby M. L. Fundamentals of Atmospheric Physics. New York: Academic Press, 1996. 560 p.
18. Кислов А. В. Климатология с основами метеорологии. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2023. 255 с.
19. Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 352 с.

20. Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Под общ. ред. Ю. Л. Воробьева; МЧС России. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
21. Кондратьев К. Я., Григорьев А. А. Лесные пожары как компонент природной экодинамики // Оптика атмосферы и океана. 2004. Т. 17, № 4. С. 279—292. EDN OYGYXX.
22. Макаренко Е. Л. Лесные пожары и их последствия в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Интерактивная наука. 2016. № 5. С. 9—12. DOI: 10.21661/г-111897.
23. Satellite Monitoring of Siberian Wildfires and Their Effects: Features of 2019 Anomalies and Trends of 20-Year Changes / V. G. Bondur, I. I. Mokhov, O. S. Voronova [et al.] // Doklady Earth Sciences. 2020. Vol. 492, iss. 1. P. 370—375.
24. Ермаков В. И., Стожков Ю. И. Физика грозных облаков. М.: ФИРАН им. П. Н. Лебедева, 2004. 38 с.
25. Calculating the ionization rate induced by GCR and SCR protons in Earth atmosphere / E. A. Maurchev, Yu. V. Balabin, A. V. Germanenko [et al.] // Solar-Terrestrial Physics. 2019. Vol. 5, no. 3. P. 68—74.
26. Stauning P. Solar activity — climate relations: A different approach // Journal Atmos. Solar-Terr. Phys. 2011. Vol. 73, no. 13. P. 1999—2012.
27. Планетарное распределение интенсивности космических лучей по измерениям в стратосфере / А. Е. Голенков, В. П. Охлопков, А. К. Свиржевская [и др.] // Труды ФИАН. М.: Наука, 1980. Т. 122. С. 3—14.
28. Андросова Н. К., Баранова Т. И., Семькина Д. В. Геологическое прошлое и настоящее магнитных полюсов Земли // Colloquium-Journal. 2020. № 5-1 (57). С. 18—20. DOI: 10.24411/2520-6990-2020-11388. EDN NXOOPU.
29. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: [официальный сайт]. Москва. URL: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml. Текст: электронный.
30. The ERA5 global reanalysis / E. Hólm, M. Janisková, S. Keeley [et al.] // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2020. Vol. 146. P. 1999—2049.
31. База данных Результаты реанализа ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form>. Текст: электронный.

References

1. Strakhov V. V., Pisarenko A. I., Borisov V. A. Forests of the world and Russia. *Bulletin of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation «Use and protection of Natural resources of Russia»*. Moscow, 2001, no. 9, pp. 49—63. (In Russ.)
2. Ivanova G. A., Ivanov V. A., Musokhranova A. V., Onuchin A. A. Forest fires and the causes of their occurrence in Central Siberia. *Siberian Forest Journal*, 2023, no. 6, pp. 6—16. doi: 10.15372/SJFS20230602. EDN WLJIIC. (In Russ.)
3. State report «On the state of protection of the population and territories of the Russian Federation from natural and man-made emergencies in 2022». Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters. Moscow, 2023. 461 p. (In Russ.)

4. Information system of remote monitoring of the Federal Forestry Agency: [official website]. Moscow. Available at: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml. Text. Image: electronic. (In Russ.)
5. Gudkovich Z. M., Kirillov A. A., Kovalev E. G., Smetannikova A. V., Spichkin V. A. Fundamentals of long-term ice forecasts for the Arctic seas. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1972, 348 p. (In Russ.)
6. Vilfand R. M., Zaripov R. B., Kiktev D. B., Kruglova E. N., Kryzhov V. N., Kulikova I. A., Tishchenko V. A., Tolstykh M. A., Khan V. M. Long-term meteorological forecasts at the Hydrometeorological Center of Russia. *Hydrometeorological studies and forecasts*, 2019, no. 4 (374), pp. 12—36. (In Russ.)
7. Kiktev D. B. Technologies of dynamic and statistical long-term meteorological forecasts: current state and prospects. *80 years of the Hydrometeorological Center of Russia: 1930—2010: Collection of articles*. Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Hydrometeorological Scientific Research. the Center of the Russian Federation; R. M. Vilfand (responsible editor). Moscow, Triada, Ltd., 2010, pp. 217—234. EDN XGNQBZ. (In Russ.)
8. Tishchenko V. A., Khan V. M., Vilfand R. M. Technology for forecasting the characteristics of intra-seasonal variability based on statistical correction of ensembles of long-term hydrodynamic forecasts of the Hydrometeorological Center of Russia model. *Test results of new and improved technologies, models and methods of hydrometeorological forecasts*, 2023, no. 50, pp. 66—71. EDN GDZJCL. (In Russ.)
9. Mironov E. U., Klyachkin S. V., Makarov E. I., Yulin A. V., Afanasyeva E. V. Features of ice processes in the autumn period of 2021 in the seas of the Russian Arctic and assessment of the justifiability of ice forecasts. *Russian Arctic*, 2021, no. 15, pp. 40—53. doi: 10.24412/2658-4255-2021-4-40-53. (In Russ.)
10. Kholoptsev A. V., Nikiforova M. P. Solar activity and forecasts of physical and geographical processes. Saarbrücken, Deutschland, LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 352 p. (In Russ.)
11. Guidance on the Integrated WMO Processing and Forecasting System. Appendix IV to the WMO Technical Regulations. WMO-no. 485. 2023. Available at: https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/WMO/485_ru.pdf. Text. Image: electronic. (In Russ.)
12. Kholoptsev A. V., Shubkin R. G., Sergeev I. Y., Baturo A. N., Proskova N. Y. Physical foundations of the theory of long-term and ultra-long-term forecasting of risks of landscape fires. Zheleznogorsk, Siberian Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2024. 337 p. Electronic resource of the digital educational environment of vocational education: [website]. Available at: <https://profspo.ru/books/140586> (accessed: 06.16.2025). Text. Image: electronic. (In Russ.)
13. Kholoptsev A. V., Shubkin R. G. Territories of Western and Central Siberia, where a priori estimates of the justifiability of long-term forecasts of the thermal regime in the 21st century were unbiased or underestimated. *Collection of materials of the IX International Arctic Summit «The Arctic: prospects, innovations and regional development»*. April 22—25, 2025 Moscow — Saint Petersburg. Moscow, 2025, part 2, pp. 26—32. (In Russ.)
14. Kholoptsev A. V., Shubkin R. G., Proskova N. Yu. Long-term forecasts of the number of forest fires in the Krasnoyarsk Territory, taking into account the history of changes in cosmic ray fluxes in the troposphere. *In the collection: Current problems of fire safety and emergency protection: Materials of the VI All-Russian scientific and practical conference*. Zheleznogorsk, 2024, pp. 340—349. (In Russ.)

15. Samarskiy A. A., Mikhailov A. P. *Mathematical modeling. Ideas. Methods. Examples.* 2nd ed., ispr. Moscow, Fizmatlit, 2001. 319 p. (In Russ.)
16. Hrgian A. H. *Physics of the atmosphere.* Leningrad, Gidrometeoizdat, 1969. 644 p. (In Russ.)
17. Salby M. L. *Fundamentals of Atmospheric Physics.* New York, Academic Press, 1996. 560 p.
18. Kislov A. V. *Climatology with the basics of meteorology.* 2nd ed. reprint. and additional. Moscow, Moscow University Publishing House, 2023. 255 p. (In Russ.)
19. Budyko M. I. *Climate in the past and the future.* Leningrad, Gidrometeoizdat, 1980. 352 p. (In Russ.)
20. Vorobyov Yu. L., Akimov V. A., Sokolov Yu. I. *Forest fires in Russia: State and problems.* Under the general editorship of Yu. L. Vorobyov; Ministry of Emergency Situations of Russia. Moscow, DEX-PRESS, 2004. 312 p. (In Russ.)
21. Kondratiev K. Ya., Grigoriev A. A. Forest fires as a component of natural ecodynamics. *Optics of the atmosphere and ocean*, 2004, vol. 17, no. 4, pp. 279—292. EDN OYGYXX. (In Russ.)
22. Makarenko E. L. Forest fires and their consequences in the Central ecological zone of the Baikal natural territory. *Interactive science*, 2016, no. 5, pp. 9—12. doi: 10.21661/g-111897. (In Russ.)
23. Bondur V. G., Mokhov I. I., Voronova O. S., Sitnov S. A. Satellite Monitoring of Siberian Wildfires and Their Effects: Features of 2019 Anomalies and Trends of 20-Year Changes. *Doklady Earth Sciences*, 2020, vol. 492, iss. 1, pp. 370—375.
24. Ermakov V. I., Stozhkov Yu. I. *Physics of thunderclouds.* Moscow, Lebedev FIRAN, 2004. 38 p. (In Russ.)
25. Maurchev E. A., Balabin Yu. V., Germanenko A. V., Mikhalko E. A., Gvozdevsky B. B. Calculating the ionization rate induced by GCR and SCR protons in Earth atmosphere. *Solar-Terrestrial Physics*, 2019, vol. 5, no. 3, pp. 68—74.
26. Stauning P. Solar activity — climate relations: A different approach. *Journal. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, 2011, vol. 73, no. 13, pp. 1999—2012.
27. Golenkov A. E., Okhlopkov V. P., Svirzhetskaya A. K., Svirzhetsky N. S., Stozhkov Yu. I. Planetary distribution of cosmic ray intensity by measurements in the stratosphere. *Proceedings of the Institute of Physics and Technology.* Moscow, Nauka, 1980, vol. 122, pp. 3—14. (In Russ.)
28. Androsova N. K., Baranova T. I., Semykina D. V. The geological past and present of the Earth's magnetic poles. *Colloquium-Journal*, 2020, no. 5-1 (57), pp. 18—20. doi: 10.24411/2520-6990-2020-11388. EDN HXOOPU. (In Russ.)
29. Remote Monitoring information System of the Federal Forestry Agency: [official website]. Moscow. Available at: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml. Text. Image: electronic. (In Russ.)
30. Hólm E., Janisková M., Keeley S. [et al.]. The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2020, vol. 146, pp. 1999—2049.
31. Database Reanalysis results of ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. Available at: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form>. Text. Image: electronic. (In Russ.)