

Научная статья
УДК 502.45
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2025.45.22.030

Связи межгодовых изменений среднемесячных температур воздуха над Сибирью с опережающим на один год вариациями показателей горимости лесов на территории Якутии

Александр Вадимович Холопцев¹

Роман Геннадьевич Шубкин¹

Наталья Юрьевна Проскова²

Татьяна Михайловна Пашикина¹

¹Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия

²Главное управление МЧС России по Республике Хакасия, Россия

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

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

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

<https://orcid.org/0000-0003-4580-4574>

Автор, ответственный за переписку: Роман Геннадьевич Шубкин, rshubkin@yandex.ru

Аннотация. Среднемесячные температуры воздуха над различными участками территории Сибири и акваториями ее морей относятся к важнейшим показателям их термического режима, который во многом определяет риски, обусловленные возникновением тех или иных опасных природных явлений. Поэтому совершенствование методик прогнозирования их межгодовых изменений является актуальной проблемой не только метеорологии и климатологии, но и безопасности при чрезвычайных ситуациях. Одним из эффективных подходов к решению указанной проблемы является выявление участков, где некоторые факторы межгодовых вариаций их термического режима для каких-либо месяцев являются значимыми. Для многих участков территории Сибири к числу факторов межгодовой изменчивости изучаемых показателей, соответствующих месяцам пожароопасного сезона, относятся вариации средних поверхностных температур участков акваторий морей у ее берегов. В месяцы, когда в устьях сибирских рек, впадающих в упомянутые моря, начинается половодье, поверхностные температуры многих участков их приустьевых взморий определяются месячными объемами и средними температурами стока таких рек. Межгодовые изменения этих показателей обусловлены межгодовыми вариациями не только гидротермического режима территорий их водосборных бассейнов для зимне-весенних месяцев, но и состоянием расположенных на них лесов. В лесу, пострадавшем от пожара, раньше сходит снежный покров, а лесная подстилка быстрее прогревается, что приводит к повышению средней температуры образующегося здесь поверхностного стока. Следовательно, повышение горимости лесов на территории водосборного бассейна некоторой реки, которое произошло в предыдущем году, способно приводить к увеличению количества тепла, доставляемого ее водами в соответствующее море в начале половодья текущего года, а также повышению в это время поверхностных температур участков ее приустьевых взморья. Значительные части водосборных бассейнов рек Сибири, впадающих в море Лаптевых и Восточносибирское море, расположены на территории Якутии. Учитывая это, выдвинута гипотеза о существовании на территории

Сибири и акваториях ее морей участков, где межгодовые изменения среднемесячных температур воздуха для месяцев пожароопасного сезона значимо связаны с опережающими их на 1 год вариациями показателей горимости лесов на территории Якутии. Установлено, что выдвинутая гипотеза справедлива для многих участков территории Арктической зоны России, а также участков акваторий соответствующих морей. Преобладают такие участки на территории Якутии и Красноярского края. Суммарные площади таких участков максимальны для мая. Поэтому ландшафтные пожары в Якутии – значимый фактор риска возникновения опасных природных явлений в Арктической зоне Сибири.

Ключевые слова: Сибирь, Якутия, среднемесячные температуры воздуха, количество ландшафтных пожаров, площадь пройденная огнем за год, связи

Для цитирования: Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Проскова Н.Ю., Пашкина Т.М. Связи межгодовых изменений среднемесячных температур воздуха над Сибирью с опережающим на один год вариациями показателей горимости лесов на территории Якутии // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 3 (38). С. 311-329. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.45.22.030>.

Original article.

The relationship of interannual changes in average monthly air temperatures over Siberia with one-year-ahead variations in forest burning rates in Yakutia

Aleksandr V. Kholoptsev¹

Roman G. Shubkin¹

Natalya Yu. Proskova²

Tatyana M. Pashkina¹

¹Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

²The Main Directorate of the Russian Ministry of Emergency Situations in the Republic of Khakassia, Russia

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

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

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

<https://orcid.org/0000-0003-4580-4574>

Corresponding author: Roman G. Shubkin, rshubkin@yandex.ru

Abstract. The average monthly air temperatures over various parts of Siberia and the waters of its seas are among the most important indicators of their thermal regime, which largely determines the risks caused by the occurrence of certain natural hazards. Therefore, the improvement of methods for predicting their interannual changes is an urgent problem not only in meteorology and climatology, but also in emergency safety. One of the effective approaches to solving this problem is to identify areas where some factors of interannual variations in their thermal regime are significant for any given month. For many areas of Siberia, the factors of interannual variability of the studied indicators corresponding to the months of the fire season include variations in the average surface temperatures of the areas of the seas off its shores. In the months when high water begins in the mouths of Siberian rivers flowing into the mentioned seas, the surface temperatures of many areas of their estuarine shores are determined by the monthly volumes and average flow temperatures of such rivers. The interannual changes in these indicators are due to interannual variations not only in the hydrothermal regime of the territories of their catchment areas for the winter and spring months, but also in the state of the forests located on them. In the forest affected by the fire, the snow cover comes off earlier, and the forest floor warms up faster,

which leads to an increase in the average temperature of the surface runoff formed here. Consequently, an increase in the burning rate of forests in the catchment area of a certain river, which occurred in the previous year, can lead to an increase in the amount of heat delivered by its waters to the corresponding sea at the beginning of the current year's flood, as well as an increase in surface temperatures of its estuarine coastal areas at this time. Significant parts of the drainage basins of Siberian rivers flowing into the Laptev Sea and the East Siberian Sea are located on the territory of Yakutia. Taking this into account, a hypothesis has been put forward about the existence of areas in Siberia and the waters of its seas where the interannual changes in average monthly air temperatures for the months of the fire season are significantly associated with variations in forest burning rates in Yakutia that are 1 year ahead of them. It has been established that the hypothesis put forward is valid for many areas of the Russian Arctic zone, as well as areas of the water areas of the corresponding seas. Such sites predominate on the territory of Yakutia and the Krasnoyarsk Territory. The total area of such plots is maximum for May. Therefore, landscape fires in Yakutia are a significant risk factor for natural hazards in the Arctic zone of Siberia.

Keywords: Siberia, Yakutia, average monthly air temperatures, number of landscape fires, area covered by fire in a year, communications

For citation: Kholoptsev A.V., Shubkin R.G., Proskova N.Yu., Pashkina T.M. The relationship of interannual changes in average monthly air temperatures over Siberia with one-year-ahead variations in forest burning rates in Yakutia // Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2025. № 3 (38). C. 311-329. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2025.45.22.030>.

Введение

Термический режим каждого участка ландшафтной оболочки нашей планеты, во многом определяет не только особенности развития его ландшафтов, но и риски, обусловленные возникновением на нем ландшафтных пожаров, а также многих других опасных природных явлений и техногенных катастроф. Аналогичная характеристика каких-либо участков акватории арктических морей в месяцы интенсивного разрушения их ледяного покрова во многом определяет изменения их ледовитости. Поэтому совершенствование методик долгосрочного прогнозирования межгодовых изменений указанной характеристики для различных участков земной поверхности является актуальной проблемой не только метеорологии и климатологии, но и безопасности при чрезвычайных ситуациях.

Наибольший интерес решение рассматриваемой проблемы представляет для регионов мира, располагающих значительными лесными ресурсами, на территориях которых ландшафтные пожары ежегодно причиняют значительный ущерб их населению и экономике.

В России к таким регионам относятся республики Саха (Якутия) и Бурятия, Красноярский и Забайкальский край, а также Иркутская область [28], которые вмещают основную часть лесных ресурсов России [17].

Упомянутые регионы относятся к Восточной Сибири, территория которой с запада ограничена долиной реки Енисей, а с севера побережьями морей Карского, Лаптевых и Восточносибирского. С востока и юго-востока она ограничена горными хребтами, разделяющими водосборные бассейны Тихого и Северного-Ледовитого океана.

Южную границу Восточной Сибири образуют горы Восточный Саян, а также горные хребты Хамар-Дабан, Яблоновский, Даурский, Борщовочный и Становой. Карта территории Восточной Сибири, в соответствии с [32], представлена на Рис.1.

Как видно из Рис.1, Часть территории Восточной Сибири, расположенную между реками Енисей и Лена, занимает физико-географическая страна Средняя Сибирь. Последняя образована Среднесибирским и Витимским плоскогорьем, Северо-Сибирской и Центрально-Якутской низменностью, горами Бырранга, плато Путоран, Анабарским и Приленским, Енисейским и Ангарским кряжем, а также Алданским, Становым, и Олекминским нагорьем.

Часть территории Восточной Сибири, расположенная к востоку от реки Лена, является в основном гористой. Здесь расположены горные хребты Верхоянский, Черского и Момский, а также Эльгинское плоскогорье, к которым с севера прилегают Яно-Индигирская и Колымская низменности.

Изучаемая территория относится к ландшафтной зоне бореальной Тайги и характеризуется лесистостью не менее 50 %. На ней расположены основные части территорий водосборных бассейнов рек Енисей, Лена, Хатанга, Анабар, Оленёк, Яна, Индигирка, Колыма и др. [4].

Ландшафтные пожары, которые возникают на указанной территории, в последние годы приобретают все большие масштабы, что угрожает не только их населению, но также экономике всей России [2, 3, 11-14, 16, 22].

Через все моря, расположенные у берегов Сибири проходят маршруты Северного Морского пути (далее – СМП) - главной транспортной коммуникации Арктики, безопасность судоходства на которой необходимое условие устойчивого развития всех территорий России, относящихся к ее Арктической зоне.

Согласно существующим представлениям о долгосрочном прогнозировании характеристик природных процессов [5, 6, 10, 12, 18], такие прогнозы могут разрабатываться для того или иного сценария будущего, одним из которых является консервативный сценарий.

Упомянутый сценарий основан на предположении о том, что связи изучаемого процесса с некоторыми его факторами, которые были значимы в прошлом, останутся значимы и в будущем [18].

К числу важнейших показателей термического режима любого участка земной поверхности относятся среднемесячные температуры воздуха (далее СТВ) приземного слоя атмосферы над ними, соответствующие всем месяцам пожароопасного сезона (с апреля по октябрь).

Поскольку климат изменяется, очевидно, что это предположение может соответствовать будущему, которое в действительности осуществится, лишь приближенно. Тем не менее, чем меньше заблаговременность разрабатываемого прогноза, тем ближе фактический сценарий дальнейших изменений такого процесса к консервативному сценарию.

Одним из эффективных способов решения рассматриваемой проблемы для упомянутого сценария, является учет при разработке соответствующего прогноза факторов, связи которых с изучаемым процессом являются причинными и значимыми, при условии, что последний запаздывает по отношению к ним на достаточно большое время [18].

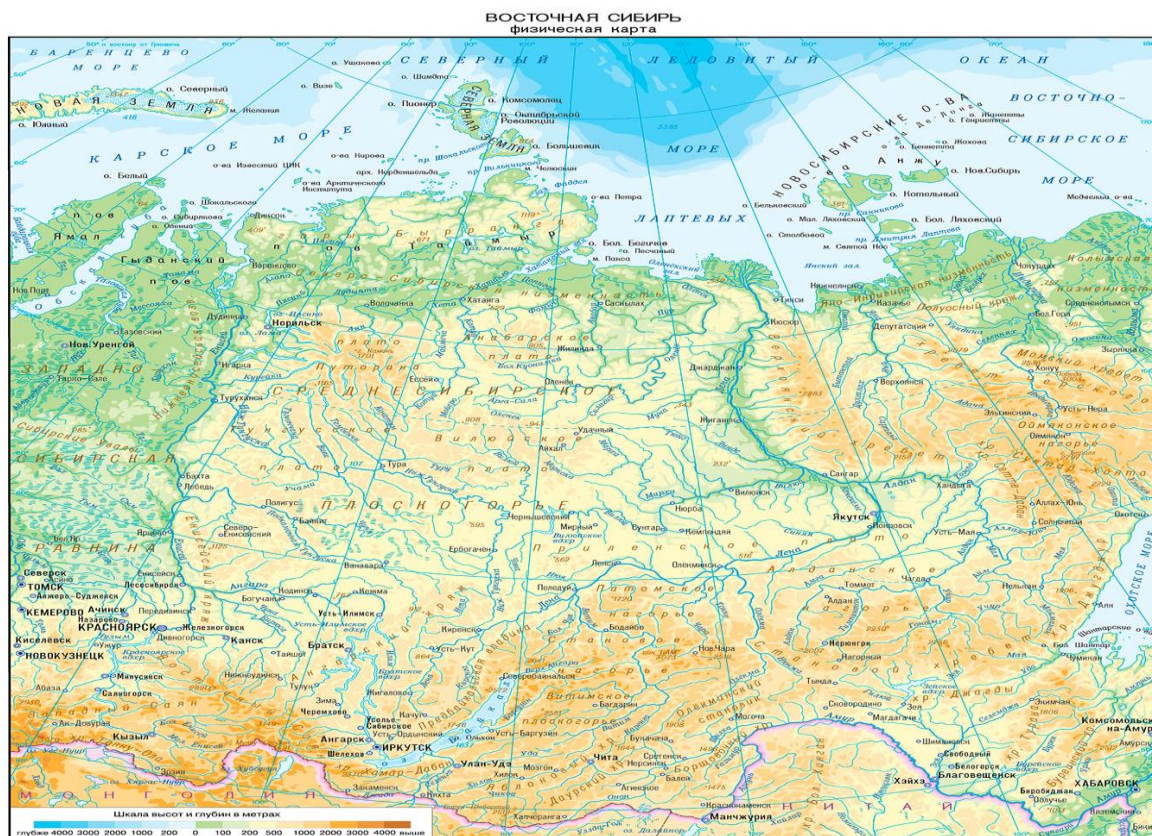


Рис.1. Физико-географическая карта территории Восточной Сибири, согласно [32]

Для межгодовых изменений СТВ, соответствующих какому-либо летнему месяцу, которые происходят на некоторых участках территории Арктической зоны Сибири, примером таких факторов могут служить вариации средней температуры поверхностного стока, поступающего в ее реки с территорий соответствующих водосборных бассейнов в периоды половодья.

Время, за которое воды, сформировавшиеся в бассейне некоторой реки, достигают ее устья, составляет, как правило, от нескольких недель до нескольких месяцев. Поэтому вариации поверхностных температур морских вод на ее приустьевом взморье, определяющие СТВ над соответствующими прибрежными территориями, запаздывают по отношению к изменениям температур поступающего в нее поверхностного стока приблизительно на такое время [19, 26].

Существование участков территории водосборного бассейна реки Лены, где межгодовые вариации СТВ для весенних месяцев значимо связаны с изменениями поверхностных температур участков ее приустьевого взморья в море Лаптевых, которые запаздывают по отношению к ним на единицы месяцев, установлено в [16, 21]. Обнаружены такие участки и на территории водосборного бассейна реки Яны [21]. Аналогичные выводы справедливы и для приустьевого взморья реки Колыма, расположенного в Восточносибирском море [17].

В результате этого вариации СТВ на многих участках побережья упомянутых морей в июне и июле значимо связаны с вариациями СТВ на соответствующих участках территорий водосборных бассейнов упомянутых рек, которые опережают их на такое же время. Указанная связь может быть учтена при разработке прогнозов этих вариаций с соответствующей заблаговременностью.

Следовательно, выявление факторов межгодовых изменений СТВ на различных участках территории Сибири, которые являются значимыми, при наличии того или иного опережения ими этих изменений, представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Причинами изменений температуры поверхностного стока, поступающего в реку с некоторого участка ее водосборного бассейна, могут служить не только вариации существующих на нем метеоусловий, но и перемены состояния соответствующего фитоценоза.

В лесу, пострадавшем в предыдущем году от пожара, весной раньше сходит снежный покров, а соответствующая лесная подстилка быстрее прогревается [7, 16], что приводит к повышению средней температуры образующегося здесь поверхностного стока.

Следовательно, увеличение на таком участке бассейна некоторой реки количества ландшафтных пожаров (далее КЛП) и суммарной площади его территории, пройденной огнем (далее ППО) в предыдущем году, также способно приводить к повышению в весенние месяцы текущего года температуры формирующегося на нем поверхностного стока.

Многие участки территорий водосборных бассейнов рек Лена, Яна, Колыма, а также других рек Сибири, впадающих в море Лаптевых и Восточносибирское море, относятся к республике Саха (Якутия). Поэтому изложенные соображения и факты позволяют предположить, что межгодовые изменения средних значений КЛП и ППО для территории упомянутой республики, являются значимыми факторами вариаций СТВ над некоторыми участками территории Сибири, соответствующими каким-либо месяцам пожароопасного сезона.

Несмотря на то, что связи межгодовых изменений КЛП и ППО в Якутии с запаздывающими по отношению к ним вариациями СТВ для территории Сибири являются причинными, существование ее участков, для которых они являлись бы значимыми, далеко не очевидно, поскольку на эти вариации действуют и многие другие факторы.

Мониторинг изменений температур воздуха в приземном слое атмосферы над территорией Сибири уже многие десятилетия осуществляют многочисленные находящиеся здесь гидрометеорологические станции Росгидромета [30], а полученные ими результаты использованы для осуществления различных вариантов ретроспективного анализа этого процесса (далее реанализ). Одним из наиболее совершенных вариантов такого реанализа является ERA-5 [23], поддерживаемый Copernicus [31]. В нем представлены оценки среднечасовых значений указанных показателей, которые соответствуют каждому часу из периода с 00 часов 1.01.1940 г. по настоящее время, для всех узлов координатной сетки с шагом $0,25^\circ$ [27].

Оценки СТВ, основанные непосредственно на результатах фактических измерений температур воздуха в приземном слое атмосферы, полученных на некоторых из упомянутых станций, представлены в [29].

Сведения об изменениях значений КЛП и ППО на территории каждого региона России, которые оценены за тот или иной год из интервала 2000-2023 гг., представлены в [28].

Тем не менее, ранее справедливость выдвинутой гипотезы не оценивалась, а участки территории Сибири и акваторий ее морей, для которых изучаемые связи для какого-либо месяца являются значимыми, не выявлены.

Выявление таких участков позволило бы учесть рассматриваемые связи при разработке для них долгосрочных прогнозов СТВ, соответствующих консервативному сценарию.

Учитывая изложенное, целью данной работы являлась проверка выдвинутой гипотезы и выявление участков территории Сибири и акваторий ее морей, для которых связи межгодовых изменений СТВ для каких-либо месяцев пожароопасного сезона, с вариациями КЛП и ППО для территории республики Саха (Якутия), опережающими эти изменения на 1 год, являются значимыми.

Для ее достижения решены задачи:

1. Выявление участков территории Сибири и акваторий ее морей, для которых в месяцы апрель-октябрь, связи межгодовых изменений СТВ для каких-либо месяцев пожароопасного сезона, с вариациями КЛП для территории Якутии, опережающими их по времени на 1 год, являлись значимыми.

2. Определение участков территории Сибири, для которых связи вариаций ППО для территории Якутии, с запаздывающими по отношению к ним на 1 год межгодовыми изменениями СТВ для месяцев апрель - октябрь, являлись значимыми.

Фактический материал и методика исследования

Для решения указанных задач необходимо располагать временными рядами, которые отражают межгодовые изменения СТВ над изучаемыми участками земной поверхности, для всех месяцев пожароопасного сезона. Такая информация может быть получена из сведений о среднечасовых значениях этих показателей, которые представлены в реанализе ERA-5 [27].

Для проверки возможности использования оценок СТВ, основанных на этих сведениях, в качестве фактического материала, осуществлено их выборочное тестирование. В ходе его для всех месяцев пожароопасного сезона из периода 2000-2023 гг. определены смещения, а также относительные погрешности таких оценок для гидрометеорологических станций Якутии, а также и Красноярского края, указанных в Табл.1 с использованием оценок СТВ, которые получены из [29].

Как видно из Табл.1 физико-географические районы Якутии и Красноярского края, для которых гидрометеорологические станции, учитываемые при выборочном тестировании результатов реанализа ERA-5, являются репрезентативными, занимают значительную часть территории Восточной Сибири. Поэтому подтверждение наличия для них удовлетворительного соответствия между оценками СТВ, основанными на информации реанализа и на результатах фактических измерений рассматривалось как доказательство возможности ее использования в качестве фактического материала.

Табл.1. Гидрометеорологические станции Якутии, а также и Красноярского края, учитываемые при тестировании реанализа ERA-5, а также физико-географические районы, для которых эти станции репрезентативны

Название	Широта (°)	Долгота (°)	Абсолютная высота (м)	Район, для которого пункт репрезентативен
Алдан	58,61	125,36	650	Алданское нагорье, бассейн реки Алдан
Ванавара	60,33	102,26	259	Среднесибирское плоскогорье, бассейн реки Подкаменной Тунгуски
Верхоянск	67,55	133,38	127	Яно-Индиговская низменность, бассейн реки Яны
Вилуйск	63,76	121,61	110	Южная часть Центрально-Якутской низменности, бассейн реки Вилуй
Ленск	60,71	114,88	242	Приленское плато
Оймякон	63,25	143,15	741	Оймяконское нагорье
Сангар	63,96	127,46	80	Долина реки Лены в среднем течении
Туруханск	65,78	87,95	35	Долина реки Енисей в нижнем течении, западные предгорья Среднесибирского плоскогорья
Якутск	62,01	129,75	95	Долина реки Лены в среднем течении (в том числе долина Туймаада)

При проверке наличия такого соответствия осуществлена интерполяция в пункты, где расположены указанные гидрометеорологические станции, результатов реанализа соответствующих ближайшим к ним узлам его координатной сетки. Для этого применен кубический сплайн [15].

Тестирование показало, что для месяцев апрель-октябрь относительные погрешности оценок СТВ, основанных на информации реанализа для периода 2000-2023 гг., составляют не более 3%, а смещения этих оценок не превышают 0,5°C. Следовательно, информация о среднечасовых значениях этих показателей, представленная в реанализе ERA-5 [27], действительно может быть использована как фактический материал об изменениях СТВ для разных месяцев и различных участков территории Сибири.

Как источник информации об изменениях КЛП и ППО, которые происходили в период 2000-2023 гг. на территориях всех регионов России, расположенных в Сибири, использована Информационная система дистанционного мониторинга Федерального Агентства Лесного хозяйства[25].

Как показатель силы связи между изучаемыми процессами рассматривалось значения коэффициента корреляции соответствующих временных рядов, в которых предварительно скомпенсированы линейные тренды. Решение о значимости связи принималось, если значение этого показателя, оцененное для периода 2000-2023гг., по модулю превышало пороговый уровень, установленный по критерию Стьюдента [1, 9] (с учетом количества степеней свободы изучаемых временных рядов). Количество степеней свободы изучаемых рядов оценивалось по их автокорреляционным функциям.

Поэтому при решении рассматриваемых задач применен метод корреляционного анализа [1]. Решение о значимости корреляции рассматриваемых рядов принималось, если достоверность такого вывода превышала 0,95.

Установлено, что изучаемым временным рядам СТВ, КЛП и ППО соответствует количество степеней свободы 24. Поэтому при решении рассматриваемых задач, как значение порога значимости модуля коэффициента корреляции, выбрано 0,41. Учитывалось также значение порога, соответствующего достоверности вывода о значимости корреляции, равной 0,99, которое равно 0,51.

Как известно [1, 14], выбранная характеристика силы статистической связи между процессами вполне корректна лишь при условии их стационарности.

Как стационарные, изучаемые процессы могут рассматриваться только в нулевом приближении. Поэтому результаты, получаемые с применением изложенной методики, следует рассматривать как носящие лишь качественный характер.

Результаты исследования и их анализ

В соответствии с изложенной методикой выявлены участки территории Сибири и прилегающих к ней морских акваторий, для которых корреляция межгодовых изменений соответствующим им СТВ для различных месяцев пожароопасного сезона, а также вариаций КЛП и ППО для территории Республики Саха (Якутия) в период 2000-2023 гг. являлась значимой и положительной.

В качестве примера, на Рис.2 показаны участки территории Сибири и прилегающих к ней морей, где межгодовые изменения СТВ для месяцев апрель-июнь значимо связаны с опережающими их вариациями КЛП на территории Якутии. Здесь и далее обозначены: 1. Ненецкий Автономный округ. 2. Республика Коми. 3. Ямало-Ненецкий Автономный Округ. 4. Ханты-Мансийский Автономный округ. 5. Свердловская область. 6. Челябинская область. 7. Курганская область. 8. Тюменская область. 9. Омская область. 10. Новосибирская область. 11. Томская область. 12. Кемеровская область. 13. Алтайский край. 14. Республика Хакасия. 15. Таймырский (Долгано-Ненецкий) автономный район Красноярского края. 16. Республика Саха (Якутия). 17. Эвенкийский автономный 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 край. 26. Магаданская область. 27. Чукотский автономный округ. 28. Камчатский край. 29. Сахалинская область. 30. Казахстан. 31. Китайская Народная Республика.

Как видно из Рис.2а, для апреля искомые участки расположены на полуострове Ямал, прилегающих к нему территориях Ямало-Ненецкого, Ненецкого Автономного округа и Республики Коми, а также на акваториях Юго-Западной части Карского моря, включая его заливы Обская и Байдарацкая губа.

Рис.2б показывает, что участки территории Сибири, где межгодовые изменения СТВ для мая в 2000-2023 гг. были значимо и положительно коррелированы с вариациями КЛП

на территории Якутии, опережающих их по времени на 1 год, относились к Ненецкому, Ямало –Ненецкому и Ханты-Мансийскому автономному округу, республикам Коми и Саха (Якутия), Красноярскому краю, областям Иркутской, Тюменской, Свердловской, Челябинской и Курганской, а также Казахстану. Значимые связи тех же процессов выявлены также для многих участков акватории всех морей у берегов Сибири.

Из Рис.2в следует, что значимая и положительная корреляция вариаций КЛП на территории республики Саха (Якутия), а также запаздывающих по отношению к ним межгодовых изменений СТВ для июня, выявлена для многих районов Якутии.

Такие районы расположены на всем побережье моря Лаптевых и западной части побережья Восточносибирского моря, на островах архипелага Новосибирские острова, на Яно-Индигирской, Колымской низменностях и на прилегающих к ним горных территориях Якутии, находящихся к востоку от долины реки Лены.

Аналогичные участки обнаружены на территории Таймырского (Долгано-Ненецкого) автономного района Красноярского края, которые находятся на северо-востоке полуострова Таймыр и на севере Камчатского края.

Как видно из сравнения Рис.2а-2в, суммарная площадь изучаемых участков территории Сибири и акватории прилегающих к ней арктических морей, является максимальной для мая. Абсолютное большинство таких участков относятся к Арктической и Субарктической зоне Сибири.

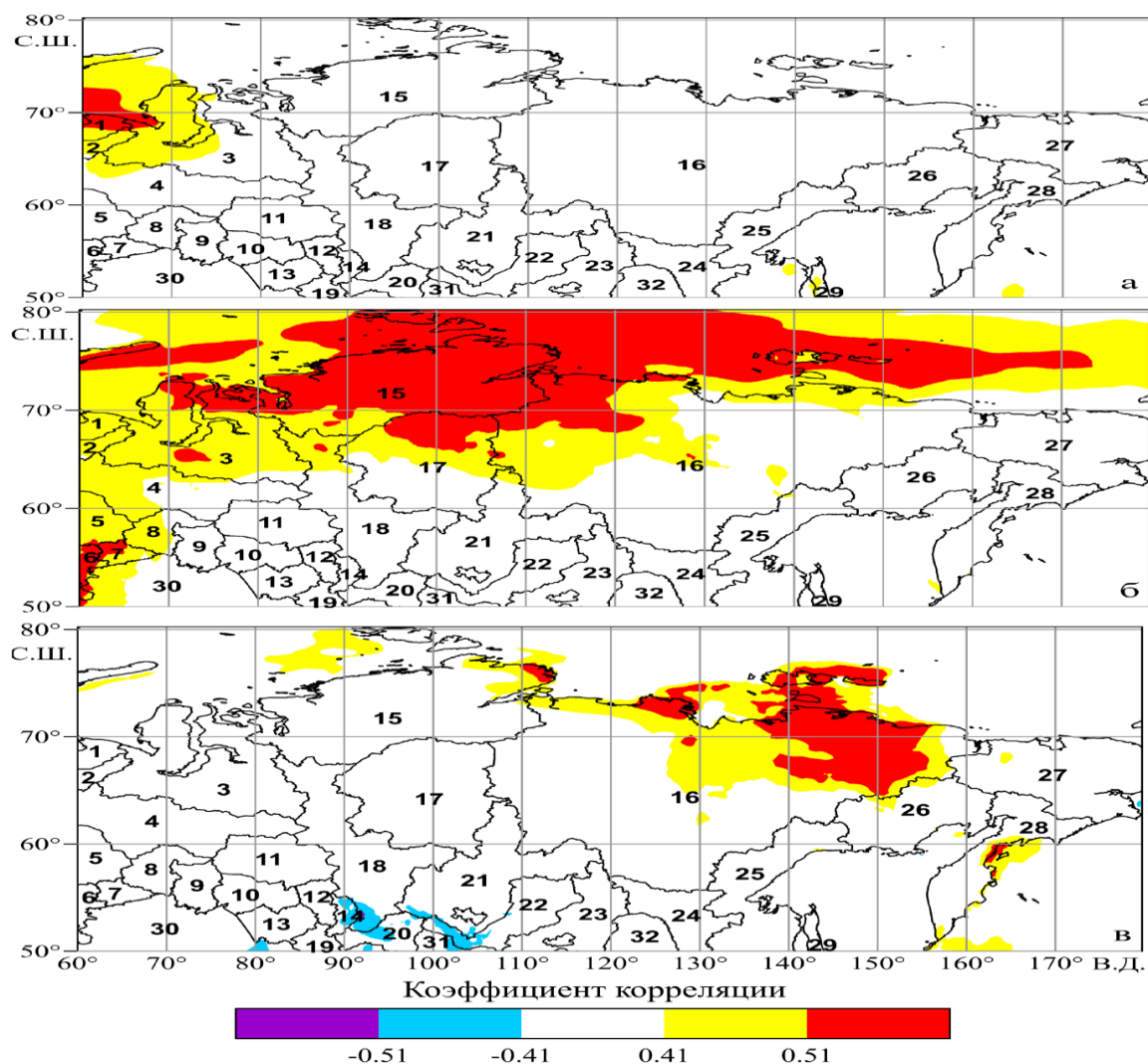


Рис.2. Участки территории Сибири, где межгодовые изменения КЛП на территории Якутии значимо связаны с соответствующими им вариациями СТВ для месяцев:

а) Апрель; б) Май; в) Июнь

На Рис.3 показаны участки территории Сибири и акватории прилегающих к ней морей, где межгодовые изменения СТВ для месяцев июль-сентябрь в 2000-2023 гг. значимо связаны с вариациями КЛП на территории Якутии, которые опережают их по времени на 1 год.

Из Рис.3а видно, что участки территории Сибири, где корреляция межгодовых изменений СТВ для июля, а также вариаций КЛП, опережающих их по времени на 1 год, является значимой и положительной лишь для побережий моря Лаптевых и Восточносибирского моря, а также прибрежных районов полуострова Камчатка, которые омываются водами Берингова моря. Такие же участки выявлены на акватории Восточносибирского моря и моря Лаптевых (включая акватории проливов у архипелага Северная Земля).

Рис.3б свидетельствует о том, что значимая и положительная корреляция межгодовых изменений СТВ для августа, а также вариаций КЛП на территории республики Саха (Якутия), которые опережают их по времени на 1 год, выявлена для многих районов Сибири и акваторий всех прилегающих к ней морей.

Упомянутые участки территории Сибири принадлежат Таймырскому (Долгано-Ненецкому) и Эвенкийскому району Красноярского края, а также Ямало-Ненецкому Автономному округу.

На востоке территории Якутии, у границы с Чукотским автономным округом, а также на территории последнего, выявлены участки, где корреляция тех же процессов значима и отрицательна.

Из Рис.3в следует, что для сентября выявляемые участки обнаружены лишь на южном побережье моря Лаптевых, принадлежащем республике Саха (Якутия), и на территории плато Путоран (Таймырский Долгано-Ненецкий Автономный район). Такие же участки обнаружены на западной части акватории моря Лаптевых.

Аналогичные исследования, выполненные для октября, показали, что каких-либо территорий Сибири, либо акваторий прилегающих к ней морей их участков, где корреляция изучаемых процессов была бы значима и положительна, не выявлено.

Таким образом, Рис.2 и Рис.3 позволяют утверждать, что причинные связи вариаций КЛП на территории республики Саха с межгодовыми изменениями СТВ для месяцев апрель-сентябрь, запаздывающими по отношению к ним на 1 год, в период 2000-2023 гг., для многих участков территорий Сибири и акваторий ее морей с достоверностью не менее 0,95 являлись значимыми. Суммарные площади таких участков максимальны для мая, а для октября их не выявлено.

Регионами России, для которых искомые участки в рассматриваемые месяцы имеют наибольшую общую площадь, являются республика Саха (Якутия) и Красноярский край.

Аналогичные особенности выявлены и при решении второй задачи. В этом несложно убедиться, рассмотрев Рис.4.

На последнем отображены участки территории Сибири и прилегающих к ней морских акваторий, где межгодовые изменения ППО на территории Якутии значимо и положительно коррелированы с соответствующими им вариациями СТВ, которые соответствуют месяцам апрель-июнь и опережают их по времени на 1 год.

Как нетрудно заметить из Рис.4а, участки территории Сибири, для которых корреляция межгодовых изменений СТВ с вариациями ППО в Якутии, опережающими их по времени, значима и положительна, существуют.

Такие участки расположены на территориях Ненецкого, Ямало-Ненецкого и Ханты-Мансийского Автономного округа, республики Коми, а также Красноярского края (в том числе и его Эвенкийского района).

Выявлены аналогичные участки и на акватории западной части Карского моря, на подходах к ее углеводородным месторождениям и портам полуострова Ямал.

Рис.4б показывает, что расположения изучаемых участков для мая в целом аналогичны расположениям участков, где значимой и положительной в 2000-2023 гг. является корреляция

межгодовых изменений СТВ для этого месяца с опережающими их по времени на 1 год вариациями КЛП (см. Рис.2б).

Из Рис.4в можно заключить, что искомые участки для июня, как и участки, показанные на Рис.2в преобладают на территории республики Саха (Якутия).

На территории Сибири такие участки обнаружены также на севере территории Таймырского (Долгано-Ненецкого) автономного района Красноярского края.

Выявлены аналогичные участки и на севере Камчатского края, а также в Магаданской области.

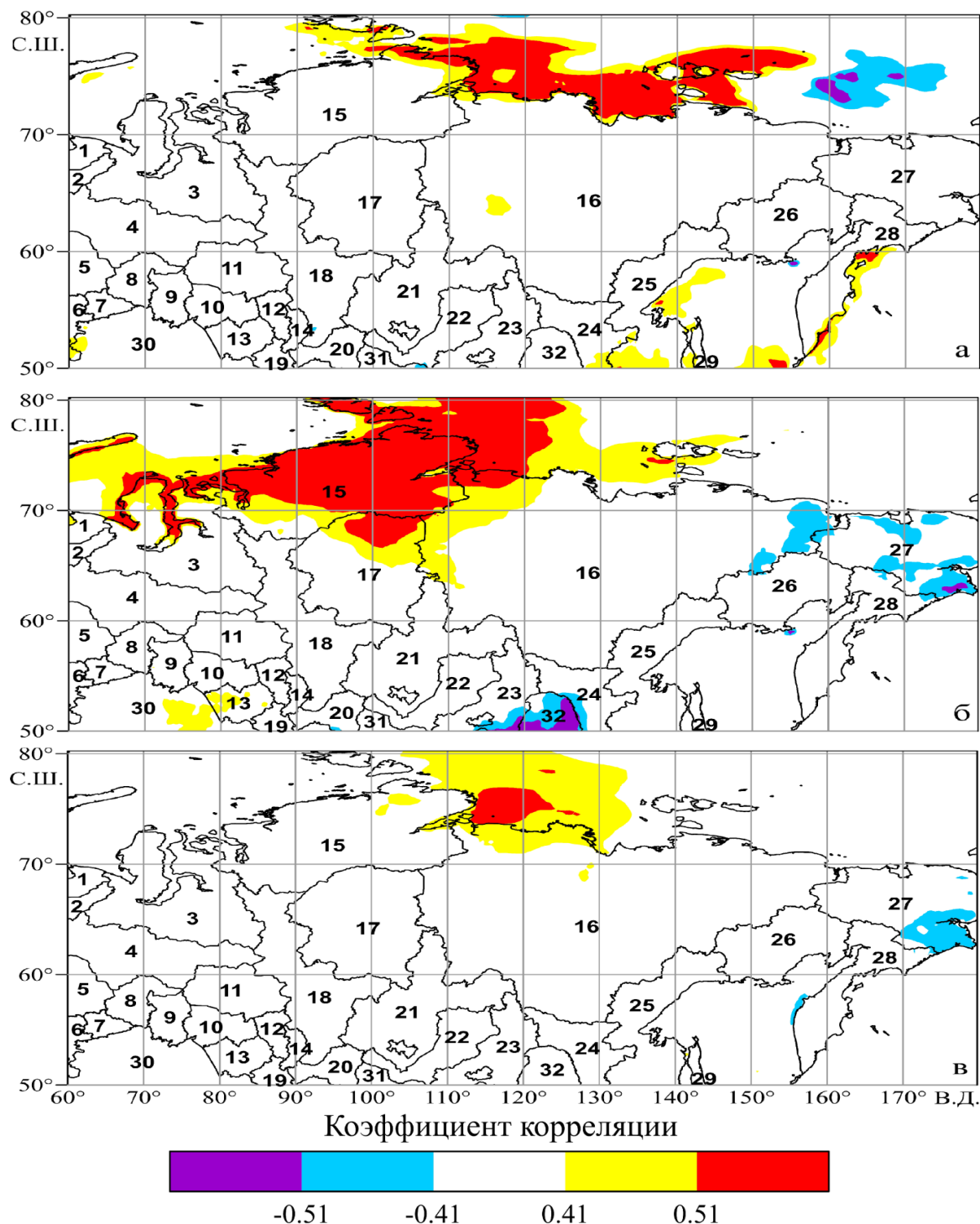


Рис.3. Участки территории Сибири, где межгодовые изменения КЛП на территории Якутии значимо связаны с соответствующими им вариациями СТВ для месяцев:

а) Июль; б) Август; в) Сентябрь

Изучаемые участки обнаружены также на акватории моря Лаптевых и в районе архипелага Новосибирские острова, через который проходят все маршруты СМП.

Из сравнения Рис.4а-4в следует, что суммарная площадь участков территории Сибири, где корреляция межгодовых изменений СТВ для этого месяца с опережающими их по времени на 1 год вариациями ППО в Якутии, является положительной и значимой, максимальна для мая.

Сопоставление Рис.4 и Рис.2 позволяет заключить, что суммарные площади участков, где значимыми являются связи межгодовых изменений СТВ для рассматриваемых месяцев, с вариациями ППО, превосходят аналогичные характеристики участков, значимой и положительной корреляции тех же процессов с вариациями КЛП.

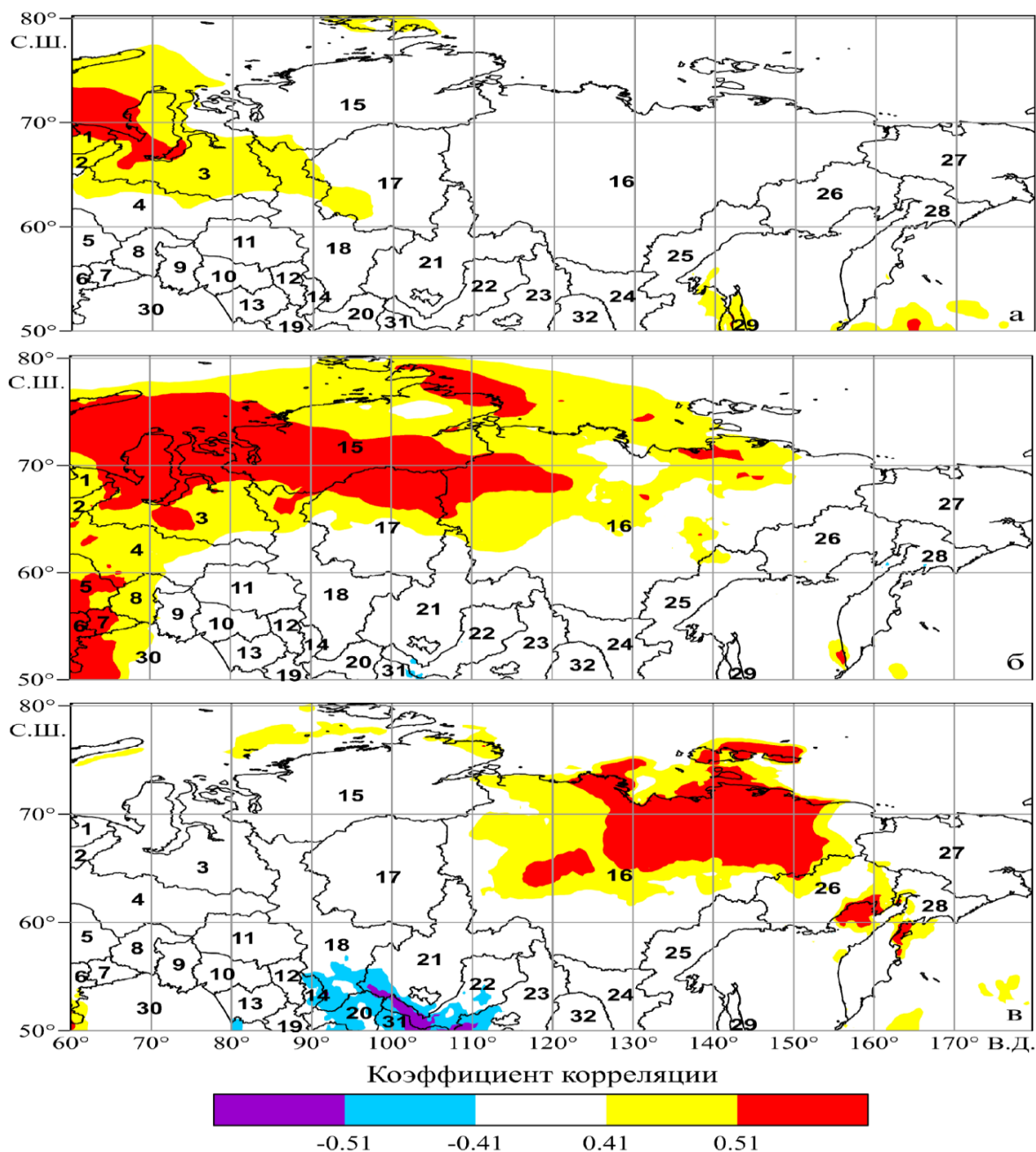


Рис.4. Участки территории Сибири, где межгодовые изменения ППО на территории Якутии значимо связаны с соответствующими им вариациями СТВ, запаздывающими по времени на 1 год, для месяцев:

а) Апрель; б) Май; в) Июнь

На Рис.5 отображены участки территории Сибири и прилегающих к ней морей, где вариации ППО на территории Якутии значимо связаны с межгодовыми изменениями СТВ для месяцев июль-сентябрь, которые запаздывают по отношению к ним по времени на 1 год.

Из Рис.5а видно, что участки территории Сибири, где корреляция межгодовых изменений СТВ для июля, а также вариаций ППО, опережающих их по времени на 1 год, является значимой и положительной выявлены лишь на территории Якутии и Катангского района Иркутской области.

Аналогичные участки обнаружены также на территории Хабаровского края и Сахалинской области.

Существуют также многочисленные участки акваторий моря Лаптевых и Восточносибирского моря, через которые пролегают маршруты СМП, где связи межгодовых изменений СТВ и опережающих их на 1 год вариаций ППО на территории Якутии, являются значимыми. Такие же участки выявлены на акваториях Охотского, Японского и Берингова моря (у берегов Камчатки).

Рис.5б показывает, что для августа участки территории Сибири, где межгодовые вариации СТВ значимо и положительно коррелированы с изменениями ППО в Якутии, опережающими их по времени на 1 год существуют. Они относятся к Ненецкому, Ямало-Ненецкому Автономному округу, Красноярскому краю, включая его Таймырский (Долгано-Ненецкий) и Эвенкийский автономный район, Томской, Новосибирской и Кемеровской области, а также Алтайскому краю. Выявлены аналогичные участки также на территориях северных регионов Казахстана.

На территории Якутии, у ее восточной границы с Чукотским Автономным округом, выявлены также участки, где корреляция изучаемого процесса и рассматриваемого фактора в 2000-2023 гг. была значима и отрицательна.

На всех участках акватории моря Лаптевых, проливов между островами архипелага Северная Земля, а также западной части Карского моря корреляция межгодовых изменений СТВ для августа, с вариациями ППО на территории Якутии, опережающих их по времени на 1 год, является значимой и положительной.

Рис.5в свидетельствует о том, что на территории Сибири существуют участки, где межгодовые вариации СТВ для сентября значимо и положительно коррелированы с изменениями ППО в Якутии, опережающими их по времени на 1 год.

Такие участки расположены на севере территории республики Саха (Якутия) и Красноярского края (Таймырский (Долгано-Ненецкий) Автономный район), а также на севере территории Амурской области и на юге Хабаровского края.

Из рассматриваемого рисунка видно также, что значимая положительная корреляция межгодовых изменений СТВ для сентября с тем же фактором имеет место для любых участков маршрутов СМП, пролегающих через море Лаптевых и пролив Вилькицкого.

Для октября участков территории Сибири, для которых изучаемые связи в 2000-2023 гг. были значимы, не выявлено.

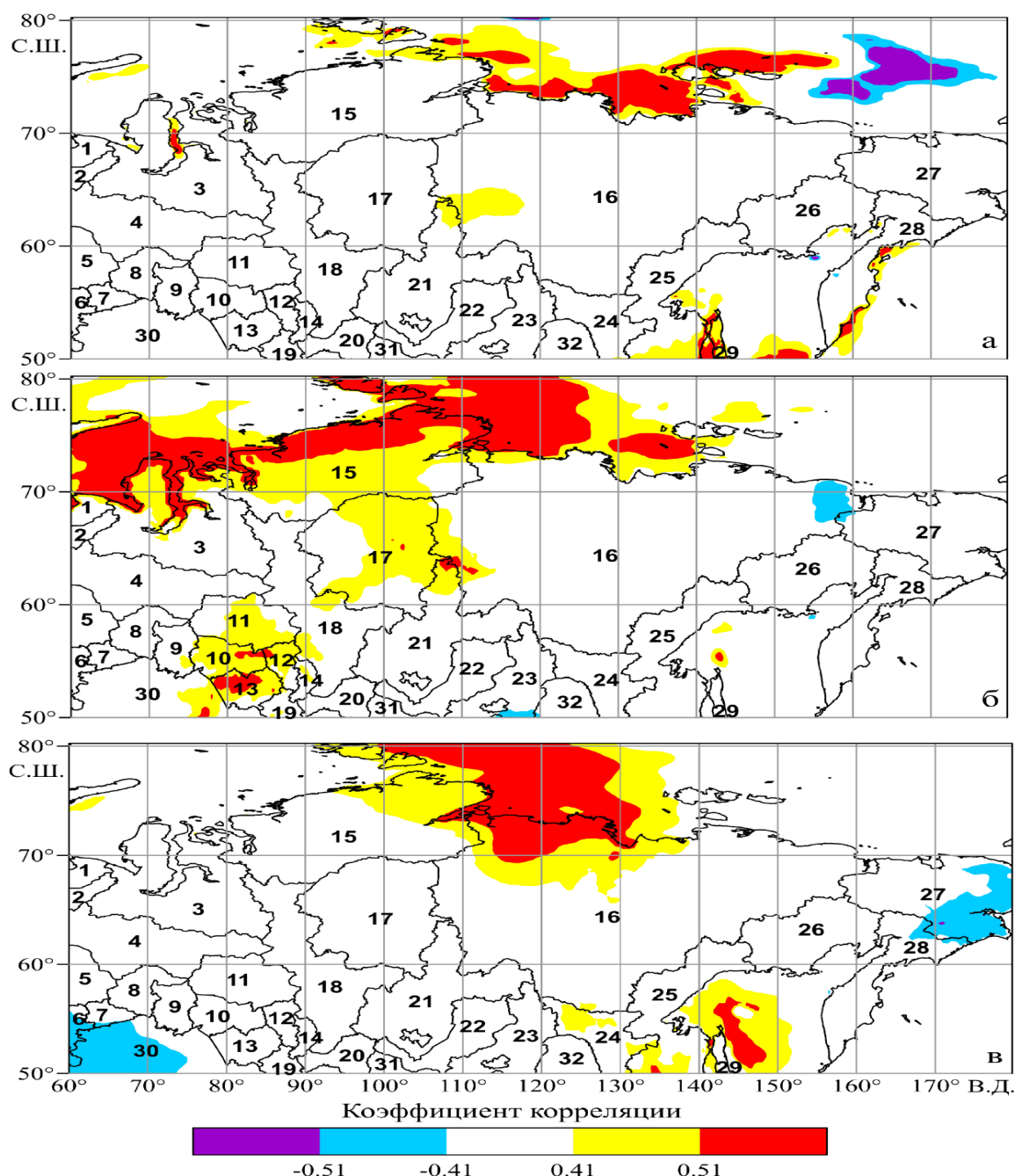


Рис.5. Участки территории Сибири, где межгодовые изменения ППО на территории Якутии значимо связаны с соответствующими им вариациями СТВ, запаздывающими по отношению к ним на 1 год для месяцев:

а) Июль; б) Август; в) Сентябрь

Из сравнения Рис.4 и Рис.5 следует, что суммарная площадь участков территории Сибири, где корреляция межгодовых изменений СТВ с вариациями ППО, которые опережают их по времени, значима и положительна, максимальна для мая.

Из сравнения Рис.5 и Рис.3 видно, что для участков территории Сибири, где связь межгодовых изменений СТВ, с вариациями ППО, которые опережают их по времени на 1 год, значимы, суммарная площадь для месяцев август-сентябрь больше, чем для участков, где те же процессы значимо связаны с вариациями КЛП. Последнее свидетельствует о том, что вариации ППО на территории Якутии являются более значимым фактором межгодовых изменений СТВ на территории Сибири, которые запаздывают по отношению к ним по времени на 1 год, чем вариации КЛП.

Полученный результат не удивителен, так как, в отличие от вариаций КЛП, причинная связь вариации ППО с изменениями СТВ является непосредственной. Таким образом, справедливость выдвинутой гипотезы подтверждена, а цель работы достигнута.

Обсуждение полученных результатов

Как следует из полученных результатов, они в полной мере соответствуют существующим представлениям о влиянии ландшафтных пожаров на состояние фитоценозов, а также их способность снижать интенсивность таяния снежного покрова на соответствующих территориях [11, 14, 24].

Полученные результаты подтверждают также справедливость выводов [19-21, 25, 26] о значимости влияния характеристик стока сибирских рек на изменения средних температур подстилающей поверхности на их приустьевых взморьях.

Вместе с тем некоторые факты, установленные данной работой, обладают существенной новизной. К ним относятся:

1. На территории Сибири и акваториях прилегающих к ним морей существуют участки, где межгодовые изменения СТВ для месяцев пожароопасного сезона в период 2000-2023 гг. были значимо и положительно коррелированы с вариациями КЛП и ППО на территории республики Саха (Якутия).
2. Суммарные площади участков таких территорий максимальны для мая и июня. Второй их максимум приходится на август. Подобные участки относятся в основном к Арктической зоне Сибири и преобладают на севере территории Якутии и Красноярского края.
3. Для июля значимая и положительная корреляция изучаемых процессов выявлена в основном для участков акваторий арктических морей у берегов Сибири, а также акваторий Берингова моря у побережья полуострова Камчатка.
4. Наибольшие суммарные площади участков территории Сибири и акватории ее морей, для которых корреляция межгодовых изменений СТВ и вариаций показателей горимости лесов на территории Якутии соответствуют такому ее показателю как ППО.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что проблема долгосрочного прогнозирования изменений СТВ на выявленных участках Арктической зоны Сибири, а также рисков возникновения на них опасных природных явлений, обусловленных потеплением климата, для консервативного сценария будущего и при заблаговременности таких прогнозов 1 год, является разрешимой.

Поскольку для месяцев май-июль межгодовые изменения СТВ над некоторым участком акватории арктических морей пропорциональны суммарным площадям полыней в его ледяном покрове, полученные результаты свидетельствуют также о разрешимости проблемы долгосрочного прогнозирования для этих месяцев вариаций ледовитости выявленных участков акватории СМП. Так как вариации КЛП и ППО не являются линейнозависимыми, для разработки таких прогнозов может быть применен метод линейной множественной регрессии [18].

Выводы

Таким образом, установлено:

1. Выдвинутая гипотеза в период 2000-2023 гг. справедлива для многих участков Арктической зоны Сибири.
2. Для месяцев апрель, май и август многие такие участки расположены в Западной Сибири и относятся к Ненецкому, Ямало-Ненецкому Автономным округам, а также республике Коми.
3. Для месяцев май-июнь, а также август-сентябрь, рассматриваемые участки находятся на территории республики Саха (Якутия) и Красноярского края.

Для многих участков арктических морей, расположенных непосредственно на маршрутах Северного Морского пути, изменения показателей горимости лесов на территории республики Саха (Якутия) являются значимым фактором вариаций среднемесячных температур воздуха приземного слоя атмосферы, запаздывающих по отношению к ним на 1 год.

Список источников

1. Айвазян С.А., Прикладная статистика и основы эконометрики = Applied statistics and essentials of econometrics: Учеб. для студентов экон. спец. вузов / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян; Гос. ун-т, Высш. шк. экономики. - Москва: ЮНИТИ, 1998. - 1022 с., [1] л. портр.: ил., табл.; 25 см.; ISBN 5-238-00013-8
2. Валендик Э.Н. Ландшафтные пожары тайги Центральной Сибири / Э. Н. Валендик [и др.] // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2014. – № 3. – С. 73 – 86.
3. Воробьев Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов; Под общ. ред. Ю.Л. Воробьева; МЧС России. — М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9517-0008-6
4. Глушков А.В. Реки востока России. Путеводитель-справочник. — Якутск, 2015. — 408 с.
5. Горбунов С.В., Макиев Ю.Д., Малышев В.П. Анализ технологий прогнозирования чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера// Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2011. –С.43-53.
6. Гудкович З.М., Кириллов А.А., Ковалев Е.Г., Сметанникова А.В., Спичкин В.А. Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей [Текст] / З.М. Гудкович, А.А. Кириллов, Е.Г. Ковалев [и др.]; Под ред. кандидатов геогр. наук Н.А. Волкова и Ю.В. Николаева; Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Аркт. и антаркт. науч.-исслед. ин-т. - Ленинград: Гидрометеиздат, [19--]. - 347 с.
7. Демаков Ю.М. Влияние факторов среды на рост деревьев в сосняках республики Мари Эл.// Ю. П. Демаков. – Электронные данные. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, -2023. – 480 с. – URL: <https://science.volgatech.net/editorial-publishing-center/izdaniya/monografii/2023/DemakovYuP.pdf>
8. Дмитриев А.А. Динамика атмосферных процессов над морями Российской Арктики. — СПб.: Гидрометеиздат, 2000. — 233 с.
9. Закс, Ш. Теория статистических выводов: пер. с англ. / Ш. Закс. – М.: Мир, 1975. – 776 с.
10. Киктев Д.Б., Муравьев А.В., Бундель А.Ю. Методические рекомендации по верификации метеорологических прогнозов. – М.: Типография АМА ПРЕСС, 2021. – 94 с.
11. Кондратьев К.Я., Григорьев А.А., 2004. Лесные пожары как компонент природной экодинамики, Оптика атмосферы и океана, т. 17, вып. 4, С. 279 – 292.
12. Латкин М.А., Кеменов С.А., Фурманов И.В. Прогнозирование риска чрезвычайных и кризисных ситуаций//Символ науки. -2016. –С.
13. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М.: Гослесбумиздат, 1949. - 76 с.
14. Нестеров В.Г. Вопросы управления природой. – М.: Лесн. пром-сть, 1981. – 263 с.
15. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. — М.: Мир, 2001. 604с.— ISBN 5-03-002143-4.
16. Санников С.Н. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяций сосны в Зауралье / С.Н. Санников // Горение и пожары в лесу. – Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1973. – С. 236-277.
17. 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.
18. Холопцев А.В., Никифорова М.П. Солнечная активность и прогнозы физико-географических процессов. / LAP LAMBERT Academic Publishing. -2013. - 333р. – ISBN:978-3-659-41130-4

19. Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Проскова Н.Ю. Оценка значимости некоторых факторов современных изменений термического режима Арктической зоны Восточной Сибири для летних месяцев// Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. №2 (29). С.143-158.
20. Холопцев А.В., Подпорин С.А. Влияние половодий в дельте Колымы на условия судоходства в Восточно-Сибирском море// Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2022. -т.14. -№ 4. С.563-569
21. Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Батуро А.Н., Сергеев И.Ю. Современные тенденции изменений пожароопасности в Восточной Сибири, а также ледовитости и поверхностной солености ее морей в летние месяцы// Процессы в геосредах. 2022. №1 (31). – С.1511-1527.
22. Шубкин Р.Г. Результаты долгосрочного прогнозирования крупномасштабных лесных пожаров в Байкальском регионе / Шубкин Р. Г., Ширинкин П. В. // Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник», 2016, № 3. - С. 35 – 38. - Режим доступа: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2016/v3/N3_9-12.pdf, свободный.
23. 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. P. 3097-3124.
24. Holden ZA, et al. (2011). Wildfire extent and severity correlated with annual streamflow distribution and timing in the Pacific Northwest, USA (1984-2005). Wiley Online Library. DOI: 10.1002/eco.257
25. Kholoptsev A.V., Podporin S.A., Shubkin R.G., Ice Coverage near the New Siberian Islands and Winter Precipitation in the Lena and Yana River Basins// *Russian Meteorology and Hidrology.* - 2023. -Vol.48. -№ 1. -pp. 45-52
26. Kholoptsev A.V., Shubkin R.G., Babenyshev S.V., Baturо A.N. Climatic Changes in the Arctic Zone of Russia and Climate Warming in Siberia.// Springer Nature Switzerland AG 2023 T. Chaplina (ed.)//Processes in GeoMedia–Volume VI, Springer Geology, 2022. P. 217-228
27. База данных Результаты реанализа ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> DOI: 10.24381/cds.bd0915c6
28. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: официальный сайт. – Москва. URL [Электронный текст]. Режим доступа: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml.
29. Банк данных об изменениях метеоусловий в различных регионах мира [Электронный ресурс]. Режим доступа: - tutiempo.net/climate/.
30. Действующие метеостанции Росгидромета [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2667.
31. Copernicus Data Space Ecosystem | Europe's eyes on Earth [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dataspace.copernicus.eu/>.
32. Физико-Географическая карта Восточной Сибири. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sharada.ru/katalog/maps/regions/sibirskij-fed-okrug/vostochnaja-sibir-fizicheskaja-karta>.

References

1. Ayvazyan S.A., Applied statistics and fundamentals of econometrics = Applied statistics and essentials of econometrics: Textbook for students of Economics. University specialists / S. A. Ayvazyan, V. S. Mkhitarian; State University, Higher School of Economics. Moscow: UNITY, 1998. 1022 p., [1] L. portr.: ill., tab.; 25 cm.; ISBN 5-238-00013-8.
2. Valendik E.N. Landscape fires of the taiga of Central Siberia / E. N. Valendik [et al.] // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. The series is geographical. – 2014. – No. 3. – pp. 73-86.
3. Vorobyov Yu.L. Forest fires in Russia: State and problems / Yu.L. Vorobyov, V.A. Akimov, Yu.I. Sokolov; Under the general editorship of Yu.L. Vorobyov; Ministry of Emergency Situations of Russia. — М.: DEX-PRESS, 2004. – 312 p. ISBN 5-9517-0008-6.
4. Glushkov A.V. Rivers of the East of Russia. The guidebook is a reference book. — Yakutsk, 2015. — 408 p.

5. Gorbunov S.V., Makiev Yu.D., Malyshev V.P. Analysis of technologies for forecasting man-made and natural emergencies// Civil protection strategy: problems and research. - 2011. –pp.43-53.
6. Gudkovich Z.M., Kirillov A.A., Kovalev E.G., Smetannikova A.V., Spichkin V.A. Fundamentals of the methodology of long-term ice forecasts for the Arctic seas [Text] / Z.M. Gudkovich, A.A. Kirillov, E.G. Kovalev [et al.]; Edited by Candidates of Geological Sciences N.A. Volkov and Y.V. Nikolaeva; Head of Department of Hydrometeorology. services under the Council of Ministers of the USSR. Arct. and Antarctica. scientific research. Leningrad Institute of Technology: Hydrometeoizdat, [19--]. 347 p.
7. Demakov Yu.M. The influence of environmental factors on the growth of trees in the pine forests of the Republic of Mari El.// Yu. P. Demakov. – Electronic data. – Yosh-kar-Ola: Volga State Technological University, -2023. – 480 p. – URL: <https://science.volgatech.net/editorial-publishing-center/izdaniya/monografii/2023 / DemakovYuP.pdf>.
8. Dmitriev A.A. Dynamics of atmospheric processes over the seas of the Russian Arctic. — St. Petersburg: Gidrometeoizdat, 2000. — 233 p.
9. Sachs, S. Theory of statistical inferences: translated from English. Zaks . – M.: Mir, 1975. – 776 p.
10. Kiktev D.B., Muravyev A.V., Bundel A.Y. Methodological recommendations for the verification of meteorological forecasts. Moscow: Printing House AMA PRESS, 2021. 94 p.
11. Kondratiev K.Ya., Grigoriev A.A., 2004. Forest fires as a component of natural ecodynamics, Optics of the atmosphere and Ocean, vol. 17, issue 4, pp. 279-292.
12. Latkin M.A., Kemenov S.A., Furmanov I.V. Forecasting the risk of emergencies and crisis situations//A symbol of science. -2016. –p.
13. Nesterov V.G. Forest burnability and methods of its determination. Moscow: Goslesbumizdat, 1949. 76 p.
14. Nesterov V.G. Issues of nature management. Moscow: Lesn. prom-st, 1981. – 263 p.
15. Rogers D., Adams J. Mathematical foundations of machine graphics. Moscow: Mir, 2001. 604c. ISBN 5-03-002143-4.
16. Sannikov S.N. Forest fires as an evolutionary and ecological factor in the renewal of pine populations in the Trans-Urals / S.N. Sannikov // Gorenje and fires in the forest. Krasnoyarsk: Institute of Forests and Timber SB USSR Academy of Sciences, 1973, pp. 236-277.
17. 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.
18. Kholoptsev A.V., Nikiforova M.P. Solar activity and forecasts of physical- geographical processes. / LAP LAMBERT Academic Publishing. -2013. - 333p. – ISBN:978-3-659-41130-4.
19. Kholoptsev A.V., Shubkin R.G., Proskova N.Yu. Assessment of the significance of some factors of modern changes in the thermal regime of the Arctic zone of Eastern Siberia for the summer months// Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2023. No. 2 (29). pp.143-158.
20. Kholoptsev A.V., Podporin S.A. The influence of floods in the Kolyma Delta on navigation conditions in the East Siberian Sea// Bulletin of the Admiral S.O. Makarov State University of the Marine and River Fleet. – 2022. -vol.14. -No. 4. pp.563-569.
21. Kholoptsev A.V., Shubkin R.G., Baturo A.N., Sergeev I.Y. Current trends in fire risk in Eastern Siberia, as well as the ice cover and surface salinity of its seas in the summer months// Processes in geo-environments. 2022. No. 1 (31). – pp.1511-1527.
22. Shubkin R.G. Results of long-term forecasting of large-scale forest fires in the Baikal region / Shubkin R. G., Shirinkin P. V. // Scientific and analytical journal "Siberian Fire and Rescue Bulletin", 2016, No. 3. - pp. 35-38. - Access mode: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2016/v3/N3_9-12.pdf, free.
23. 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. P. 3097-3124.
24. Holden ZA, et al. (2011). Wildfire extent and severity correlated with annual streamflow distribution and timing in the Pacific Northwest, USA (1984-2005). Wiley Online Library. DOI: 10.1002/eco.257.

25. Kholoptsev A.V., Podporin S.A., Shubkin R.G., Ice Coverage near the New Siberian Islands and Winter Precipitation in the Lena and Yana River Basins// Russian Meteorology and Hidrology. - 2023. -Vol.48. -No. 1. -pp. 45-52.
26. Kholoptsev A.V., Shubkin R.G., Babenyshev S.V., Batur A.N. Climatic Changes in the Arctic Zone of Russia and Climate Warming in Siberia.// Springer Nature Switzerland AG 2023 T. Chaplina (ed.)//Processes in GeoMedia–Volume VI, Springer Geology, 2022. P. 217-228.
27. Database The results of the reanalysis of ERA5 hourly data on pressure levels from 1979 to present. [electronic resource]. Access mode: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> DOI: 10.24381/cds.bd0915c6.
28. Remote Monitoring Information System of the Federal Forestry Agency: official website. – Moscow. URL [Electronic text]. Access mode: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml.
29. Data bank on changes in weather conditions in various regions of the world [Electronic resource]. Access mode: - [tutiempo.net/climate /](http://tutiempo.net/climate/).
30. Active weather stations of the Russian Hydrometeorological Service [Electronic resource]. Access mode: http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2667
31. Copernicus Data Space Ecosystem | Europe's eyes on Earth [Electronic resource]. Access mode: [https://dataspace.copernicus.eu /](https://dataspace.copernicus.eu/).
32. Physical and geographical map of Eastern Siberia. [electronic resource]. Access mode: <https://www.sharada.ru/katalog/maps/regions/sibirskij-fed-okrug/vostochnaja-sibir-fizicheskaja-karta>.

Информация об авторах

А.В. Холопцев – доктор географических наук, профессор

Р.Г. Шубкин – кандидат технических наук, доцент

Information about authors

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 18.08.2025, одобрена после рецензирования 18.09.2025, принята к публикации 19.09.2025.

The article was submitted 18.08.2025, approved after reviewing 18.09.2025, accepted for publication 19.09.2025.