

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-305-314

AREAS OF THE NORTHERN SEA ROUTE WITH THE HIGHEST FREQUENCY OF THE NORTHERN WINDS IN THE XXI CENTURY

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

¹ — Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

² — Sevastopol branch of FSBI “N.N. Zubov’s State Oceanographic Institute”, Sevastopol, Russian Federation

The areas of the coastal route of the Northern Sea Route which were substantially subjected to the winds blowing from the northern directions during the months of the summer navigation season relating to the period from 2000 to 2018 are identified in the paper. Interannual changes of the total duration of such winds have increasing trends. It is pointed out that such winds can seriously deteriorate the navigation conditions in the Arctic seas by intensifying the swell and transporting the floating ice onto the navigable coastal seaways thus compromising the shipping safety. Phenomena of the Arctic air outbreaks are mentioned generally to be responsible for the most severe southward winds in the area. To analyze the hydrometeorological information on the Northern Sea Route, the Arctic System Reanalysis data are used as a source material. Its applicability and adequacy have been preliminarily tested by means of comparison with the real observation results obtained from the weather stations in Amderma, Igarka, and Cape Schmidt using the Delaunay triangulation. The meteorological conditions along the Northern Sea Route are studied during the most favorable months of the navigation season: August, September, and October. For each day of these months and all points on the Route separated by the spacing of 30 km from each other the absolute values and the direction of the average daily wind velocity vector, as well as the tendency of their changes, have been estimated. It has been established that for the considered period the highest average daily values of the wind speed (22.9 m/s) took place on August 24, 2016 at the western approach to the Long Strait. It has been revealed that, in general, along the Northern Sea Route the northern winds with an average daily speed exceeding 15 m/s, representing the greatest danger to the marine navigation and the population of the corresponding coastal areas, most often occurred in the particular areas of the Barents, Kara, and Chukchi Seas (including the Long Strait). The areas mentioned above have been shown to also demonstrate increasing trends in changes of the wind average duration. In theory due to the impact of the global warming process, such trends will continue in the future.

Keywords: northern wind, total duration, Northern Sea Route, navigation season, tendency.

For citation:

Kholoptsev, Aleksandr V., and Sergey A. Podporin. “Areas of the Northern Sea Route with the highest frequency of the northern winds in the XXI century.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 11.2 (2019): 305–314. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-305-314.

УДК 911: 656.61.052

УЧАСТКИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ С НАИБОЛЬШЕЙ ПОВТОРЯЕМОСТЬЮ ВЕТРОВ СЕВЕРНЫХ РУМБОВ В XXI ВЕКЕ

А. В. Холопцев^{1,2}, С. А. Подпорин¹

¹ — ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Российская Федерация

² — Севастопольское отделение ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова», Севастополь, Российская Федерация

Выявлены участки прибрежного маршрута трассы Северного морского пути, на которых в 2000–2018 гг. наиболее часто возникали ветры северных румбов, а также участки, в межгодовых изменениях суммарных продолжительностей которых в определенные месяцы навигации присутствовали возрастающие тренды. Отмечается, что такие ветры способны существенно осложнять условия навигации в арктических морях, усиливать волнение, вызывать вынос дрейфующих льдов на прибрежные маршруты движения судов. Указана существенная роль вторжений арктического воздуха при их формировании.

При анализе гидрометеорологических данных о среднесуточных значениях компонентов скорости ветра в качестве фактического материала использованы результаты реанализа ASR и выполнена проверка его адекватности путем сравнения с данными фактических наблюдений на метеостанциях Амдерма, Игарка и мыс Шмидта с использованием метода триангуляции Делоне. Изучена метеорологическая обстановка, имевшая место в наиболее благоприятные для морской навигации в Арктике месяцы (август, сентябрь и октябрь). Для каждого суток этих месяцев и всех пунктов Северного морского пути, отстоящих по дуготе друг от друга на 30 км, оценены значения модуля и направления вектора среднесуточной скорости ветра и тенденции их изменения. Установлено, что в течение рассматриваемого периода наибольшие среднесуточные значения модуля скорости ветра (22,9 м/с) пришлись на 24.08.2016 г. на участок, расположенный на подходе к проливу Лонга с запада. Выявлено, что в целом по трассе Северного морского пути ветры северных румбов со среднесуточной скоростью более 15 м/с, представляющие наибольшую опасность для судоходства и населения прибрежных территорий, чаще всего возникали на участках, проходящих через Баренцево, Карское и Чукотское моря (включая пролив Лонга). Показано, что в изменениях их средней продолжительности на указанных участках присутствуют возрастающие тренды. Ожидается, что из-за влияния процесса потепления глобального климата, такие тенденции сохранятся в будущем.

Ключевые слова: ветры северных румбов, суммарная продолжительность, Северный морской путь, навигационный период, тенденция.

Для цитирования:

Холопцев А. В. Участки Северного морского пути с наибольшей повторяемостью ветров северных румбов в XXI веке / А. В. Холопцев, С. А. Подпорин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 305–314. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-305-314.

Введение (Introduction)

Ветры северных румбов (ВСР), возникающие в арктических морях, приводят к похолоданиям и нагону воды на их побережьях. Кроме того, они могут существенно осложнять условия навигации в них и, в частности, усиливать волнение, вызывая вынос дрейфующих льдов на прибрежные маршруты движения судов. Поэтому выявление участков таких маршрутов, где ВСР в настоящее время возникают наиболее часто, а их повторяемость увеличивается, является актуальной проблемой не только гидрометеорологии, но и безопасности судоходства в арктических морях. Наибольший практический интерес решение данной проблемы представляет для водных путей с активным судоходством, одним из которых можно считать прибрежный маршрут (ПМ) Северного Морского пути¹ (СМП), схематично показанный на рис. 1.



Рис. 1. Примерный путь прибрежного маршрута СМП

ПМ СМП в пределах Арктики, как видно из рис. 1, проходит по Баренцеву и Карскому морям, морю Лаптевых, Восточно-Сибирскому и Чукотскому морю и связывает порт Мурманск с другими портами российского Заполярья и государств Тихоокеанского региона. Вследствие это-

¹ Pub. 183 Sailing Directions (Enroute). North Coast of Russia. Twelfth Edition, 2017 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://msi.nga.mil/MSISiteContent/StaticFiles/NAV_PUBS/SD/Pub183/Pub183bk.pdf (дата обращения: 01.12.2018).

го именно по данному маршруту ежегодно осуществляется Северный завоз, который большей частью обеспечивает население северных территорий России продуктами питания и товарами, а их экономику — топливом, материалами и оборудованием. В настоящее время существенную долю трафика на маршруте составляет также транспортировка полезных ископаемых (нефть, газ, уголь, металлы) с северных месторождений. Кроме того, из-за потепления климата Арктики и активизации пиратства в южных морях, ПМ СМП все чаще рассматривается судоходными компаниями как альтернатива транзитным переходам через Суэцкий канал. Однако этот интерес проявляется пока достаточно осторожно в силу сложных гидрометеорологических условий, но динамика роста числа таких переходов положительная¹.

На большинстве участков ПМ СМП следующие по нему суда удаляются от побережий на единицы — десятки миль, что существенно облегчает контроль их местоположения по визуальным и радиолокационным ориентирам, а также радиомаякам. По той же причине на многих его участках невозможно развитие высокой волны даже при сильном ветре южных румбов, которые возникают в передних секторах проходящих над ними циклонов [1].

Главным фактором, ограничивающим проходимость тех или иных участков ПМ СМП, является существующая на них ледовая обстановка, которая может значительно осложнять навигацию в проливах Карские ворота, Вилькицкого, Санникова (или Дмитрия Лаптева) и Лонга². Она, как правило, осложняется при возникновении ВСР, которые всегда возникают в тыловых секторах циклонов. Наибольшей силой и продолжительностью характеризуются ВСР, возникающие при таких блокирующих процессах, как вторжение Арктического воздуха [2]–[5].

Одной из основных характеристик повторяемости ВСР на том или ином участке таких маршрутов является суммарная продолжительность (СП) их действия в том или ином месяце навигационного периода. Суммарная продолжительность определяется как количество суток этого месяца, в течение которых направление вектора среднесуточной скорости ветра относится к сектору от северо-запада до северо-востока (от 315° до 45°), а его модуль превосходит заданный уровень. Чем больше модуль среднесуточной скорости ВСР, тем больше возникающие при этом навигационные, экологические и иные риски. Возникновение ВСР на трассе СМП не только увеличивает навигационные риски, но может также наносить существенный ущерб населению и ландшафтам прибрежных территорий, порождая их временное затопление вследствие нагонов [6]. Ветровые нагоны наиболее опасны на участках побережий с низкими берегами, расположенных в районах трансгрессии, которая обладает наибольшей интенсивностью на всем восточном побережье Енисейской губы и на участке побережья Карского моря между портом Диксон и заливом Толля [7].

Несмотря на то, что ПМ СМП функционирует уже более 85 лет, количество метеостанций России, действующих ныне на прилегающих к нему побережьях арктических морей, невелико³. На многих его участках систематических метеорологических наблюдений не проводится. Для таких участков информацию о датах, в которые над ними существовали ВСР, можно получить лишь с помощью методов математического моделирования [8]. При этом, как исходные данные, могут быть использованы результаты тех или иных реанализов поля атмосферного давления, одним из которых является реанализ ASR (Arctic System Reanalysis)⁴. Тем не менее частота возникновения ВСР той или иной силы на различных участках ПМ СМП, а также тенденции изменения их СП в XXI в. ранее не оценивались. Последнее существенно осложняет их учет при планировании социально-экономического развития соответствующих территорий, а также управлении работой арктического флота.

¹ Количество транзитных рейсов по Севморпути выросло в 1,5 раза в 2017 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mintrans.ru/press-center/branch-news/87> (дата обращения: 01.12.2018).

² Правила плавания в акватории Северного морского пути. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.nsga.ru/ru/ofitsialnaya_informatsiya/pravila_plavaniya/fl20.html (дата обращения: 01.12.2018).

³ Источники метеорологических данных на территорию РФ по станциям / М. Дубинин, И. Поспелов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gis-lab.info/qa/meteo-station-sources.html> (дата обращения: 01.12.2018).

⁴ Arctic System Reanalysis. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/arctic-system-reanalysis-asr> (дата обращения: 01.12.2018).

Целью настоящей работы является выявление участков ПМ СМП, на которых в современном периоде (2000–2018 гг.) в месяцы навигационного периода ВСР той или иной силы возникали наиболее часто, а их повторяемость увеличивалась. Для достижения указанной цели в отношении каждого участка ПМ СМП решены следующие задачи:

- 1) выявление всех дат, относящихся к наиболее активному навигационному периоду (август, сентябрь, октябрь), когда на нем в XXI веке существовали ВСР различной силы;
- 2) определение СП ВСР, а также оценка тенденций их изменения за период 2000–2018 гг.

Методы и материалы (Methods and Materials)

При решении рассматриваемых в исследовании задач в качестве фактического материала был использован реанализ ASR, который разработан и поддерживается группой полярной метеорологии Университета штата Огайо (США). В ASR информация о значениях компонентов скорости приводного ветра, в том числе в любом пункте Арктики, представлена с горизонтальным разрешением, равным 30 км. ASR основан на модели Polar Weather Research and Forecasting (Polar WRF) версии 3.3.1 [9]. Указанная информация с дискретностью три часа представлена за период с 01.01.2000 по 31.12.2018¹. Для оценки его адекватности использована информация о фактических среднесуточных значениях компонентов скорости ветра на метеостанциях Амдерма, Игарка и мыс Шмидта, полученная из [10].

Подобная оценка производилась путем определения достоверности статистического вывода о наличии соответствия зависимостей от времени фактических среднесуточных значений меридиональных составляющих скорости ветра на указанных ранее метеостанциях, а также их оценок, полученных путем экстраполяции результатов реанализа ASR в указанные пункты. При экстраполяции применялись допущения, принимаемые в *методе триангуляции Делоне* [11]. Достоверность указанного статистического вывода определялась с применением *метода корреляционного анализа и критерия Стьюдента* [12]. Полученные таким образом результаты оценки адекватности фактического материала приведены в следующей таблице:

Оценка достоверности вывода об адекватности фактического материала, %

Пункт / месяц	Амдерма	Игарка	Мыс Шмидта
Август	99,0	98	99
Сентябрь	99,0	98	98
Октябрь	98,0	99	98

Из таблицы следует, что реанализ ASR вполне адекватно описывает изменения меридиональных составляющих среднесуточной скорости ветра в указанных пунктах изучаемого региона, что свидетельствует о возможности его применения в качестве фактического материала при решении рассматриваемых задач. В качестве границ исследуемого участка земной поверхности приняты параллели 65°–80° с. ш. и меридианы 32,5° в. д. и 167,5° з. д. Указанные границы в полной мере включают трассы ПМ СМП. Для исследования были взяты наиболее благоприятные для морской навигации месяцы — август, сентябрь и октябрь. Обе поставленные задачи решались для всех пунктов ПМ СМП, разнесенных по долготе на 2,5°. Для каждого из этих пунктов и для каждого суток, относящихся к августу, сентябрю и октябрю 2000–2018 гг. из ASR определялись значение модуля и направление вектора среднесуточной скорости ветра. Исследования проводились для двух классов ВСР. В первый класс включены ВСР, для которых значение модуля их среднесуточной скорости составляло не менее 6 м/с. Ко второму классу отнесены ВСР, для которых значение этого показателя превышало 15 м/с.

¹ Arctic System Reanalysis. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/arctic-system-reanalysis-asr> (дата обращения: 01.12.2018).

Частота возникновения ВСР оценивалась для каждого рассматриваемого пункта маршрута СМП, следующим образом:

$$f = \frac{n}{N},$$

где n — общее количество суток из изучаемого месяца, относящихся к 2000–2018 гг., в которые был обнаружен ВСР;

N — общее количество суток этого месяца, вычисленное за указанный период (в августе и октябре $N = 589$, а в сентябре $N = 570$).

Для оценки долговременной тенденции (называемой в статистике *трендом*) полученных временных рядов межгодовых изменений СП ВСР в каком-либо пункте использовалась *методика расчета по угловому коэффициенту линейного тренда*, описанная в [12].

Результаты (Results)

В соответствии с описанной методикой для каждого суток августа, сентября и октября, относящихся к 2000–2018 гг., и каждого рассматриваемого пункта ПМ СМП с использованием ASR выполнена оценка модуля и фазы (направления) вектора среднесуточной скорости ветра. Установлено, что в течение рассматриваемого периода наибольшие оценки среднесуточных значений модуля скорости ветра (22,9 м/с) соответствуют дате 24.08.2016 и участку СМП, расположенному на подходе к проливу Лонга с запада (между меридианами 177,5° в. д. и 180°).

На основании полученных результатов выявлены все даты, когда направления этого вектора в том или ином пункте ПМ СМП относились к северным румбам, а значения его модуля превышали уровни 6 м/с и 15 м/с. Установленные таким образом даты учтены при вычислении частоты возникновения подобных событий за каждый рассматриваемый месяц изучаемого периода, а также соответствующих значений СП ВСР. В качестве примера на рис. 2 приведены зависимости от долготы пункта ПМ СМП значений частоты f , с которой в том или ином месяце навигационного периода в нем наблюдались ВСР со среднесуточными значениями скорости, соответствующими пороговым уровням 6 м/с и 15 м/с.

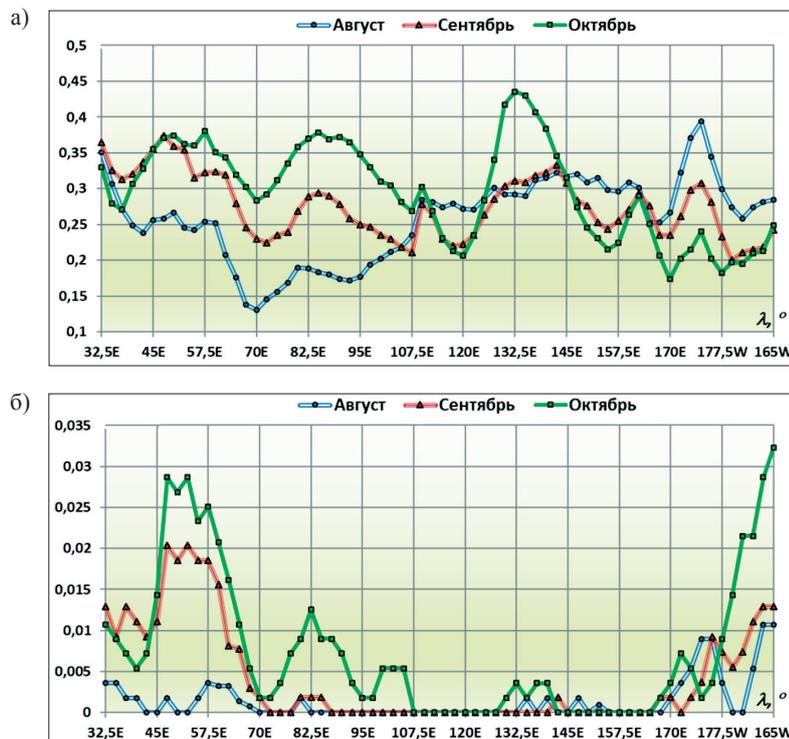


Рис. 2. Зависимости от долготы пункта ПМ СМП значений частоты (f), с которой в том или ином месяце навигационного периода в нем наблюдались ВСР со среднесуточным значением скорости: а — не менее 6 м/с; б — не менее 15 м/с

Из рис. 2, *а* видно, что за период 2000–2018 гг. ВСП со среднесуточными значениями скорости не менее 6 м/с наиболее часто возникали в августе на участках ПМ СМП, расположенных в проливе Лонга и на подходах к нему с запада. Они также имели место в Баренцевом море — в районе, прилегающем к выходу из Кольского залива. В сентябре участки рассматриваемого маршрута, где за тот же период данные ВСП возникали наиболее часто, находились:

- в районе Баренцева моря, прилегающем к воронке Белого моря;
- у побережья Карского моря между портом Диксон и устьем реки Ленивая (берег Харитона Лаптева);
- в проливе Санникова с прилегающими к нему районами моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря;
- на подходах с востока и запада к проливу Лонга и в самом этом проливе.

В октябре значения частоты возникновения рассматриваемых ВСП являлись наибольшими для участков ПМ СМП, расположенных в восточной части Баренцева и Карского моря, а также моря Лаптевых, и прилегающих к ним проливах Карские ворота, Вилькицкого и Санникова либо Дмитрия Лаптева. Средние значения частоты, с которой в том или ином месяце навигационного периода на всем ПМ СМП наблюдались ВСП со среднесуточным значением скорости не менее 6 м/с, минимальны в августе и максимальны в октябре.

Из рис. 2, *б* следует, что ВСП со среднесуточными скоростями не менее 15 м/с, которые способны вызывать наиболее ощутимый нагон воды и дрейфующих льдов к побережьям, в 2000–2018 гг. в те же месяцы наиболее часто возникали на участках ПМ СМП, расположенных в Баренцевом, Карском и Чукотском море. В Баренцевом море при таких ВСП наблюдаются сильные шторма, от которых для судов здесь практически отсутствуют надежные укрытия. В Карском и Чукотском море те же ВСП способны не только создавать на соответствующих участках прибрежного маршрута СМП опасное волнение, но и пригонять на них с севера дрейфующие льды. Кроме того, они способны вызывать затопление обширных прибрежных территорий, расположенных в Енисейском заливе и прилегающих к побережьям Карского моря между портом Диксон и заливом Толля. Следовательно, именно в Баренцевом, Карском и Чукотском море ВСП в XXI в. создают наиболее существенные гидрометеорологические риски как для навигации, так и для прибрежных территорий. При оценке СП ВСП в различных пунктах рассматриваемого маршрута установлено, что по мере увеличения наибольшей нижней границы возможного значения модуля вектора их средней скорости значения данных показателей снижаются. Поэтому тенденции их изменений в 2000–2018 гг. во всех его пунктах оценены лишь для ВСП, которым соответствуют среднесуточные значения скорости не менее 6 м/с.

Согласно описанной методике, для каждого пункта и каждого месяца навигационного периода вычислено значение количественной меры тенденции изменения СП ВСП — углового коэффициента линейного тренда соответствующего временного ряда межгодовых изменений данного показателя. Полученные таким образом зависимости от долготы пункта ПМ СМП значений углового коэффициента линейного тренда межгодовых изменений СП ВСП со среднесуточным значением скорости не менее 6 м/с, которые соответствуют всем месяцам навигационного периода 2000–2018 гг., представлены на рис. 3.

Как следует из рис. 3, на ПМ СМП в рассматриваемый период и каждом месяце навигации существовали участки, где происходило значительное повышение СП ВСП, а следовательно, и гидрометеорологических рисков, а также участки, где имело место их снижение. Значимые возрастающие тренды межгодовых изменений СП ВСП для августа выявлены для участков ПМ СМП, расположенных в западной части Баренцева моря и Восточно-Сибирского моря, а также в восточной части моря Лаптевых и проливе Санникова.

Тенденции к увеличению сентябрьских СП ВСП обнаружены для участков рассматриваемого водного пути, которые находятся в западной части Баренцева моря и прибрежном районе Карского моря — от полуострова Ямал до порта Диксон. В последнем такие тенденции наиболее опасны, поскольку здесь наблюдается весьма интенсивная трансгрессия [7].

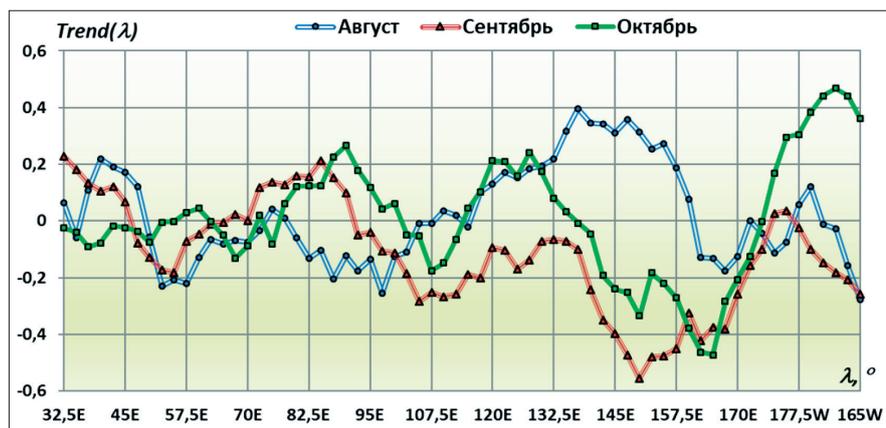


Рис. 3. Зависимости от долготы пункта ПМ СМП соответствующих ему значений углового коэффициента линейного тренда межгодовых изменений СП ВСП со среднесуточным значением скорости не менее 6 м/с для месяцев навигационного периода 2000–2018 гг.

Существенное возрастание в течение 2000–2018 гг. СП ВСП для октября зафиксировано в восточных частях Карского моря и проливе Вилькицкого, в море Лаптевых и проливе Санникова, а также Восточно-Сибирском море и проливе Лонга. На всех указанных участках ПМ СМП условия работы судов в настоящее время осложняются не только из-за того, что при возникновении на них ВСП усиливается волнение, но и вследствие увеличения их ледовитости. На участках того же маршрута, где тренды межгодовых изменений СП за тот или иной месяц ВСП в период 2000–2018 гг. являлись убывающими, условия работы флота становятся более благоприятными. В среднем в XXI в. по всей трассе СМП в августе и октябре СП ВСП, а, следовательно, и гидрометеорологические риски, увеличивались, а в сентябре снижались. При этом в августе за указанный период они наиболее существенно увеличились в Баренцевом море (где, как видно из рис. 2, б) часто возникали ВСП со среднесуточной скоростью более 15 м/с). В сентябре-октябре наибольшее влияние на работу водного транспорта и состояние побережий оказывало увеличение СП таких ВСП в восточной части Карского моря. Кроме того, в октябре представляла опасность тенденция к увеличению СП ВСП на участках прибрежного маршрута СМП, проходящих вдоль побережий Чукотского моря (между проливами Лонга и Беринговым).

Обсуждение (Discussion)

При сохранении в обозримом будущем выявленных тенденций изменений СП ВСП гидрометеорологические риски на указанных участках прибрежного маршрута СМП будут и далее возрастать. Поэтому существенный интерес представляет вопрос: *могут ли они в действительности сохраниться*. Как отмечалось ранее, причиной возникновения сильных и продолжительных, а следовательно, наиболее опасных ВСП являются вторжения арктического воздуха (ВАВ), формируемые в тыловых секторах циклонов, которые входят в высокие широты и взаимодействуют с соответствующими сегментами Арктического антициклона [13]. Следствием взаимодействия этих атмосферных вихрей является обострение барических градиентов в областях, которые их разделяют, что и является причиной усиления ВСП, а также образования вторжений арктического воздуха [2]. Поэтому изменения повторяемости ВСП (со средней скоростью более 15 м/с) является непосредственным следствием увеличения повторяемости как вторжений арктического воздуха, так и вызывающих их вхождений в высокие широты циклонов. Указанные процессы являются важнейшими компонентами меридиональных составляющих общей циркуляции земной атмосферы, а увеличение их повторяемости в некоторых секторах Северного полушария, выявленное в современном периоде [14], является следствием происходящего потепления глобального климата [15]. При дальнейшем потеплении климата активизация данных процессов над Баренцевым, Карским

и Чукотским морем, происходившая в навигационный период 2000–2018 гг., продолжится, приводя к дальнейшему увеличению СП ВСР. Следовательно, гипотеза, предполагающая дальнейшее увеличение ВСР на указанных участках ПМ СМП, может рассматриваться как вполне вероятная при осуществлении сценария изменений глобального климата, при котором будет происходить его потепление.

Как известно, следствием потепления глобального климата является снижение ледовитости Арктики, которое наиболее остро проявляется в ее секторах, прилегающих к Атлантике и побережьям Европы. Поэтому в Баренцевом море данное явление будет вызывать увеличение повторяемости сильных штормов, при которых следующие по рассматриваемому маршруту суда вынуждены будут практически всюду оказываться лагом к волне и ветру. Вероятное дальнейшее увеличение СП ВСР будет приводить к увеличению ледовитости участков СМП, расположенных у берегов полуострова Чукотка и в проливе Лонга.

Вероятное дальнейшее увеличение повторяемости СП ВСР в Карском море будет приводить к повышению ледовитости на соответствующих участках ПМ СМП лишь до тех пор, пока в нем будут существовать Новоземельский и Североземельский массивы дрейфующих льдов, которые в XXI веке в августе–октябре постепенно деградируют. На соответствующих участках побережья Карского моря данное явление будет повышать риски их временного затопления и ускоренного переформирования берегов.

Выводы (Conclusion)

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Расположения участков прибрежного маршрута СМП с наибольшей частотой возникновения ветров северных румбов в XXI в. зависят как от месяца, в котором они рассматриваются, так и от нижней границы возможных значений модуля их среднесуточной скорости.
2. ВСР со среднесуточной скоростью более 15 м/с, которые представляют наибольшую опасность как для работающих на нем судов, так и для населения прибрежных территорий, в XXI в., в месяцы навигации чаще всего возникали на участках данного маршрута, проходящих через Баренцево, Карское и Чукотское моря, включая пролив Лонга.
3. В изменениях средней продолжительности ВСР на указанных участках присутствуют возрастающие тренды, вследствие этого создаваемые данными ветрами нагоны воды и дрейфующих льдов возникали чаще.
4. Выявленные особенности соответствуют современным представлениям о влиянии потепления глобального климата на изменения характеристик меридиональных составляющих общей циркуляции атмосферы, поэтому сценарий, при котором в ближайшем будущем они сохранятся, представляется вероятным при дальнейшем развитии процесса потепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Salby M. L.* Fundamentals of Atmospheric Physics / M. L. Salby. — New York: Academic Press, 1996. — 560 p.
2. *Холопцев А. В.* Вторжения арктического воздуха и современная климатическая изменчивость экстремальных температур и атмосферных осадков в Крыму / А. В. Холопцев, С. А. Подпорин, Л. Е. Курочкин // Строительство и техногенная безопасность. — 2018. — № 12 (64). — С. 145–157.
3. *Pfahl S.* Importance of latent heat release in ascending air streams for atmospheric blocking / S. Pfahl, C. Schwierz, M. Croci-Maspoli, C. M. Grams, H. Wernli // Nature Geoscience. — 2015. — Vol. 8. — Pp. 610–614. DOI: 10.3929/ethz-a-010690671.
4. *Barnes E. A.* Exploring recent trends in Northern Hemisphere blocking / E. A. Barnes, E. Dunn-Sigouin, G. Masato, T. Woollings // Geophysical Research Letters. — 2014. — Vol. 41. — Pp. 638–644. DOI: 10.1002/2013GL058745.
5. *Athanasiadis P. J.* The representation of atmospheric blocking and the associated low-frequency variability in two seasonal prediction systems / P. J. Athanasiadis, A. Bellucci, L. Hermanson, A.A. Scaife, C. MacLachlan,

A. Arribas, S. Materia, A. Borrelli, S. Gualdi // *Journal of Climate*. — 2014. — Vol. 27. — Pp. 9082–9100. DOI: 10.1175/JCLI-D-14-00291.1.

6. Черкесов Л. В. Численное исследование сгонно-нагонных процессов и течений Азовского моря в период экстремальных ветров / Л. В. Черкесов [и др.] // *Морской гидрофизический журнал*. — 2017. — № 5 (197). — С. 3–20.

7. Ключко А. А. Национальный атлас России / А. А. Ключко [и др.] — М.: ФГУП «Госгисцентр», 2004. — Т. 2: Природа и экология. — 495 с.

8. Bromwich D. H. A comparison of the regional Arctic System Reanalysis and the global ERA-Interim Reanalysis for the Arctic / D. H. Bromwich, A. B. Wilson, L. S. Bai, G. W. Moore, P. Bauer // *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. — 2016. — Vol. 142. — Is. 695. — Pp. 644–658. DOI: 10.1002/qj.2527.

9. Hines K.M. Development and testing of Polar WRF. Part I. Greenland ice sheet meteorology / K. M. Hines, D. H. Bromwich // *Monthly Weather Review*. — 2008. — Vol. 136. — Pp. 1971–1989. DOI: 10.1175/2007MWR2112.1.

10. Historical weather data in Russia [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://en.tutiempo.net/climate/russia.html> (дата обращения: 01.12.2018).

11. Скворцов А. В. Триангуляция Делоне и ее применение / А. В. Скворцов. — Томск: Изд-во Томского государственного университета, 2002. — 128 с.

12. Айвазян С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. — М.: Юнити, 1998. — 1022 с.

13. Дзердзеевский Б. Л. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов / Б.Л. Дзердзеевский, В.М. Курганская, З.М. Витвицкая // *Тр. науч.-исслед. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Сер. 2: Синоптическая метеорология*. — М.: Центральный институт прогнозов; Ленинград: Гидрометиздат, 1946. — Вып. 21. — С. 80.

14. Кононова Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому / Н. К. Кононова. — М.: ИГ РАН. Воентехиниздат, 2009. — 372 с.

15. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report *Climate Change 2007* / Ed. by Bernstein L. — Cambridge: Cambridge University Press, 2007. — 940 p.

REFERENCES

1. Salby, M. L. *Fundamentals of Atmospheric Physics*. New York: Academic Press, 1996.

2. Kholoptsev, A. V., S. A. Podporin, and L.Ye. Kurochkin. “Invasions of Arctic air and current climate variability of extreme temperatures and total precipitation in Crimea.” *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'* 12(64) (2018): 145–157.

3. Pfahl S., C. Schwierz, M. Croci-Maspoli, C. M. Grams, and H. Wernli. “Importance of latent heat release in ascending air streams for atmospheric blocking.” *Nature Geoscience* 8 (2015): 610–614. DOI: 10.3929/ethz-a-010690671.

4. Barnes, E. A., E. Dunn-Sigouin, G. Masato, and T. Woollings. “Exploring recent trends in Northern Hemisphere blocking.” *Geophysical Research Letters* 41 (2014): 638–644. DOI: 10.1002/2013GL058745.

5. Athanasiadis Panos J., Alessio Bellucci, Leon Hermanson, Adam A. Scaife, Craig MacLachlan, Alberto Arribas, Stefano Materia, Andrea Borrelli, and Silvio Gualdi. “The representation of atmospheric blocking and the associated low-frequency variability in two seasonal prediction systems.” *Journal of Climate* 27 (2014): 9082–9100. DOI: 10.1175/JCLI-D-14-00291.1.

6. Cherkesov, L. V., T. Ya. Shul'ga, N.N. Dyakov, and R. R. Stanichnaya. “Numerical study of storm surge processes and currents of the Sea of Azov during a period of extreme winds.” *Morskoy gidrofizicheskii zhurnal* 5(197) (2017): 3–20.

7. Klochko A. A., M. A. Romanovskaya, M. G. Grechushnikova, et al. *Nacional'nyj atlas Rossii. Tom 2. Priroda i ehkologiya* М.: FGUP GOSGISCENTR, 2004.

8. Bromwich, David H., Aaron B. Wilson, Le-Sheng Bai, George W. K. Moore, and Peter Bauer. “A comparison of the regional Arctic System Reanalysis and the global ERA-Interim Reanalysis for the Arctic.” *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 142.695 (2016): 644–658. DOI: 10.1002/qj.2527.

9. Hines, K. M., and D. H. Bromwich. “Development and testing of Polar WRF. Part I. Greenland ice sheet meteorology.” *Monthly Weather Review* 136 (2008): 1971–1989. DOI: 10.1175/2007MWR2112.1.

10. Historical weather data in Russia. Web. 1 Dec. 2018 <<https://en.tutiempo.net/climate/russia.html>>.
11. Skvortsov, A. V. *Triangulyatsiya Delone i ee primeneniye*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2002.
12. Aivazyan, S. A., and V. S. Mhitaryan. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki*. M.: Yuniti, 1998.
13. Dzerdzeevskij, B. L., V. M. Kurganskaya, and Z. M. Vitvickaya. "Tipizatsiya cirkulyacionnyh mekhanizmov v severnom polusharii i harakteristika sinopticheskikh sezonov." *Tr. n.-i. uchrezhdenij Gl. upr. gidrometeorol. sluzhby pri Sovete Ministrov SSSR. Ser. 2. Sinopticheskaya meteorologiya*. Vol. 21. Moskva: Tsentral'nyi institut prognozov; Leningrad: Gidrometizdat, 1946. 80.
14. Kononova, N. K. *Klassifikatsiya cirkulyacionnyh mekhanizmov Severnogo polushariya po B. L. Dzerdzeevskomu*. M.: IG RAN. Voentekhnizdat, 2009.
15. Bernstein, L., eds. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report Climate Change 2007*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

Подпорин Сергей Анатольевич —
кандидат технических наук, доцент
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный
университет»
299053, Российская Федерация, г. Севастополь,
ул. Университетская, 33
e-mail: s.a.podporin@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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

Podporin, Sergey A. —
PhD, associate professor
Sevastopol State University
33 Universitetskaya Str., Sevastopol,
299053, Russian Federation
e-mail: s.a.podporin@gmail.com

Статья поступила в редакцию 13 марта 2019 г.
Received: March 13, 2019.