

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-215-225

CURRENT TRENDS OF DANGEROUS WINDS FREQUENCY VARIATION IN THE WESTERN SECTOR OF THE RUSSIAN ARCTIC IN WINTER-SPRING PERIOD

S. A. Podporin¹, A. V. Kholoptsev^{1,2}

¹ — Sevastopol branch of FSBI “N. N. Zubov’s State Oceanographic Institute”,
Sevastopol, Russian Federation

² — Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

The current trends in interannual changes in the frequency of winds that pose a danger to navigation on shipping routes of the Barents and Kara Seas in the winter-spring months are identified in the paper. Winds are considered dangerous if their average hourly speed over the water surface exceeds 15 m/s. The factual material is based on information from the ERA5 global reanalysis. The research methodology involves the use of standard methods of mathematical statistics. Trends are assessed for the time periods of 2001–2021 and 2010–2021. The study has allowed us to identify the water areas of the Barents Sea, where in December, January, April and May, significant rising trends in the frequency of dangerous winds are presented. No similar trends during the months of the winter-spring navigation period are found in the water areas of the Kara Sea in the modern period. It has been established that in December storm risks exhibit rising trends on the waterways of the Barents Sea passing north of Cape Zhelaniya. At the same time, in the area of the Kara Strait and its approaches, the tendencies of changes in the frequency of dangerous winds are more favorable. In January, the wind regime in this strait, on the contrary, has a clear tendency to worsen. The persistence of the identified trends in the region under consideration in the future is not guaranteed. Therefore, further development of its observation network remains an urgent problem of hydrometeorological provision of navigation in the Barents and Kara seas.

Keywords: Barents Sea, Kara Sea, shipping, Northern Sea Route, navigational risk, wind, frequency, trend.

For citation:

Podporin, Sergey A., and Aleksandr V. Kholoptsev. “Current trends of dangerous winds frequency variation in the western sector of the Russian Arctic in winter-spring period.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.2 (2023): 215–225. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-215-225.

УДК 656.61.052: 551.583

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВТОРЯЕМОСТИ ОПАСНЫХ ВЕТРОВ В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ В ЗИМНЕ-ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

С. А. Подпорин¹, А. В. Холопцев^{1,2}

¹ — Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н. Н. Зубова», Севастополь, Российская Федерация

² — ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,
Севастополь, Российская Федерация

Целью статьи является выявление современных тенденций межгодовых изменений повторяемости ветров, представляющих навигационные опасности для судоходства на Северном морском пути, включая маршруты на судоходных трассах Баренцева и Карского морей в зимне-весенние месяцы. В качестве опасных рассмотрены ветры, среднечасовая скорость которых над водной поверхностью превышает 15 м/с. Фактический материал основан на информации глобального реанализа ERA5. Методика исследования предполагала использование стандартных методов математической статистики. Тенденции оценивались за периоды времени 2001–2021 гг. и 2010–2021 гг. Исследование позволило выявить акватории Баренцева моря, на которых в декабре, январе, апреле и мае имели место значимые тенденции к увеличению повторяемости опасных ветров. Отмечается, что в акваториях Карского моря аналогичных тенденций в современном

периоде в месяцы зимне-весеннего навигационного периода выявлено не было. Установлено, что в декабре на водных путях Баренцева моря, проходящих севернее мыса Желания, в изменениях штормовых рисков наблюдаются возрастающие тенденции. При этом в районе пролива Карские ворота и на подходах к нему тенденции изменения повторяемости опасных ветров являются более благоприятными. В январе ветровой режим в указанном проливе, наоборот, имеет явные тенденции к ухудшению. Сохранение выявленных тенденций в рассматриваемом регионе в будущем не гарантировано. Поэтому развитие существующей в нем наблюдательной сети остается актуальной проблемой гидрометеорологического обеспечения осуществляемого здесь судоходства, так как выбор маршрута и варианта входа в акваторию Северного морского пути позволяет сократить время прохода во льдах и, соответственно, обеспечить более высокую скорость и интенсивность движения судов.

Ключевые слова: Баренцево море, Карское море, Северный морской путь, судоходство, навигационный риск, ветер, повторяемость, тенденция.

Для цитирования:

Подпорин С. А. Современные тенденции изменения повторяемости опасных ветров в западном секторе российской Арктики в зимне-весенний период / С. А. Подпорин, А. В. Холопцев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 2. — С. 215–225. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-215-225.

Введение (Introduction)

Ветровой режим в районах плавания является одним из факторов, определяющих безопасность судоходства. Планирование морских переходов и оценка навигационных рисков требуют понимания и учета тенденций его изменения, своевременное выявление которых является актуальной проблемой гидрометеорологии, океанографии и эксплуатации морского транспорта.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет для тех водных путей, на которых судоходство играет определяющую роль в развитии экономики нашей страны и обеспечении безопасности жизнедеятельности ее населения. Важное место среди них занимают водные пути Баренцева и Карского морей, по которым осуществляется северный завоз и обеспечивается вывоз значительной части добываемых в регионе природных ресурсов: нефти, природного газа, газо-конденсата, угля и металлов. Активному развитию судоходства в этих морях способствует ввод в эксплуатацию новых портов и терминалов (Новый Порт, Сабетта, Приразломное, ВостокУголь и др.), расширение современного арктического флота, прежде всего танкерного и СПГ. Суда арктического ледового класса Arc4–Arc7 работают на маршрутах Карского и Баренцева морей на круглогодичной основе [1], [2].

Несмотря на то, что значительную опасность для надводных судов могут представлять порывы ветра, в которых его мгновенная скорость достигает пиковых значений, не менее опасными являются ветровые волны. Ввиду того, что средняя высота этих волн определяется энергией, которую они получают от порождающего их ветра, существенной характеристикой опасности ветра может служить значение модуля его среднечасовой скорости. От энергии, полученной при взаимодействии с ветром, существенно зависят также характеристики дрейфа морских льдов, способного значительно изменять условия навигации, создавая опасные для судов явления (в том числе ледовое сжатие) [3]. В условиях действия опасных ветров, когда автоматическое управление движением судна затруднено из-за падения скорости хода и ухудшения управляемости, судоводители вынуждены нести постоянную вахту на руле. При этом в период отрицательных значений температуры воздуха происходит быстрое обледенение судовых конструкций [4].

Минимальные значения среднечасовой скорости ветра, представляющие опасность для судов различного типа и класса, зависят не только от их конструктивных особенностей, но и от района и месяца плавания. Очевидно, что вероятность возникновения ветра, представляющего опасность для определенного типа судна в каком-либо районе, тем выше, чем больше в нем повторяемость ветров, среднечасовая скорость которых превышает определенный пороговый уровень. Поэтому оценка средних значений этой характеристики для различных месяцев и районов представляет не только теоретический, но и немалый практический интерес.

Повторяемость событий принято оценивать отношением продолжительности периода времени, в течение которого они происходят, к общей продолжительности периода наблюдений. При оценке этого показателя за тот или иной месяц необходимо учитывать различное количество суток в разных месяцах. В подобных случаях представляет интерес рассмотрение альтернативной характеристики повторяемости — продолжительности изучаемых событий, выраженной в часах.

Происходящее в настоящее время потепление климата Арктики приводит к сокращению ледяного покрова арктических акваторий, что в целом оказывает позитивное влияние на судоходство [5], [6]. При сохранении существующих тенденций климатических изменений площадь арктических льдов будет и далее сокращаться, вследствие чего все большее влияние на безопасность навигации будет оказывать ветровое волнение [7].

В отличие от ледовых условий Карского и Баренцева морей ветровой режим различных участков их акваторий недостаточно изучен. С практической точки зрения наиболее актуальным является выявление участков, на которых возрастает повторяемость ветров, представляющих опасность для судоходства. На существование таких участков указывается, в частности, в работах [8]–[11]. Отмечается, что на свободных ото льда участках акваторий чаще возникают штормы, которые особенно опасны в период отрицательных температур воздуха из-за обледенения судов. На полностью или частично покрытых льдом акваториях усиление ветра приводит к дрейфу и сжатию ледяного покрова, что также повышает навигационные риски [3].

В зимне-весенний период судоходство в регионе, как правило, ограничено вывозом природных ископаемых из портов и терминалов Карского моря. Транспортировка груза происходит в основном в западном направлении по двум маршрутам: через пролив Карские Ворота и вокруг мыса Желания, огибая архипелаг Новая Земля с севера. Баренцево море обычно свободно ото льда за исключением северной его части, при этом в Карском море по-прежнему могут возникать достаточно сложные ледовые условия [9].

Наблюдаемые и прогнозируемые тенденции усиления ветра в изучаемом регионе дают основания предполагать рост рисков для судоходства. Вместе с тем остается не выясненным, какие участки акваторий (особенно с интенсивным судоходством) подвержены наибольшему риску в зимне-весенний сезон. Требуется дополнительных исследований также вопрос и о наличии где-либо в регионе противоположных тенденций. Из-за быстрых климатических изменений информация о ветровом режиме, полученная на основе многолетних наблюдений и представленная в специализированных морских справочниках и морских лоциях [4], [12], становится недостаточно актуальной.

Целью настоящей работы является выявление современных тенденций изменения повторяемости опасных ветров на судоходных трассах Баренцева и Карского морей в зимне-весенний период. Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач:

- 1) оценка климатической нормы повторяемости опасных ветров на участках судоходных трасс Карского и Баренцева морей за последние 30 лет;
- 2) выявление участков, где повторяемость опасных ветров имеет явные тенденции как к росту, так и к снижению.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В качестве опасных в настоящей работе рассмотрены ветры, средняя скорость которых превышает 15 м/с (по шкале Бофорта это значение соответствует силе ветра 7 баллов (крепкий ветер) и более, при этом средняя высота волн составляет не менее 4 м, максимальная — не менее 5,5 м¹). Повторяемость опасного ветра (далее — T) в выбранном месяце оценивалась количеством относящихся к нему часов, когда среднечасовая скорость ветра превышала 15 м/с. Для различных участков акваторий Баренцева и Карского морей и для месяцев с декабря по май, относящихся к современному климатическому периоду (1991–2020 гг.), определены климатические нормы (далее — $КН$) как средние значения T [13]. Затем определялись участки акваторий, на которых тенденции межгодовых изменений T ,

¹ Шкала Бофорта — сила ветра и состояние моря. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.vodkomotornik.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=15&Itemid=15 (дата обращения: 01.12.2022).

соответствующие периодам 2001–2021 гг. и 2010–2021 гг., являлись значимыми с вероятностью не ниже 0,9. В качестве характерной тенденции рассматривалось значение углового коэффициента линейного тренда (далее — УКЛТ) соответствующего временного ряда. При оценке вероятности того, что тенденция межгодовых изменений T , выявленная для некоторого участка и месяца, является значимой, предполагалось, что математической моделью этих изменений является выражение:

$$Y_k = AT_k + G_k + C, \quad (1)$$

где A — оценка по методу наименьших квадратов значения УКЛТ процесса Y_k (k — номер члена отрезка временного ряда Y , учитываемого при вычислении A ; $k = 1, 2, \dots, k$);

T_k — продолжительность интервала времени, отделяющего от начала изучаемого отрезка член временного ряда с номером k (при $k = 1$ $T_k = 0$);

G_k — выборочное значение из реализации нормального случайного процесса с нулевым средним и среднеквадратическим отклонением S , соответствующее некоторому k ;

C — постоянная составляющая (действительная константа).

Решение о значимости A с вероятностью 0,9 принималось в случае, если выполнялось условие

$$|AT_k| > 1,3S, \quad (2)$$

где $|AT_k|$ — абсолютная величина.

При оценке тенденций изменений T за периоды 2001–2021 гг. и 2010–2021 гг. значения k принимались равными 21 и 12 соответственно. Существенной особенностью Западного сектора российской Арктики является малое количество стационарных пунктов, в которых осуществляется систематический мониторинг ветрового режима. В таких условиях наиболее информативным источником данных о ветре на всех участках акватории изучаемого региона является ретроспективный анализ (реанализ) [14]. Для решения поставленной задачи использовался глобальный реанализ ERA5, поддерживаемый европейской службой Copernicus Marine Service¹. Содержащиеся в нем данные по среднечасовым значениям меридиональной и зональной составляющих скорости ветра на высоте 10 м над земной поверхностью на момент исследования были доступны для каждого часа за период 1959–2021 гг. с разрешением по координатам $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Реанализ ERA5 основан на усовершенствованных климатических моделях, разработанных для условий ограниченности данных физических измерений. Подробное описание ERA5, а также его отличия от предыдущей версии ERA-Interim представлены в [15]. Полученные результаты по всем точкам координатной сетки для удобства восприятия наносились на контурную карту Карского и Баренцева морей. Там же схематично нанесены маршруты основных судоходных трасс.

Результаты исследования и их анализ (Research Results And Analysis)

В процессе решения *первой задачи* для месяцев с декабря по май была выполнена оценка значений КН повторяемости опасных ветров в регионе Карского и Баренцева морей за период 1991–2020 гг. Полученные результаты приведены на рис. 1. Заглавными буквами на картах обозначены основные узловые точки судоходных маршрутов: М — подходы к порту Мурманск; К — пролив Карские Ворота; Ж — мыс Желания; О — вход в Обскую губу; Е — вход в Енисейский залив; В — подходы к проливу Вилькицкого.

Как видно из рис. 1, районы с повышенной повторяемостью опасных ветров ($КН > 48$ ч) расположены в основном в Баренцевом море. Такие районы занимают центральную и западную части акватории моря. Наибольшая их площадь выявлена в декабре и январе (см. рис. 1, а, б). Районы Баренцева моря с $КН > 72$ ч в декабре и январе находятся к северу от мыса Нордкап и Кольского полуострова. Эти данные достаточно хорошо согласуются с описанием ветрового режима Баренцева моря, указанного в [4], [12].

¹ База данных реанализа ERA5 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=form> (дата обращения: 01.12.2022).

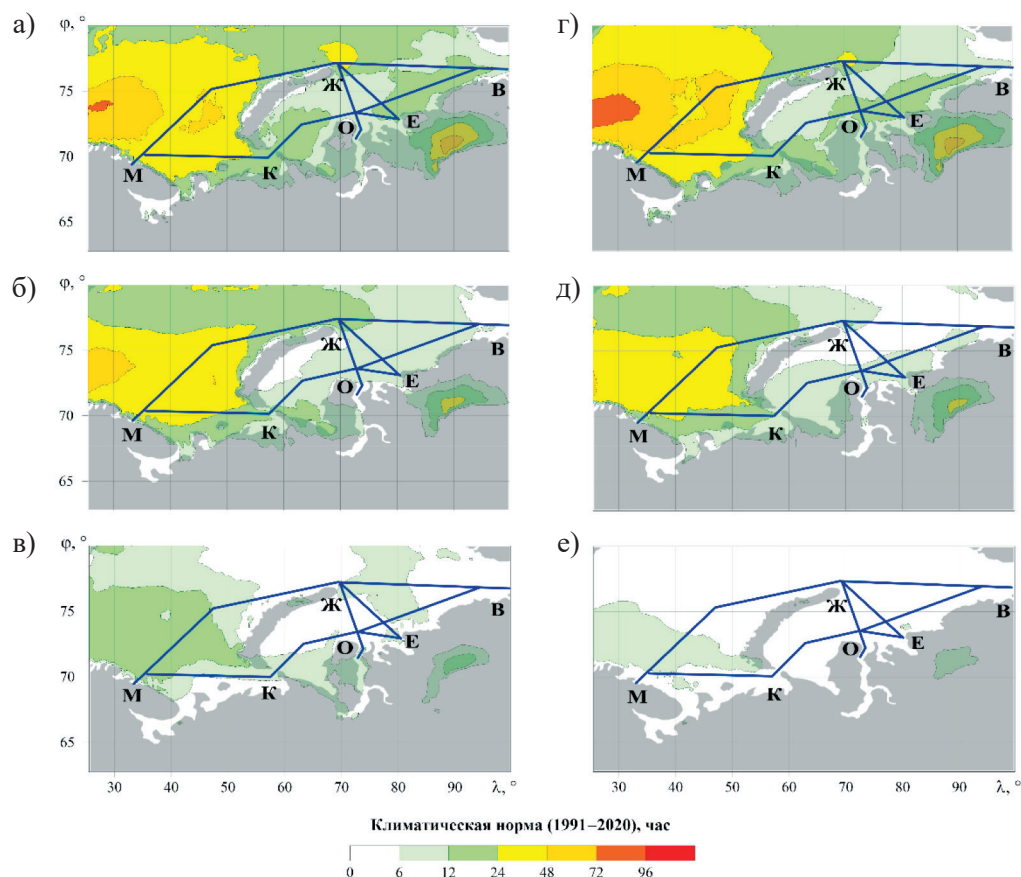


Рис. 1. Климатическая норма повторяемости опасных ветров за период 1991–2020 гг. по месяцам:

a — декабрь; *б* — январь; *в* — февраль; *г* — март; *д* — апрель; *е* — май

Ветровая обстановка в Карском море в течение последних 30 лет была достаточно спокойной, а опасные ветры в зимне-весенний сезон наблюдались сравнительно редко. Лишь в декабре и январе значения КН для участков акватории Карского моря находились в пределах 12–24 ч. Такие участки расположены в проливе Карские ворота, вдоль материкового побережья Карского моря, в том числе на прибрежной трассе Северного морского пути, а также в северной части его акватории. С декабря по май значения КН повторяемости опасных ветров на акваториях Баренцева и Карского морей в среднем снижаются, что в полной мере соответствует данным [4].

При решении *второй задачи* была выполнена оценка тенденций изменения повторяемости опасных ветров в изучаемом регионе, являющихся значимыми с вероятностью не ниже 0,9. На рис. 2 представлены участки акватории Баренцева и Карского морей, на которых выявлены значимые тенденции изменения температуры в зимне-весенний период 2001–2021 гг. Из этого рисунка видно, что в Баренцевом море с декабря по февраль существуют районы, где с вероятностью не ниже 0,9 в 2001–2021 гг. преобладали значимые тенденции к увеличению повторяемости опасных ветров.

В декабре и феврале такие районы расположены к западу и северу от архипелага Новая Земля. В январе они находятся у западной границы моря (к северу от мыса Нордкап). Из сравнения рис. 1 и 2 видно, что для декабря и января увеличение температуры происходило в тех же районах моря, где КН являлись повышенными (штормовые риски максимальные и наблюдается их повышение).

В Карском море значимые тенденции к увеличению температуры в тот же период выявлены лишь для января и февраля на прибрежных участках его акватории, расположенных к востоку от п. Диксон. Из сравнения рис. 1 и 2 видно, что в январе увеличение температуры в Карском море происходило в тех же районах, где КН превышали средний уровень (штормовые риски в них повышаются). Тенденции к снижению температуры выявлены в Баренцевом море у северного побережья Кольского полуострова

в декабре, в северо-восточной части моря в январе (в его юго-восточной части, включая пролив Карские Ворота, в марте), а также в центральной части моря в апреле.

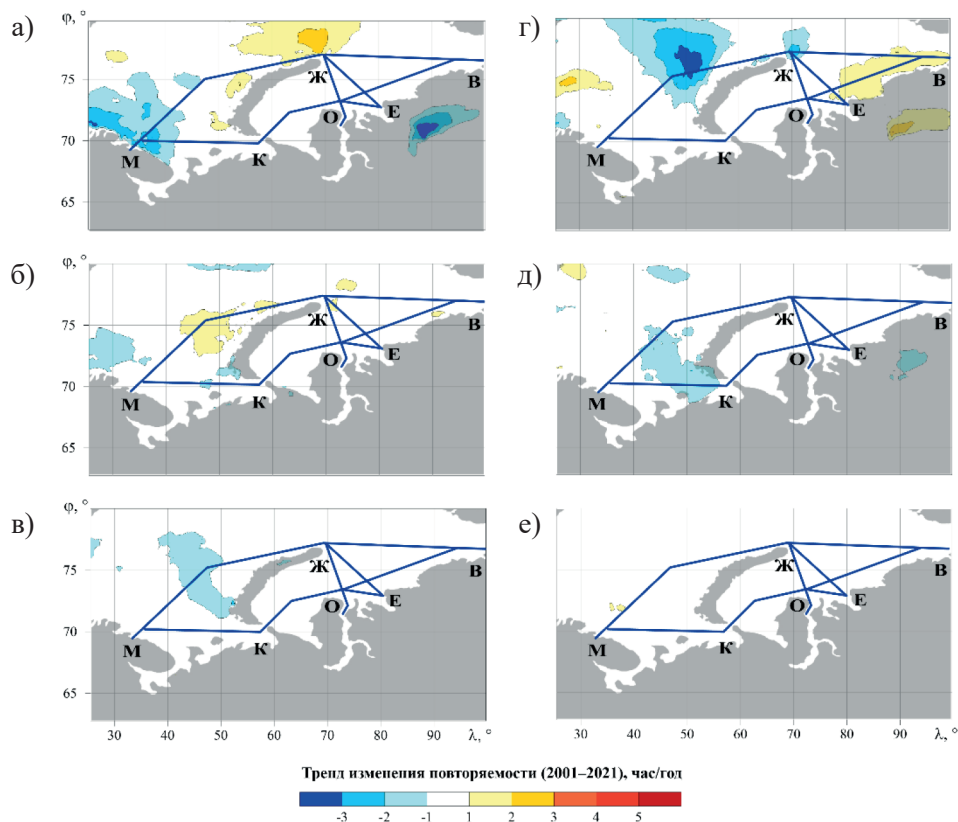


Рис. 2. Тенденции изменения повторяемости опасных ветров за период 2001–2021 гг. по месяцам:
а — декабрь; б — январь; в — февраль; г — март; д — апрель; е — май

Достаточно резкие тенденции межгодовых изменений температуры в Баренцевом и Карском морях выявлены в течение последних 12 лет. На рис. 3 приведены результаты за период 2010–2021 гг. Из рис. 3, а видно, что в декабре ветровая обстановка наблюдалось существенное усложнение в северо-восточной части Баренцева моря (к западу и северу от архипелага Новая Земля). При этом в центральной части моря к северу-востоку от Кольского полуострова тренд на уменьшение температуры, выявленный в течение 2001–2021 г., сохранился.

В Карском море в декабре в 2010–2021 гг. в целом наблюдалось улучшение ветровой обстановки (особенно явно в восточной части моря). Наличие значимых убывающих трендов T зафиксировано в большинстве прибрежных районов моря (см. рис. 1, а). На рис. 3, б видно, что в январе 2010–2021 гг. значительное увеличение температуры происходило во многих районах Баренцева моря, в частности в его юго-восточной части, в проливе Карские ворота, к северу от мыса Нордкап, а также вдоль северного побережья Кольского полуострова. В районе мыса Желания, в отличие от декабря, преобладали существенные тенденции к уменьшению температуры. На акватории Карского моря значимая тенденция к увеличению температуры наблюдалась в январе во всех его прибрежных районах, а также в западной части моря (Новоземельский ледовый массив). В феврале суммарная площадь районов рассматриваемых морей, где происходило увеличение температуры, значительно меньше, чем в предыдущие месяцы. При этом аналогичный показатель для районов, где температура уменьшалась, существенно увеличился. Поэтому в целом по региону можно отметить снижение штормовых рисков в этом месяце. В марте 2010–2021 гг. увеличение температуры было зафиксировано в районах Баренцева моря, расположенных у северного побережья Кольского полуострова, а также к западу от архипелага Новая Земля. В остальных районах Баренцева и Карского морей значимых температурных изменений либо не было выявлено, либо имела место незначительная тенденция к ослаблению ветра.

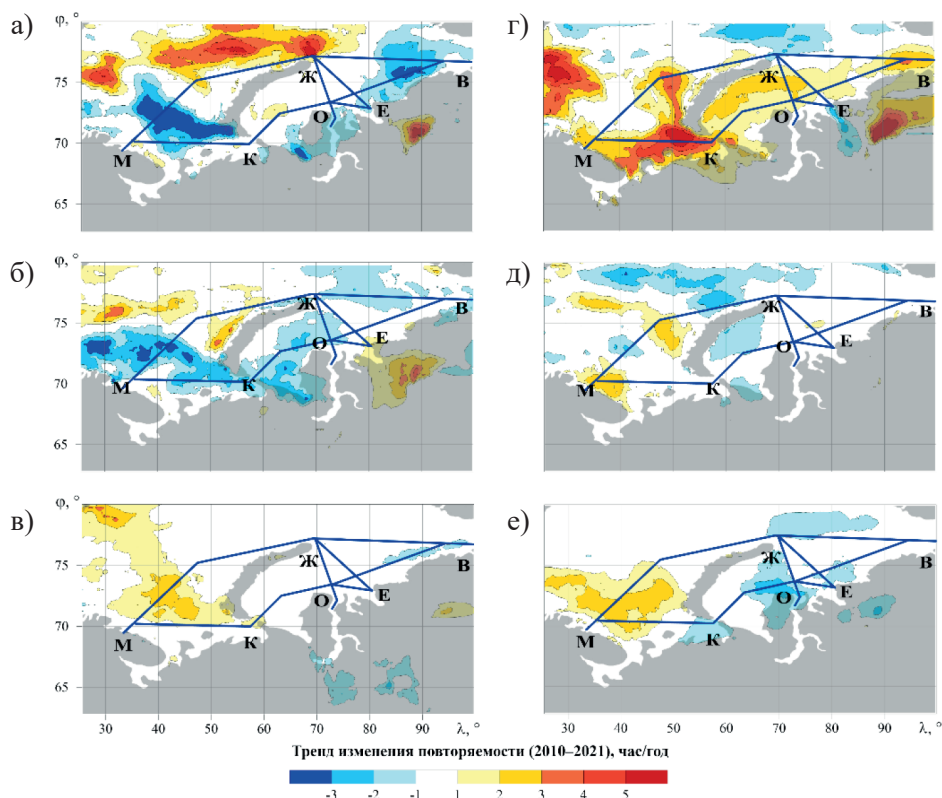


Рис. 3. Тенденции изменения повторяемости опасных ветров за период 2010–2021 гг. по месяцам:
а — декабрь; б — январь; в — февраль; г — март; д — апрель; е — май

Значимые тенденции к увеличению температуры в Баренцевом море наблюдались в апреле и мае. В эти месяцы средние температуры воздуха переходят в диапазон положительных значений, следовательно, существенно осложнять судоходство из-за обледенения судов участвовавшие ветры не могут. В Карском море тенденций к увеличению температуры не было, а в мае даже был выявлен тренд на снижение значений этого показателя. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в первой четверти XXI в. тенденции изменений температуры во многих районах Баренцева и Карского морей для месяцев с декабря по май существенно изменились, при этом наиболее значительные с точки зрения навигационных рисков изменения выявлены в Баренцевом море в декабре и январе.

Исходя из полученных результатов, можно оценить безопасность судоходных маршрутов в регионе. Из рис. 1, а, 2, а и 3, а видно, что в декабре на маршруте, проходящем к северу и западу от архипелага Новая Земля вокруг мыса Желания (маршрут М–Ж на карте), штормовые риски в современном климатическом периоде максимальны, при этом в первой четверти XXI в. (особенно в 2010–2021 гг.) их рост продолжился. Из-за тенденции к увеличению температуры на участке, граничащем на севере с Карским морем, повышаются также риски возникновения ледового сжатия и выноса паковых льдов на судоходные трассы. Для судоходства этот водный путь становится более опасным. Следует отметить, что размеры участков акватории Баренцева моря, на которых выявлены возрастающие тренды T , выходят за границы области влияния Новоземельской боры (обычно до 30 км от берегов островов архипелага) [4] и, следовательно, с ней не связаны. Средние температуры воздуха в декабре в этом районе стабильно держатся ниже нуля, поэтому любое попадание судна в область действия крепкого (либо более сильного по шкале Бофорта) ветра приведет не только к усилению ветрового волнения, но и к обледенению. Из рис. 1, а, 2, а и 3, а видно, что в декабре в центральной части Баренцева моря и на подходах к проливу Карские ворота ветровой режим менее опасен, а изменения температуры имеют убывающий характер. В этой связи переход судов через данный пролив (маршрут М–К) в декабре является предпочтительным. В пользу этого маршрута свидетельствует также

благоприятная ледовая обстановка в юго-западной части Карского моря, наблюдающаяся в последнее десятилетие в декабре [16].

В январе в районах юго-восточной части Баренцева моря и на подходах к проливу Карские Ворота в межгодовых изменениях температуры выявлены значимые возрастающие тренды. Из этого следует, что ветровая обстановка на маршруте М–К в *современном периоде* усложняется. Ухудшению навигационной обстановки способствует также происходящее в этом месяце интенсивное ледообразование в проливе. При этом в районах, через которые проходит высокоширотный маршрут М–Ж, значимых тенденций к увеличению температуры не выявлено, а навигация по нему, очевидно, связана с меньшими рисками.

Ледяной покров Карского моря к началу января уже вполне сформирован. Во многих его районах, через которые проходят судоходные трассы, присутствуют сплоченные однолетние либо паковые дрейфующие льды. Увеличение температуры в этих районах повышает риски ледового сжатия, а также иных опасных ледовых явлений. Февральские тенденции на трассах как Баренцева, так и Карского морей в целом не дают оснований сделать вывод об увеличении рисков для судоходства в современном периоде (в том числе в 2010–2021 гг.), так как значения температуры на большей части маршрутов существенно снижаются. В весенние месяцы значимых тенденций к увеличению температуры в Карском море не выявлено, в связи с чем выбор маршрутов в нем будет определяться прежде всего актуальной ледовой обстановкой. На акватории свободного ото льда Баренцева моря риски, связанные с возникновением опасных ветров, в весеннем сезоне возрастают. Динамика изменения ветровых рисков (рост «↑»; снижение «↓»; отсутствие значимых изменений «—») на судоходных трассах региона сведена в таблицу.

**Динамика изменения ветровых рисков
на судоходных трассах Баренцева и Карского морей**

Маршрут	Зимний сезон			Весенний сезон		
	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май
Баренцево море						
М – Ж	↑	↑	↓	—	↑	↑↑
М – К	↓↓	↑↑↑	↓↓	↑	↑	↑
Карское море						
Ж – О/Е	—	↑	↓	—	—	↓
К – О/Е	—	↑↑	↓↓	↓	—	↓
Ж – В	↓	↑	↓	—	—	—
О/Е – В	↓	↑	—	—	↓	↓

Примечание. Количество стрелок характеризует степень увеличения / ослабления рисков.

Обсуждение полученных результатов (Discussion of the Results Obtained)

Полученные результаты свидетельствуют о том, что сокращение ледяного покрова и быстрое потепление климата Арктики существенно изменяет характеристики атмосферной циркуляции и ветровой режим ее морей. Повторяемость опасных ветров в незамерзающем Баренцевом море в большинстве месяцев зимне-весеннего периода возрастает. Над акваториями Карского моря такая тенденция на сегодняшний день не проявляется.

Полученные в настоящей работе оценки в целом соответствуют существующим представлениям об изменениях ветрового режима Западного сектора российской Арктики, изложенным в [8], [11]. Разница между выявленными тенденциями на рис. 2 и 3 может быть объяснена тем, что наиболее заметно изменения повторяемости опасных ветров начали проявляться именно в последнем десятилетии.

В настоящем исследовании получены следующие результаты:

1. Выявлены участки акватории Баренцева моря, на которых в *современном периоде* (особенно в 2010–2021 гг.) значения климатических норм повторяемости опасных ветров для зимних месяцев близки к максимальным уровням, а в их изменениях проявляются значимые тенденции к дальнейшему росту. В Карском море таких участков не выявлено.

2. Выявленные значимые тенденции современных изменений ветрового режима повышают навигационные риски при следовании судов по маршруту вокруг мыса Желания в декабре. При этом на водном пути через пролив Карские ворота ветровые риски снижаются. В январе ситуация изменяется на противоположную.

3. Существуют участки акватории изучаемого региона, на которых тенденции изменений повторяемости опасных ветров, проявившиеся в 2010–2021 гг., совпали с их тенденциями в 2001–2021 гг. Последнее позволяет предположить наличие устойчивости этих тенденций, что дает возможность учитывать их в задачах прогнозирования штормовых рисков на водных путях региона.

Заключение (Conclusion)

Наличие значимой тенденции к увеличению повторяемости опасных ветров над свободными ото льда участками акваторий Баренцева моря подтверждается. Наиболее заметно эта тенденция проявилась в последнее десятилетие в декабре и январе, а также апреле и мае. В Карском море в период устойчивого ледяного покрова во второй половине зимы и в течение всей весны рост повторяемости опасных ветров не выявлен.

Риски при переходе судов по маршруту вокруг мыса Желания в декабре повышаются из-за тенденции к ухудшению ветрового режима в восточной и северной частях Баренцева моря. Помимо штормовых рисков возрастает опасность обледенения судов. Переход через пролив Карские Ворота в декабре является более благоприятным. В январе ситуация меняется на противоположную: переход вокруг мыса Желания становится более безопасным из-за ухудшающейся ветровой и ледовой обстановки в проливе.

Сохранение устойчивости выявленных тенденций межгодовых изменений ветрового режима в рассматриваемом регионе в будущем не гарантировано, поэтому развитие существующей в нем наблюдательной сети остается актуальной проблемой гидрометеорологического обеспечения осуществляемого здесь судоходства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тезиков А. Л. Исследование факторов, влияющих на продолжительность навигации в акватории Северного морского пути / А. Л. Тезиков, Е. О. Ольховик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 734–744. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-734-744.
2. Ольховик Е. О. Исследование плотности транспортных потоков 2018 года в акватории Северного морского пути / Е. О. Ольховик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 5. — С. 975–982. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-975-982.
3. Бузин И. В. Сжатия ледяного покрова в Печорском море: природное явление и его влияние на морские операции / И. В. Бузин [и др.] // Арктика: экология и экономика. — 2022. — Т. 12. — № 4. — С. 500–512. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-4-500-512.
4. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР / Под ред. Г. В. Гирдюка, С. Л. Дженюка, Г. Г. Зыкова, Ф. С. Терзиева. — Л.: Гидрометеоиздат, 1990. — Т. 1: Баренцево море. — Вып. 1: Гидрометеорологические условия. — 280 с.
5. Chylek P. Annual Mean Arctic Amplification 1970–2020: Observed and Simulated by CMIP6 Climate Models / P. Chylek, C. Folland, J. D. Klett, M. Wang, N. Hengartner, G. Lesins, M. K. Dubey // Geophysical Research Letters. — 2022. — Vol. 49. — Is. 13. — Pp. e2022GL099371. DOI: 10.1029/2022GL099371.
6. Yadav J. Dramatic decline of Arctic sea ice linked to global warming / J. Yadav, A. Kumar, R. Mohan // Natural Hazards. — 2020. — Vol. 103. — Pp. 2617–2621. DOI: 10.1007/s11069-020-04064-y.
7. Aksenov Y. On the Future Navigability of Arctic Sea Routes: High-resolution Projections of the Arctic Ocean and Sea Ice / Y. Aksenov, E. E. Popova, A. Yool, A. G. Nurser, T. D. Williams, L. Bertino, J. Bergh // Marine Policy. — 2017. — Vol. 75. — Pp. 300–317. DOI: 10.1016/j.marpol.2015.12.027.
8. Суркова Г. В. Изменения средних и экстремальных скоростей ветра в Арктике в конце XXI века / Г. В. Суркова, А. А. Крылов // Арктика и Антарктика. — 2018. — № 3. — С. 26–36. DOI: 10.7256/2453-8922.2018.3.27395.

9. Рюмина Т. Н. Специализированное гидрометеорологическое обеспечение Северного Морского пути / Т. Н. Рюмина, И. О. Евдокимова // Глобальные проблемы Арктики и Антарктики: сборник науч. материалов Всерос. конф. с междунар. участием, посвящен. 90-летию со дня рождения акад. Н. П. Лавёрова. — Архангельск: Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н. П. Лаверова РАН, 2020. — С. 820–824.
10. Sharmar V. Evaluation of interdecadal trends in sea ice, surface winds and ocean waves in the Arctic in 1980–2019 / V. Sharmar, M. Markina // Russian Journal of Earth Sciences. — 2021. — Vol. 21. — Pp. ES2002. DOI: 10.2205/2020ES000741.
11. Серых И. В. Изменения климата западной части Российской Арктики в 1980–2021 гг. Ч. 1 : Температура воздуха, осадки, ветер / И. В. Серых, А. В. Толстиков // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2022. — Т. 68. — № 3. — С. 258–277. DOI:10.30758/0555-2648-2022-68-3-258-277.
12. Pub. 183 (Enroute). Sailing Directions. North Coast of Russia. — Springfield, Virginia: National Geospatial-Intelligence Agency, 2021. — 188 p.
13. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. — Женева: Всемирная Метеорологическая организация, 2017. — 21 с.
14. Пустовалов К. Н. Изменчивость ресурсов солнечной и ветровой энергии в российском секторе Арктики / К. Н. Пустовалов, Е. В. Харюткина, В. А. Корольков, П. М. Нагорский // Оптика атмосферы и океана. — 2019. — Т. 32. — № 11. — С. 908–914. DOI: 10.15372/AOO20191105.
15. Hoffmann L. From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations / L. Hoffmann, G. Günther, D. Li, O. Stein, X. Wu, S. Griessbach, Y. Heng, P. Konopka, R. Müller, B. Vogel, J. S. Wright // Atmospheric Chemistry and Physics. — 2019. — Vol. 19. — Is. 5. — Pp. 3097–3124. DOI: 10.5194/acp-19-3097-2019.
16. Kholoptsev A. V. Current trends in the ice thickness and concentration on the waterways of the arctic / A. V. Kholoptsev, S. A. Podporin, V. V. Karetnikov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing, 2021. — Vol. 867. — Is. 1. — Pp. 012013. DOI: 10.1088/1755-1315/867/1/012013.

REFERENCES

1. Tezikov, Aleksandr L., and Evgeniy O. Ol'khovik. "Studying the factors affecting the duration of navigation in the Northern Sea Route water area." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.4 (2020): 734–744. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-734-744.
2. Ol'khovik, Evgeniy O. "Research of the density of transports flows on the Northern Sea Route in 2018 year." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.5 (2018): 975–982. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-975-982.
3. Buzin, Igor Vladimirovich, Sergey Vladimirovich Klyachkin, Sergey Viktorovich Frolov, Konstantin Grigorievich Smirnov, Svetlana Vitalievna Mikhaltceva, Yulia Vadimovna Sokolova, Yuri Petrovich Gudoshnikov, Gennady Nikolaevich Voinov, and Mikhail Nikolaevich Grigoryev. "Compression of the ice cover in the Pechora Sea: a natural phenomenon and its impact on marine operations." *Arctic: Ecology and Economy* 12.4 (2022): 500–512. DOI: 10.25283/2223-4594-2022-4-500-512.
4. Girdyuk, G. V., S. L. Dzhenyuk, G. G. Zyкова, and F. S. Terziyeva, eds. *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morey SSSR. Tom 1. Barentsevo more. Vypusk 1. Hidrometeorologicheskiye usloviya*. L.: Gidrometeoizdat, 1990.
5. Chylek, Petr, Chris Folland, James D. Klett, Muyin Wang, Nick Hengartner, Glen Lesins, and Manvendra K. Dubey. "Annual Mean Arctic Amplification 1970–2020: Observed and Simulated by CMIP6 Climate Models." *Geophysical Research Letters* 49.13 (2022): e2022GL099371. DOI: 10.1029/2022GL099371.
6. Yadav, Juhi, Avinash Kumar, and Rahul Mohan. "Dramatic decline of Arctic sea ice linked to global warming." *Natural Hazards* 103 (2020): 2617–2621. DOI: 10.1007/s11069-020-04064-y.
7. Aksenov, Yevgeny, E. E. Popova, A. Yool, A. J. G. Nurser, Timothy D. Williams, Laurent Bertino, and Jon Berg. "On the Future Navigability of Arctic Sea Routes: High-resolution Projections of the Arctic Ocean and Sea Ice." *Marine Policy* 75 (2017): 300–317. DOI: 10.1016/j.marpol.2015.12.027.
8. Surkova, Galina V., and Aleksei A. Krylov. "Changes in average and extreme wind speeds in the Arctic during the late XXI century." *Arctic and Antarctica* 3 (2018): 26–36. DOI: 10.7256/2453-8922.2018.3.27395.
9. Ryumina, T. N., and I. O. Evdokimova. "Spetsializirovannoe gidrometeorologicheskoe obespechenie Severnogo Morskogo puti." *Global'nye problemy Arktiki i Antarktiki: sbornik nauch. materialov Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashchen. 90-letiyu so dnya rozhdeniya akad. Nikolaya Pavlovicha Laverova*.

Arkhangel'sk: Federal'nyi issledovatel'skii tsentr kompleksnogo izucheniya Arktiki imeni akademika N. P. Laverova Rossiiskoi akademii nauk, 2020. 820–824.

10. Sharmar, Vitali, and Margarita Markina. "Evaluation of interdecadal trends in sea ice, surface winds and ocean waves in the Arctic in 1980–2019." *Russian Journal of Earth Sciences* 21 (2021): ES2002. DOI: 10.2205/2020ES000741.

11. Serykh, Ilya V., and Alexei V. Tolstikov. "Climate change in the western part of the Russian arctic in 1980–2021. Part 1. Air temperature, precipitation, wind." *Arctic and Antarctic Research* 68.3 (2022): 258–277. DOI: 10.30758/0555-2648-2022-68-3-258-277.

12. *Pub. 183 (Enroute). Sailing Directions. North Coast of Russia*. Springfield, Virginia: National Geospatial-Intelligence Agency, 2021.

13. *Rukovodyashchiye ukazaniya VMO po raschetu klimaticheskikh norm*. Geneva: World Meteorological Organization (WMO), 2017.

14. Pustovalov, K.N., E. V. Kharyutkina, V. A. Korolkov, and P. M. Nagorskiy. "Variability in resources of solar and wind energy in the Russian sector of Arctic." *Atmospheric and Oceanic Optics* 32.11 (2019): 908–914. DOI: 10.15372/AOO20191105.

15. Hoffmann, Lars, Gebhard Günther, Dan Li, Olaf Stein, Xue Wu, Sabine Griessbach, Yi Heng, Paul Konopka, Rolf Müller, Bärbel Vogel, and Jonathon S. Wright. "From ERA-Interim to ERA5: the considerable impact of ECMWF's next-generation reanalysis on Lagrangian transport simulations." *Atmospheric Chemistry and Physics* 19.5 (2019): 3097–3124. DOI: 10.5194/acp-19-3097-2019.

16. Kholoptsev, A. V., S. A. Podporin, and V. V. Karetnikov. "Current trends in the ice thickness and concentration on the waterways of the arctic." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 867. No. 1. IOP Publishing, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/867/1/012013.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Подпорин Сергей Анатольевич —
кандидат технических наук, доцент
Севастопольское отделение ФГБУ
«Государственный океанографический институт
имени Н. Н. Зубова»
299011, Российская Федерация,
г. Севастополь, ул. Советская, 61
e-mail: s.a.podporin@gmail.com

Холопцев Александр Вадимович —
доктор географических наук, профессор
Севастопольское отделение ФГБУ
«Государственный океанографический институт
имени Н. Н. Зубова»
299011, Российская Федерация,
г. Севастополь, ул. Советская, 61
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный
университет»
299053, Российская Федерация,
г. Севастополь, ул. Университетская, 33
e-mail: kholoptsev@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Podporin, Sergey A. —
PhD, associate professor
Sevastopol branch of FSBI "N. N. Zubov's State
Oceanographic Institute"
61 Sovetskaya Str.,
Sevastopol, 299011,
Russian Federation
e-mail: s.a.podporin@gmail.com

Kholoptsev, Aleksandr V. —
Dr. of Geographical Sciences, professor
Sevastopol branch of FSBI "N. N. Zubov's State
Oceanographic Institute"
61 Sovetskaya Str.,
Sevastopol, 299011,
Russian Federation
Sevastopol State University
33 Universitetskaya Str.,
Sevastopol, 299053,
Russian Federation
e-mail: kholoptsev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 1 марта 2023 г.
Received: March 1, 2023.