

Научная статья
УДК 502.15
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.56.74.009

Оценка значимости некоторых факторов современных изменений термического режима районов Арктической зоны Восточной Сибири для летних месяцев

Александр Вадимович Холопцев^{1,2}
Роман Геннадьевич Шубкин¹
Наталья Юрьевна Проскова¹

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

²Севастопольское отделение «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», Севастополь

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

Аннотация. Оправдываемость прогнозов динамики рисков возникновения опасных природных явлений, способных приводить к ЧС, во многом определяет эффективность принимаемых управленческих решений. Целью данной работы является оценка значимости факторов, влияющих на изменение характеристик термического режима для такого района, как Арктическая зона Восточной Сибири для летних месяцев.

Полученные результаты свидетельствуют о значимости влияния на изменения термического режима рассматриваемого региона, перемен термического режима ее лесной зоны. Выявленные связи в современном климатическом периоде обладают статистической устойчивостью, что позволяет использовать их в поддержке принятия решений по управлению силами и средствами пожарно-спасательных гарнизонов Арктической зоны Восточной Сибири.

Ключевые слова: термический режим, Арктика, Восточная Сибирь, полярная зима, пожары, ветры, управление рисками, поддержка принятия решений

Для цитирования: Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Проскова Н.Ю. Оценка значимости некоторых факторов современных изменений термического режима районов Арктической зоны Восточной Сибири для летних месяцев // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 2 (29). С. 143-158. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.56.74.009>.

Original article

ASSESSMENT OF THE SIGNIFICANCE OF SOME FACTORS OF MODERN CHANGES IN THE THERMAL REGIME OF AREAS OF THE ARCTIC ZONE OF EASTERN SIBERIA FOR THE SUMMER MONTHS

Alexander V. Kholoptsev^{1,2}
Roman G. Shubkin¹
Natalya Yu. Proskova¹

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

²State Oceanographic Institute named after N.N. Zubov, Sevastopol

Corresponding author: Natalia Y. Proskova, knd@sibpsa.ru

Abstract. The feasibility of forecasting the dynamics of the risks of dangerous natural phenomena, which can lead to emergencies, largely determines the effectiveness of management decisions. The purpose of this work is to assess the significance of factors influencing changes in thermal regime characteristics for such an area as the Arctic zone of Eastern Siberia for the summer months.

The results obtained show the significance of influence on changes in thermal regime of the considered region, changes in thermal regime of its forest zone. The identified relationships in the modern climatic period have statistical stability, which allows us to use them in support of decision-making on management of fire and rescue garrisons in the Arctic zone of Eastern Siberia.

Keywords: thermal regime, Arctic, Eastern Siberia, polynya, fires, winds, risk management, decision support

For citation: Kholoptsev A.V., Shubkin R.G., Proskova N.Yu. Assessment of the significance of some factors of modern changes in the thermal regime of areas of the Arctic zone of Eastern Siberia for the summer months // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 2 (29). С. 143-158. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.56.74.009>

Введение

Термический режим (далее ТР) того или иного региона Арктики существенно влияет на различные рода риски при осуществлении навигации на его водных путях, а также многих видов хозяйственной деятельности на соответствующих прибрежных территориях. Развитие существующих представлений о значимых факторах изменений его характеристик для различных регионов Арктической зоны России является актуальной проблемой не только физической географии, климатологии и судоходства, но также безопасности при ЧС.

Наибольший интерес решение рассматриваемой проблемы представляет для регионов Арктики, располагающих значительными природными ресурсами, в которых темпы современного потепления ТР для летних месяцев являются повышенными. Одним из них является Арктическая зона Восточной Сибири (далее АВС), где расположены многие важнейшие для экономики России месторождения полезных ископаемых [1].

Темпы социально-экономического развития АВС в будущем могут существенно повыситься, так как на шельфе ее морей - Лаптевых и Восточно-Сибирского, выявлены нефтегазоносные районы, которые относятся к весьма перспективным [2]. Существенное влияние на них могут оказать дальнейшие перемены его ТР, поскольку в современном климатическом периоде здесь имели место устойчивые тенденции к потеплению его климата [3]. Последнее приводило к снижению ледовитости многих участков проходящих через АВС маршрутов Северного Морского пути (далее СМП) [4-6], а также разрушению многолетнемерзлых пород на ее территориях. Упомянутые перемены ТР АВС уже послужили причиной ряда масштабных ЧС на территориях Красноярского края и Республики Саха (Якутия) [7, 8]. Выявление значимо влияющих факторов на ТР АВС позволит повысить оправдываемость прогнозов возникновения климатообусловленных ЧС в будущем, а также эффективность соответствующих управленческих решений, направленных на их предотвращение.

Причины перемен ТР различных регионов Арктики уже многие годы изучаются российскими и зарубежными учеными [9-19]. Ими установлено, что между его переменами в период Полярного дня, а также изменениями площади ледяного покрова каждого такого региона, существует положительная обратная связь. Чем теплее ТР региона и меньше средняя ледовитость его акватории для июня, тем теплее ТР и меньше объем сохраняющегося в нем льда и для последующих летних месяцев.

Следовательно, значимым фактором потепления ТР АВС для любых летних месяцев является уменьшение ледовитости акваторий морей Лаптевых и Восточно-Сибирского для июня.

Одним из факторов, способных породить межгодовые вариации средней ледовитости акваторий указанных морей для июня, может служить изменчивость площади, образующейся здесь Великой Сибирской полыньи для марта [20, 21].

К числу основных причин межгодовых изменений среднемесячного значения площади этой, как и любой другой, запримайной полыньи относятся вариации повторяемости, суммарной продолжительности действия (далее СПД) ветров, которые способны производить в рассматриваемом морском районе «отжим» дрейфующих льдов от припая в марте [20] либо их механическое разрушение.

Необходимым условием значимости влияния первого фактора на происходящее в современном периоде потепление ТР изучаемого региона для июня является наличие в его районах, где возможно образование запримайных полыньей, значимой тенденции к увеличению СПД «отжимных» ветров в марте.

Достаточным условием его значимости может служить наличие среди участков акваторий изучаемых морей, где в июне происходит интенсивное снижение их ледовитости, тех, в которых в весенние месяцы могут выявляться запримайные полыньи.

Еще одним фактором изучаемого процесса в АВС могут являться межгодовые вариации СПД ветров, которые способны вызывать механическое разрушение ледяного покрова ее морей для совпадающих или предыдущих месяцев [22, 23].

Как правило, такое воздействие на ледяной покров морей способны оказывать лишь сильные ветры [13, 15, 24].

Необходимым условием значимости влияния упомянутого фактора на уменьшение среднемесячных значений ледовитости либо средней толщины ледяного покрова некоторых участков акватории (далее СЛА и СТЛ) изучаемого региона является наличие в изменениях СПД подобных ветров над соответствующими его районами устойчивых и значимых тенденций к их увеличению.

Достаточным условием его значимости является наличие среди таких участков тех, где прочие факторы уменьшения их ледовитости значимыми не являются.

К снижению в июне СЛА и СТЛ морских районов, прилегающих к устьям сибирских рек, может также приводить увеличение к этому времени потока тепла, которое доставляют в такие районы речные воды. Последнее может быть вызвано повышением среднемесячных температур воздуха (далее СТВ) над соответствующими территориями их водосборных бассейнов, которое происходит в предыдущие месяцы (А.В. Холопцев, Р.Г. Шубкин) [25].

Нетрудно видеть, что указанный фактор для АВС может являться значимым, лишь при условии, что в межгодовых изменениях СТВ для таких ее территорий и соответствующих месяцев присутствуют значимые возрастающие тренды. Достаточным условием его значимости здесь является наличие среди районов морей АВС, где в июне интенсивно снижается СЛА и СТЛ, тех, где расположены приустьевые взморья ее наиболее полноводных рек.

Уменьшение СЛА и СТЛ морей АВС в период Полярного дня может быть вызвано также снижением альбедо их ледяного покрова, которое обусловлено осаждением на него сажи, поступающей в атмосферу при лесных пожарах в регионах Восточной Сибири, расположенных южнее. Указанный фактор для АВС может являться значимым, если статистические связи межгодовых изменений СТВ над некоторыми ее районами, с вариациями горимости лесов Восточной Сибири для совпадающих летних месяцев также являются значимыми. Подтверждением его значимости в изучаемом регионе может являться наличие среди таких районов тех, где прочие факторы к числу значимых не относятся.

Нетрудно видеть, что все упомянутые факторы так или иначе связаны с переменами ТР Восточной Сибири для весенне-летних месяцев, тем не менее значимость влияния каждого из них на перемены ТР тех или иных районов АВС для современного периода не очевидна и нуждается в подтверждении.

Учитывая это, целью данной работы является оценка для современного периода значимости рассматриваемых факторов изменчивости ТР АВС для июня.

Материалы и методы

Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Проверка наличия в ABC необходимых условий значимости для июня каждого из рассматриваемых факторов;
2. Проверка выполнимости достаточных условий их значимости.

При решении рассматриваемых задач как фактический материал об изменениях СТЛ и СЛА изучаемых морей применены результаты глобального океанического реанализа GLORYS 12.v.1, которые охватывают период с 1.01.1993 по 31.12.2019 гг. и соответствуют различным узлам его координатной сетки с шагом 5 угловых минут [26, 27].

При его тестировании использована соответствующая информация с портала ЕСИМО [28], а также карты ледовой обстановки в изучаемых морях [29 Бременский атлас].

Используемая при их решении информация о пространственно-временной изменчивости в изучаемом регионе среднечасовых значений меридиональной и зональной составляющих скорости ветра, а также температур воздуха на высоте 2 м над земной поверхностью, получена из глобального атмосферного реанализа ERA-5. [30, 31]. При ее тестировании, а также изучении изменений температур стока сибирских рек, применены сведения из архива Севастопольского отделения Государственного океанографического института им. Н.Н. Зубова. Эта информация применялась для вычисления значений СПД, а также СТВ.

Сведения о горимости лесов Восточной Сибири в некотором месяце, которая пропорциональна количеству термоточек типа «Лесной пожар», обнаруженных за это время на ее территории, получены из информационной системы дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства [32, 33].

Тестирование фактического материала подтвердило допустимость его применения для получения качественных выводов об изучаемых закономерностях.

Методика решения первой задачи предполагала осуществление его в три этапа.

На первом этапе производилась оценка значимых современных тенденций межгодовых изменений СПД ветров над различными участками акваторий изучаемых морей, которые способны осуществлять «отжим» дрейфующих льдов от припая или разрушение их ледяного покрова. При этом учитывались лишь сильные ветра, среднечасовая скорость которых составляла не менее 11 м/с [24]. Тенденции изменчивости рассматриваемых показателей оценивались за весь современный климатический период (1991 - 2020 гг.), а также за различные его части продолжительностью от 11 до 30 лет, что позволило качественно охарактеризовать степень устойчивости выявленных тенденций.

Как характеристика тенденции каждого изучаемого процесса, оценивалось значение углового коэффициента линейного тренда соответствующего временного ряда по формуле (1):

$$z_k = A \cdot k + b, \quad (1)$$

где A – угловой коэффициент,

b – свободный коэффициент;

k – независимая переменная.

Значение A вычислялись с применением метода наименьших квадратов, а при определении его значимости для изучаемого процесса Y оценивалась вероятность того, что знак такого коэффициента совпадает с тенденцией этого процесса.

При оценке этой вероятности предполагалось, что временной ряд значений рассматриваемого показателя Y_k ($k=1, 2, \dots, K$) – сформирован из выборок G_k нормального случайного процесса с нулевым средним и некоторым среднеквадратическим отклонением (СКО), которые наложены на соответствующий линейный тренд (2):

$$Y_k = G_k + z_k, \quad (2)$$

Значения A и СКО вычислялись для каждого изучаемого пункта и каждого месяца за интервалы времени 2010 – 2019 гг.

Решение о значимости вычисленного показателя A принималось, если вероятность события, при котором: $A * K > \text{СКО}$, превышала 0,9. Поскольку, как предполагается, G_k подчиняется нормальному закону, такое решение принималось, в случаях, когда: $A * K > 1,3 * \text{СКО}$.

Как следует из изложенного, достоверность выводов о значимости оценок тенденций изменений СПД изучаемых ветров, которые получены с применением изложенной методики, ориентировочно составляет не менее 0,9.

Решение об устойчивости тенденции, выявленной для некоторого участка поверхности изучаемого региона, принималось, если ее знак не зависел от интервала времени, на котором она оценивалась.

Принималось во внимание, что для всех частей изучаемого региона, кроме акваторий моря Лаптевых у восточных побережий полуострова Таймыр и островов архипелага Северная Земля, «отжимными» могут являться ветра лишь южных румбов, а разрушать ледяной покров способны ветра любых румбов. Поэтому при оценке СПД ветров их румб не учитывался, а при принятии решения о том, что ветер является «отжимным», он учитывался.

Такие исследования выполнены для всех месяцев с января по май и для всех участков поверхности АВС.

На втором этапе исследования осуществлялся поиск участков бассейнов различных рек, впадающих в моря Лаптевых и Восточно-Сибирское, для которых связи межгодовых изменений среднемесячных температуры воздуха (далее СТВ) для месяцев апрель и май, а также температур их стока в эти моря для июня, значимы. При этом применялся метод корреляционного анализа и критерий Стьюдента. Перед осуществлением этого анализа во временных рядах изучаемых процессов компенсировался линейный тренд, а также по автокорреляционным функциям определяли соответствующие количества степеней свободы. Решение о значимости связи между такими процессами принималось, если значение коэффициента парной корреляции соответствующих откорректированных временных рядов по модулю превышало уровень 95% порога, который определен по критерию Стьюдента.

Также, для выявленных территорий бассейнов таких рек и для месяцев апрель и май оценивались значимые тенденции межгодовой динамики СТВ.

На третьем этапе решения этой задачи, с применением описанных методик, производилось выявление участков акватории и побережий изучаемых морей, над которыми межгодовые изменения СТВ для месяцев май и июнь значимо связаны с вариациями для тех же месяцев горимости лесов на территории Восточной Сибири.

Решение второй задачи также производилось в два этапа. На первом этапе, с применением метода корреляционного анализа и критерия Стьюдента, выявлялись участки акваторий изучаемых морей, где межгодовые изменения СЛА для июня значимо связаны с вариациями среднемесячной температуры стока впадающих в них рек. На втором этапе для различных лет изучались изменения распределений по акваториям изучаемых морей среднесуточных значений их ледовитости для июня.

Выявлялись их районы, где эти показатели снижались с наибольшими темпами. Расположения таких районов, соответствующие различным годам, сопоставлялись между собой, что позволило определить выполнимость достаточных условий значимости каждого изучаемого фактора.

Нетрудно видеть, что применяемая методика не вполне совершенна, так как выбор минимальной скорости ветра, который способен значимо влиять на образование запримайных полыней и вызывать разрушения ледяного покрова морей, вполне обоснованным не является, а причинами изменения СТЛ и СЛА в различных их районах, могут служить и иные факторы. К последним, к примеру, могут относиться изменения характеристик поверхностных течений тех же морей, обусловленные воздействиями на их ледяной покров ветров, которые оказывались в других районах.

Тем не менее, описанная методика позволяет качественно оценить значимость для АВС рассматриваемых факторов, а также достичь выбранной цели.

Результаты

При осуществлении первого этапа решения первой задачи для различных зимне-весенних месяцев сопоставлены распределения в АВС значений углового коэффициента линейных трендов межгодовых изменений СПД изучаемых ветров, которые оценены за весь современный климатический период и указанные выше его части.

Как пример, на рис.1 представлены распределения в АВС тенденций межгодовых изменений СПД изучаемых ветров для месяцев январь - май, которые соответствуют периоду 1991-2020 гг.

Из Рис.1 видно, что значимое повышение СПД ветров, способных разрушать ледяной покров изучаемых морей, в период 1991-2020 гг. выявлено в основном для месяцев февраль и март. Анализ румбов, для которых произошло указанное явление, показал, что повторяемость «отжимных» ветров значимо увеличилась лишь для марта. Произошло это для многих районов моря Лаптевых, в том числе и тех, где возможно образование Анабарско-Ленской и Западной Новосибирской заприпайной полыньи, входящих в состав Великой Сибирской полыньи [13, 20]. Аналогичные закономерности выявлены и для прочих рассматриваемых отрезков современного климатического периода, что свидетельствует об их устойчивости.

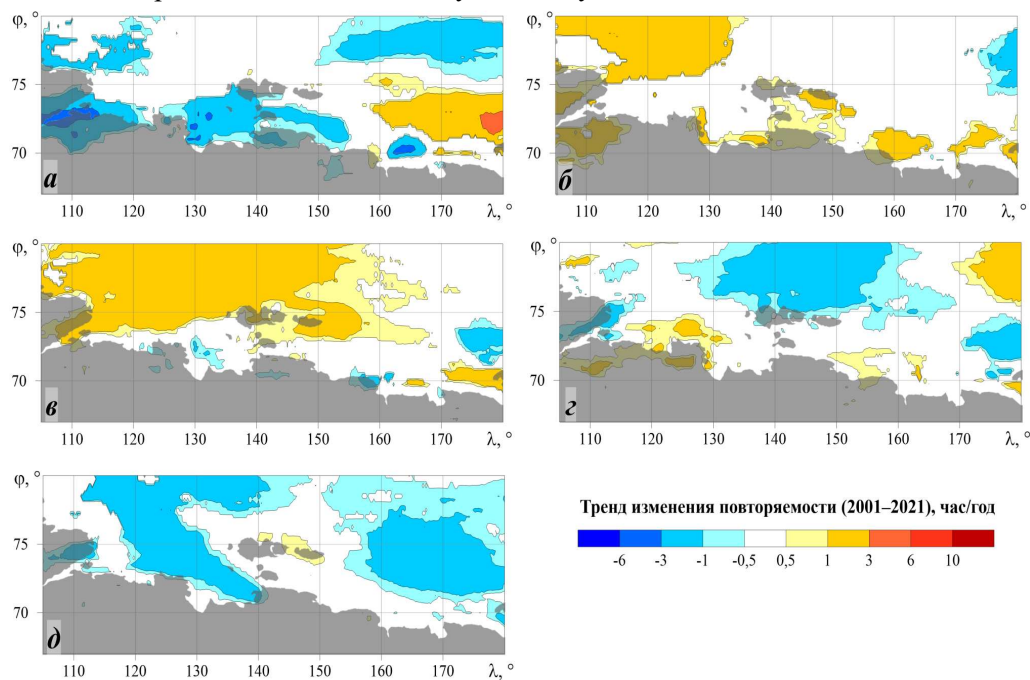


Рис.1 Распределение по акватории морей Лаптевых и Восточно-Сибирского оценок для периода 1991-2020 гг. значимых тенденций межгодовых изменений СПД ветров, со среднечасовой скоростью не менее 11 м/с, для месяцев: а) январь; б) февраль; в) март; г) апрель; д) май

Полученный результат свидетельствует о том, что межгодовые изменения среднемесячных значений площади Великой Сибирской полыньи для марта, которые должны были произойти под влиянием рассматриваемых ветров, могли привести к значимым вариациям СЛА соответствующих морей, а также ТР АВС. Он в полной мере соответствует существующим представлениям [3, 34] о происходящих в период современного потепления климата изменениях состояния Сибирского антициклона, которые характерны для марта, а также о вызванном ими уменьшении повторяемости атмосферных блокировок над Сибирью, преграждающих путь в АВС циклонам. Следствием последнего явилось увеличение повторяемости для марта циклонов, достигающих АВС [3, 12, 14], а также сильных ветров, возникающих над ее акваториями, которые способны участвовать в образовании заприпайных полыньи.

Очевидно, что при дальнейшем потеплении климата Восточной Сибири для зимних месяцев, ослабление Сибирского антициклона продолжится, а повторяемость над АВС таких ветров будет возрастать, что приведет к увеличению площадей упомянутых полыней и может усилить их влияние на межгодовые изменения характеристик ледяного покрова моря Лаптевых для июня и других летних месяцев.

Из Рис.1г, д следует также, что в 1991-2020 гг., для месяцев апрель и май в том же регионе преобладают значимые тенденции к уменьшению СПД изучаемых ветров.

Установлено также, что аналогичные тенденции характерны здесь и для июня.

Указанные тенденции являются устойчивыми, а потому могут сохраниться в АВС при дальнейших переменах ТР Восточной Сибири для весенних месяцев в сторону его потепления. Из этого понятно, что разрушение ветром ледяного покрова рассматриваемых морей в апреле-июле значимой причиной уменьшения их СТЛ и СЛА в современном периоде не является и в ближайшем будущем маловероятно.

На втором этапе решения той же задачи определены участки территории Восточной Сибири, для которых связи межгодовых изменений СТВ для месяцев апрель и май, а также среднемесячных температур стока рек Лена, Хатанга, Анабар, Яна, Индигирка и Колыма, поступающего в соответствующие моря АВС в июне, значимы. Их расположение подробно описано ранее в [35, 36].

Таким образом, наличие необходимых условий значимости влияния потепления ТР в бассейнах изученных рек для мая на изменения ТР АВС для июня подтверждено.

Распределения по акваториям морей АВС значений коэффициента корреляции межгодовых изменений СТВ для месяцев июнь и июль, с вариациями общего количества термоточек типа «Лесной пожар», которые выявлены в том или ином месяце на территории Восточной Сибири для тех же месяцев, представлены на Рис.2. Они подтверждают справедливость предположения о существовании в АВС районов, где межгодовые изменения СТВ для этих месяцев значимо связаны с вариациями горимости лесов Восточной Сибири.

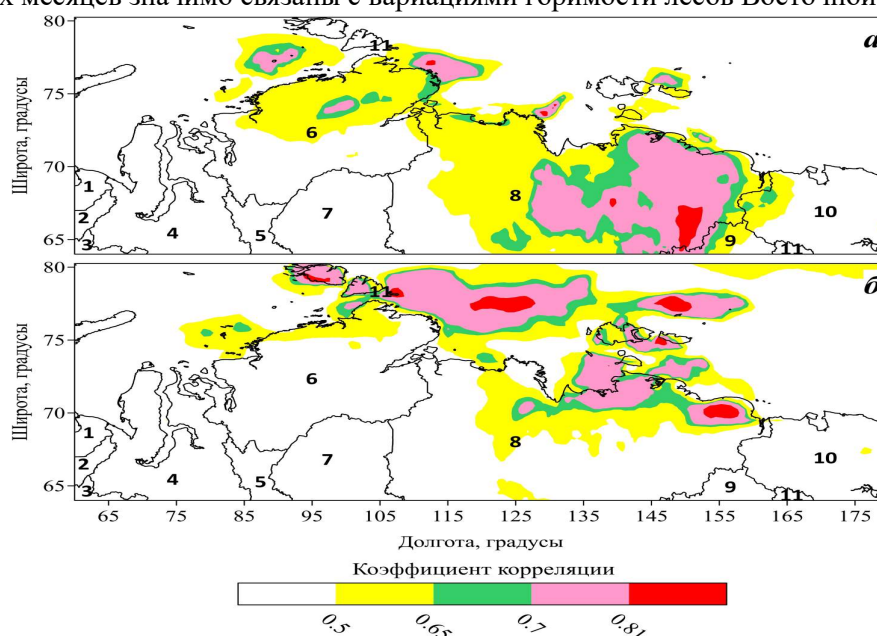


Рис.2. Распределение в пределах АВС значений коэффициента корреляции температур воздуха над различными участками ее поверхности и суммарной горимости лесов Восточной Сибири для месяцев: а) июнь; б) июль

Из Рис.2 следует, что такие районы включают территории АВС, так и акватории ее морей, на которых осадение на их ледяной покров сажи, образующейся при лесных пожарах, способно

в период Полярного дня повысить интенсивность его таяния. Они относятся преимущественно к морю Лаптевых.

Следовательно, фактор лесных пожаров для указанных месяцев может оказывать значимое влияние на потепление ТР и снижение СЛА акваторий АВС, принадлежащих в основном к этому морю.

На первом этапе решения второй задачи изучены статистические связи межгодовых изменений СЛА в различных районах морей Лаптевых и Восточно-Сибирского для июня, с вариациями среднемесячных температур для того же месяца поступающего в эти моря стока рек Лена, Хатанга, Анабар, Яна, Индигирка и Колыма.

Как пример, на Рис.3 показаны участки акватории моря Лаптевых, для которых значимыми являются связи межгодовых изменений СЛА, а также среднемесячных температур стока реки Лена, (створ Кюсюр) для июня.

Как видно из Рис.3, участки акватории моря Лаптевых, для которых рассматриваемые связи значимы, расположены на приустьевом взморье Трофимовского и Быковского рукава ее дельты. Указанные рукава являются наиболее полноводными.

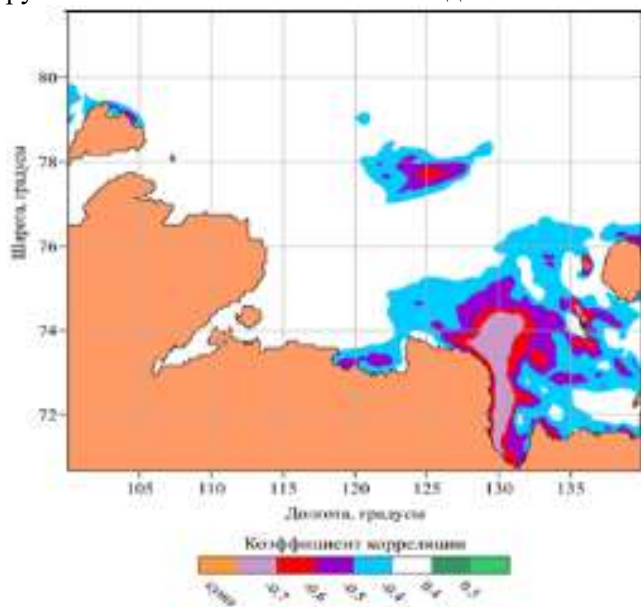


Рис.3. Распределение значений коэффициента корреляции межгодовых изменений СЛА для различных участков по акватории моря Лаптевых для июня, а также синхронных вариаций среднемесячных температур стока реки Лены у начала ее дельты (створ Кюсюр)

Достоверность вывода о значимости выявленных связей для некоторых участков их взморья превышает 0,999.

Для приустьевого взморья Оленёкского рукава реки Лены таких связей не выявлено, поскольку на изменения СЛА его участков существенно влияют также межгодовые изменения температур и объема, поступающего на них стока реки Оленёк.

На втором этапе решения второй задачи изучены распределения по акватории морей АВС среднесуточных значений их ледовитости, которые построены по результатам реанализа GLORYS12.v.1 и соответствуют различным датам июня 1993-2018 гг.

В качестве примера, на Рис.4 представлены схемы, отражающие распределения по акватории моря Лаптевых значений указанных показателей, которые соответствуют некоторым совпадающим датам июня 1993 и 2018 гг.

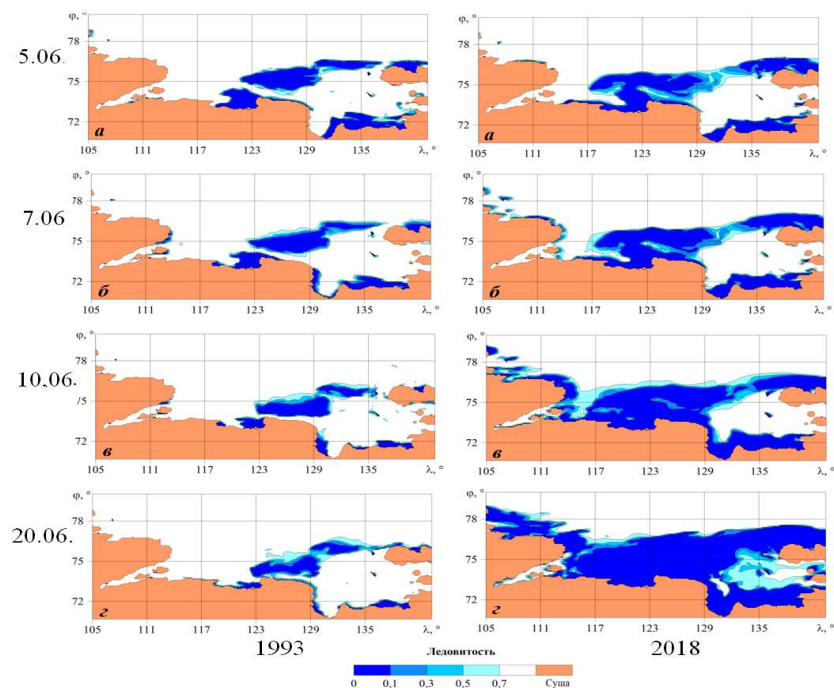


Рис.4. Распределения по акватории моря Лаптевых среднесуточных значений ледовитости ее участков, соответствующих совпадающим датам июня 1993 и 2018 гг.

Из Рис.4 понятно, что в июне и 1993 г., и 2018 г. во многих районах моря Лаптевых происходило интенсивное снижение среднесуточных значений ледовитости. В оба года расположения районов, где значения СЛА для совпадающих дат являлись пониженными, в целом подобны. При этом для 2018 г. общие площади таких районов больше, чем для 1993г., несмотря на то, что половодье на створе Кюсюр в оба года началось практически одновременно - 20 мая.

Упомянутые районы в оба года включают в себя участки акватории моря Лаптевых, где в марте образуется Великая Сибирская по льня [20].

Аналогичные особенности характерны также для Восточно-Сибирского моря. Поэтому их выявление качественно подтверждает значимость влияния на ТР АВС факторов, влияющих на изменения в марте площадей ее заприпайных по льней.

Если бы другие факторы межгодовой изменчивости ТР значимыми не являлись, то в июне 2018 года площади районов моря Лаптевых, где ледовитость понижена, были бы меньше, чем в 1993 г. (так как СПД «отжимных» ветров в мае уменьшилась, о чем свидетельствует Рис.1 д). Следовательно, рис.4 доказывает, что рассмотренный фактор значим, но единственным значимым он не является.

Как видно из Рис.4, в совпадающие даты обоих годов, следующие за 7.06, интенсивное снижение СЛА отмечается также на многих участках приустьевых взморий Трофимовского и Быковского рукава дельты реки Лены.

В оба изучаемых года с указанной даты 07.06 резкое повышение температуры стока реки Лена, которое в 2018 году было более стремительным (и составило более 1°C за сутки). В результате этого площади районов моря, где ледовитость не превышала 0,1, во второй половине июня 2018 г. значительно превосходили аналогичные показатели для июня 1993 г.

Из этого следует, что потепление ТР в бассейне этой реки является значимым фактором ледовитости акваторий и потепления ТР соответствующих районов АВС.

Аналогичный вывод справедлив и для участков приустьевого взморья Каменной Колымы - наиболее полноводного рукава дельты реки Колыма (Восточно-Сибирское море).

Следовательно, для приустьевых взморий рек Лена и Колыма, фактор потепления ТР выявленных районов их бассейнов в мае также является значимым.

Следует отметить, что причиной выявленного увеличения в июне интенсивности таяния ледяного покрова морей Лаптевых и Восточно-Сибирского может являться также происходящее в этом месяце повышение горимости лесов многих районов Восточной Сибири, которое приводит к увеличению потока сажи, осаждающейся на его поверхность [37-39].

Как видно из Рис.4, интенсивность снижения ледовитости моря Лаптевых в период начиная с 10.06 существенно повысилась и во многих северных его районах, где весной образование заприпайных полыней маловероятно, а влияние потепления стока рек наверняка не является значимым (см. Рис.3).

Один из них расположен к востоку от полуострова Таймыр и от участков акватории моря Лаптевых, где, в отдельные годы, в марте, возможно образование Восточной Таймырской полыньи [21]. Указанный район также весьма удален от устьев любых рек, но практически совпадает с районом того же моря, показанным на Рис.2а, где значимое влияние на межгодовые вариации СТВ для июня оказывают происходящие в том же месяце изменения горимости лесов. Следовательно, на акватории морей АВС существуют районы, для которых рассматриваемый фактор, в отличие от прочих, является значимым.

Таким образом, результаты решения второй задачи подтверждают значимость указанных трех из четырех рассматриваемых факторов. Все они в морях АВС действуют однонаправленно и совместно ускоряют процесс разрушения их ледяного покрова.

Справедливость полученных выводов подтверждена также путем их выборочной проверки с использованием аналогичной информации, полученной из соответствующих ледовых карт [29]. Следовательно, цель данного исследования достигнута.

Обсуждение

Полученные результаты соответствуют существующим представлениям о закономерностях изменения ТР и характеристик ледяного покрова морей АВС, а также их особенностях, проявляющихся в современном периоде [8 - 19]. При этом некоторые из таких результатов обладают элементами научной новизны. К ним относятся следующие факты:

1. В современном климатическом периоде процесс разрушения в июне ледяного покрова районов морей АВС, где в марте образуется Великая Сибирская полынья, значимо ускорился в результате потепления ТР Восточной Сибири для марта, которое вызвало увеличение СПД «отжимных» ветров южных румбов над такими районами.

2. Значимой причиной его ускорения в июне на приустьевых взморьях рукавов дельт рек Лена и Колыма является повышение СТВ на соответствующих территориях их водосборных бассейнов, которое имело место для мая.

3. В прочих районах изучаемых морей, где имело место повышение темпов разрушения в июне их ледяного покрова значимым фактором этого процесса явилось увеличение горимости лесов для июня, которые были вызваны потеплением ТР соответствующих районов Лесной зоны Восточной Сибири.

4. Повышение СТВ для весенних месяцев, которое в те же месяцы произошло в бассейнах рек Хатанга, Анабар, Оленёк, Яна и Индигирка, также привело к повышению среднемесячных температур их стоков в соответствующие моря, однако изменений ледовитости последних, которые находят отражение в изучаемом фактическом материале, не вызвало.

5. Механическое разрушение сильным ветром ледяного покрова изучаемых морей не является значимым фактором происходящего в современном климатическом периоде снижения ледовитости их акваторий для апреля-июня, так как СПД таких ветров над соответствующими морскими районами для этих месяцев в 1991-2020 гг. значимо и устойчиво уменьшались.

Заключение

Необходимые и достаточные условия значимости изученных факторов, обуславливающих влияние межгодовых вариаций ТР Лесной зоны Восточной Сибири для марта, а также мая и июня на изменения ТР АВС для июня выполняются в следующих ее районах.

Изменения СПД «отжимных» ветров значимо влияют на ТР районов, где в марте образуется Великая Сибирская полынья;

Вариации среднемесячных температур стока рек Лена и Колыма значимо влияют на ТР приустьевых взморий этих рек;

Динамика горимости лесов Восточной Сибири значимо влияет на ТР многих прибрежных территорий, а также некоторых акваторий АВС, расположенных вне областей влияния указанных выше факторов.

Изменения СПД сильных ветров для апреля-июня над какими-либо районами АВС, на их ТР значимо не влияют.

Выявленные тенденции и связи в современном климатическом периоде обладают статистической устойчивостью, что позволяет предположить возможность их сохранения таковыми и в будущем, при условии, что потепление климата Восточной Сибири продолжится.

Полученные результаты целесообразно учитывать при поддержке принятия управленческих решений по прогнозированию рисков возникновения в АВС опасных природных явлений, обусловленных переменами ее климата.

Список источников

1. Волков А.В. Месторождения стратегических металлов Арктического региона / А.В. Волков, Н. С. Бортников // Научное обеспечение реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации. – Москва: Российская академия наук, 2019. – Т. 2: Научные сессии Общих собраний отделений РАН. – С. 104 – 114.

2. Григорьев Г.А. Перспективы освоения углеводородного потенциала российского арктического шельфа с нефтегеологических, технологических и финансово-экономических позиций // Современные вызовы нефтяной геологии. Альтернативы и перспективы развития: сборник докладов Юбилейной конференции (Санкт-Петербург, 6–8 ноября 2019 г.). – Санкт-Петербург: ВНИГРИ, 2019. – С. 21 – 27. DOI: <https://doi.org/10/17353/AnniversaryConference2019/Grigoryev>

3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Изд-во Росгидромета, 2014. – 1009 с. ISBN 978-5-904206-13-0.

4. Цой Л.Г. К оценке риска при плавании судов по Северному морскому пути // Изучение ледовых качеств и обоснование рациональных параметров судов ледового плавания: Сборник трудов. — СПб.: Нестор-История, 2017. — С. 386 - 400.

5. Aksenov Y., Popova E.E., Yool A., Nurser A. G., Williams T. D., Bertino L., Bergh J. On the Future Navigability of Arctic Sea Routes: High-resolution Projections of the Arctic Ocean and Sea Ice // Marine Policy. 2017. Vol. 75. Pp. 300–317. DOI: 10.1016/j.marpol.2015.12.027.

6. Миронов Е.У., Фролов С.В. Влияние морского льда на судоходство и классификация опасных ледовых явлений // Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике / Под ред. Е.У. Миронова. — СПб.: ААНИИ, - 2010. - С. 12 - 32.

7. Е.М. Акентьева, Е.И. Александров, Г.В. Алексеев, О.А. Анисимов, Ж.А. Балонишникова, О.Н. Булыгина, В.Ю. Георгиевский, М.Д. Докукин, С.В. Ефимов, Н.Е. Иванов, Х. М. Калов, В. М. Катцов, А. А. Киселев, А. В. Клепиков, М. В. Ключева, Н. В. Кобышева, В. В. Оганесян, В. Н. Павлова, Т. В. Павлова, А. А. Постнов, В. В. Стадник, С. А. Солдатенко, Е. И. Хлебникова, А. Л. Шальгин, И. М. Школьник. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. – Санкт-Петербург. 2017. – 106 с. ISBN 978-9500833-1-5. URL: <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf> (дата обращения: 25.12.2022).

8. Соловьев Д.А. Современные изменения климата в Арктике: причины и экологические последствия [Электронный ресурс] / Д. А. Соловьев // Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий: II Юдахинские чтения: сборник

материалов Всероссийской конференции с международным участием (24–28 июня 2019 г.). – Архангельск: Типография № 2 [и др.], 2019. – С. 152–156.

9. Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. Т. 1. С. 11–26.

10. Гудкович З.М., Кириллов А.А., Ковалев Е.Г., Сметанникова А.В., Спичкин В.А. 1972. Основы долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей. Л.: Гидрометеиздат. —348 с.

11. Думанская И. О. Ледовые условия морей азиатской части России. — М.; Обнинск: ИГ — СОЦИН. — 2017. — 640 с.

12. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики. // *Арктика: экология и экономика*. 2012. №2(6). С.66-79

13. Моря Российской Арктики в современных климатических условиях / под ред. И.М. Ашика. Изд. ААНИИ. 2021. 360 с.

14. Мохов И.И. Особенности современных изменений климата в Арктике и их последствий. // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2020;66(4):446-462. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-4-446-462>

15. Третьяков В.Ю., Фролов С.В., Сарафанов М.И. Изменчивость ледовых условий плавания по трассам Северного Морского пути за период 1997–2018 гг. // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2019. Том 65. №3. С. 328–340.

16. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М. 2007. Климатические изменения ледяного покрова морей Евразийского шельфа. Научные исследования в Арктике. Т. 2. СПб: ААНИИ. — 136 с.

17. Холопцев А.В., Подпорин С.А. Перспективы безледокольной навигации транзитных судов в районе Новосибирских островов. – *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*, 2019, т. 11, № 4, с. 683–695. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-683-695.

18. Overland J.E., Wang M., Walsh J.E., Stroeve J.C., Future Arctic climate changes: Adaptation and mitigation times cales, *Earth’s Future*, (2013), 2(2) 68–74.

19. Screen J.A., Bracegirdle T.J., Simmonds I. Polar Climate Change as Manifest in Atmospheric Circulation // *Curr. Clim. Change Rep.* 2018. V. 4. P. 383–395.

20. Карелин И.Д., Карклин В.П. Припай и заприпайные полыньи арктических морей сибирского шельфа в конце XX–начале XXI века. СПб.: ААНИИ, 2012. С. 180.

21. Атлас биологического разнообразия морей и побережий российской Арктики. — М.: WWF России, 2011, -64с. Великая Сибирская полынья

22. Zakharov V. G., Kononova N. K. (2015). Relationship of dynamics of fields of ice drift in the arctic basin and atmospheric circulation northern hemisphere (summer season) // *The complex systems, Interdisciplinary Scientific Journal*, 2015, №1 (2), p.45-57.

23. Думанская И.О., Федоренко А.В. Анализ связи ледовых характеристик морей европейской части России с макроциркуляционными атмосферными процессами // *Метеорология и гидрология*. –2008. – № 12. – С. 82–94.

24. Huler S. *Defining the Wind: The Beaufort Scale, and How a 19th-Century Admiral Turned Science into Poetry* (англ.). — Crown, 2004. — ISBN 1-4000-4884-2.

25. Kholoptsev A.V., Podporin S.A., Shubkin R.G., Olhovik E. O. Climate Changes in Siberia, Forest Fires and Ice Cover of the Northern Sea Route in Summer Months. AIP Conference Proceedings AIPCP 22 –CF-MIST2021-00190.

26. Vichi M., Lovato T., Gutierrez Mlot E., McKiver W. Coupling BFM with Ocean models: the NEMO model (Nucleus for the European Modelling of the Ocean). Bologna: BFM Consortium, 2015.

27. База данных Результаты реанализа GLORYS12v1 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-toproducts/?option=com_csw&view=details&productid=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030

28. Портал ЕСИМО [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://portal.esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2665.
29. Бременский атлас ледовых карт [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://seaice.uni-bremen.de/databrowser/#p=sic>
30. 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. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3097-2019>, 2019.
31. 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.
32. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства: официальный сайт. – Москва. URL [Электронный текст]. Режим доступа: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml.
33. База данных Координаты термоточек [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/otkrytoe-ministerstvo/otkrytye-dannye/7707034952-ThermoPoints>.
34. Кононова Н.К. Исследование циркуляционных факторов изменений климата на территории Сибирского сектора по данным типизации Б. Л. Дзердзеевского [Электронный ресурс] / Н. К. Кононова, И. В. Латышева // *Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: материалы II Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к 55-летию кафедры гидрологии и природопользования ИГУ (Иркутск, 5–7 июня 2019 г.)*. – Иркутск: Издательство ИГУ, 2019. – С. 578–586.
35. 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.1-8.
36. Холопцев А.В. Тенденции изменений рисков опасных природных явлений российской Арктики, на примере лесной зоны Восточной Сибири / Холопцев А.В., Шубкин Р.Г., Сергеев И.Ю., Батуро А.Н., Антонов А.В. // *Научно-аналитический журнал «Сибирский пожарно-спасательный вестник»*, 2022, №4. - С. 43 - 55. - Режим доступа: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2022/v4/N27_43-55.pdf, свободный. – Загл. с экрана. — Яз. рус., англ.
37. 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.
38. Дроздова Т.И., Сорокикова Е.В. Анализ лесных пожаров в Иркутской области в 2010-2019 гг. // *XXI век. Техносферная безопасность*. - 2021. - 6(1). – С. 29-41. DOI:10.21285/2500-1582-2021-1-29-41.
39. 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.

References

1. Volkov A.V. Deposits of strategic metals of the Arctic region / A.V. Volkov, N.S. Bortnikov // *Scientific support of the implementation of priorities of scientific and technological development of the Russian Federation*. - Moscow: Russian Academy of Sciences, 2019. - Vol. 2: Scientific Sessions of the General Meetings of the Departments of the Russian Academy of Sciences. - С. 104 - 114.
2. Grigoriev G.A. Prospects of development of hydrocarbon potential of the Russian Arctic shelf from oil and geological, technological and financial and economic positions // *Modern challenges of petroleum geology. Alternatives and prospects for development: collection of reports from the Jubilee Conference (St. Petersburg, November 6-8, 2019)*. - St. Petersburg: VNIGRI, 2019. - С. 21 - 27. DOI: <https://doi.org/10/17353/AnniversaryConference2019/Grigoryev>

3. Second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. - Moscow: Roshydromet Publishing House, 2014. - 1009 с. ISBN 978-5-904206-13-0.

4. Tsoy L.G. Towards risk assessment of vessels sailing along the Northern Sea Route // Study of ice qualities and justification of rational parameters of ice navigation vessels: Proceedings. - St. Petersburg: Nestor-History, 2017. - С. 386 - 400.

5. Aksenov Y., Popova E.E., Yool A., Nurser A.G., Williams T. D., Bertino L., Bergh J. On the Future Navigability of Arctic Sea Routes: High-resolution Projections of the Arctic Ocean and Sea Ice // Marine Policy. 2017. Vol. 75. Pp. 300-317. DOI: 10.1016/j.marpol.2015.12.027.

6. Mironov E.U., Frolov S.V. Impact of sea ice on navigation and classification of dangerous ice phenomena // Dangerous ice phenomena for navigation in the Arctic / Ed. by E.U. Mironov. - St. Petersburg: AARI, - 2010. - С. 12 - 32.

7. E. Akentyeva, E.I. Alexandrov, G.V. Alekseyev, O.A. Anisimov, Zh. A. Balonishnikova, O. N. Bulygina, V. Y. Georgievsky, M. Dokukin, S. V. Efimov, N. E. Ivanov, H. M. Kalov, V.M. Kattsov, A. A. Kiselev, A.V. Klepikov, M.V. Klyueva, N.V. Kobysheva, V.V. Oganessian, V.N. Pavlova, T.V. Pavlova, A.A. Postnov, V.V. Stadnik, S.A. Soldatenko, E.I. Khlebnikova, A.L. Shalygin, I.M. Shkolnik. Report on Climate Risks on the Territory of the Russian Federation. - St. Petersburg. 2017. - 106 с. ISBN 978-9500833-1-5. URL: <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf> (accessed 25.12.2022).

8. Solov'ev D.A. Modern climate changes in the Arctic: causes and environmental consequences [Electronic resource] / D.A. Solov'ev // Problems of ensuring environmental safety and sustainable development of the Arctic territories: II Yudakhinskies readings: collection of materials of the All-Russian Conference with international participation (24-28 June 2019). - Arkhangelsk: Printing house No. 2 [et al.], 2019. - С. 152-156.

9. Alekseev G.V. Manifestation and intensification of global warming in the Arctic // Fundamental and Applied Climatology. 2015. T. 1. C. 11-26.

10. Gudkovich Z.M., Kirillov A.A., Kovalev E.G., Smetannikova A.V., Spichkin V.A. 1972. Fundamentals of long-term ice forecasts for the Arctic seas. L.: Gidrometeoizdat. - 348 с.

11. Dumanskaya I. O. Ice conditions of the seas of the Asian part of Russia. - Moscow; Obninsk: IG - Sotsin. - 2017. - 640 с.

12. Kattsov V.M., Porfiriev B.N. Climatic changes in the Arctic: implications for the environment and economy. //The Arctic: ecology and economy. 2012. №2(6). С.66-79

13. Seas of the Russian Arctic in modern climatic conditions / ed. by I.M. Ashik. AARI Publishing House. 2021. 360 с.

14. Mokhov I.I. Features of modern climate changes in the Arctic and their consequences. // Problems of the Arctic and Antarctic. 2020;66(4):446-462. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-4-446-462>

15. Tretiakov V.Y., Frolov S.V., Sarafanov M.I. Variability of ice conditions of navigation along the routes of the Northern Sea Route for the period 1997-2018 // Problems of the Arctic and Antarctic. 2019. Vol. 65. no. 3. С. 328-340.

16. Frolov I.E., Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Kovalev E.G., Smolyanitsky V.M. 2007. Climatic changes in the ice cover of the Eurasian shelf seas. Scientific research in the Arctic. T. 2. SPb: AARI. - 136 с.

17. Kholoptsev A.V., Podporin S.A. Prospects for ice-free navigation of transit ships in the area of Novosibirsk islands. - Bulletin of Admiral S. O. Makarov State University of Maritime and River Fleet, 2019, vol. 11, No. 4, pp. 683-695. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-683-695.

18. Overland J.E., Wang M., Walsh J.E., Stroeve J.C., Future Arctic climate changes: Adaptation and mitigation times cales, Earth's Future, (2013), 2(2) 68-74.

19. Screen J.A., Bracegirdle T.J., Simmonds I. Polar Climate Change as Manifest in Atmospheric Circulation // Curr. Clim. Change Rep. 2018. V. 4. P. 383-395.

20. Karelin I.D., Karklin V.P. Landfast ice and polynyas of the Arctic seas of the Siberian shelf in the late XX-early XXI century. SPb.: AARI, 2012. С. 180.
21. Atlas of Biodiversity of the Seas and Coasts of the Russian Arctic. - Moscow: WWF of Russia, 2011, -64 pp. The Great Siberian polynya.
22. Zakharov V. G., Kononova N. K. (2015). Relationship of dynamics of fields of ice drift in the arctic basin and atmospheric circulation northern hemisphere (summer season) // The complex systems, Interdisciplinary Scientific Journal, 2015, № 1 (2), p.45-57.
23. Dumanskaya I.O., Fedorenko A.V. Analysis of relation of ice characteristics of seas of European part of Russia with macro-circulation atmospheric processes // Meteorology and hydrology. - 2008. - № 12. - С. 82-94.
24. Huler S. Defining the Wind: The Beaufort Scale, and How a 19th-Century Admiral Turned Science into Poetry. - Crown, 2004. - ISBN 1-4000-4884-2.
25. Kholoptsev A.V., Podporin S.A., Shubkin R.G., Olhovich E.O. Climate Changes in Siberia, Forest Fires and Ice Cover of the Northern Sea Route in Summer Months. AIP Conference Proceedings AIPCP 22-CF-MIST2021-00190.
26. Vichi M., Lovato T., Gutierrez Mlot E., McKiver W. Coupling BFM with ocean models: the Nucleus for the European Modelling of the Ocean (NEMO model). Bologna: BFM Consortium, 2015.
27. Database Results of the GLORYS12v1 reanalysis [Electronic resource]. Access mode: http://marine.copernicus.eu/services-portfolio/access-topproducts/?option=com_csw&view=details&productid=GLOBAL_REANALYSIS_PHY_001_030
28. ESIMO portal [Electronic resource]. Access mode: http://portal.esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2665.
29. Bremen atlas of ice maps [Electronic resource]. Access mode: <https://seaice.uni-bremen.de/databrowser/#p=sic>
30. 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. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3097-2019>, 2019.
31. Database Results of ERA5 reanalysis of hourly data on pressure levels from 1979 to present. [Electronic resource]. Access mode: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-pressure-levels?tab=form> DOI: 10.24381/cds.bd0915c6.
32. Information system for remote monitoring of the Federal Forestry Agency: official site. - Moscow. URL [Electronic text]. Access mode: https://pushkino.aviales.ru/main_pages/index.shtml.
33. Database Coordinates of thermal points [Electronic resource]. Access mode: <https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/otkrytoe-ministerstvo/otkrytye-dannye/7707034952-ThermoPoints>.
34. Kononova N.K. Study of circulation factors of climate change in the territory of the Siberian sector according to typification data by B. L. Dzerdzeevsky [Electronic resource] / N.K. Kononova, I.V. Latysheva // Modern trends and prospects of hydrometeorology development in Russia: materials of the II All-Russian scientific-practical conference dedicated to the 55th anniversary of the Hydrology and Nature Management Department of the Moscow State University (Irkutsk, June 5-7, 2019). - Irkutsk: Publishing house of the Irkutsk State University, 2019. - С. 578-586.
35. Kholoptsev A.V., Podporin S.A. Impact of floods in the Kolyma delta on navigation conditions in the East Siberian Sea. // *Bulletin of Admiral S.O. Makarov State Maritime and River Fleet University.* - 2022. - т.14. -№4. С.1-8.
36. Kholoptsev A.V. Trends of changes in the risks of dangerous natural phenomena in the Russian Arctic, on the example of the forest zone of Eastern Siberia / A.V. Kholoptsev, R.G. Shubkin, I.Yu. Sergeev, A.N. Baturo, A.V. Antonov // *Scientific and analytical journal "Siberian Fire and Rescue Vestnik"*, 2022, № 4. - С. 43 - 55. - Access mode: http://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2022/v4/N27_43-55.pdf, free. - Registered from the screen. - Languages: Russian, English.

37. Vorobyov, Y.L. Forest fires in Russia: State and problems / Y.L. Vorobyev, V.A. Akimov, Y.I. Sokolov; Ed. by Y.L. Vorobyev; EMERCOM of Russia. - MOSCOW: DEX-PRESS, 2004. - 312 с. ISBN 5-9517-0008-6.

38. Drozdova T.I., Sorokovikova E.V. Analysis of forest fires in the Irkutsk Region in 2010-2019 // XXI century. Technosphere safety. - 2021. - 6(1). - С. 29-41. DOI:10.21285/2500-1582-2021-1-29-41.

39. Shubkin R.G., Shirinkin P.V. Results of long-term forecasting of large-scale forest fires in the Baikal region / R.G. Shubkin, P.V. Shirinkin // Scientific and analytical journal "Siberian Fire and Rescue Bulletin", 2016, № 3. - С. 35 - 38.

Информация об авторах

А.В. Холопцев – доктор географических наук, профессор

Р.Г. Шубкин – кандидат технических наук

Information about the author

A.V. Kholoptsev - Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Geographic Sciences, professor

R.G. Shubkin - Ph.D. of Engineering Sciences

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

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

Статья поступила в редакция 30.05.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2023; принята к публикации 26.06.2023.

The article was submitted 30.05.2023, approved after reviewing 15.06.2023, accepted for publication 26.06.2023.