

УДК 551.583.16

Г.В. Суркова¹, Л.А. Соколова², А.Р. Чичев³

МНОГОЛЕТНИЙ РЕЖИМ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА В БАРЕНЦЕВОМ И КАРСКОМ МОРЯХ

Представлены результаты оценки многолетних изменений (1950–2012) суточных экстремумов скорости ветра в открытой части Баренцева и Карского морей. Показано, что на фоне изменений климата некоторый рост максимальных значений скорости ветра отмечается с 1970-х гг. Выявлены особенности их многолетней периодичности, получены оценки внутрисуточного распределения их повторяемости. Согласно полученным результатам существенные изменения параметров распределения в последние десятилетия не отмечены. Оценка распределения направлений ветра, при которых отмечаются его экстремальные значения, показала, что на исследуемой акватории максимумы скорости наблюдаются чаще всего при ветрах южных румбов для обоих морей, а также при западных – в Баренцевом море.

Ключевые слова: экстремальные скорости ветра, изменения климата Арктики.

Введение. Арктика играет большую роль в экономическом и военно-стратегическом плане для России и мира в целом. Ее климат в последние десятилетия значительно меняется, что особенно ярко проявилось в изменениях режима температуры, осадков и площади морского льда [Второй..., 2014; IPCC, 2013]. Это открывает новые возможности для судоходства и других отраслей хозяйства и требует переоценки территории с точки зрения климатических ресурсов и связанных с ними рисков освоения.

В статье представлены результаты оценки многолетних (1950–2012) изменений суточных экстремумов скорости ветра для открытых акваторий Баренцева и Карского морей. В условиях активной циклонической деятельности для этих морей характерны высокие значения скорости ветра в течение всего года, особенно в холодный период [Российская..., 1985; Гидрометеорология..., 1990]. Наблюдаемое в последние десятилетия увеличение площади моря, свободной ото льда [Второй..., 2014; IPCC, 2013], существенно изменяет режим ветрового воздействия на морскую поверхность, приводит к повышению вероятности развития штормового волнения. Оценки Межгосударственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и Росгидромета РФ свидетельствуют о том, что, несмотря на тенденцию к снижению средних значений скорости ветра в умеренных широтах над сушей, к северу от 75° с.ш. она возростала на протяжении последних десятилетий [Второй..., 2014; IPCC, 2013].

Климат западного сектора Российской Арктики относительно мягкий, особенно над Баренцевым морем, которое даже в самые суровые зимы не покрывается льдом полностью. Атмосферные процес-

сы, вызывающие сильные и штормовые ветры над Баренцевым и Карским морями, под влиянием активизации циклонической деятельности на арктическом фронте в холодное время года наблюдаются в 3 раза чаще, чем в теплое [Атлас..., 1985; Гидрометеорология..., 1990; Российская..., 2013]. Средние значения скорости ветра в Баренцевом море зимой составляют 6–10 м/с. При этом в 30–40% случаев ветер дует со скоростью ≥ 11 м/с. Летом этот показатель снижается до 5–10%, средняя скорость в июле уменьшается до 5 м/с (повторяемость 50–60%). Климат Карского моря по температурному режиму гораздо более суровый – даже летом его северо-восточная часть может оставаться покрытой льдом. Осенью и зимой под влиянием Азиатского антициклона над большей частью моря господствуют южные, юго-западные и юго-восточные ветры, приносящие холодный воздух с материка, лишь на северо-востоке моря преобладают северные ветры. Средняя скорость ветра 5–8 м/с, но из-за рельефа побережий и островов арх. Новая Земля, а также из-за пограничного положения Карского моря между относительно теплым Баренцевым морем, где сильно влияние Атлантики, и охлаждающими районами Центральной Арктики и континентальной Азии, часты дни со штормовыми ветрами. Больше всего их приходится на западную часть моря, где дополнительно влияние оказывает Новоземельская бора, при которой скорость ветра достигает 40 м/с. Средние значения скорости ветра над Карским морем летом составляют 4–5 м/с.

Сильные и штормовые ветры представляют особую опасность для различных видов хозяйственной деятельности, что обуславливает важность оценки их текущего режима. Мониторинг показателей скорости ветра ведется на метеорологических стан-

¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: galina_surkova@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, студентка; e-mail: sokolova.larisa@hotmail.com

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, студент; e-mail: che94a@mail.ru

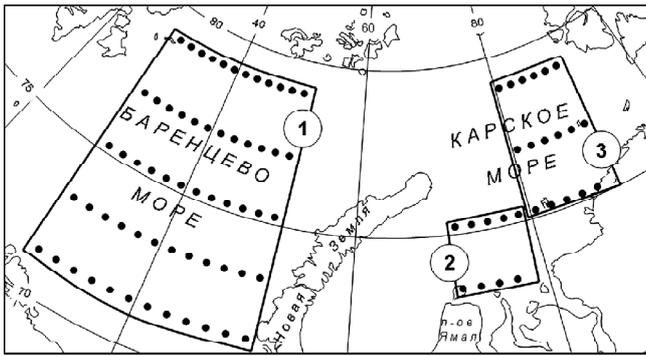


Рис. 1. Секторы исследования режима ветра и узлы сетки реанализа (точки) в Баренцевом (1) и Карском (2, 3) морях

циях Росгидромета РФ (www.meteo.ru), нефтяных платформах, выполняются также судовые наблюдения, разработаны методики расчета глобальных и региональных климатических реанализов, в том числе Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (<http://www.ecmwf.int>), Национальной администрацией атмосферы и океана США (<http://www.esrl.noaa.gov>) и другими научными центрами (<http://www.reanalyses.org>). Для морей Российской Арктики подробный анализ ветрового режима в морях Арктики обобщен в выпусках серии «Моря СССР» [Гидрометеорология..., 1990], в атласах [Атлас..., 1985; Российская..., 2013]. В дополнение к этим исследованиям мы проанализировали суточные экстремумы средней скорости ветра с привлечением последних современных данных над открытой акваторией Баренцева и Карского морей. Одна из главных целей работы заключается в изучении многолетних тенденций экстремального ветрового режима в этих районах на фоне климатических изменений последних десятилетий, а также в поиске наиболее подходящих функций распределения экстремумов для последующих оценок их возможных изменений при разных прогностических сценариях изменения климата в XXI в.

Материалы и методы исследований. В качестве исходных данных нами использованы результаты реанализа TCR2 [Compo et al., 2011] за 1950–2012 гг. зональной и меридиональной составляющих скорости приземного (10 м) ветра. Данные имеют 3-часовое временное разрешение, горизонтальный размер ячеек сетки реанализа 1,85x1,85 по широте и долготе. Как показали исследования [Lindsay et al., 2014; Wang et al., 2014], результаты TCR2 соответствуют уровню других существующих реанализов и данных наблюдений, этот реанализ по сравнению с предыдущими наиболее полно учитывает метеоданные российских арктических станций.

В ходе исследований в Баренцевом и Карском морях выбраны участки над открытой акваторией, для которых ежесуточно определяли максимальную скорость ветра в пределах всего полигона (рис. 1). Выбор открытого моря обусловлен тем, что для ячеек сетки реанализа, которые охватывают и сушу, и море, согласование данных реанализа и наблюдений усложнено особенностями берегового рельефа, которые для разных станций существенно отлича-

ются, что приводит к формированию местных особенностей ветрового режима на разных участках побережья. Поэтому анализ климатического режима ветровых экстремумов на побережье требует индивидуального подхода к данным каждой станции, а при использовании результатов реанализа – их региональной калибровки. Данные реанализа дискретны в пространстве и представляют среднее значение показателя в пространстве ячейки. Поэтому очевидно, что если ячейка включает две разнородные поверхности, над которыми реальный режим ветра формируется по-разному, ошибка реанализа возрастает, особенно в приземном слое. Над открытым морем подстилающая поверхность более однородна, что позволяет рассматривать не только одну ячейку, но и значительную часть моря, согласующуюся по размерам с масштабами крупных барических атмосферных образований, определяющих режим ветра над акваторией.

В Баренцевом море полигон охватывает большую часть морской акватории (рис. 1, сектор 1), здесь даже в холодный период года нет сплошного морского льда. В Карском море были выбраны два сектора: центральный и северо-восточный (2 и 3 на рис. 1). Для уменьшения внутренней связи между данными в ежесуточных рядах экстремальных значений скорости ветра выполнялась фильтрация ежедневных рядов. Проведенные нами исследования автокорреляции рядов суточных экстремумов скорости ветра показали, что достаточно четырехдневной фильтрации рядов. Пространственная изменчивость в пределах выбранных полигонов для средних значений скорости ветра невелика для среднего многолетнего режима [Атлас..., 1985; Гидрометеорология..., 1990], поскольку это открытое пространство с однородной подстилающей поверхностью, подверженное влиянию активной циклонической деятельности, но ежедневное распределение может быть различным в зависимости от синоптической ситуации, таким образом, расположение зоны максимальных ветров будет определяться полем атмосферного давления и траекториями движения циклонов. Следовательно, поиск максимума суточного экстремума скорости в пределах крупного полигона даст представление о наиболее опасных ее значениях на большой территории.

В ходе работы решались следующие задачи: для заданных полигонов выбраны данные реанализа скорости ветра с трехчасовым разрешением за 1950–2012 гг., затем для каждого суток в каждой ячейке сетки реанализа найдены суточные максимумы, среди которых затем выбрали наибольший в пределах полигона; проанализированы их многолетние изменения; для каждого десятилетия рассчитаны функции распределения максимальных значений скорости ветра. Для оценки эмпирического распределения экстремумов использовали функцию нормального распределения, функцию Вейбулла–Гнеденко, ранжирование рядов [Рожков, 2001]

Результаты исследований и их обсуждение. Многолетний ход средних суточных максимумов для

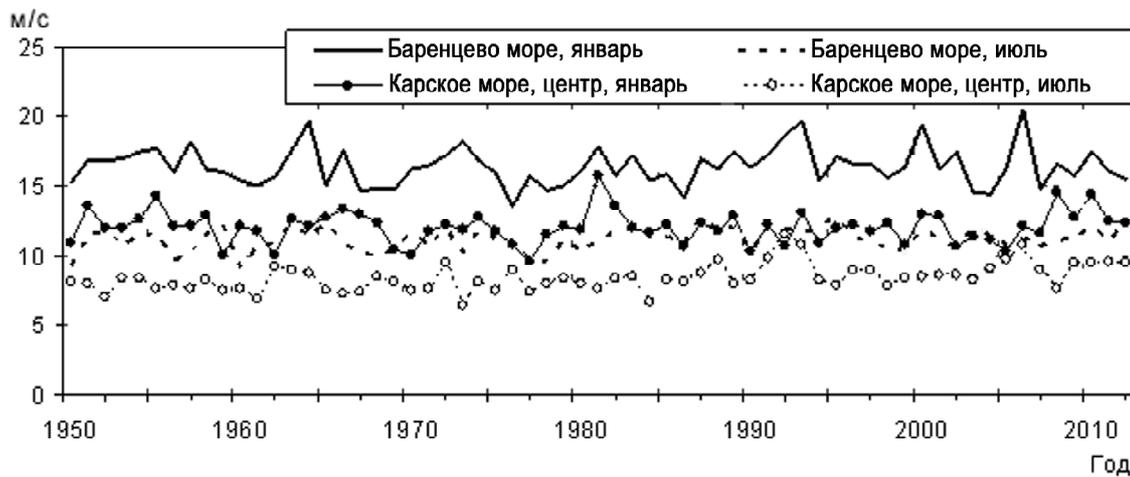


Рис. 2. Многолетние изменения средних годовых суточных экстремумов скорости ветра

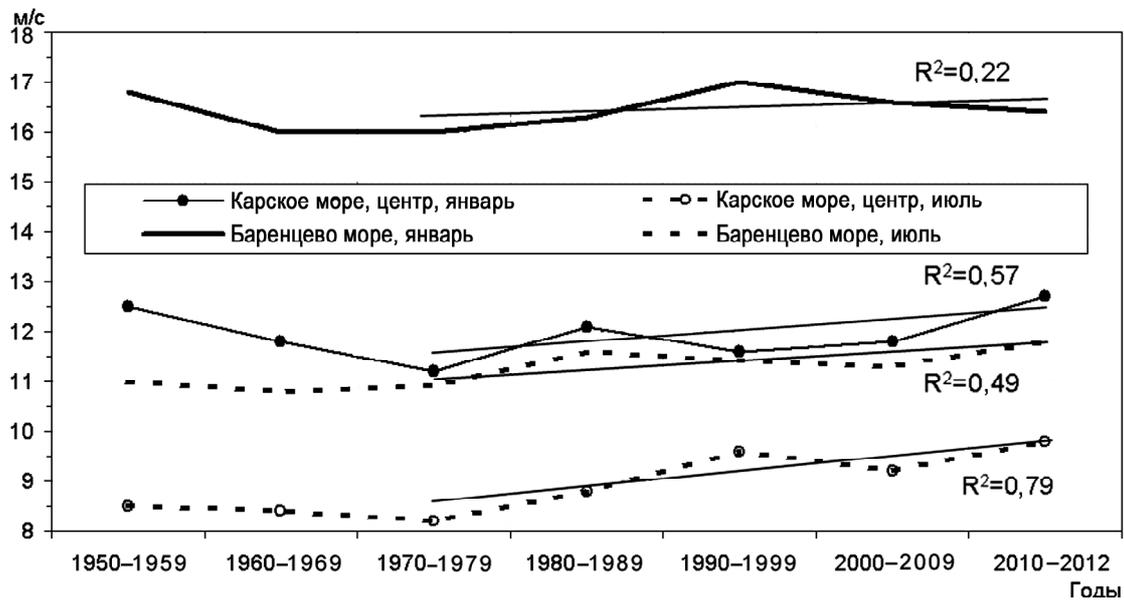


Рис. 3. Средние по десятилетиям суточные экстремумы средней скорости ветра. Линии тренда и их уровень значимости (R^2) показаны для периода 1970–2012 гг.

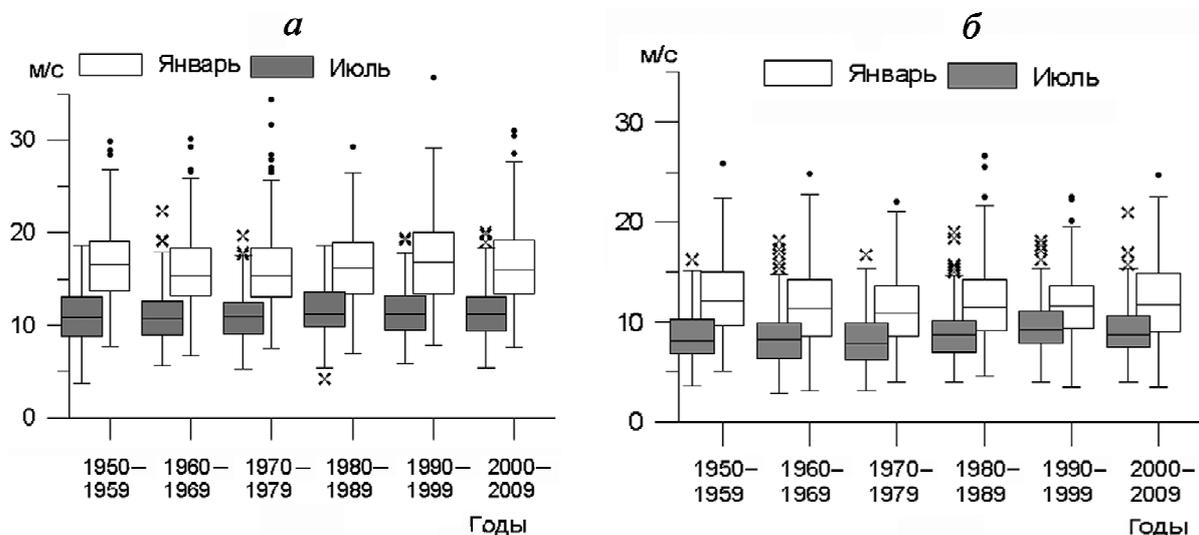


Рис. 4. Эмпирические функции распределения (диаграммы размаха) суточных максимумов средней скорости ветра по десятилетиям для января и июля в Баренцевом (а) и Карском (б) морях

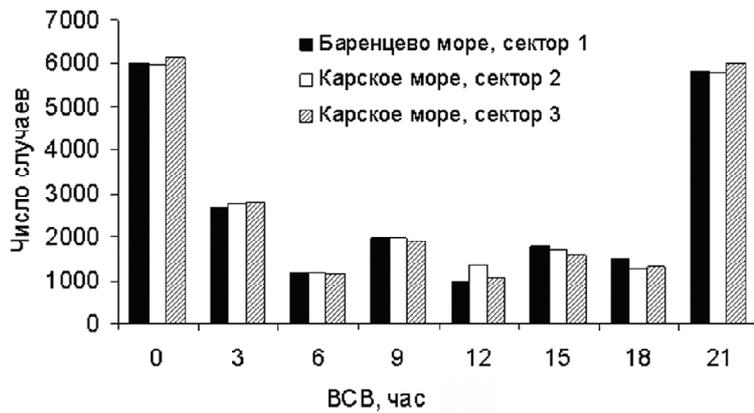


Рис. 5. Повторяемость срока (BCB), в который отмечается суточный максимум средней скорости ветра за 1950–2012 гг.

каждого года представлен на рис. 2 для января и июля. Расчеты показали, что на фоне зафиксированных существенных изменений климата в Арктике во второй половине XX в. значимый направленный многолетний рост суточных экстремумов скорости ветра отмечается после 1970-х гг. При рассмотрении ежегодных значений средних месячных экстремумов этот тренд выражен слабо на фоне большой межгодовой изменчивости (рис. 2), но более заметен при рассмотрении средних показателей за десятилетие (рис. 3). Максимальная скорость ветра в Баренцевом море во все месяцы года гораздо больше, чем в Карском море. В Карском море разница скорости ветра между секторами 2 и 3 невелика. Межгодовая изменчивость, как и абсолютные величины экстремумов, гораздо больше в зимние месяцы и ослабевает в летние (таблица).

Полученные результаты позволяют говорить о тенденции к снижению максимальных значений скорости в 1960-е и 1970-е гг. (рис. 3) в январе и июле, а также о некотором увеличении десятилетних средних значений с 1970-х гг. Это дополняет оценки по данным наземных метеорологических станций, представленные во Втором оценочном докладе Росгидромета [Второй..., 2014], где показано, что на большей части континентального побережья Баренцева и Карского морей средняя скорость ветра в 1977–2011 гг. снижалась, в то же время на Новой Земле и Северной Земле, а также на п-ове Таймыр большую часть года средние значения скорости ветра возрастали. Вторая половина 1970-х гг. отмечена заметными сдвигами многих показателей состояния атмосферы и океана. В последнем отчете МГЭИК [IPCC..., 2013] отмечено, что изменение ветрового режима в высоких широтах в последние десятилетия может быть следствием происходящей перестройки общей циркуляции атмосферы, в частности, изменения траекторий перемещения циклонов умеренных широт, их интенсивности и частоты, общего усиления циклоничности Арктики. Графики многолетнего хода (рис. 2) сви-

детельствуют о периодичности колебаний. Спектральный анализ показал наличие характерных 8–10-летних периодов, наиболее выраженных для январских экстремальных значений скорости ветра.

Для каждого десятилетия рассчитаны эмпирические функции распределения, выполнены аппроксимации данных по распределению Вейбулла, которое хорошо описывает экстремумы скорости ветра. Анализ показал, что на фоне небольшого роста средних величин междекадные различия редко повторяющихся высоких значений суточных максимумов невелики и их направленные изменения не наблюдаются. Эмпирические функции распределения показаны (рис. 4) в виде диаграмм размаха, на которых отражаются медиана, значения с 25% и 75%-ной обеспеченностью, а также выбросы. Очевидно, что междекадные изменения незначительны.

Значения средней максимальной скорости ветра (V_{max} , м/с) и межгодовое стандартное отклонение (σ , м/с)

Показатель	Месяц			
	январь	апрель	июль	октябрь
Баренцево море (сектор 1)				
V_{max}	16,5	14,0	11,2	15,3
σ	1,4	1,1	0,8	1,1
Карское море (сектор 2, центр)				
V_{max}	11,9	9,9	8,8	11,2
σ	1,2	1,4	0,9	1,2
Карское море (сектор 3, северо-восток)				
V_{max}	12,0	9,9	8,4	10,9
σ	1,2	1,5	1,0	1,3

Отдельный интерес представляют полученные нами результаты по повторяемости тех сроков, для которых отмечен суточный максимум средней скорости ветра (рис. 5) – 21 и 0 ч Всемирного стандартизованного времени (BCB), отличающегося от времени часового пояса Москвы (МСК) на 3 часа (МСК=BCB+3 ч). Известно, что в свободной атмосфере наибольшая скорость ветра отмечается в ночное время [Локощенко, 2014]. В то же время в приземном слое над сушей максимальная скорость ветра наблюдается в середине дня, когда интенсифицируется турбулентный обмен со свободной атмосферой и наилучшим образом происходит передача импульса из вышележащих слоев, а для ночного времени характерно снижение скорости ветра. Над морской поверхностью суточный ход в целом выражен слабее, чем над сушей. Здесь нередко именно в ночное время формируется неустойчивая стратификация атмосферы в приземном слое, что способствует обмену количеством движения со свободной атмосферой и усилению скорости ветра. Именно такой эффект отражает рассчитанная повторяемость сроков наступления мак-

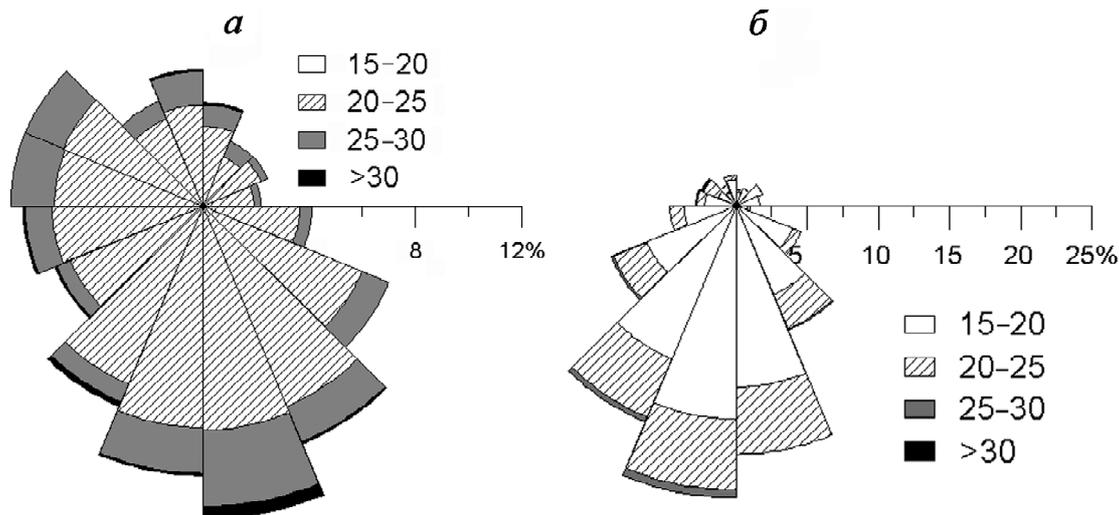


Рис. 6. Диаграмма направления для суточных максимумов скорости ветра по градациям за 1950–2012 гг.: а – Баренцево море, б – Карское море, сектор 2

сумма скорости ветра для открытой акватории всех трех рассмотренных нами секторов.

Оценка повторяемости направлений, при которых наблюдаются суточные максимумы, превышающие значения $V_{95\%}$ (21,5 м/с на полигоне 1 в Баренцевом море, 17,0 м/с на полигонах 2, 3 в Карском море), показывает (рис. 6), что в целом за 1950–2012 гг. в Баренцевом море экстремумы ветра наиболее характерны при ветрах западных и южных румбов, в Карском море влияние ветра в южных и юго-западных румбах выражено еще сильнее. Повторяемость направлений суточных экстремумов, как и время наступления максимумов в суточном ходе, также рассмотрены отдельно для каждого десятилетия за 1950–2009 гг., существенные изменения и тренды не выявлены.

Выводы:

– результаты исследований суточных экстремумов скорости ветра для открытых акваторий Баренцева и Карского морей позволяют говорить о том,

что на фоне наблюдаемых изменений климата Арктики, проявляющихся в режиме температуры, осадков, площади морского льда, средней скорости ветра и других показателей, на исследуемых территориях выявлен небольшой рост средних десятилетних максимумов с 1970-х гг, который, однако, не превышает внутридекадную изменчивость;

– показано, что максимумы приземной скорости ветра в суточном ходе над акваториями, в отличие от суши, возникают преимущественно в ночные часы;

– рассчитаны оценки функций временного и пространственного распределения, что в последующем позволит перейти к их климатическому прогнозу, выявлено, что существенных изменений параметров распределения в последние десятилетия нет;

– на исследуемой акватории максимумы скорости наблюдаются чаще всего при ветрах южных румбов для обоих морей, а в Баренцевом море, кроме того, и при западных румбах.

Благодарность. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-37-00038).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аглас Арктики. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совмине СССР, 1985, 204 с.
 Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М., 2014. 61 с.
 Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометиздат, 1990. 280 с.
 Локоценко М.А. О ветровом режиме нижней атмосферы над Москвой по данным многолетнего акустического зондирования // Метеорология и гидрология. 2014. Т. 39, № 4. С. 19–31.
 Рожков В.А. Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. 340 с.
 Российская Арктика в XXI веке: природные условия и риски освоения. М.: Феория, 2013. 144 с.

Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D. et al. The Twentieth century reanalysis Project // Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc. 2011. Vol. 137, pp. 1–28.
 IPCC, 2013: Summary for Policymakers // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; N.Y., Cambridge University Press, 2013.
 Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J. Evaluation of seven different atmospheric reanalysis products in the Arctic // J. Climate. 2014. Vol. 27, pp. 2588–2608.
 Wang X.L., Feng Y., Compo G.P. et al. Is the storminess in the Twentieth Century Reanalysis really inconsistent with observations? A reply to the comment by Krueger et al. // Climate Dynamics. February 2014. Vol 42, iss. 3–4, pp. 1113–1125.

Поступила в редакцию 14.05.2015
 Принята к публикации 11.09.2015

G.V. Surkova¹, L.A. Sokolova², A.R. Chichev³

LONG-TERM REGIME OF EXTREME WINDS
IN THE BARENTS AND KARA SEAS

Results of evaluation of the long-term variability of daily wind speed extremes in the open parts of the Barents and Kara seas for the period of 1950–2012 are discussed. Despite the pronounced climate changes in the Arctic just a slight increase in wind speed maximum is obvious since 1970. The long-term periodicity of wind extremes and their daily regimes are characterized. According to the results the parameters of wind probability distribution function did not change significantly during recent decades. The analysis of the directions of extreme winds has shown that in the open parts of both seas the extremes are observed mostly for southern winds and in the Barents Sea also for the westerlies.

Keywords: the Arctic, extreme winds, climate changes.

Acknowledgement. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project 14-37-00038).

REFERENCES

- Atlas Arktiki [Atlas of Arctic]. Moscow: Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri sovmine SSSR, 1985. 204 p. (in Russian).
- Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D. et al. The Twentieth century reanalysis Project // Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc. 2011. Vol. 137, pp. 1–28.
- Gidrometeorologija i gidrohimiya morej SSSR. T. 1. Barentsevo more. Vyp. 1. Gidrometeorologicheskie uslovija [Hydrometeorology and hydrochemistry of seas of the USSR], Leningrad: Gidrometizdat, 1990. 280 p. (in Russian).
- IPCC, 2013: Summary for Policymakers // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; N.Y., Cambridge University Press, 2013.
- Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J. Evaluation of seven different atmospheric reanalysis products in the Arctic // J. Climate. 2014. Vol. 27, pp. 2588–2608.
- Lokoschenko M.A. O vetrovom regime nizhnej atmosfery nad Moskvoy po dannym mnogoletnego akusticheskogo zondirivaniya [About wind regime over Moscow on the base of long-term acoustic sounding data], Meteorology and Hydrology, 2014. Vol. 39, no. 4, pp. 19–31 (in Russian).
- Rossijskaya Arktika v XXI veke: prirodnye uslovija i riski osvoenija [Russian Arctic in XXI century: environment and risks of development], M.: Feoria, 2013. 144 p. (in Russian).
- Rozhkov V.A. Teorija i metody statisticheskogo ocenivaniya verojatnostnyh harakteristik sluchajnyh velichin i funkcij s gidrometeorologicheskimi primerami [Theory and methods of statistics of random variables and functions with hydrometeorological examples], Spb., Gidrometeoizdat, 2001. 340 p. (in Russian).
- Wang X.L., Feng Y., Compo G.P. et al. Is the storminess in the Twentieth Century Reanalysis really inconsistent with observations? A reply to the comment by Krueger et al. // Climate Dynamics. February 2014. Vol 42, iss. 3–4, pp. 1113–1125.
- Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na teritorii Rossijskoj Federacii. Obshee rezjume. [2nd Assessment report of Russian Hydrometeorological Service about Climate Changes in Russia. Summary], Moscow, 2014. 61 p. (in Russian).

Received 14.05.2015

Accepted 11.09.2015

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, Associate Professor, Ph.D. in Geography; *e-mail:* galina_surkova@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, student; *e-mail:* sokolova.larisa@hotmail.com

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, student; *e-mail:* che94a@mail.ru