

УДК 551.461

## Экстремальные циклоны над морями европейской части России

*Е.С. Нестеров*

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации, г. Москва, Россия  
nesterov@mecom.ru*

Даны сведения о наиболее частых траекториях глубоких циклонов и приведены примеры экстремальных циклонов над морями европейской части России: Баренцевым, Белым, Балтийским, Азовским и Черным. Большинство экстремальных циклонов над морями европейской части России непосредственно формируются в Северной Атлантике или косвенно связаны с атмосферной циркуляцией этого региона. Интенсификация циклонов над конкретным морем происходит под влиянием местных условий, в том числе под воздействием мезомасштабных атмосферных процессов.

*Ключевые слова:* экстремальные циклоны, моря европейской части России, полярные циклоны, траектории, скорость ветра

## Extreme cyclones over the seas of the European part of Russia

*E.S. Nesterov*

*Hydrometeorological Research Center of Russian Federation, Moscow, Russia  
nesterov@mecom.ru*

Information on the most frequent trajectories of deep cyclones is supplied and examples of extreme cyclones over the seas of the European part of Russia are given: Barents, White, Baltic, Azov and Black seas. Most extreme cyclones over the seas of the European part of Russia are directly formed in the North Atlantic or are indirectly associated with the atmospheric circulation of this region. Intensification of cyclones over a specific sea occurs under the influence of local conditions, including under the influence of mesoscale atmospheric processes.

*Keywords:* extreme cyclones, seas of the European part of Russia, trajectories, wind speed

### Введение

Внетропические циклоны представляют интерес с научной и практической точки зрения. Они играют важную роль в переносах тепла и влаги в средних широтах, являясь существенным компонентом циркуляции атмосферы. Порождаемое ими ветровое волнение может вызывать штормовые нагоны и значительно влиять на судоходство, рыболовный промысел, добычу нефти и газа на шельфе и другие отрасли морской деятельности.

В последние годы участились случаи выхода глубоких циклонов из Северной Атлантики на Европу, что приводит к большому ущербу

и человеческим жертвам. В качестве примера можно привести циклоны, наблюдавшиеся в декабре 1999 г., получившие в Европе названия: Anatol, Kurt, Lothar и Martin. Эти циклоны вызвали гибель 150 человек и нанесли ущерб странам западной и центральной Европы в размере около 13,5 млрд долларов.

В статье даны сведения о наиболее частых траекториях глубоких циклонов и приведены примеры экстремальных циклонов над морями европейской части России: Баренцевым, Белым, Балтийским, Азовским и Черным.

### **Баренцево море**

В [3] выделены 8 типов атмосферных процессов, вызывающих сильные ветры (более 15 м/с) над Баренцевым морем в холодную часть года (октябрь–март). Наиболее часто повторяются первый, третий и четвертый тип (в 11, 11 и 14 % случаев соответственно).

При первом типе штормовые ветры возникают в связи с выходом циклонов из Северной Атлантики на Баренцево море. При этом высотная фронтальная зона имеет северо-западную ориентацию, в связи с чем циклоны «ныряют» по ведущему потоку на европейскую часть России (ЕЧР).

При третьем типе циклоны смещаются из района Исландии на Скандинавию и в Баренцево море; при этом возникают сильные ветры восточного и юго-восточного направлений. Высотное барическое поле представлено хорошо выраженной ультраполярной ложбиной.

При четвертом типе заполняющиеся циклоны смещаются из Северной Атлантики на северо-восток, при этом наблюдаются юго-западные штормовые ветры.

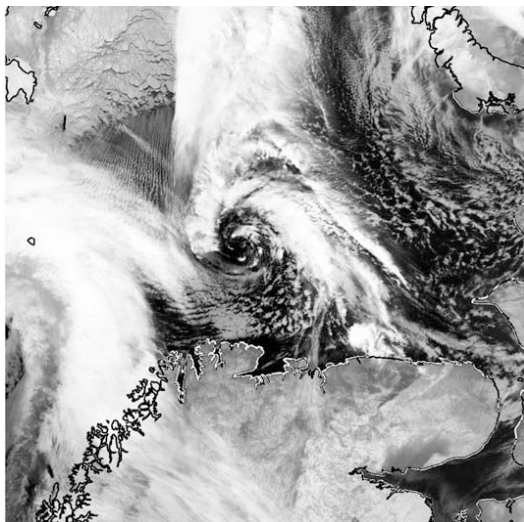
Атмосферные процессы всех типов, вызывающие сильные ветры в холодный период года, наблюдаются в три раза чаще, чем в теплый период, что обусловлено сезонной активизацией циклонической деятельности на арктическом фронте.

В [27] на основе данных реанализа ERA-Interim за 1981–2010 гг. выделены три типа синоптических ситуаций, при которых в Баренцевом море наиболее часто наблюдаются штормовые ветры. Первый тип характеризуется относительно однородным по сравнению с другими типами полем атмосферного давления. При этом типе штормовые ветры наблюдаются на южной периферии циклонов, смещающихся из района Гренландии в направлении Земли Франца-Иосифа. Для синоптической ситуации второго типа наиболее характерны циклон, выходящий на Баренцево море из Северной Атлантики, и мощный антициклон над Новой Землей и восточной частью Карского моря; наблюдаются максимальные ветры южных направлений.

Отличительной чертой третьего типа является глубокий циклон, смещающийся из района Исландии на восток, на восточной периферии которого наблюдаются сильные восточные и северо-восточные ветры. Повторяемость каждого из этих типов составляет 25–30 %.

Экстремальные скорости ветра в Баренцевом, Белом и Карском морях по данным наблюдений на береговых и островных гидрометеорологических станциях рассматривались в [16]. Максимальные скорости до 40 м/с были зарегистрированы на станции Малые Кармакулы на западном побережье Новой Земли, что, вероятно, связано с явлением боры. Воспроизведение экстремальных скоростей в типичных синоптических ситуациях с помощью региональной атмосферной модели COSMO-CLM указывает на важную роль мезометеорологических процессов [16]. В пользу этого вывода свидетельствуют результаты [31], где на основе расчета поля ветра в Баренцевом море за 35 лет по модели с разрешением 5 км был сделан вывод о том, что максимальные скорости возникают при выносах холодного воздуха с берега.

Особый интерес для Баренцева моря представляют так называемые полярные циклоны. Полярным циклоном (ПЦ) обычно называют небольшой интенсивный циклон, сформировавшийся над полярным морем, с характерным горизонтальным масштабом 200–1000 км, временем жизни до трех суток и скоростью перемещения до 40 км/ч [9, 20, 22, 37] (рис. 1).



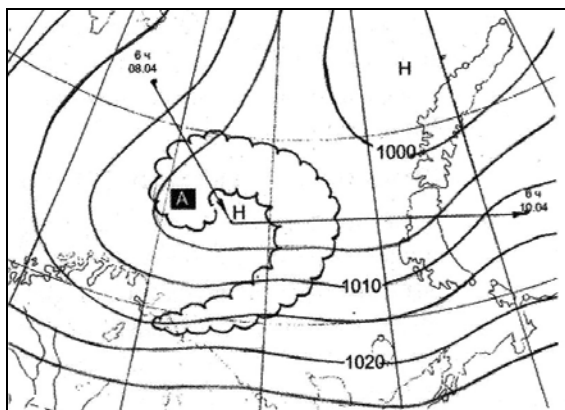
**Рис. 1.** Изображение в инфракрасном диапазоне полярного циклона над Баренцевым морем 8.01.2009 г. [39].

**Fig. 1.** IR-image representing the polar cyclone over the Barents Sea on January 01, 2009.

Полярные циклоны, как правило, образуются в холодную часть года в высоких широтах и, по-видимому, связаны с активизацией арктического фронта. В частности, в Северном полушарии это происходит над акваториями Норвежского, Баренцева и Карского морей. Основными механизмами формирования ПЦ считаются термическая конвекция при перемещении холодной арктической воздушной массы на относительно теплую

поверхность моря, бароклинная и баротропная неустойчивость. Интенсивные ПЦ сопровождаются штормовым ветром и волнением, обледенением судов и сооружений, ухудшением видимости. В полярном циклоне над Баренцевым морем 19.04.1996 г. максимальные скорости ветра до 30–35 м/с наблюдались в сравнительно небольшой области размером 50×150 км [1].

Над Баренцевым морем ПЦ перемещаются в южном направлении к Скандинавии или в юго-восточном и восточном направлениях, иногда достигая Карского моря. Протяженность траектории может достигать до 2800 км. Длина траектории ПЦ, изображенная на рис. 2, составила 2400 км, средняя скорость около 40 км/ч, время жизни – более двух суток.



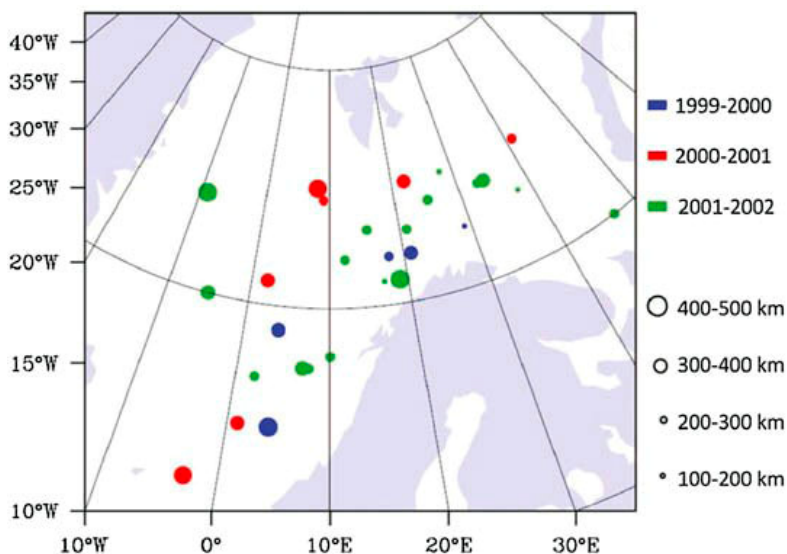
**Рис. 2.** Траектория полярного циклона 8–10.04.1993 г. и давление на уровне моря 9.04.1993 г. [20].

**Fig. 2.** Trajectory of the polar cyclone on October 08, 1993 and sea level pressure on April 09, 1993.

В [22] были выполнены численные эксперименты с моделью COSMO-Ru по изучению развития полярного циклона 25–27.03.2014 г. над Баренцевым и Карским морями. Показано, что развитие циклона существенно зависит от состояния подстилающей поверхности. В частности, при уменьшении сплоченности льда циклон усиливается и может изменить траекторию, смещаясь в направлении открытой поверхности моря.

Способность воспроизводить характеристики полярных циклонов в различных реанализах исследовалась в [32, 35, 39]. В [32] проанализированы 29 полярных циклонов над Норвежским и Баренцевым морями в холодные сезоны (октябрь–май) 1999–2002 гг. (рис. 3).

Над Норвежским морем формировалось больше циклонов чем над Баренцевым. В количестве циклонов есть сильная межгодовая изменчивость: если в сезон 2001–2002 гг. возникло 17 циклонов, то в 1999–2000 гг. – только 5. Почти половина циклонов были размером менее 300 км и только 6 имели время жизни более 20 ч. В период с октября 2008 г. по март 2011 г. в этом регионе зафиксировано 52 ПЦ [39].



**Рис. 3.** Положение и размеры 29 полярных циклонов в Норвежском и Баренцевом морях в холодные сезоны 1999–2002 гг. [32].

**Fig. 3.** Location and dimensions of 29 polar cyclones in Norwegian and Barents Seas in the cold seasons 1999–2002 [32].

По данным [34, 37] на основе спутниковой информации в период с сентября по апрель 1995–2009 гг. над Норвежским, Баренцевым и Гренландским морями было зафиксировано 637 ПЦ. Наибольшее количество ПЦ сформировалось над Норвежским (42,5 %) и Баренцевым (41 %) морями.

Диапазон межгодовой изменчивости характеризуется максимумом (62 ПЦ) в сентябре–апреле 1999–2000 гг. и минимумом (35 ПЦ) в 2002–2003 гг. Для сезонной изменчивости характерен максимум ПЦ в марте и минимум в сентябре. Интересно отметить, что количество ПЦ над Баренцевым морем с января по апрель коррелирует с площадью льда в январе, при этом с уменьшением площади льда увеличивается количество ПЦ.

Большинство ПЦ не превышают в диаметре 500 км. Среднее время их жизни составляет 9–18 ч и только 10 % ПЦ существуют более суток. Траектория большинства ПЦ составляет 100–300 км. Средняя скорость ветра в ПЦ – около 19 м/с; наибольшие скорости (33,5 м/с) были отмечены в январе 2000 года [34].

Из-за малых размеров и короткого времени жизни полярные циклоны неудовлетворительно воспроизводятся в реанализах. Так, за октябрь–май 1999–2002 гг. из 29 наблюдавшихся ПЦ в реанализе ERA-Interim представлены только 13, а в ERA-40 – всего 6 [32]. Траектории циклонов в ERA-Interim оказались ближе к наблюдаемым, чем в ERA-40. Наиболее

полно полярные циклоны представлены, по-видимому, в новом реанализе для арктического региона с высоким разрешением [35, 37], где, согласно оценкам, воспроизводится 89 % ПЦ по сравнению с 48 % в реанализе ERA-Interim.

### Белое море

Глубокие циклоны, вызывающие штормовые ветра над Белым морем, делятся на северо-западные «ныряющие», западные, юго-западные, южные, «аномальные» (северо-восточные, восточные) [4]. Чаще всего наблюдаются северо-западные («ныряющие»), западные и юго-западные. В течение года наибольшую повторяемость (64 %) имеют штормы, обусловленные западными циклонами (зимой их повторяемость достигает 66 %, а осенью – 80 %).

Глубокие циклоны могут вызвать штормовые нагоны в Белом море. В качестве примера можно привести нагон 15.11.2011 г., который оказался наибольшим по высоте уровня, площади затопления и продолжительности стояния [18]. Нагон был вызван циклоном, который образовался над Баренцевым морем к югу от Шпицбергена 13.11.2011 г.; давление в его центре составило 990 гПа. Далее циклон пересек центральную часть Баренцева моря с запада на восток, при этом давление упало до 955 гПа 14.11.2011 г. (рис. 4). Во время прохождения циклона наблюдалось усиление западного и северо-западного ветров в северной части Белого моря до 15–20 м/с.

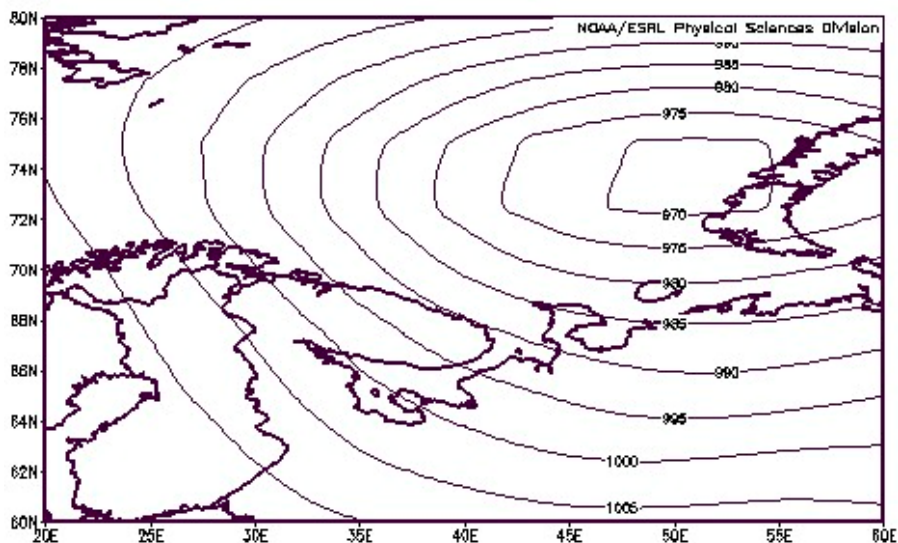


Рис. 4. Приземное давление 14.11.2011 г. по данным реанализа NCEP/NCAR.

Fig. 4. Surface pressure on November 14, 2011 according to the data of the reanalysis NCEP/NCAR.

## Балтийское море

В [5] выполнена классификация штормов в Балтийском море; принятые критерии для шторма: скорость ветра больше 12 м/с и продолжительность не менее 6 ч. По характеристикам циклонов и штормов Балтийское море обычно делят на северную и южную части. Различие между северной и южной частями связано, в частности, с тем, что над Балтикой располагается интенсивная высотная фронтальная зона (ВФЗ), возникающая на стыке холодных и теплых воздушных масс. При более южном положении ВФЗ там возникает зона повышенной циклонической активности. При этом в районе пролива Скагеррак нередко образуются вторичные циклоны («скагерракские» циклоны), которые движутся через южную часть Балтики.

Вторая причина различия северной и южной частей – орографическая защищенность северной части моря от вторжений штормовых циклонов западной четверти (Скандинавские горы, Смоландская возвышенность и др.). Южная часть моря не имеет такого барьера.

Все циклоны поделены на 8 групп по румбам их траекторий в последние сутки перед началом шторма: северные, северо-западные и т. д. Наибольшую повторяемость за 1966–1985 гг. для обеих частей моря имеют циклоны западного направления.

На циклоническую активность в регионе Балтийского моря оказывает сильное влияние североатлантическое колебание (САК). В периоды преобладания положительной фазы САК с усилением зонального переноса происходит увеличение количества глубоких циклонов, выходящих на Балтийское море. Их максимальное количество наблюдается зимой и ранней весной [33].

В [17] по результатам расчета ветрового волнения в Балтийском море по модели SWAN за 1950–2005 гг. составлен календарь штормов (с высотой волн, равной или более 4 м). Всего за указанный период выявлено 413 штормов. Для каждого шторма по данным реанализа NCEP/NCAR определялось поле приземного атмосферного давления, и далее эти поля на основе кластерного анализа группировались в типовые синоптические ситуации. Для Балтийского моря было выделено четыре типа штормообразующих ситуаций.

На основе ансамбля из 24 климатических моделей, участвующих в проекте CMIP5, с использованием сценария RCP8.5 получено, что в XXI веке повторяемость штормовых ситуаций в Балтийском море будет увеличиваться [17].

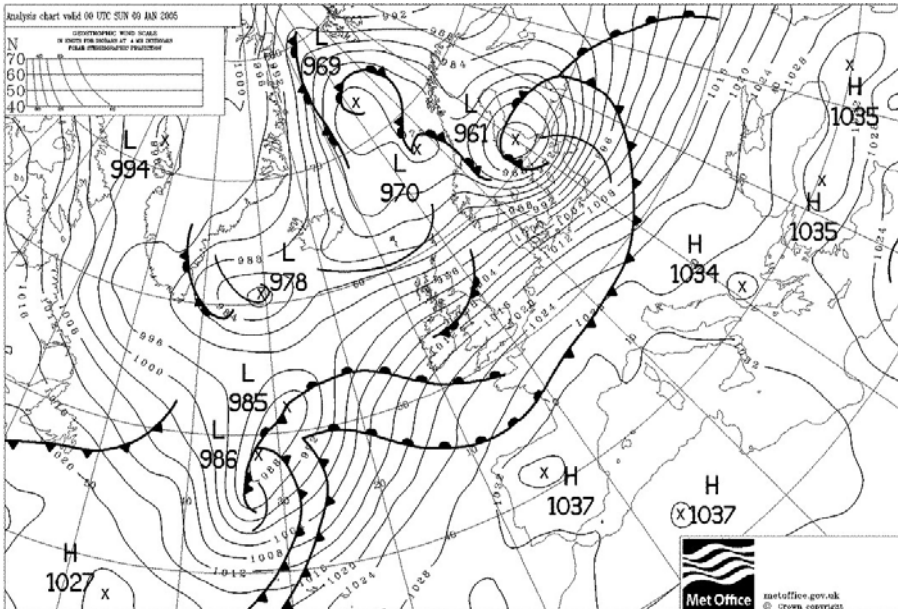
Самыми сильными экстремальными циклонами (штормами) в регионе Балтийского моря были штормы Lothar и Martin в декабре 1999 г. Общий ущерб от них составил 11,3 млрд долларов, погибли 125 человек [38].

Шторм Lothar возник 24.12.1999 г. у восточного побережья Северной Америки около 35° с. ш. Затем он вошел в зону сильно развитого полярного струйного течения, пересекающего Северную Атлантику, где скорость ветра достигала 100 м/с на поверхности 300 гПа [38]. Перед выходом на

Европу 26.12.1999 г. произошло интенсивное углубление Lothar до 961 гПа, причем падение давления за 3 ч составило 26 гПа. Шторм вызвал разрушения в полосе от северо-запада Франции до южных районов Германии и Швейцарии; были зарегистрированы порывы ветра до 50 м/с. Скорость перемещения шторма достигала 120 км/ч в Северной Атлантике и 100 км/ч над Европой.

Шторм Martin обрушился на Европу через сутки после Lothar. Он сформировался 25.12.1999 г. над Северной Америкой и быстро пересек Северную Атлантику. Перед выходом на Европу 27.12.1999 г. давление в его центре упало до 965 гПа. Порывы ветра при движении над Европой достигали 45 м/с [38]. Общей чертой Lothar и Martin было прохождение фронтальной зоны с очень высокой бароклинностью между Исландией и Великобританией.

Еще один экстремальный циклон (шторм) Gudrun (Erwin) прошел по северной Европе 7–9.01.2005 г. и достиг силы урагана в Северном море (рис. 5). В Балтийском море Gudrun немного ослабел, но, тем не менее, был одним из сильнейших штормов в этом регионе за последние 40 лет. Максимальная скорость ветра наблюдалась на побережье Дании (41–46 м/с), Швеции (42 м/с) и Эстонии (37,5 м/с) [30]. По расчетам высота волн достигала 9,5 м в центральной части Балтийского моря и 5 м в Финском заливе [36]. Шторм вызвал подъем уровня, наиболее значительный в Эстонии и Финляндии. В результате шторма погибли 17 человек, общий ущерб составил 2,2 млрд долларов.



**Рис. 5.** Приземный синоптический анализ 9.01.2005 г. (циклон Gudrun (Erwin)).

**Fig. 5.** Weather map on January 9, 2005 (cyclone Gudrun (Erwin)).



### Азовское море

Штормы на Азовском море чаще всего возникают при выходе средиземноморских циклонов на юго-восток Черного моря и усилении антициклона над центральными районами ЕЧР. Например, в феврале 1979 г. разность давления в центрах циклона и антициклона составила 40 гПа, что обусловило усиление ветров над Азовским морем и в северной части Черного моря до 18–23 м/с, а в районе между Керчью и Туапсе – до 40 м/с [7].

Циклоны перемещаются в район Азовского моря чаще всего в холодную часть года. Наиболее часто они приходят из западной части Черного моря, низовьев Дуная и севера Италии. Северо-западные («ныряющие») циклоны преобладают зимой и осенью, а северные (с Баренцева моря) только зимой. Штормы силой 9 баллов бывают от двух до восьми раз в год, чаще всего в феврале-марте. Повторяемость штормов в 10 баллов – один раз в пять лет.

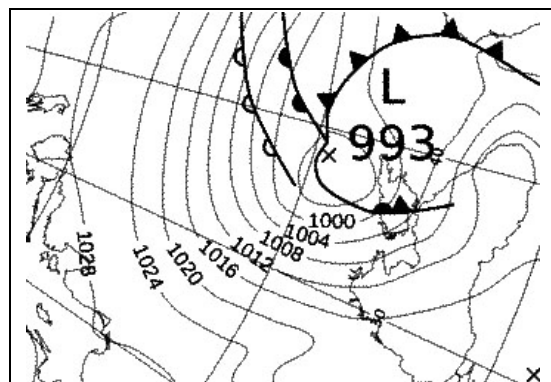
Штормовой тип погоды возникает при больших градиентах давления над Азовским морем, которые создаются при наличии антициклона на юго-востоке европейской территории России и циклона над Черным морем. Этот тип погоды характеризуется ветрами восточных направлений со скоростями 14–24 м/с. Годовое число дней со скоростью ветра 17 м/с и более на побережье колеблется от 21 до 38. Ветры с такой скоростью наблюдаются чаще всего с октября по март (в среднем 2–4 дня за месяц) [12].

Зимой ветры со скоростью 17 м/с и более имеют преимущественно северо-восточное и восточное направление. Это – «штормы Азовского моря», опасные для судов. Они наблюдаются 20–30 раз в год, отличаются большой продолжительностью, обычно охватывают все море и часто сопровождаются морозами и метелями. Наибольшая продолжительность подобных штормов достигает 9 суток [12]. Эти ветры вызывают сильное волнение в вершине Таганрогского залива, а вдоль Арабатской стрелки волны взламывают лед и нагромождают торосы. Летом ветры с такой скоростью отмечаются при прохождении холодных фронтов. Чаще всего они носят шквалистый характер и, как правило, сопровождаются грозами и ливнями.

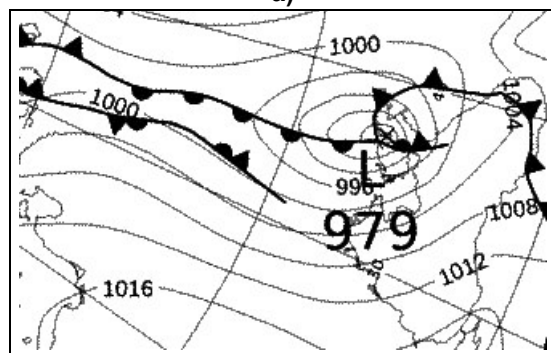
Наибольшая опасность прохождения экстремальных циклонов над Азовским морем связана с тем, что они могут вызывать штормовые нагоны со значительными подъемами уровня моря. При этом происходит затопление прибрежных территорий, что наносит большой материальный ущерб, может приводить к человеческим жертвам и негативным экологическим последствиям. В результате влияния циклона могут возникать и сгонные явления, вызывающие проблемы для судоходства в прибрежных водах, для работы водозаборов и т.д.

В качестве примера приведем два случая катастрофических нагонов в Таганроге в марте 2013 г. и сентябре 2014 г., которые были воспроизведе-

ны с помощью гидродинамических моделей [10, 24]. Оба случая были связаны с прохождением глубоких циклонов, вызвавших сильные юго-западные ветры (рис. 6).



а)



б)

**Рис. 6.** Фрагмент приземного барического поля над юго-восточной частью Европы 24.03.2013 г. (сверху) и 24.09.2014 г. (снизу).

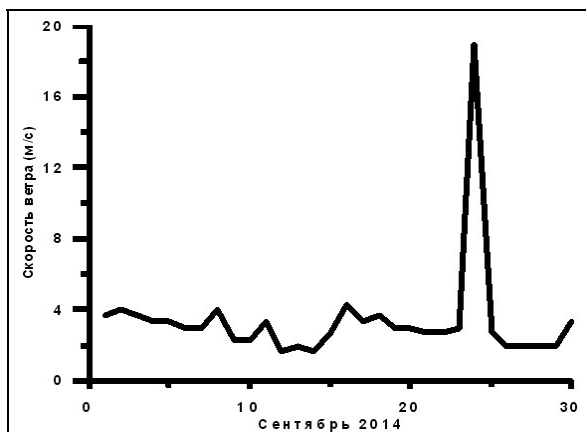
**Fig. 6.** A fragment of the surface pressure field over the south-eastern part of Europe on March 24, 2013 (above) and on September 24, 2014 (below).

Как видно из рис. 6, циклон в сентябре 2014 г. был более глубоким, чем в марте 2013 г., и с более сильными ветрами (рис. 7). Сильный юго-западный ветер (до 25 м/с) в районе Таганрога 24.09.2014 г. наблюдался менее суток, однако он вызвал катастрофический нагон, приведший к значительному материальному ущербу. В результате штормового нагона уровень моря в Таганроге поднялся на 2,5 м.

### Черное море

Штормы Черного моря возникают при прохождении над морем циклонов, траектории которых пересекают Европу, а также средиземноморских циклонов. Есть два основных типа «штормовых» полей атмо-

сферного давления. При первом типе траектории средиземноморских циклонов проходят через Малую Азию и юг Черного моря, при этом на ЕЧР формируются области высокого давления. При втором типе средиземноморские циклоны выходят на запад и север Черного моря и, кроме того, происходит смещение циклонов с Балтийского моря и южной Скандинавии на Балканы и ЕЧР (ныряющие циклоны) [6, 26].



**Рис. 7.** Среднесуточная скорость ветра (м/с) на ст. Таганрог в сентябре 2014 г.

**Fig. 7.** Daily average wind velocity (m/s) at the station Taganrog in September 2014.

При первом типе над Черным морем часто формируется локальный центр пониженного давления. Его движение блокируется зоной высокого давления над европейской территорией России и Восточной Европой. Если центр циклона находится над Малой Азией и южной частью Черного моря, преобладают северо-восточные, восточные, юго-восточные ветры.

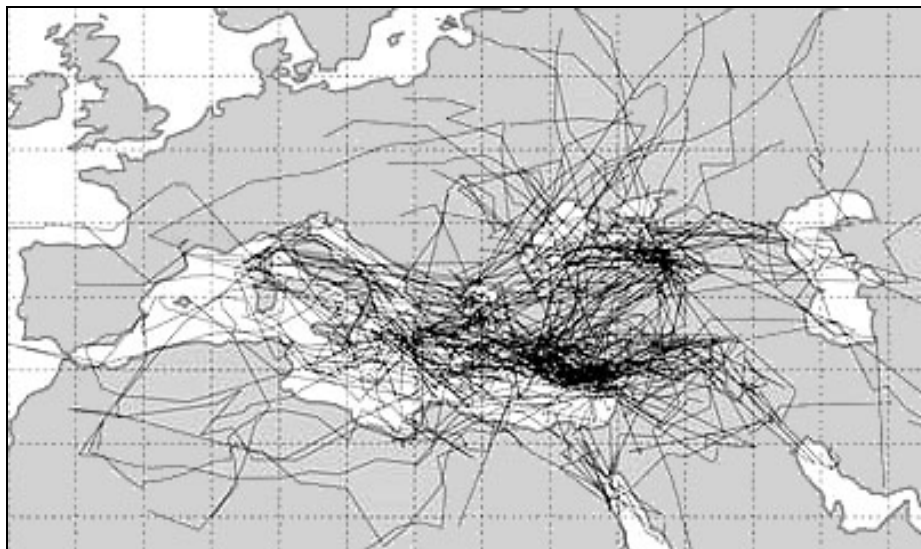
При втором типе возможно формирование локального глубокого циклона в северной части Черного моря. В это время над Балканами преобладает повышенное давление. Такая ситуация может приводить к развитию сильных штормовых ветров северо-западного, западного, юго-западного направлений.

На основе расчета высоты волн в Черном море за 1948–2010 гг. в [8] были определены два района с наиболее развитым штормовым волнением – юго-западная и северо-восточная части моря, где максимальные высоты волн превышают 6,5 м. Авторы связывают эти районы с двумя типами штормовых синоптических ситуаций, описанных выше.

Как указывалось выше, штормы в Черном море часто вызываются средиземноморскими циклонами. В [15] были выделены два района Средиземного моря, где наиболее часто формируются циклоны: Генуэзский залив (около 30 циклонов в год) и акватория около Кипра (20 циклонов).

Получено семь типов траектории циклонов, из которых четыре пересекают Черное море.

В [29] по данным реанализа давления на уровне моря ERA-40 за 1962–2001 гг. построены траектории циклонов в восточной части Средиземного моря, часть из которых выходит на Черное море (рис. 8). В январе количество циклонов существенно возрастает как в восточной части Средиземного моря, так и в Черном море.



**Рис. 8.** Траектории циклонов над Средиземным и в Черном морях в январе в 1962–2001 гг. [29].

**Fig. 8.** Cyclone trajectories over the Mediterranean and Black Seas in January in 1962–2001 [29].

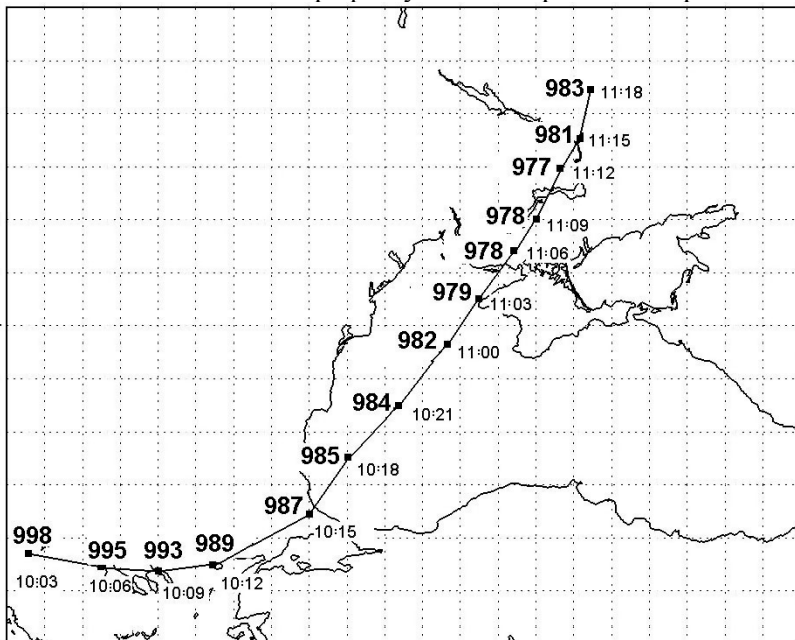
Рассмотрим несколько самых сильных штормов на Черном море. Прежде всего необходимо упомянуть бурю у берегов Крыма 14 ноября 1854 г., приведшую к большим потерям англо-французского флота в районе Балаклавы. Синоптическое исследование этого шторма послужило поводом для организации службы погоды во Франции.

Тяжелые последствия вызвал шторм в ноябре 2007 г., описанный во многих публикациях [2, 19, 21, 23, 25, 28]. 11 ноября 2007 г. штормовой ветер и сильное волнение в Черном и Азовском морях привели к крушению нескольких судов в Керченском проливе. В результате крушения танкера «Волгонефть-139» в море попало большое количество нефтепродуктов, что привело к крупной экологической катастрофе.

Циклон, вызвавший штормовое волнение, сформировался 10 ноября над северными районами Греции и 11 ноября пересек Черное море (рис. 9). Циклон быстро углубился до 980 гПа. Скорость падения давления достигала 5 гПа за 3 часа. Циклон был не очень глубоким, но с большими

градиентами давления, что обусловило скорости ветра до 30–35 м/с [19, 25].

Примерно с 5 до 13 ч 11 ноября через район Керченского пролива проходила фронтальная зона повышенных градиентов температуры воздуха на уровне 850 гПа, обусловленная холодным атмосферным фронтом; скорость ветра достигала 25 м/с. [2]. Именно в этот период произошло наибольшее количество катастроф с судами в Керченском проливе.



**Рис. 9.** Траектория циклона 10–11 ноября 2007 г. В каждой точке ниже (правее) положения центра циклона указаны дата и время (UTC) в формате (день: час), выше (левее) – минимальное давление на уровне моря в центре циклона (гПа) [28].

**Fig. 9.** The trajectory of the cyclone originated on November 10 – 11, 2007. In each point below (to the right) of the cyclone center location; the date and the time (UTC) are specified in the format (day; hour), above (to the left) – the minimum pressure at the sea level in the cyclone center (hPa) [28].

Однако наиболее сильные порывы ветра до 35 м/с были зафиксированы в 7 ч 30 мин 11 ноября в Анапе, что, вероятно, связано с активизацией турбулентных процессов в зоне холодного фронта при обтекании воздушным потоком горного хребта [23].

Шторм в северо-западной части моря 10-12 ноября 1981 г. явился одним из самых сильных штормов для этого района. По расчетам максимальная скорость ветра достигала 25,4 м/с, значительная высота волны – 6,4 м, максимальная высота волн – 12,8 м. [14]. По наблюдениям у юго-западного побережья Крыма была зафиксирована волна высотой 7,3 м.

Экстремальные волны привели к значительным повреждениям буровой платформы в Каркинитском заливе.

Шторм 14–16 ноября 1992 г. нанес большой материальный ущерб, повредил нефтегазодобывающие платформы, разрушил бетонные боны и размыл часть пляжей в Одессе и в Крыму [25]. Шторм был вызван глубоким южным циклоном, который пересек акваторию Черного моря со средней скоростью 75 км/ч. В период с 0 до 9 часов 15 ноября давление в центре циклона упало на 14,7 гПа. Это способствовало возникновению сильного ветра на его периферии сначала в северо-западной, а затем в северо-восточных частях моря. В северо-восточной части скорость ветра достигала 25–30 м/с. Высота волн в тыловой части циклона превышала 5 м, а наибольшие волны в северо-восточной части моря достигали 8–10 м.

По-видимому, наибольшая из измеренных высот волн (12,3 м) в Черном море была зафиксирована 1.02.2003 г. в северо-восточной части моря на заякоренном буре [11]. Синоптическая ситуация при возникновении экстремального волнения характеризовалась образованием вторичного циклона с центром в районе Крымского полуострова на южной периферии обширного основного циклона. Давление в центре вторичного циклона составило 994 гПа, максимальная скорость ветра на периферии циклона достигала 20–25 м/с.

Особый интерес представляет мезомасштабный циклон над юго-западной частью Черного моря, наблюдавшийся в конце сентября 2005 г. и имевший признаки тропического циклона (наличие «глаза» и др.). Циклон просуществовал около пяти суток, скорость ветра в его зоне достигала 20–25 м/с [13]. Анализ показал, что основными причинами формирования циклона явились относительно высокая температура поверхности моря (23 °С) и натекание холодной влажной воздушной массы на теплую поверхность моря, что привело к резкому развитию неустойчивого состояния атмосферы.

### Заключение

Большинство экстремальных циклонов над морями европейской части России непосредственно формируются в Северной Атлантике или косвенно связаны с атмосферной циркуляцией этого региона. Интенсификация циклонов над конкретным морем происходит под влиянием местных условий, в том числе под воздействием мезомасштабных атмосферных процессов.

Для судоходства в Баренцевом море наибольшую опасность представляют полярные циклоны, которые формируются при перемещении холодной арктической воздушной массы на относительно теплую поверхность моря. Полярные циклоны сопровождаются штормовым ветром и волнением, обледенением судов и сооружений, ухудшением видимости. Они обычно не превышают в диаметре 500 км, среднее время жизни составляет всего 10–18 ч, что сильно затрудняет их прогноз.

Глубокие циклоны могут вызывать штормовые нагоны, особенно в Белом, Балтийском и Азовском морях. На циклоническую активность в регионе Балтийского моря оказывает сильное влияние североатлантическое колебание. В периоды преобладания положительной фазы САК с усилением зонального переноса происходит увеличение количества глубоких циклонов, выходящих на Балтийское море. В качестве примера можно привести экстремальные циклоны, названные в Европе Lothar, Martin и Gudrun, вызвавшие большой ущерб и приведшие к человеческим жертвам. В результате шторма на Черном море в ноябре 2007 г. потерпели крушение несколько судов в Керченском проливе, при этом в море попало большое количество нефтепродуктов, что привело к крупной экологической катастрофе.

### Список литературы

1. Бухаров М.В., Геохлая Т.Х. Статистический анализ приводного ветра по спутниковым радиолокационным измерениям при мезоциклоне над Баренцевым морем 19 апреля 1996 г. // *Метеорология и гидрология*. 2000. № 5. С. 101-108.
2. Бухаров М.В., Головлев К.Н., Миронова Н.С., Сизенова Е.А. Анализ причин усиления шквалистого ветра до ураганной силы в Керченском проливе 11 ноября 2007 г. // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса*. 2010. Т. 7, № 3. С. 9-15.
3. *Гидрометеорология и гидрохимия морей*. Том I. Баренцево море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 280 с.
4. *Гидрометеорология и гидрохимия морей*. Том II. Белое море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 240 с.
5. *Гидрометеорология и гидрохимия морей*. Том III. Балтийское море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 450 с.
6. *Гидрометеорология и гидрохимия морей*. Том IV. Черное море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 429 с.
7. *Гидрометеорология и гидрохимия морей*. Том V. Азовское море. СПб.: Гидрометеиздат, 1991. 236 с.
8. Гиппиус Ф.Н., Архипкин В.С., Суркова Г.В. Оценка современных характеристик и многолетней изменчивости экстремального волнения на Черном море // *Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу*. 2013. № 27. С. 92-96.
9. Голицын Г.С. Ураганы, полярные и тропические, их энергия и размеры, количественный критерий возникновения // *Известия РАН. ФАО*. 2008. Т. 44, № 5. С. 579-590.
10. Дианский Н.А., Фомин В.В. Моделирование циркуляции Азовского моря и особенности воспроизведения экстремальных нагонов в Таганрогском заливе // *Труды ГОИН*. 2017. Вып. 218. С. 74-104.
11. Дивинский Б.В., Косьян Р.Д., Подымов И.С., Пушкарев О.В. Экстремальное волнение в северо-восточной части Черного моря в феврале 2003 г. // *Океанология*. 2003. Т. 43, № 6. С. 948-950.
12. Доценко С.Ф., Иванов В.А. Природные катастрофы Азово-Черноморского региона. Севастополь: НАН Украины. Морской гидрофизический институт, 2010. 174 с.
13. Ефимов В.В., Станичный С.В., Шокуров М.В., Яровая Д.А. Наблюдение квазитропического циклона над Черным морем // *Метеорология и гидрология*. 2008. № 4. С. 53-62.

14. Кабатченко И.М., Матушевский Г.В., Резников М.В., Заславский М.М. Моделирование ветра и волн при вторичных термических циклонах на Черном море // Метеорология и гидрология. 2001. № 5. С. 61-71.
15. Казначеева В.Д., Пувалов С.В. Климатические характеристики средиземноморских циклонов // Метеорология и гидрология. 2012. № 5. С. 41-52.
16. Кислов А.В., Матвеева Т.А. Экстремумы скорости ветра в европейском секторе Арктики // Метеорология и гидрология. 2016. № 7. С. 5-14.
17. Кислов А.В., Суркова Г.В., Архипкин В.С. Повторяемость штормовых ситуаций в Балтийском, Черном и Каспийском морях в изменяющихся климатических условиях // Метеорология и гидрология. 2016. № 2. С. 67-77.
18. Кораблина А.Д., Архипкин В.С., Самборский Т.В. Особенности формирования штормовых нагонов в динамической системе Белое море – устьевая область р. Северная Двина по результатам численного моделирования // Вестник Московского ун-та. Серия 5. География. 2016. № 1. С. 78-86.
19. Лопатухин Л.И., Бухановский А.В., Чернышева Е.С., Колесов А.М. О шторме на Черном море в ноябре 2007 г. М.: Российский Речной Регистр, 2009. 35 с.
20. Луценко Э.И., Лагун В.Е. Полярные мезомасштабные циклоны в атмосфере над Баренцевым и Карским морями // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 2 (96). С. 76-89.
21. Нестеров Е.С. Экстремальные волны в океанах и морях. М., Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2015. 64 с.
22. Никитин М.А., Ривин Г.С., Розинкина И.А., Чумаков М.М. Использование прогностической системы COSMO-RU для исследования свойств полярных циклонов: эпизод 25-27 марта 2014 года // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 361. С. 128-145.
23. Песков Б.Е., Дмитриева Т.Г. Синоптические процессы, вызвавшие 11 ноября 2007 года опасные ветры и волнение на северо-востоке Черного моря, в Керченском проливе и на Азовском море // Метеоспектр. 2009. № 1. С. 91-96.
24. Попов С.К., Лобов А.Л. Диагноз и прогноз наводнения в Таганроге по оперативной гидродинамической модели // Труды Гидрометцентра России. 2016. Вып. 362. С. 92-108.
25. Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н. Режим ветра над побережьем и шельфом северо-восточной части Черного моря // Труды УкрНИГМИ. 2008. Вып. 257. С. 84-105.
26. Суркова Г.В., Колтерманн К.П., Кислов А.В. О методе прогноза штормовых условий при изменениях климата // Вестник Московского ун-та. Серия 5. География. 2012. № 6. С. 25-31.
27. Суркова Г.В., Крылов А.А. Синоптические ситуации, способствующие формированию экстремальных значений скорости ветра в Баренцевом море // Вестник Московского ун-та. Серия 5. География. 2016. № 6. С. 18-25.
28. Шокуров М.В. Численное моделирование катастрофических погодных явлений в Черноморском регионе // Екологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу. 2012. С. 301-320.
29. Flocas H.A. et al. On cyclonic tracks over the Eastern Mediterranean // J. Climate. 2010. Vol. 23. P. 5243-5257.
30. Haanpää S. et al. Impacts of winter storm Gudrun of 7th–9th January 2005 and measures taken in Baltic Sea Region. Available online: [http://www.astra-project.org/sites/download/ASTRA\\_WSS\\_report\\_final](http://www.astra-project.org/sites/download/ASTRA_WSS_report_final), 2006 (accessed on 7 February 2017).
31. Kolstad E.W. Extreme small-scale wind episodes over the Barents Sea: when, where and why? // Clim. Dyn. 2015. Vol. 45, no. 7-8. P. 2137-2150.
32. Laffineur T., Claud C., Chaboureaud J.-P., Noer G. Polar lows over the Nordic seas: improved representation in ERA-Interim compared to ERA-40 and the impact on downscaled simulations // Mon. Weath. Rev. 2014. Vol. 142. P. 2271-2289.
33. Lehmann A., Getzlaff K., Harla J. Detailed assessment of climate variability in the Baltic Sea area for the period 1958 to 2009 // Clim. Res. 2011. Vol. 46. P. 185-196.



34. Smirnova Ju.E. et al. Polar low climatology over the Nordic and Barents seas based on satellite passive microwave data // *Geophys. Res. Lett.* 2015. Vol. 42, no. 13. P. 5603-5609.
35. Smirnova J., Golubkin P. Comparing polar lows in atmospheric reanalyses: Arctic System Reanalysis versus ERA-Interim // *Mon. Weath. Rev.* 2017. Vol. 145, no. 6. P. 2375-2383.
36. Soomere T., Behrens A., Tuomi L., Nielsen J.W. Wave conditions in the Baltic Proper and in the Gulf of Finland during windstorm Gudrun // *Nat. Haz. Earth Syst. Sci.* 2008. Vol. 8. P. 37-46.
37. Spengler T., Claud C., Henemann G. Polar low workshop summary // *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 2017. Vol. 98, no. 6. P. ES139-ES142.
38. Ulbrich U., Fink A.H., Klawa M., Pinto J.G. Three extreme storms over Europe in December 1999 // *Weather.* 2001. Vol. 56. P. 70-80.
39. Zappa G., Shaffrey L., Hodges K. Can polar lows be objectively identified and tracked in the ECMWF operational analysis and the ERA-Interim reanalysis? // *Mon. Weath. Rev.* 2014. Vol. 142. P. 2596-2608.

### References

1. Bukharov M.V., Geokhlanyan T.Kh. Statisticheskii analiz privodnogo vetra po sputnikovym radiolokatsionnym izmereniyam pri mezotsyklone nad Barentsevym morem 19 aprelya 1996 g. *Russ Meteorol Hydrol*, 2000, no. 5, pp. 101-108. [in Russ.].
2. Bukharov M.V., Golovlev K.N., Mironova N.S., Sizenova E.A. The analysis of the reasons of an amplification of a squally wind up to a storm force in a strait about Kerch of November 11, 2007. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa* [Current problems in remote sensing of the earth from space], vol. 7, no. 3, pp. 9-15. [in Russ.].
3. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. Tom I. Barentsevo more. Vypusk 1. Gidrometeorologicheskie usloviya.* Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1990, 280 p. [in Russ.].
4. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. Tom II. Beloe more. Vypusk 1. Gidrometeorologicheskie usloviya.* Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1991, 240 p. [in Russ.].
5. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. Tom III. Baltiiskoe more. Vypusk 1. Gidrometeorologicheskie usloviya.* Saint Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 1992, 450 p. [in Russ.].
6. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. Tom IV. Chernoe more. Vypusk 1. Gidrometeorologicheskie usloviya.* Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1991, 429 p. [in Russ.].
7. *Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei. Tom V. Azovskoe more.* Saint Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 1991, 236 p. [in Russ.].
8. Gippius F.N., Arkhipkin V.S., Surkova G.V. Otsenka sovremennykh kharakteristik i mnogoletnei izmenchivosti ekstremal'nogo volneniya na Chernom more. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa.* [Ecological safety of coastal and shelf zones of sea], 2013, iss. 27, pp. 92-96. [in Russ.].
9. Golitsyn G.S. Polar lows and tropical hurricanes: Their energy and sizes and a quantitative criterion for their generation. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.*, 2008, vol. 44, no. 5, pp. 537-547.
10. Diansky N.A., Fomin V.V. The numerical simulation of Azov Sea circulation and simulation features of the extreme surge occurred in the Taganrog Bay. *Trudy GOIN* [SOI's Proceedings], 2017, vol. 218, pp. 74-104. [in Russ.].
11. Divinskii B.V., Kos'yan R.D., Podymov I.C., Pushkarev O.V. Extreme waves in the Northeastern Black Sea in February 2003. *Okeanologiya* [Oceanology], 2003, vol. 43, no. 6, pp. 891-893. [in Russ.].
12. Dotsenko S.F., Ivanov V.A. Prirodnye katastrofy Azovo-Chernomorskogo regiona. Sevastopol: NAN Ukrainy. Morskoj gidrofizicheskii institute [Marine Hydrophysical Institute of RAS] Publ., 2010, 174 p. [in Russ.].
13. Efimov V.V., Stanichnyi S.V., Shokurov M.V., Yarovaya D.A. Observations of a quasi-tropical cyclone over the Black Sea. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2008, vol. 33, no. 5, pp. 233-239.
14. Kabatchenko I.M., Matushevskii G.V., Reznikov M.V., Zaslavskii M.M. Numerical modeling of wind and waves in a secondary cyclone at the Black Sea. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2001, no. 5, pp. 45-53.

15. Kaznacheeva V.D., Shuvalov S.V. Climatic characteristics of Mediterranean cyclones. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2012, vol. 37, no. 5, pp. 315-323.
16. Kislov A.V., Matveeva T.A. Extreme wind speeds in the European sector of the Arctic. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2016, vol. 41, no. 7, pp. 447-454.
17. Kislov A.V., Surkova G.V., Arkhipkin V.S. Occurrence Frequency of Storm Wind Waves in the Baltic, Black, and Caspian Seas under Changing Climate Conditions. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2016, vol. 41, no. 2, pp. 121-129.
18. Korablina A.D., Arkhipkin V.S., Samborski T.V. Modeling features formation storm surge in a dynamic system White Sea – mouth area Northern Dvina river. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Moscow University Bulletin. Series 5. Geography], 2016, no. 1, pp. 78-86. [in Russ.].
19. Lopatukhin L.I., Bukhanovskii A.V., Chernysheva E.S., Kolesov A.M. O shtorme na Chernom more v noyabre 2007 g. Moscow: Russian River Register (RRR) Publ., 2009, 35 p.
20. Lutsenko E.I., Lagun V.E. Polyarnye mezomasshtabnye tsiklony v atmosfere nad Barentsevym i Karskim moryami. *Problemy Arktiki i Antarktiki* [Problems of Arctic and Antarctic], 2013, no. 2 (96), pp. 76-89. [in Russ.].
21. Nesterov E.S. Ekstremal'nye volny v okeanakh i moryakh [Extreme waves in the oceans and seas]. Moscow; Obninsk: IG-SOTsIN Publ., 2015, 64 p. [in Russ.].
22. Nikitin M.A., Rivin G.S., Rozinkina I.A., Chumakov M.M. Use of COSMO-Ru forecasting system for polar low's research: case study 25-27 March 2014. *Trudy Gidromettsentra Rossii* [Proceedings of Hydrometcenter of Russia], 2016, vol. 361, pp. 128-145. [in Russ.].
23. Peskov B.E., Dmitrieva T.G. Sinopticheskie protsessy, vyzvavshie 11 noyabrya 2007 goda opasnye vetry i volnenie na severo-vostoke Chernogo morya, v Kerchenskom prolive i na Azovskom more. *Meteospektr*, 2009, no. 1, pp. 91-96. [in Russ.].
24. Popov S.K., Lobov A.L. Diagnosis and forecasts of flood in Taganrog with the help of an operational hydrodynamic model. *Trudy Gidromettsentra Rossii* [Proceedings of Hydrometcenter of Russia], 2016, vol. 362, pp. 92-108. [in Russ.].
25. Repetin L.N., Belokopytov V.N. Rezhim vetra nad poberezh'em i shel'fom severo-vostochnoi chasti Chernogo moray. *Trudy UkrNIGMI*, 2008, vol. 257, pp. 84-105. [in Russ.].
26. Surkova G.V., Koltermann K.P., Kislov A.V. O metode prognoza shtormovykh uslovii pri izmeneniyakh klimata Moscow. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Moscow University Bulletin. Series 5. Geography], 2012, no. 6, pp. 25-31. [in Russ.].
27. Surkova G.V., Krylov A.A. Synoptic patterns of extreme wind speed in the Barents Sea. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya* [Moscow University Bulletin. Series 5. Geography], 2016, no. 6, pp. 18-25. [in Russ.].
28. Shokurov M.V. Chislennoe modelirovanie katastroficheskikh pogodnykh yavlenii v Chernomorskom regione. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. [Ecological safety of coastal and shelf zones of sea], 2012, pp. 301-320, available at: [dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/56884/22-ShokurovNEW.pdf?sequence=1](https://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/56884/22-ShokurovNEW.pdf?sequence=1) [in Russ.].
29. Flocas, H.A., Simmonds I., Kouroutzoglou J., Keay K., Hatzaki M., Asimakopoulos D.N., Bricolas V. On cyclonic tracks over the Eastern Mediterranean. *J. Climate*, 2010, vol. 23, pp. 5243-5257.
30. Haanpaa S., Lehtonen S., Peltonen L., Talockaite E. Impacts of Winter Storm Gudrun of 7th-9th January 2005 and Measures Taken in Baltic Sea Region. Available at: [www.astra-project.org/sites/download/ASTRA\\_WSS\\_report\\_final.pdf](http://www.astra-project.org/sites/download/ASTRA_WSS_report_final.pdf)
31. Kolstad E.W. Extreme small-scale wind episodes over the Barents Sea: when, where and why? *Clim. Dyn.*, 2015, vol. 45, no. 7-8, pp. 2137-2150.
32. Laffineur T., Claud C., Chaboureau J.-P., Noer G. Polar lows over the Nordic seas: improved representation in ERA-Interim compared to ERA-40 and the impact on downscaled simulations. *Mon. Weath. Rev.*, 2014, vol. 142, pp. 2271-2289.
33. Lehmann A., Getzlaff K., Harla J. Detailed assessment of climate variability in the Baltic Sea area for the period 1958 to 2009. *Clim. Res.*, 2011, vol. 46, pp. 185-196.

34. Smirnova Ju.E., Golubkin P., Bobylev L.P., Zabolotskikh E., Chapron B. et al. Polar low climatology over the Nordic and Barents seas based on satellite passive microwave data. *Geophys. Res. Lett.*, 2015, vol. 42, no. 13, pp. 5603-5609.

35. Smirnova J., Golubkin P. Comparing polar lows in atmospheric reanalyses: Arctic System Reanalysis versus ERA-Interim. *Mon. Weath. Rev.*, 2017, vol.145, no.6, pp. 2375-2383.

36. Soomere T., Behrens A., Tuomi L., Nielsen J.W. Wave conditions in the Baltic Proper and in the Gulf of Finland during windstorm Gudrun. *Nat. Haz. Earth Syst. Sci.* 2008, vol. 8, pp. 37-46.

37. Spengler T., Claud C., Henemann G. Polar low workshop summary. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 2017. vol. 98, no. 6, pp. ES139-ES142.

38. Ulbrich U., Fink A.H., Klawa M., Pinto J.G. Three extreme storms over Europe in December 1999. *Weather*, 2001, vol. 56, pp. 70-80.

39. Zappa G., Shaffrey L., Hodges K. Can polar lows be objectively identified and tracked in the ECMWF operational analysis and the ERA-Interim reanalysis? *Mon. Weath. Rev.*, 2014, vol. 142, pp. 2596-2608.

*Поступила в редакцию 20.02.2018 г.*

*Received by the editor 20.02.2018.*